

И.Л.ШИМАНОВИЧ

# ХИМИЯ

**Методические указания, программа,  
решение типовых задач,  
программированные вопросы  
для самопроверки и контрольные  
задания для студентов-заочников  
инженерно-технических (нехимических)  
специальностей вузов**

*Издание третье, исправленное*



МОСКВА  
«ВЫСШАЯ ШКОЛА»  
2003

УДК 54 (07)  
ББК 24  
Ш 61

Шиманович, И.Л.  
Ш 61 Химия: методические указания, программа, решение типовых задач, программированные вопросы для самопроверки и контрольные задания для студентов-заочников инженерно-технических (нехимических) специальностей вузов/ И.Л. Шиманович. — 3-е изд., испр. — М.: Высш. шк., 2003. — 128 с.

УДК 54  
ББК 24

*Учебное издание*

**Шиманович** Исаак Лазаревич

## **ХИМИЯ**

**Методические указания, программа,  
решение типовых задач, программированные  
вопросы для самопроверки в контрольные задания  
для студентов-заочников инженерно-технических  
(нехимических) специальностей вузов**

Редактор *Т. С. Костян*. Художественный редактор *Ю.Э. Иванова*.  
Технический редактор *Л.А. Овчинникова*. Оператор *Т.В. Рысева*.  
Компьютерная верстка *Т.В. Рысева*. Корректор *Т.Н. Петрова*.

Лицензия ИД № 06236 от 09.11.01.

Изд. № РЕНТ-79. Подп. в печать 04.11.02. Формат 60x881/16-  
Бум. газета. Гарнитура Литературная. Печать офсетная.  
Объем 7,84 усл. печ. л. 7,97 усл. кр.-отг. 5,97 уч.-изд. л.  
Тираж 10000 экз. Заказ № 249.

ФГУП «Издательство «Высшая школа», 127994, Москва, ГСП-4,  
Неглинная ул., 29/14.

Тел.: (095) 200-04-56. E-mail: [info@v-shkola.ru](mailto:info@v-shkola.ru) <http://www.v-shkola.ru>

Отдел реализации: (095) 200-07-69, 200-59-39, факс: (095) 200-03-01.  
E-mail: [sales@v-shkola.ru](mailto:sales@v-shkola.ru)

Отдел «Книга-почтой»: (095) 200-33-36. E-mail: [bookpost@v-shkola.ru](mailto:bookpost@v-shkola.ru)

Отпечатано в ОАО «Оригинал», 101990, Москва, Центр,  
Хохловский пер., 7-9, стр. 1-7.

© ФГУП «Издательство «Высшая школа», 2003

Оригинал-макет данного издания является собственностью издательства «Высшая школа», и его репродуцирование (воспроизведение) любым способом без согласия издательства запрещается.

## ОБЩИЕ МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

Наука стала производительной силой нашего общества. Без применения достижений науки, и в частности химии, невозможно развитие современной промышленности и сельского хозяйства. Химия, являясь одной из фундаментальных естественно-научных дисциплин, изучает материальный мир, законы его развития, химическую форму движения материи. В процессе изучения химии вырабатывается научный взгляд на мир в целом. Знание химии необходимо для плодотворной творческой деятельности инженера любой специальности. Знание химии позволяет получить современное научное представление о материи, формах ее движения, веществе как одном из видов движущейся материи, механизме превращения химических соединений, свойствах технических материалов и применении химических процессов в современной технике. Необходимо прочно усвоить основные законы, овладеть техникой химических расчетов, выработать навыки самостоятельного выполнения химических экспериментов и обобщения фактов.

Понимание химических законов помогает инженеру в решении экологических проблем. Знание химии необходимо для последующего успешного изучения общенаучных и специальных дисциплин.

Основной вид учебных занятий студентов-заочников — самостоятельная работа над материалом. В курсе химии она складывается из следующих элементов: изучение дисциплины по учебникам и учебным пособиям; выполнение контрольных заданий и лабораторного практикума; индивидуальные консультации (очные и письменные); посещение лекций; сдача зачета по лабораторному практикуму; сдача экзамена по всему курсу.

**Работа с книгой.** Изучать курс рекомендуется по темам, предварительно ознакомившись с содержанием каждой из них по программе. (Расположение материала курса в программе не всегда

совпадает с расположением его в учебнике.) При первом чтении старайтесь получить общее представление об излагаемых вопросах, а также отмечайте трудные или неясные места. При повторном изучении темы усвойте все теоретические положения, математические зависимости и их выводы, а также принципы составления уравнений реакций. Вникайте в сущность того или иного вопроса, а не пытайтесь запомнить отдельные факты и явления. *Изучение любого вопроса на уровне сущности, а не на уровне отдельных явлений способствует более глубокому и прочному усвоению материала.*

Чтобы лучше запомнить и усвоить изучаемый материал, надо обязательно иметь рабочую тетрадь и заносить в нее формулировки законов и основные понятия химии, незнакомые термины и названия, формулы и уравнения реакций, математические зависимости и их выводы и т.п. *Во всех случаях, когда материал поддается систематизации, составляйте графики, схемы, диаграммы, таблицы.* Они очень облегчают запоминание и уменьшают объем конспектируемого материала.

Изучая курс, обращайтесь и к предметному указателю в конце книги. Пока тот или иной раздел не усвоен, переходить к изучению новых разделов не следует. Краткий конспект курса будет полезен при повторении материала в период подготовки к экзамену.

Изучение курса должно обязательно сопровождаться выполнением упражнений и решений задач (см. список рекомендованной литературы). Решение задач — один из лучших методов прочного усвоения, проверки и закрепления теоретического материала.

**Контрольные задания.** В процессе изучения курса химии студент должен выполнить две контрольные работы. *Контрольные работы не должны быть самоцелью; они являются формой методической помощи студентам при изучении курса.* К выполнению контрольной работы можно приступить только после усвоения определенной части курса и решения примеров типовых задач, приведенных в данном пособии, по соответствующей теме.

Решения задач и ответы на теоретические вопросы должны быть коротко, но четко обоснованы, за исключением тех случаев, когда по существу вопроса такая мотивировка не требуется,

например, когда нужно составить электронную формулу атома, написать уравнение реакции и т.п. При решении задач нужно приводить весь ход решения и математические преобразования.

Контрольная работа должна быть аккуратно оформлена; для замечаний рецензента надо оставлять широкие поля; писать четко и ясно; *номера и условия задач переписывать в том порядке, в каком они указаны в задании*. В конце работы следует дать список использованной литературы с указанием года издания. Работы должны быть датированы, подписаны студентом и представлены в институт на рецензирование.

Если контрольная работа не зачтена, ее нужно выполнить повторно в соответствии с указаниями рецензента и выслать на рецензирование вместе с незачтенной работой. Исправления следует выполнять в конце тетради, а не в рецензированном тексте. Таблица вариантов контрольных заданий приведена в конце пособия. *Контрольная работа, выполненная не по своему варианту, преподавателем не рецензируется и не засчитывается как сданная*.

Для более глубокого изучения курса рекомендуется ответить на программированные вопросы для самопроверки по некоторым темам, которые приведены на с. 112. Каждый вопрос имеет пять ответов, из которых следует выбрать правильный. В табл. 9 приведены правильные ответы.

**Лабораторные занятия.** Для глубокого изучения химии как науки, основанной на эксперименте, необходимо выполнить лабораторный практикум. Он развивает у студентов навыки научного экспериментирования, исследовательский подход к изучению предмета, логическое химическое мышление.

В процессе проведения лабораторных занятий студентам прививаются навыки трудолюбия, аккуратности, товарищеской взаимопомощи, ответственности за полученные результаты. Студенты, проживающие в месте нахождения института или УКП, выполняют лабораторный практикум параллельно с изучением курса, все остальные — в период лабораторно-экзаменационной сессии.

**Консультации.** В случае затруднений при изучении курса следует обращаться за письменной консультацией в институт к преподавателю, рецензирующему контрольные работы, или за

устной консультацией — к преподавателю на У КП. Консультации можно получить по вопросам организации самостоятельной работы и по другим организационно-методическим вопросам.

**Лекции.** В помощь студентам, прикрепленным к У КП, читаются лекции по важнейшим разделам курса, на которых излагаются не все вопросы, представленные в программе, а глубоко и детально рассматриваются принципиальные, но недостаточно полно освещенные в учебной литературе понятия и закономерности, составляющие теоретический фундамент курса химии. На лекциях даются также методические рекомендации для самостоятельного изучения студентами остальной части курса. Студенты, не имеющие возможности посещать лекции одновременно с изучением курса по книге, слушают лекции в период установочных или лабораторно-экзаменационных сессий.

**Зачет.** Выполнив лабораторный практикум, студенты сдают зачет. Для сдачи зачета необходимо уметь изложить ход выполнения опытов, объяснить результаты работы и выводы из них, уметь составлять уравнения реакций. Студенты, сдающие зачет, предъявляют лабораторный журнал с пометкой преподавателя о выполнении всех работ, предусмотренных планом практикума.

**Экзамен.** К сдаче экзамена допускаются студенты, которые выполнили контрольные задания и сдали зачет по лабораторному практикуму. Экзаменатору студенты предъявляют зачетную книжку, направление на экзамен и зачетные контрольные работы.

# ПРОГРАММА

Содержание курса и объем требований, предъявляемых студенту при сдаче экзамена, определяет программа по химии для инженерно-технических (нехимических) специальностей высших учебных заведений, утвержденная Главным учебно-методическим управлением высшего образования 17 мая 1988 г.

Настоящая программа составлена в соответствии с современным уровнем химической науки и требованиями, предъявляемыми к подготовке высококвалифицированных специалистов для народного хозяйства. Она состоит из введения и четырех разделов. Первые три охватывают содержание общей части курса, необходимой для подготовки инженеров любой специальности. На изучение общей части курса рекомендуется отводить 70-75% учебного времени, предусмотренного учебными планами на курс химии. Четвертый раздел связан со специализацией будущих инженеров и изменяется в зависимости от основных направлений профилирования их подготовки (механическое, энергетическое, строительное).

На основе данной типовой программы кафедры химии могут разрабатывать рабочие программы, в которых в соответствии с профилем инженерной специальности студентов допускается изменение последовательности изучения отдельных тем курса, рассматриваемых более подробно, или наоборот, более сжато. В рабочую программу также включаются вопросы по специальной части программы курса, необходимые для инженеров соответствующей специальности. При необходимости отдельные разделы специальной части рабочей программы могут быть расширены и конкретизированы. Рабочая программа должна также включать вопросы экологии в соответствии со специальным профилем. Ниже приводится эта программа.

# СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

## ВВЕДЕНИЕ

Химия как предмет естествознания. Предмет химия и ее связь с другими науками. Значение химии в формировании мировоззрения, в изучении природы и развитии техники. Химизация народного хозяйства. Химия и охрана окружающей среды.

## 1. СТРОЕНИЕ ВЕЩЕСТВА

### 1.1. СТРОЕНИЕ АТОМА И СИСТЕМАТИКА ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ

Квантово-механическая модель атома. Квантовые числа. Атомные орбитали. Принцип Паули. Правила и порядок заполнения атомных орбиталей. Строение многоэлектронных атомов. Периодическая система элементов Д.И. Менделеева. Изменение свойств химических элементов и их соединений. Окислительно-восстановительные свойства элементов. Значение периодического закона Д.И. Менделеева.

### 1.2. ХИМИЧЕСКАЯ СВЯЗЬ

Основные типы и характеристики химической связи. Ковалентная и ионная связь. Метод валентных связей, понятие о методе молекулярных орбиталей. Строение и свойства простейших молекул.

### 1.3. ТИПЫ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ МОЛЕКУЛ. КОМПЛЕКСНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ

Основные виды взаимодействия молекул. Силы межмолекулярного взаимодействия. Водородная связь. Донорно-акцепторное



взаимодействие молекул. Комплексные соединения. Комплексы, комплексообразователи, лиганды, заряд и координационное число комплексов. Типы комплексных соединений. Понятие о теориях комплексных соединений.

#### **1.4. ХИМИЯ ВЕЩЕСТВА В КОНДЕНСИРОВАННОМ СОСТОЯНИИ**

Агрегатное состояние вещества. Химическое строение твердого тела. Аморфное и кристаллическое состояния вещества. Кристаллы. Кристаллические решетки. Химическая связь в твердых телах. Металлическая связь и металлы, химическая связь в полупроводниках и диэлектриках. Реальные кристаллы.

## **2. ОБЩИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ ХИМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ**

### **2.1. ЭНЕРГЕТИКА ХИМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ. ХИМИЧЕСКОЕ РАВНОВЕСИЕ**

Энергетические эффекты химических реакций. Внутренняя энергия и энтальпия. Термохимия. Законы Гесса. Энтальпия образования химических соединений. Энтропия и ее изменения при химических процессах. Энергия Гиббса и энергия Гельмгольца и ее изменение при химических процессах. Условия самопроизвольного протекания химических реакций. Условия химического равновесия. Константа равновесия и ее связь с термодинамическими функциями. Принцип Ле Шателье.

### **2.2. РАВНОВЕСИЕ В ГЕТЕРОГЕННЫХ СИСТЕМАХ**

Химическое равновесие в гетерогенных системах. Фазовое равновесие и правило фаз. Физико-химический анализ двухкомпонентных систем. Распределение третьего компонента между двумя несмешивающимися жидкостями. Экстракция. Сорбция. Поверхностно-активные вещества. Адсорбция. Адсорбционное равновесие. Гетерогенные дисперсные системы. Коллоидные системы и их получение. Строение коллоидных частиц. Агрегативная и кинетическая устойчивость систем. Коагуляция. Эмульсии. Суспензии.

### **2.3. ХИМИЧЕСКАЯ КИНЕТИКА**

Скорость химической реакции и ее зависимость от концентрации и температуры. Константа скорости реакции. Гомогенный катализ. Цепные реакции. Физические методы ускорения химических реакций. Скорость гетерогенных химических реакций. Гетерогенный катализ.

## **3. РАСТВОРЫ. ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ**

### **3.1. РАСТВОРЫ**

Типы растворов. Способы выражения концентрации растворов. Законы идеальных растворов. Растворы неэлектролитов и электролитов. Водные растворы электролитов. Сильные и слабые электролиты. Свойства растворов электролитов. Активность. Электролитическая диссоциация воды. Водородный показатель среды. Ионные реакции в растворах. Гидролиз солей. Диссоциация комплексных соединений. Гидролиз. Теория кислот и оснований.

### **3.2. ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ**

Окислительно-восстановительные процессы: определение, термодинамика, составление уравнений реакций. Определение, классификация электрохимических процессов. Законы Фарадея. Термодинамика электродных процессов. Понятие об электродных потенциалах. Гальванические элементы. ЭДС и ее измерение. Стандартный водородный электрод и водородная шкала потенциалов. Уравнение Нернста. Потенциалы металлических, газовых и окислительно-восстановительных электродов. Кинетика электродных процессов. Электрохимическая и концентрационная поляризация. Электролиз. Последовательность электродных процессов. Выход по току. Электролиз с нерастворимыми и растворимыми анодами. Практическое применение электролиза.

### **3.3. КОРРОЗИЯ И ЗАЩИТА МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ**

Основные виды коррозии. Химическая коррозия. Электрохимическая коррозия. Коррозия под действием блуждающих токов.

Методы защиты от коррозии, легирование, электрохимическая защита, защитные покрытия. Изменение свойств коррозионной среды. Ингибиторы коррозии.

## **4. СПЕЦИАЛЬНЫЕ РАЗДЕЛЫ ХИМИИ**

### **4.1. ХИМИЯ МЕТАЛЛОВ**

Зависимость свойств металлов от их положения в периодической системе Д.И. Менделеева. Интерметаллические соединения и твердые растворы металлов. Основные методы получения металлов. Физико-химические процессы при сварке и пайке металлов. Получение чистых металлов. Свойства *p*-металлов и их соединений. Свойства переходных металлов *d*-элементов IV-VII групп. Химия элементов семейства железа, их сплавы и химические соединения. Химия платиновых металлов. Химия металлов подгрупп меди и цинка.

### **4.2. ХИМИЯ НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ**

Неметаллы и полуметаллы. Зависимость свойств неметаллов от их положения в периодической таблице Д.И. Менделеева. Бор и его соединения. Элементы VI и VII групп и их соединения.

### **4.3. НЕОРГАНИЧЕСКАЯ ХИМИЯ *p*-ЭЛЕМЕНТОВ IV ГРУППЫ. ХИМИЯ ПОЛУПРОВОДНИКОВ**

Углерод и его аллотропные формы. Монооксид и диоксид углерода. Карбонаты. Силикаты. Стекла. Ситаллы. Фарфор, техническая и строительная керамика. Сверхпроводящие материалы. Элементные полупроводники. Полупроводниковые соединения. Физико-химические способы обработки полупроводников.

### **4.4. ХИМИЯ ВЯЖУЩИХ ВЕЩЕСТВ**

Определение и классификация вяжущих веществ и их свойства. Воздушные и гидравлические вяжущие вещества. Известковые и гипсовые вяжущие вещества. Портландцемент. Процессы схватывания и твердения. Бетон. Коррозия бетонов и методы борьбы с ней.

#### **4.5. ЭЛЕМЕНТЫ ОРГАНИЧЕСКОЙ ХИМИИ. ОРГАНИЧЕСКИЕ ПОЛИМЕРНЫЕ МАТЕРИАЛЫ**

Строение, классификация и свойства органических соединений. Углеводороды и их производные. Кремний-органические соединения. Состав и свойства органического топлива. Термохимия топлива. Твердое топливо и его переработка. Жидкое и газообразное топливо. Понятие о физико-химических процессах горения топлива. Химия смазочно-охлаждающих средств, применяемых при обработке металлов и сплавов. Физико-химические свойства и механизм воздействия рабочих сред гидравлических систем. Химия полимеров. Методы получения полимеров. Зависимость свойств полимеров от состава и структуры. Химия полимерных конструкционных материалов. Химия композиционных материалов. Полимерные покрытия и клеи. Химия полимерных диэлектриков. Химия полимерных проводников.

#### **4.6. ХИМИЯ ВОДЫ**

Строение молекул и свойства воды. Диаграмма состояния воды. Диаграммы плавкости систем типа вода — соль. Кристаллизация воды и водных растворов в различных условиях. Химические свойства воды. Взаимодействие воды с простыми веществами и химическими соединениями. Природные воды и их состав. Жесткость воды. Коллоидные вещества природных вод и их удаление. Умягчение и обессоливание воды. Методы осаждения, ионного обмена, мембранные методы.

#### **4.7. ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ В ЭНЕРГЕТИКЕ И МАШИНОСТРОЕНИИ**

Химические источники тока. Электрохимические генераторы. Электрохимические преобразователи (хемотроны). Электрохимическая обработка металлов и сплавов. Получение и свойства гальванопокрытий.

#### **4.8. ХИМИЯ И ОХРАНА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ**

Технический процесс и экологические проблемы. Роль химии в решении экологических проблем. Продукты горения топлива и

защита воздушного бассейна от загрязнений. Методы малоотходной технологии. Водородная энергетика. Получение и использование водорода. Охрана водного бассейна. Характеристика сточных вод. Методы очистки сточных вод. Методы замкнутого водооборота.

#### 4.9. ЯДЕРНАЯ ХИМИЯ. РАДИОХИМИЯ

Состав атомных ядер: изотопы. Радиоактивность. Радиоактивные ряды. Химическое воздействие ионизирующих излучений на вещества. Использование радиоактивных изотопов. Искусственная радиоактивность. Ядерные реакции. Ядерная энергетика. Химия тория, урана, плутония и других радиоактивных элементов и материалов.

#### Примерный перечень лабораторно-практических занятий

1. Электронная структура атомов. Периодическая система элементов Д.И. Менделеева.
2. Химическая связь в твердом теле.
3. Химическая связь и строение молекул.
4. Комплексные соединения.
5. Энергетика химических процессов и химическое сродство.
6. Определение теплоты нейтрализации и расчет энергии Гиббса реакции.
7. Скорость химических реакций.
8. Химическое равновесие.
9. Адсорбционное равновесие.
10. Концентрация растворов.
11. Свойства водных растворов электролитов.
12. Водородный показатель среды.
13. Гидролиз солей.
14. Окислительно-восстановительные реакции.
15. Восстановительные свойства металлов.
16. Физико-химический анализ: диаграмма кристаллизации двойной системы.
17. Электродвижущая сила и напряжение гальванических элементов.
18. Электролиз.
19. Коррозия металлов; защита металлов от коррозии.
20. Классы неорганических соединений.

21. Свойства соединений магния и кальция; жесткость воды.
22. Свойства алюминия и его соединений.
23. Соединения металлов побочных подгрупп.
24. Полимерные материалы.
25. Аккумуляторы.
26. Получение и свойства гальванопокрытий.
27. Хемотроны (электрические преобразователи).
28. Химия вяжущих веществ.
29. Умягчение и обессоливание воды.

В соответствии с профилем вуза перечень лабораторных работ может содержать и другие работы.

## ЛИТЕРАТУРА

### *Основная*

**Васильева З.Г., Грановская А.А., Таперова А.А.** Лабораторные работы по общей и неорганической химии.— Л.: Химия, 1986.

**Коровин Н.В.** Общая химия.— М: Высшая школа, 1998.

**Лабораторные работы по химии** / Под ред. Н.В. Коровина.— М: Высшая школа, 1998.

**Лучинский Г.П.** Курс химии.— М.: Высшая школа, 1985.

**Романцева Л.М., Лещинская ЗЛ., Суханова В.А.** Сборник задач и упражнений по общей химии.— М.: Высшая школа, 1990.

У гай Я. А. Общая и неорганическая химия. — М.: Высшая школа, 1997.

### *Дополнительная*

**Глинка Н.Л.** Общая химия.—Л.: Химия, 1977-1987.

**Глинка Н.Л.** Задачи и упражнения по общей химии.— Л.: Химия, 1985.

**Гольбрайх З.Е., Маслов Е.И.** Сборник задач и упражнений по химии.- М.: Высшая школа, 1997.

**Краткий справочник физико-химических величин** / Под ред. А.А. Равделя, А.М. Пономаревой.— Л.: Химия, 1983.

**Свойства неорганических соединений: Справочник** / А.И. Ефимов и др./.— Л.: Химия, 1983.

**Фролов В.В.** Химия.—М.: Высшая школа, 1986.

**Харин А.Н., Катаева И.А., Харина А.Т.** Курс химии.— М: Высшая школа, 1983.

# КОНТРОЛЬНЫЕ ЗАДАНИЯ

Каждый студент выполняет вариант заданий, обозначенный двумя последними цифрами номера студенческого билета (шифра). Например, номер студенческого билета 98594, две последние цифры 94, им соответствует вариант контрольного задания 94.

## КОНТРОЛЬНОЕ ЗАДАНИЕ № 1

### **Моль. Количество вещества эквивалента (эквивалент) и молярная масса эквивалента (эквивалентная масса) простых и сложных веществ. Закон эквивалентов**

С 1 января 1963 г. в СССР введена Международная система единиц измерения (СИ), состоящая из шести основных единиц: метр (м) — длина, килограмм (кг) — масса, секунда (с) — время, ампер (А) — сила тока, кельвин (К) — термодинамическая температура, кандела (кд) — сила света. XIV Генеральная конференция по мерам и весам (1971) утвердила в качестве седьмой основной единицы Международной системы моль (моль) — единицу количества вещества. *Моль равен количеству вещества системы, содержащей столько же структурных элементов, сколько содержится атомов в углероде-12 массой 0,012 кг.* При применении моля структурные элементы должны быть специфицированы и могут быть атомами, молекулами, ионами, электронами и другими частицами или специфицированными группами частиц. Моль вещества соответствует постоянной Авогадро  $N_A = (6,022045 \pm 0,000031)10^{23}$  моль<sup>-1</sup> структурных элементов. При применении понятия «моль» следует указывать, какие структурные элементы имеются в виду, например, моль атомов Н, моль молекул Н<sub>2</sub>, моль протонов, моль электронов и т.п. Так, заряд моля электронов равен  $6,022 \cdot 10^{23} \cdot e$  и отвечает количеству электричества, равному 1 фарадею (F). Масса моля атомов или масса моля молекул (молярная масса), выраженная в граммах (г/моль), есть грамм-атом данного элемента или

соответственно грамм-молекула данного вещества в прежнем понимании.

**Пример 1.** Выразите в молях: а)  $6,02 \cdot 10^{21}$  молекул  $\text{CO}_2$ ; б)  $1,20 \cdot 10^{24}$  атомов кислорода; в)  $2,00 \cdot 10^{23}$  молекул воды. Чему равна молярная масса указанных веществ?

*Решение.* Моль — это количество вещества, в котором содержится число частиц любого определенного сорта, равное постоянной Авогадро ( $6,02 \cdot 10^{23}$ ). Отсюда а)  $6,02 \cdot 10^{21}$ , т.е. 0,01 моль; б)  $1,20 \cdot 10^{24}$ , т.е. 2 моль; в)  $2,00 \cdot 10^{23}$ , т.е.  $7_3$  моль.

Масса моля вещества выражается в кг/моль или г/моль. Молярная масса вещества в граммах численно равна его относительной молекулярной (атомной) массе, выраженной в атомных единицах массы (а.е.м.).

Так как молекулярные массы  $\text{CO}_2$  и  $\text{H}_2\text{O}$  и атомная масса кислорода соответственно равны 44; 18 и 16 а.е.м., то их молярные массы равны: а) 44 г/моль; б) 18 г/моль; в) 16 г/моль.

**Пример 2.** Определите эквивалент ( $\Theta$ ) и молярную массу эквивалента  $m_e$  азота, серы и хлора в соединениях  $\text{NH}_3$ ,  $\text{H}_2\text{S}$  и  $\text{HCl}$ .

*Решение.* Масса вещества и количество вещества — понятия неидентичные. Масса выражается в килограммах (граммах), а количество вещества — в молях.

Эквивалент элемента ( $\Theta$ ) — это такое количество вещества, которое соединяется с 1 моль атомов водорода или замещает то же количество атомов водорода в химических реакциях. Масса эквивалента элемента называется молярной массой эквивалента ( $m_e$ ). Таким образом, эквиваленты (количество вещества эквивалента) выражаются в молях, а молярная масса эквивалента — в г/моль.

В данных соединениях с 1 моль атомов водорода соединяется  $1/3$  моль азота,  $1/2$  моль серы и 1 моль хлора. Отсюда  $\Theta(\text{N}) = 1/3$  моль,  $3(\text{S}) = 7_2$  моль,  $\Theta(\text{Cl}) = 1$  моль.

Исходя из молярных масс этих элементов, определяем их молярные массы эквивалентов:  $\text{От}\Theta(\text{N}) = 14 = 4,67$  г/моль;  $m_e(\text{S}) = 1/2 \cdot 32 = 16$  г/моль,  $m_e(\text{Cl}) = 1 \cdot 35,45 = 35,45$  г/моль.

**Пример 3.** На восстановление 7,09 г оксида двухвалентного металла требуется 2,24 л водорода (н.у.). Вычислите молярную массу эквивалента оксида и молярную массу эквивалента металла. Чему равна атомная масса металла?

Нормальные условия по Международной системе единиц (СИ): давление  $1,013 \cdot 10^5$  Па (760 мм рт. ст. = 1 атм), температура 273 К или  $0^\circ \text{C}$ .



*Решение.* Согласно закону эквивалентов массы (объемы) реагирующих веществ  $m_1$  и  $m_2$  пропорциональны их молярным массам (объемам):

$$\frac{m_1}{m_{Э(1)}} \text{ и } \frac{m_2}{m_{Э(2)}}, \quad (1)$$

$$\frac{m_{\text{MeO}}}{m_{Э(\text{MeO})}} = \frac{m_{\text{H}_2}}{m_{Э(\text{H}_2)}}. \quad (2)$$

Если одно из веществ находится в газообразном состоянии, то, как правило, его количество измеряется в объемных единицах ( $\text{см}^3$ , л,  $\text{м}^3$ ).

Объем, занимаемый при данных условиях молярной массой эквивалента газообразного вещества, называется молярным объемом эквивалента этого вещества. Молярный объем любого газа при н.у. равен 22,4 л. Отсюда эквивалентный объем водорода  $V_{m_{Э}\{\text{H}_2\}}$ , молекула которого состоит из двух атомов, т.е. содержит два моля атомов водорода, равен  $22,4 : 2 = 11,2$  л. В формуле (2) отношение  $m_{\text{H}_2} / m_{Э}\{\text{H}_2\}$  заменяем равным ему отношением  $V_{\text{H}_2} / V_{m_{Э}\{\text{H}_2\}}$  где  $V_{\text{H}_2}$  — объем водорода,  $V_{m_{Э}\{\text{H}_2\}}$  — эквивалентный объем водорода:

$$\frac{m_{\text{MeO}}}{m_{Э(\text{MeO})}} = \frac{V_{\text{H}_2}}{V_{m_{Э}\{\text{H}_2\}}}. \quad (3)$$

Из уравнения (3) находим молярную массу эквивалента оксида металла  $m_{Э(\text{MeO})}$ :

$$\frac{7,09}{m_{Э(\text{MeO})}} = \frac{2,24}{11,2}; \quad m_{Э(\text{MeO})} = \frac{7,09 \cdot 11,2}{2,24} = 35,45 \text{ г/моль}.$$

Согласно закону эквивалентов  $m_{Э(\text{MeO})} = m_{Э(\text{Me})} + m_{Э(\text{O}_2)}$ . Отсюда  $m_{Э(\text{Me})} = m_{Э(\text{MeO})} - m_{Э(\text{O}_2)} = 35,45 - 8 = 27,45$  г/моль. Молярная масса металла определяется из соотношения  $m_{Э} = A/B$ , где  $m_{Э}$  — молярная масса эквивалента,  $A$  — молярная масса металла,  $B$  — стехиометрическая валентность элемента;  $A = m_{Э}B = 27,45 \cdot 2 = 54,9$  г/моль. Так как относительная атомная масса в а.е.м. численно равна относительной молярной массе, выражаемой в г/моль, то искомая масса металла равна 54,9 а.е.м.

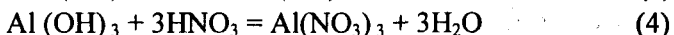
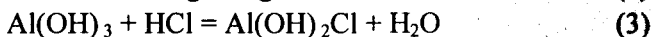
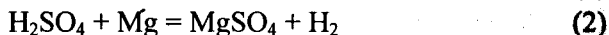
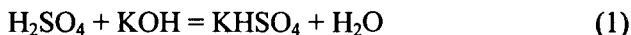
**Пример 4.** Сколько металла, эквивалентная масса которого 12,16 г/моль, взаимодействует с 310 см<sup>3</sup> кислорода (н.у.)?

*Решение.* Так как молярная масса O<sub>2</sub> (32 г/моль) при н.у. занимает объем 22,4 м, то объем молярной массы эквивалента кислорода (8 г/моль) будет равен 22,4 : 4 = 5,6 = 5600 см<sup>3</sup>. По закону эквивалентов

$$\frac{Me}{m_{\text{Э}}(Me)} = \frac{V_{O_2}}{V_{m_{\text{Э}}(O_2)}} \quad \text{или} \quad \frac{m_{Me}}{12,16} = \frac{310}{5600}$$

откуда  $m_{Me} = 12,16 \cdot 310 / 5600 = 0,673$  г.

**Пример 5.** Вычислите количество вещества эквивалентов и молярные массы эквивалентов H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> и Al(OH)<sub>3</sub> в реакциях



*Решение.* Молярная масса эквивалента сложного вещества, как и молярная масса эквивалента элемента, может иметь различные значения и зависит от того, в какую реакцию обмена вступает это вещество. Молярная масса эквивалента кислоты (основания) равна молярной массе  $\{M\}$ , деленной на число атомов водорода, замещенных в данной реакции на металл (на число вступающих в реакцию гидроксильных групп). Следовательно, эквивалентная масса H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> в реакции (1)  $M_{H_2SO_4} = 98$  г / моль, а в реакции (2)  $M_{H_2SO_4} / 2 = 49$  г / моль. Эквивалентная масса Al(OH)<sub>3</sub> в реакции (3)  $M_{Al(OH)_3} = 78$  г / моль, а в реакции (4)  $M_{Al(OH)_3} / 3 = 26$  г / моль.

Задачу можно решить и другим способом. Так как H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> взаимодействует с одной молярной массой эквивалента KOH и двумя молярными массами эквивалента магния, то ее молярная масса эквивалента равна в реакции (1)  $M$  г/моль и в реакции (2)  $M/2$  г/моль. Al(OH)<sub>3</sub> взаимодействует с одной молярной массой эквивалента HCl и тремя молярными массами эквивалента HNO<sub>3</sub>, поэтому его молярная масса эквивалента в реакции (3) равна  $M/1$  г/моль, в реакции (4)  $M/3$  г/моль. Количество вещества эквивалента H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> в уравнениях (1) и (2) соответственно равны 1 моль и 1/2 моль; количество вещества эквивалента Al(OH)<sub>3</sub> в уравнениях (3) и (4) соответственно равны 1 моль и 1/3 моль.

**Пример 6.** Из 3,85 г нитрата металла получено 1,60 г его гидроксида. Вычислите молярную массу эквивалента металла ( $m_{Э(Me)}$ ).

*Решение.* При решении задачи следует иметь в виду: а) молярная масса эквивалента гидроксида равна сумме молярных масс эквивалентов металла и гидроксильной группы; б) молярная масса эквивалента соли равна сумме молярных масс эквивалентов металла и кислотного остатка. Вообще молярная масса эквивалента химического соединения равна сумме молярных масс эквивалентов составляющих его частей.

Учитывая сказанное, подставляем соответствующие данные в уравнение (1) примера 3:

$$\frac{3,85}{1,60} = \frac{m_{Э(Me)} + m_{Э(NO_3^-)}}{m_{Э(Me)} + m_{Э(OH^-)}}, \quad \frac{3,85}{1,60} = \frac{m_{Э(Me)} + 62}{m_{Э(Me)} + 17},$$

$$m_{Э(Me)} = 15 \text{ г/моль.}$$

**Пример 7.** В какой массе  $\text{Ca(OH)}_2$  содержится столько же эквивалентных масс, сколько в 312 г  $\text{Al(OH)}_3$ ?

*Решение.* Молярная масса эквивалента  $\text{Al(OH)}_3$  равна  $1/3$  его молярной массы, т.е.  $78/3 = 26$  г/моль. Следовательно в 312 г  $\text{Al(OH)}_3$  содержится  $312/26 = 12$  эквивалентов. Молярная масса эквивалента  $\text{Ca(OH)}_2$  равна  $7_2$  его молярной массы, т.е. 37 г/моль. Отсюда 12 эквивалентов составляют  $37 \text{ г/моль} \cdot 12 \text{ моль} = 444 \text{ г}$ .

**Пример 8.** Вычислите абсолютную массу молекулы серной кислоты в граммах.

*Решение.* Моль любого вещества (см. пример 1) содержит постоянную Авогадро  $N_A$  структурных единиц ( в нашем примере молекул). Молярная масса  $\text{H}_2\text{SO}_4$  равна 98,0 г/моль. Следовательно, масса одной молекулы  $98/(6,02 \cdot 10^{23}) = 1,63 \cdot 10^{-22} \text{ г}$ .

## КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Определите количество вещества эквивалента и молярную массу эквивалентов фосфора, кислорода и брома в соединениях  $\text{PH}_3$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{HBr}$ .

2. В какой массе  $\text{NaOH}$  содержится тоже количество эквивалентов, что и в 140 г  $\text{KOH}$ . *Ответ:* 100 г.

3. Из 1,35 г оксида металла получается 3,15 г его нитрата. Вычислите молярную массу эквивалента этого металла. *Ответ:* 32,5 г/моль.

4. Из 1,3 гидроксида металла получается 2,85 г его сульфата. Вычислите молярную массу эквивалента этого металла. *Ответ:* 9 г/моль.

5. Оксид трехвалентного элемента содержит 31,58% кислорода. Вычислите молярную массу эквивалента, молярную и атомную массы этого элемента.

6. Чему равен при н.у. эквивалентный объем водорода? Вычислите молярную массу эквивалента металла, если на восстановление 1,017 г его оксида израсходовалось 0,28 л водорода (н.у.).  
*Ответ:* 32,68 г/моль.

7. Вычислите в молях: а)  $6,02 \cdot 10^{22}$  молекул  $C_2H_2$ ; б)  $1,80 \cdot 10^{24}$  атомов азота; в)  $3,01 \cdot 10^{23}$  молекул  $NH_3$ . Какова молярная масса указанных веществ?

8. Вычислите количество вещества эквивалента и молярную массу эквивалента  $H_3PO_4$  в реакциях образования: а) гидрофосфата; б) дигидрофосфата; в) ортофосфата.

9. В 2,48 г оксида одновалентного металла содержится 1,84 г металла. Вычислите молярную массу эквивалента металла и его оксида. Чему равна молярная и относительная атомная масса этого металла?

10. Чему равен при н.у. эквивалентный объем кислорода? На сжигание 1,5 г двухвалентного металла требуется 0,69 л кислорода (н.у.) Вычислите молярную массу эквивалента, молярную массу и относительную атомную массу этого металла.

11. Из 3,31 г нитрата металла получается 2,78 г его хлорида. Вычислите молярную массу эквивалента этого металла. *Ответ:* 103,6 г/моль.

12. Напишите уравнение реакций  $Fe(OH)_3$  с хлороводородной (соляной) кислотой, при которых образуются следующие соединения железа: а) хлорид дигидроксожелеза; б) дихлорид гидроксожелеза; в) трихлорид железа. Вычислите количество вещества эквивалента и молярную массу эквивалента  $Fe(OH)_3$  в каждой из этих реакций.

13. Избытком гидроксида калия подействовали на растворы: а) дигидрофосфата калия; б) нитрата дигидроксовисмута (III). Напишите уравнение реакций этих веществ с КОН и определите количество вещества эквивалентов и молярные массы эквивалента.

14. В каком количестве  $Cr(OH)_3$  содержится столько же эквивалентов, сколько в 174,96 г  $Mg(OH)_2$ ? *Ответ:* 205,99 г.

15. Избытком хлороводородной (соляной) кислоты подействовали на растворы: а) гидрокарбоната кальция; б) дихлорида гидроксоалюминия. Напишите уравнения реакций этих веществ с HCl и определите количество вещества эквивалентов и молярные массы эквивалента.

16. При окислении 16,74 г двухвалентного металла образовалось 21,54 г оксида. Вычислите молярные массы эквивалента металла и его оксида. Чему равны молярная и относительная атомная массы металла? *Ответ:* 27,9 г/моль; 35,9 г/моль; 55,8 г/моль; 55,8 а.е.м.

17. При взаимодействии 3,24 г трехвалентного металла с кислотой выделяется 4,03 л водорода (н.у.). Вычислите молярную массу эквивалента, молярную и относительную атомную массы металла.

18. Исходя из молярной массы углерода и воды, определите абсолютную массу атома углерода и молекулы воды в граммах. *Ответ:*  $2,0 \cdot 10^{-23}$  г;  $3,0 \cdot 10^{-23}$  г.

19. На нейтрализацию 9,797 г ортофосфорной кислоты израсходовано 7,998 г NaOH. Вычислите количество вещества эквивалента, молярную массу эквивалента и основность  $H_3PO_4$  в этой реакции. На основании расчета напишите уравнение реакции. *Ответ:* 0,5 моль; 49 г/моль; 2.

20. На нейтрализацию 0,943 г фосфористой кислоты  $H_3PO_3$  израсходовано 1,291 г KOH. Вычислите количество вещества эквивалента, молярную массу эквивалента и основность кислоты. На основании расчета напишите уравнение реакции. *Ответ:* 0,5 моль; 41 г/моль; 2.

## Строение атома

**Пример 1.** Что такое квантовые числа? Какие значения они могут принимать?

*Решение.* Движение электрона в атоме имеет вероятностный характер. Околоядерное пространство, в котором с наибольшей вероятностью (0,9-0,95) может находиться электрон, называется атомной орбиталью (АО). Атомная орбиталь, как любая геометрическая фигура, характеризуется тремя параметрами (координатами), получившими название квантовых чисел ( $n$ ,  $l$ ,  $m_l$ ). Квантовые числа принимают не любые, а определенные, дискретные (прерывные) значения. Соседние значения квантовых чисел различаются на единицу. Квантовые числа определяют размер ( $n$ ), форму ( $l$ ) и ориентацию ( $m_l$ ) атомной орбитали в пространстве. Занимая ту или иную атомную орбиталь, электрон образует электронное облако, которое у электронов одного и того же атома может иметь различную форму (рис. 1). Формы электронных облаков аналогичны АО. Их также называют

электронными или атомными орбиталями. Электронное облако характеризуется четырьмя числами ( $n$ ,  $l$ ,  $m_l$  и  $m_s$ ). Эти квантовые числа связаны с физическими свойствами электрона, и число  $n$  (главное квантовое число) характеризует энергетический (квантовый) уровень электрона; число  $l$  (орбитальное) — момент количества движения (энергетический подуровень), число  $m_l$  (магнитное) — магнитный момент,  $m_s$  — спин. Спин электрона возникает за счет вращения его вокруг собственной оси. Электроны в атоме должны отличаться хотя бы одним квантовым числом (принцип Паули), поэтому в АО могут находиться не более двух электронов, различающихся своими спинами  $m_s = \pm 1/2$ ). В табл. 1 приведены значения и обозначения квантовых чисел, а также число электронов на соответствующем энергетическом уровне и подуровне.

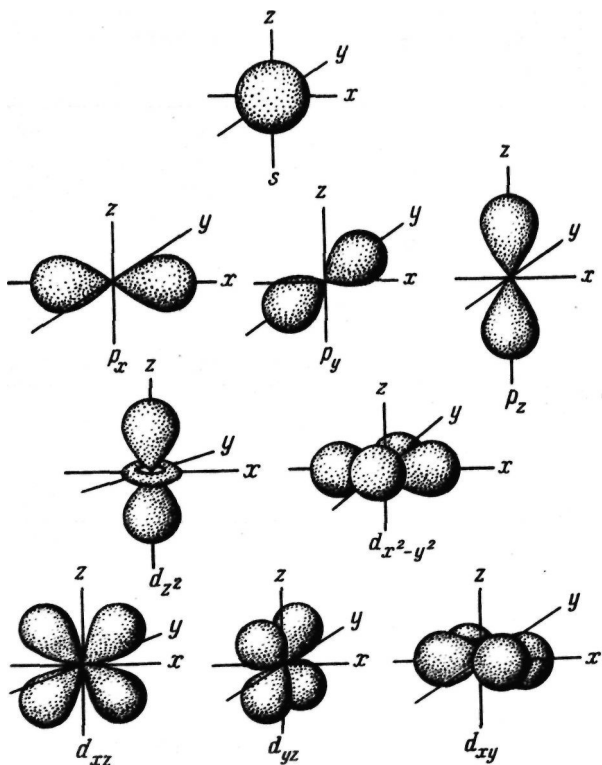


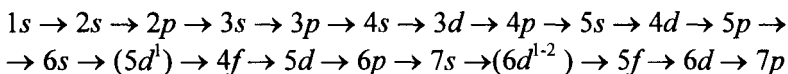
Рис. 1. Формы s-, p- и d-электронных облаков (орбиталей)

**Таблица 1. Значение квантовых чисел и максимальное число электронов на квантовых уровнях и подуровнях**

Квантовый				Магнитное квантовое число $m_l$ ;	Число квантовых состояний (орбиталей)		Максимальное число электронов	
уровень		подуровень			в подуровне $(2l+1)$	в уровне $n^2$	в подуровне $2(2l+1)$	в уровне $2n^2$
обозначение	главное квантовое число $n$	обозначение	орбитальное квантовое число $l$					
<b><i>K</i></b>	1	<i>s</i>	0	0	1	1	2	2
<b><i>L</i></b>	2	<i>s</i>	0	0	1	4	2	8
		<i>p</i>	1	-1;0;+1	3		6	
<b><i>M</i></b>	3	<i>s</i>	0	0	1	9	2	18
		<i>p</i>	1	-1;0;+1	3		6	
		<i>d</i>	2	-2;-1; 0+1;+2	5		10	
<b><i>N</i></b>	4	<i>s</i>	0	0	1	16	2	32
		<i>p</i>	1	-1;0;+1	3		6	
		<i>d</i>	2	-2;-1;0;+1;+2	5		10	
		/	3	-3;-2;-1;0;+1;+2;+3	7		14	

**Пример 2.** Составьте электронные формулы атомов элементов с порядковыми номерами 16 и 22. Покажите распределение электронов этих атомов по квантовым (энергетическим) ячейкам.

*Решение.* Электронные формулы отображают распределение электронов в атоме по энергетическим уровням, подуровням (атомным орбиталям). Электронная конфигурация обозначается группами символов  $n\ell^x$ , где  $n$  — главное квантовое число,  $\ell$  — орбитальное квантовое число (вместо него указывают соответствующее буквенное обозначение —  $s, p, d, f$ )  $x$  — число электронов в данном подуровне (орбитали). При этом следует учитывать, что электрон занимает тот энергетический подуровень, на котором он обладает наименьшей энергией — меньшая сумма  $n+l$  (правило Клечковского). Последовательность заполнения энергетических уровней и подуровней следующая:



Так как число электронов в атоме элемента равно его порядковому номеру в таблице Д.И. Менделеева, то для элементов № 16 (сера) и № 22 (титан) электронные формы имеют вид:

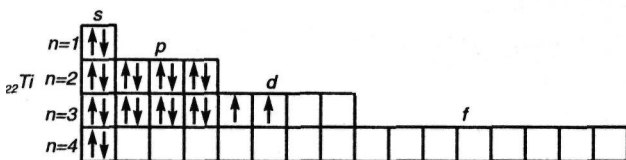
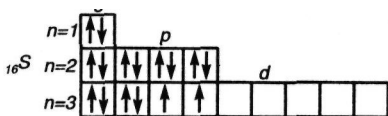


Электронная структура атома может быть изображена также в виде схем размещения электронов в квантовых (энергетических) ячейках, которые являются схематическим изображением атомных орбиталей (АО). Квантовую ячейку обозначают в виде прямоугольника □, кружка ○ или линейки —, а электроны в этих ячейках обозначают стрелками. В каждой квантовой ячейке может быть не более двух элементов с противоположными спинами:



В данном пособии применяют прямоугольники. Орбитали данного подуровня заполняются сначала по одному электрону с одинаковыми спинами, а затем по второму электрону с противоположными спинами (правило Хунда):

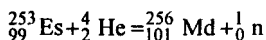




**Пример 3.** Изотоп 101-го элемента — менделевия (256) был получен бомбардировкой  $\alpha$ -частицами ядер атомов эйнштейния (253). Составьте уравнение этой ядерной реакции и напишите его в сокращенной форме.

*Решение.* Превращение атомных ядер обуславливается их взаимодействием с элементарными частицами или друг с другом. Ядерные реакции связаны с изменением состава ядер атомов химических элементов. С помощью ядерных реакций можно из атомов одних элементов получить атомы других.

Превращение атомных ядер как при естественной, так и при искусственной радиоактивности записывают в виде уравнений ядерных реакций. При этом следует помнить, что суммы массовых чисел (цифры, стоящие у символа элемента сверху слева) и алгебраические суммы зарядов (цифры, стоящие у символа элемента внизу слева) частиц в левой и правой частях равенства должны быть равны. Данную ядерную реакцию выражают уравнением



Часто применяют сокращенную форму записи. Для приведенной реакции она имеет вид:  ${}^{253}\text{Es} (\alpha, n) {}^{256}\text{Md}$ . В скобках пишут бомбардирующую частицу, а через запятую — частицу, образующуюся при данном процессе. В сокращенных уравнениях частицы  ${}_2^4\text{He}; {}_1^1\text{H}; {}_1^2\text{D}; {}_0^1\text{n}$  обозначают соответственно  $\alpha, p, d, n$ .

**Пример 4.** Исходя из сокращенных уравнений ядерных реакций (табл. 2), напишите их полные уравнения.

*Решение.* Ответ на вопрос см. в табл. 2.

Таблица 2. Сокращенные и полные уравнения ядерных реакций

Сокращенные уравнения	Полные уравнения
$^{27}\text{Al}(p, \alpha)^{24}\text{Mg}$	$^{27}_{13}\text{Al} + {}^1_1\text{H} = {}^{24}_{12}\text{Mg} + {}^4_2\text{He}$
${}^9\text{Be}(\alpha, n)^{12}\text{C}$	${}^9_4\text{Be} + {}^4_2\text{He} = {}^{12}_6\text{C} + {}^1_0\text{n}$
$^{59}\text{Co}(n, \alpha)^{56}\text{Mn}$	$^{59}_{27}\text{Co} + {}^1_0\text{n} = {}^{56}_{25}\text{Mn} + {}^4_2\text{He}$
$^{14}\text{N}(n, p)^{14}\text{C}$	$^{14}_7\text{N} + {}^1_0\text{n} = {}^{14}_6\text{C} + {}^1_1\text{H}$
$^{32}\text{S}(d, \alpha)^{30}\text{P}$	$^{32}_{16}\text{S} + {}^2_1\text{D} = {}^{30}_{15}\text{P} + {}^4_2\text{He}$

### КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

21. Напишите электронные формулы атомов элементов с порядковыми номерами 9 и 28. Покажите распределение элементов этих атомов по квантовым ячейкам. К какому электронному семейству относится каждый из этих элементов?

22. Напишите электронные формулы атомов элементов с порядковыми номерами 16 и 26. Распределите электроны этих атомов по квантовым ячейкам. К какому электронному семейству относится каждый из этих элементов?

23. Какое максимальное число электронов могут занимать  $s$ -,  $p$ -,  $d$ - и  $f$ -орбитали данного энергетического уровня? Почему? Напишите электронную формулу атома элемента с порядковым номером 31.

24. Напишите электронные формулы атомов элементов с порядковыми номерами 25 и 34. К какому электронному семейству относится каждый из этих элементов?

25. Какие орбитали атома заполняются электронами раньше:  $4s$  или  $3d$ ;  $5s$  или  $4p$ ? Почему? Напишите электронную формулу атома элемента с порядковым номером 21.

26. Изотоп никеля-57 образуется при бомбардировке  $\alpha$ -частицами ядер атомов железа-54. Составьте уравнение этой ядерной реакции и напишите его в сокращенной форме.

27. Какие орбитали атома заполняются электронами раньше:  $4d$  или  $5s$ ;  $6s$  или  $5p$ ? Почему? Напишите электронную формулу атома элемента с порядковым номером 43.

28. Что такое изотопы? Чем можно объяснить, что у большинства элементов периодической системы атомные массы

выражаются дробным числом? Могут ли атомы разных элементов иметь одинаковую массу? Как называются подобные атомы?

29. Изотоп кремния-30 образуется при бомбардировке  $\alpha$ -частицами ядер атомов алюминия-27. Составьте уравнение этой ядерной реакции и напишите его в сокращенной форме.

30. Напишите электронные формулы атомов элементов с порядковыми номерами 14 и 40. Сколько свободных  $3d$ -орбиталей у атомов последнего элемента?

31. Изотоп углерода-11 образуется при бомбардировке протонами ядер атомов азота-14. Составьте уравнение этой ядерной реакции и напишите его в сокращенной форме.

32. Напишите электронные формулы атомов элементов с порядковыми номерами 15 и 28. Чему равен максимальный спин  $p$ -электронов у атомов первого и  $d$ -электронов у атомов второго элемента?

33. Напишите электронные формулы атомов элементов с порядковыми номерами 21 и 23. Сколько свободных  $3d$ -орбиталей в атомах этих элементов?

34. Сколько и какие значения может принимать магнитное квантовое число  $m_l$  при орбитальном числе  $l = 0, 1, 2$  и  $3$ ? Какие элементы в периодической системе называют  $s$ -,  $p$ -,  $d$ - и  $f$ -элементами? Приведите примеры.

35. Какие значения могут принимать квантовые числа  $n, l, m_l$  и  $m_s$ , характеризующие состояние электронов в атоме? Какие значения они принимают для внешних электронов атома магния?

36. Какие из электронных формул, отражающих строение невозбужденного атома некоторого элемента неверны: а)  $1s^2 2s^2 2p^5 3s^1$ ; б)  $1s^2 2s^2 2p^6$ ; в)  $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^4$ ; г)  $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 4s^2$ ; д)  $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3d^2$ ? Почему? Атомам каких элементов отвечают правильно составленные электронные формулы?

37. Напишите электронные формулы атомов элементов с порядковыми номерами 24 и 33, учитывая, что у первого происходит «провал» одного  $4s$ -электрона на  $3d$ -подуровень. Чему равен максимальный спин  $d$ -электронов у атомов первого и  $p$ -электронов у атомов второго элемента?

38. Квантовые числа для электронов внешнего энергетического уровня атомов некоторых элементов имеют следующие значения:

$n = 4; l = 0; m_l = 0; m_s = \pm 1/2$ . Напишите электронные формулы атомов этих элементов и определите сколько свободных  $3d$ -орбиталей содержит каждый из них.

39. В чем заключается принцип Паули? Может ли быть на каком-нибудь подуровне атома  $p$ - или  $d^{12}$ -электронов? Почему? Составьте электронную формулу атома элемента с порядковым номером 22 и укажите его валентные электроны.

40. Составьте электронные формулы атомов элементов с порядковыми номерами 32 и 42, учитывая, что у последнего происходит «провал» одного  $5s$ -электрона на  $4d$ -подуровень. К какому электронному семейству относится каждый из этих элементов?

## Периодическая система элементов Д.И. Менделеева

**Пример 1.** Какую высшую и низшую степени окисления проявляют мышьяк, селен и бром? Составьте формулы соединений данных элементов, отвечающих этим степеням окисления.

*Решение.* Высшую степень окисления элемента определяет, как правило, номер группы периодической системы Д.И. Менделеева, в которой он находится. Низшая степень окисления определяется тем условным зарядом, который приобретает атом при присоединении того числа электронов, которое необходимо для образования устойчивой восьмиэлектронной оболочки ( $ns^2, np^6$ ).

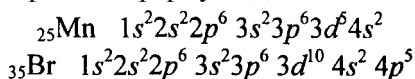
Данные элементы находятся соответственно в VA-, VIA-, VIIA-группах и имеют структуру внешнего энергетического уровня  $s^2p^3, s^2p^4$  и  $s^2p^5$ . Ответ на вопрос см. в табл. 3.

Таблица 3. Степени окисления мышьяка, селена, брома

Элемент	Степень окисления		Соединения
	высшая	низшая	
As	+5	-3	$H_3AsO_4; H_3As$
Se	+6	-2	$SeO_3; Na_2Se$
Br	+7	-1	$HBrO_4; KBr$

**Пример 2.** У какого из элементов четвертого периода — марганца или брома — сильнее выражены металлические свойства?

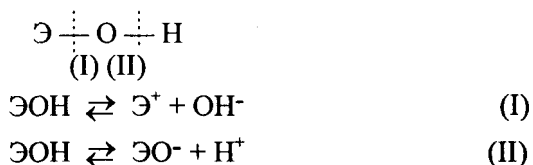
*Решение.* Электронные формулы данных элементов



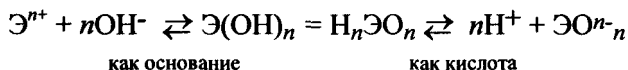
Марганец — (d-элемент VIII-группы, а бром — p-элемент VIIA-группы. На внешнем энергетическом уровне у атома марганца два электрона, а у атома брома — семь. Атомы типичных металлов характеризуются наличием небольшого числа электронов на внешнем энергетическом уровне, а следовательно, тенденцией терять эти электроны. Они обладают только *восстановительными* свойствами и не образуют элементарных отрицательных ионов. Элементы, атомы которых на внешнем энергетическом уровне содержат более трех электронов, обладают определенным сродством к электрону, а следовательно, приобретают отрицательную степень окисления и даже образуют элементарные отрицательные ионы. Таким образом, марганец, как и все металлы, обладает только восстановительными свойствами, тогда как для брома, проявляющего слабые восстановительные свойства, более свойственны *окислительные* функции. Общей закономерностью для всех групп, содержащих p- и d-элементы, является преобладание металлических свойств у d-элементов. Следовательно, металлические свойства у марганца сильнее выражены, чем у брома.

**Пример 3.** Как зависят кислотно-основные свойства оксидов и гидроксидов от степени окисления образующих их атомов? Какие гидроксиды называются амфотерными (амфолитами)?

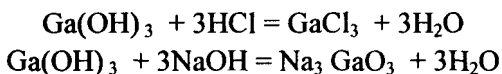
*Решение.* Если данный элемент проявляет переменную степень окисления и образует несколько оксидов и гидроксидов, то с увеличением степени окисления свойства последних меняются от основных к амфотерным и кислотным. Это объясняется характером электролитической диссоциации (ионизации) гидроксидов ЭОН, которая в зависимости от сравнительной прочности и полярности связей Э-О и О-Н может протекать по двум направлениям:



Полярность связей, в свою очередь, определяется разностью электроотрицательностей компонентов, размерами и эффективными зарядами атомов. Диссоциация по кислородному типу (II) протекает, если  $E_{O-H} \ll E_{Э-O}$  (высокая степень окисления), а по основному типу, если  $E_{O-H} \gg E_{Э-O}$  (низкая степень окисления). Если прочность связей O-H и Э-O близки или равны, то диссоциация гидроксида может одновременно протекать и по (I), и по (II) направлениям. В этом случае речь идет об амфотерных электролитах (амфолитах):



где Э — элемент;  $n$  — его положительная степень окисления. В кислой среде амфолит проявляет основной характер, а в щелочной среде — кислотный характер:



## КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

41. Исходя из положения германия и технеция в периодической системе, составьте формулы мета- и ортогерманиевой кислот, и оксида технеция, отвечающие их высшей степени окисления. Изобразите формулы этих соединений графически.

42. Что такое энергия ионизации? В каких единицах она выражается? Как изменяется восстановительная активность  $s$ - и  $p$ -элементов в группах периодической системы с увеличением порядкового номера? Почему?

43. Что такое электроотрицательность? Как изменяется электроотрицательность  $p$ -элементов в периоде, в группе периодической системы с увеличением порядкового номера? Почему?

44. Исходя из положения германия, молибдена и рения в периодической системе, составьте формулы водородного соединения германия, оксида молибдена и рениевой кислоты, отвечающие их высшей степени окисления. Изобразите формулы этих соединений графически.

45. Что такое сродство к электрону? В каких единицах оно выражается? Как изменяется окислительная активность неметаллов в периоде и в группе периодической системы с увеличением порядкового номера? Ответ мотивируйте строением атома соответствующего элемента.

46. Составьте формулы оксидов и гидроксидов элементов третьего периода периодической системы, отвечающих их высшей степени окисления. Как изменяется кислотно-основный характер этих соединений при переходе от натрия к хлору? Напишите уравнения реакций, доказывающих амфотерность гидроксида алюминия.

47. Какой из элементов четвертого периода — ванадий или мышьяк — обладает более выраженными металлическими свойствами? Какой из этих элементов образует газообразное соединение с водородом? Ответ мотивируйте, исходя из строения атомов данных элементов?

48. Марганец образует соединения, в которых он проявляет степень окисления +2, +3, +4, +6, +7. Составьте формулы его оксидов и гидроксидов, отвечающих этим степеням окисления. Напишите уравнения реакций, доказывающих амфотерность гидроксида марганца (IV).

49. У какого элемента четвертого периода — хрома или селена — сильнее выражены металлические свойства? Какой из этих элементов образует газообразное соединение с водородом? Ответ мотивируйте строением атомов хрома и селена.

50. Какую низшую степень окисления проявляют хлор, сера, азот и углерод? Почему? Составьте формулы соединений алюминия с данными элементами в этой степени окисления. Как называются соответствующие соединения?

51. У какого из р-элементов пятой группы периодической системы — фосфора или сурьмы — сильнее выражены неметаллические свойства? Какое из водородных соединений данных элементов более сильный восстановитель? Ответ мотивируйте строением атома этих элементов.

52. Исходя из положения металла в периодической системе, дайте мотивированный ответ на вопрос: какой из двух гидроксидов более сильное основание:  $\text{Ba}(\text{OH})_2$  или  $\text{Mg}(\text{OH})_2$ ;  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  или  $\text{Fe}(\text{OH})_2$ ;  $\text{Cd}(\text{OH})_2$  или  $\text{Sr}(\text{OH})_2$ ?

53. Исходя из степени окисления атомов соответствующих элементов, дайте мотивированный ответ на вопрос: какой из двух гидроксидов является более сильным основанием:  $\text{CuOH}$  ИЛИ  $\text{Si}(\text{OH})_2$ ;  $\text{Fe}(\text{OH})_2$  ИЛИ  $\text{Fe}(\text{OH})_3$ ;  $\text{Sn}(\text{OH})_2$  ИЛИ  $\text{Sn}(\text{OH})_4$ ? Напишите уравнения реакций, доказывающих амфотерность гидроксида олова (II).

54. Какую низшую степень окисления проявляют водород, фтор, сера и азот? Почему? Составьте формулы соединений кальция с данными элементами в этой степени окисления. Как называются соответствующие соединения?

55. Какую низшую и высшую степени окисления проявляют кремний, мышьяк, селен и хлор? Почему? Составьте формулы соединений данных элементов, отвечающих этим степеням окисления.

56. Хром образует соединения, в которых он проявляет степени окисления +2, +3, +6. Составьте формулы его оксидов и гидроксидов, отвечающих этим степеням окисления. Напишите уравнения реакций, доказывающих амфотерность гидроксида хрома (III).

57. Атомные массы элементов в периодической системе непрерывно увеличиваются, тогда как свойства простых тел изменяются периодически. Чем это можно объяснить? Дайте мотивированный ответ.

58. Какова современная формулировка периодического закона? Объясните, почему в периодической системе элементов аргон, кобальт, теллур и торий помещены соответственно перед калием, никелем, иодом и протактинием, хотя и имеют большую атомную массу?

59. Какую низшую и высшую степени окисления проявляют углерод, фосфор, сера и иод? Почему? Составьте формулы соединений данных элементов, отвечающих этим степеням окисления.

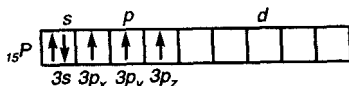
60. Атомы каких элементов четвертого периода периодической системы образуют оксид, отвечающий их высшей степени окисления  $\text{Э}_2\text{O}_3$ ? Какой из них дает газообразное соединение с водородом? Составьте формулы кислот, отвечающих этим оксидам и изобразите их графически?



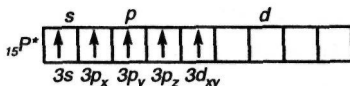
## Химическая связь и строение молекул. Конденсированное состояние вещества

**Пример 1.** Какую валентность, обусловленную неспаренными электронами (спинвалентность), может проявлять фосфор в нормальном и возбужденном (\*) состояниях?

*Решение.* Распределение электронов внешнего энергетического уровня фосфора ...  $3s^2 3p^3$  (учитывая правило Хунда,  $3s^2 3p_x 3p_y 3p_z$ ) по квантовым ячейкам имеет вид:



Атомы фосфора имеют свободные d-орбитали, поэтому возможен переход одного 3s-электрона в 3d-состояние:



Отсюда валентность (спинвалентность) фосфора в нормальном состоянии равна трем, а в возбужденном — пяти.

**Пример 2.** Что такое гибридизация валентных орбиталей? Какое строение имеют молекулы типа АВ<sub>n</sub>, если связь в них образуется за счет  $sp$ -,  $sp^2$ -,  $sp^3$ -гибридизации орбиталей атома А?

*Решение.* Теория валентных связей (ВС) предполагает участие в образовании ковалентных связей не только чистых АО, но и смешанных, так называемых гибридных, АО. При гибридизации первоначальная форма и энергия орбиталей (электронных облаков) взаимно изменяются и образуются орбитали (облака) новой одинаковой формы и с одинаковой энергией. Число гибридных орбиталей ( $q$ ) равно числу исходных. Ответ см. в табл. 4.

**Таблица 4. Гибридизация орбиталей и пространственная конфигурация молекул**

Тип молекулы	Исходные орбитали атома А	Тип гибридизации	Число гибридных орбиталей атома А	Пространственная конфигурация молекулы
АВ <sub>2</sub>	$s + p$	$sp$	2	Линейная
АВ <sub>3</sub>	$s + p + p$	$sp^2$	3	Треугольная
АВ <sub>4</sub>	$s + p + p + p$	$sp^3$	4	Тетраэдрическая

**Пример 3.** Как метод молекулярных орбиталей (МО) описывает строение двухатомных гомоядерных молекул элементов второго периода?

*Решение.* Метод валентных связей (ВС) не может объяснить целый ряд свойств и строение некоторых молекул (парамагнетизм молекулы  $O_2$ ; большую прочность связей в молекулярных ионах  $F_2^+$  и  $O_2^+$ , чем, соответственно, в молекулах  $F_2$  и  $O_2$ ; наоборот, меньшую прочность связи в ионе  $N_2^+$ , чем в молекуле  $N_2$ ; существование молекулярного иона  $He_2^+$  и неустойчивость молекулы  $He_2$  и т.п.). Более плодотворным оказался другой подход к объяснению ковалентной связи — метод молекулярных орбиталей (МО). В методе МО состояние молекулы описывается как совокупность электронных молекулярных орбиталей. При этом число молекулярных орбиталей равно сумме атомных орбиталей. Молекулярной орбитали, возникающей от сложения атомных орбиталей (АО), соответствует более низкая энергия, чем исходным орбиталям. Такая МО имеет повышенную электронную плотность в пространстве между ядрами, способствует образованию химической связи и называется *связывающей*. Молекулярной орбитали, образовавшейся от вычитания атомной, соответствует более высокая энергия, чем атомной орбитали. Электронная плотность в этом случае сконцентрирована за ядрами атомов, а между ними равна нулю. Подобные МО энергетически менее выгодны, чем исходные АО, они приводят к ослаблению химической связи и называются *разрыхляющими*. Электроны, занимающие связывающие и разрыхляющие орбитали, называют соответственно связывающими (св) и разрыхляющими (разр). Заполнение молекулярных орбиталей происходит при соблюдении принципа Паули и правила Хунда по мере увеличения их энергии в такой последовательности:

$$\sigma^{св} 1s < \sigma^{разр} 1s < \sigma^{св} 2s < \sigma^{разр} 2s < \sigma^{св} 2p_x < \pi^{св} 2p_y = \pi^{св} 2p_z < \pi^{разр} 2p_y = \pi^{разр} 2p_z < \sigma^{разр} 2p_x$$

На рис. 2 изображена энергетическая схема образования молекулярных орбиталей из атомных для двухатомных гомоядерных (одного и того же элемента) молекул элементов второго периода. Число связывающих и разрыхляющих электронов зависит от их числа в атомах исходных элементов.

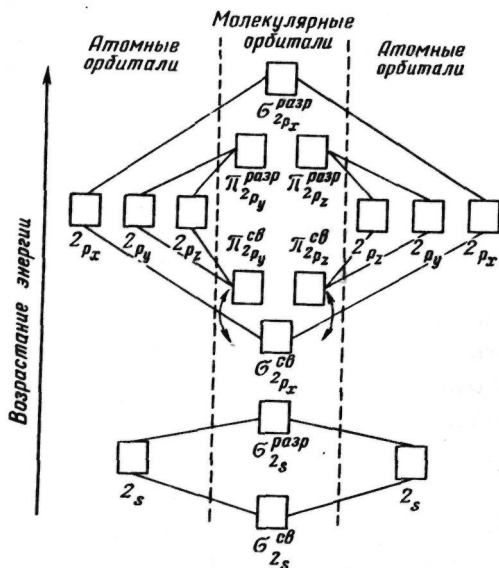


Рис. 2. Энергетическая схема образования молекулярных орбиталей и атомных для гомоядерных молекул второго периода

Следует отметить, что при образовании молекул  $B_2$ ,  $C_2$  и  $N_2$  энергия связывающей  $\sigma 2p_x$ -орбитали больше энергии связывающих  $\pi 2p_y$ - и  $\pi 2p_z$ -орбиталей, тогда как в молекулах  $O_2$  и  $F_2$ , наоборот, энергия связывающих  $\pi 2p_y$ - и  $\pi 2p_z$ -орбиталей больше энергии связывающей  $\sigma 2p_x$ -орбитали. Это нужно учитывать при изображении энергетических схем (см. рис. 2) соответствующих молекул.

Порядок связи в молекуле определяется разностью между числом связывающих и разрыхляющих электронов, деленной на два. Порядок связи может быть равен нулю (молекула не существует), целому или дробному положительному числу.

Подобно электронным формулам, показывающим распределение электронов в атоме по атомным орбиталям, в методе МО составляют формулы молекул, отражающие их электронную конфигурацию. По аналогии с атомными  $s$ -,  $p$ -,  $d$ -,  $f$ -орбиталями молекулярные орбитали обозначаются греческими буквами  $\sigma$ ,  $\pi$ ,  $\delta$ ,  $\phi$ . Так, электронная конфигурация молекулы  $O_2$  записывается следующим образом:

$$O_{JKK} (\sigma_s^{св})^2 (\sigma_s^{разр})^2 (\sigma_{p_x}^{св})^2 (\pi_{p_y}^{св})^2 \pi_{p_z}^{разр} \pi_{p_y}^{разр} \pi_{p_z}^{разр}.$$

Буквами КК показано, что четыре  $1s$ -электрона (два связывающих и два разрыхляющих) практически не оказывают влияния на химическую связь.

## КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

61. Какую химическую связь называют ковалентной? Чем можно объяснить направленность ковалентной связи? Как метод валентных связей (ВС) объясняет строение молекулы воды?

62. Какую ковалентную связь называют полярной? Что служит количественной мерой полярности ковалентной связи? Исходя из значений электроотрицательности атомов соответствующих элементов определите, какая из связей:  $\text{HCl}$ ,  $\text{ICl}$ ,  $\text{BrF}$  — наиболее полярна.

63. Какой способ образования ковалентной связи называют донорно-акцепторным? Какие химические связи имеются в ионах  $\text{NH}_4^+$  и  $\text{BF}_4^-$ ? Укажите донор и акцептор.

64. Как метод валентных связей (ВС) объясняет линейное строение молекулы  $\text{BeCl}_2$  и тетраэдрическое  $\text{CH}_4$ ?

65. Какую ковалентную связь называют  $\sigma$ -связью и какую  $\pi$ -связью? Разберите на примере строения молекулы азота.

66. Сколько неспаренных электронов имеет атом хлора в нормальном и возбужденном состояниях? Распределите эти электроны по квантовым ячейкам. Чему равна валентность хлора, обусловленная неспаренными электронами?

67. Распределите электроны атома серы по квантовым ячейкам. Сколько неспаренных электронов имеют ее атомы в нормальном и возбужденном состояниях? Чему равна валентность серы, обусловленная неспаренными электронами?

68. Что называют электрическим моментом диполя? Какая из молекул  $\text{HCl}$ ,  $\text{HBr}$ ,  $\text{HI}$  имеет наибольший момент диполя? Почему?

69. Какие кристаллические структуры называют ионными, атомными, молекулярными и металлическими? Кристаллы каких веществ — алмаз, хлорид натрия, диоксид углерода, цинк — имеют указанные структуры?

70. Как метод валентных связей (ВС) объясняет угловое строение молекулы  $\text{H}_2\text{S}$  и линейное молекулы  $\text{CO}_2$ ?

71. Нарисуйте энергетическую схему образования молекулы  $\text{He}_2$  и молекулярного иона  $\text{He}_2^+$  по методу молекулярных орбиталей. Как метод МО объясняет устойчивость иона  $\text{He}_2^+$  и невозможность существования молекулы  $\text{He}_2$ ?

72. Какую химическую связь называют водородной? Между молекулами каких веществ она образуется? Почему  $\text{H}_2\text{O}$  и  $\text{HF}$ , имея меньшую молекулярную массу, плавятся и кипят при более высоких температурах, чем их аналоги?

73. Какую химическую связь называют ионной? Каков механизм ее образования? Какие свойства ионной связи отличают ее от ковалентной? Приведите два примера типичных ионных соединений. Напишите уравнения превращения соответствующих ионов в нейтральные атомы.

74. Что следует понимать под степенью окисления атома? Определите степень окисления атома углерода и его валентность, обусловленную числом неспаренных электронов, в соединениях  $\text{CH}_4$ ,  $\text{CH}_3\text{OH}$ ,  $\text{HCOOH}$ ,  $\text{CO}_2$ .

75. Какие силы молекулярного взаимодействия называют ориентационными, индукционными и дисперсионными? Когда возникают эти силы и какова их природа?

76. Нарисуйте энергетическую схему образования молекулярного иона  $\text{H}_2^+$  и молекулы  $\text{H}_2$  по методу молекулярных орбиталей. Где энергия связи больше? Почему?

77. Какие электроны атома бора участвуют в образовании ковалентных связей? Как метод валентных связей (ВС) объясняет симметричную треугольную форму молекулы  $\text{BF}_3$ ?

78. Нарисуйте энергетическую схему образования молекулы  $\text{O}_2$  по методу молекулярных орбиталей (МО). Как метод МО объясняет парамагнитные свойства молекулы кислорода?

79. Нарисуйте энергетическую схему образования молекулы  $\text{F}_2$  по методу молекулярных орбиталей (МО). Сколько электронов находится на связывающих и разрыхляющих орбиталях? Чему равен порядок связи в этой молекуле?

80. Нарисуйте энергетическую схему образования молекулы  $\text{N}_2$  по методу молекулярных орбиталей (МО). Сколько электронов находится на связывающих и разрыхляющих орбиталях? Чему равен порядок связи в этой молекуле?

## Энергетика химических процессов (термохимические расчеты)

При решении задач этого раздела см. табл. 5.

Науку о взаимных превращениях различных видов энергии называют термодинамикой. Термодинамика устанавливает законы этих превращений, а также направление самопроизвольного течения различных процессов в данных условиях.

При химических реакциях происходят глубокие качественные изменения в системе, рвутся связи в исходных веществах и возникают новые связи в конечных продуктах. Эти изменения сопровождаются поглощением или выделением энергии. В большинстве случаев этой энергией является теплота. Раздел термодинамики, изучающий тепловые эффекты химических реакций, называют *термохимией*. Реакции, которые сопровождаются выделением теплоты, называют *экзотермическими*, а те, которые сопровождаются поглощением теплоты, — *эндотермическими*. Теплота реакции является, таким образом, мерой изменения свойств системы, и знание ее может иметь большое значение при определении условий протекания той или иной реакции.

При любом процессе соблюдается закон сохранения энергии как проявление более общего закона природы — закона сохранения материи. Теплота  $Q$ , поглощенная системой, идет на изменение ее внутренней энергии  $\Delta U$  и на совершение работы  $A$ :

$$Q = \Delta U + A.$$

*Внутренняя энергия системы  $U$*  — это общий ее запас, включающий энергию поступательного и вращательного движений молекул, энергию внутримолекулярных колебаний атомов и атомных групп, энергию движения электронов, внутриядерную энергию и т.д. Внутренняя энергия — полная энергия системы без потенциальной энергии, обусловленной положением системы в пространстве, и без кинетической энергии системы как целого. Абсолютное значение внутренней энергии  $U$  веществ неизвестно, так как нельзя привести систему в состояние, лишенное энергии. Внутренняя энергия, как и любой вид энергии, является функцией состояния, т.е. ее изменение одно-

значно определяется начальным и конечным состояниями системы и не зависит от пути перехода, по которому протекает процесс:  $\Delta U = U_2 - U_1$ , где  $\Delta U$  — изменение внутренней энергии системы при переходе из начального состояния  $U_1$  в конечное  $U_2$ . Если  $U_2 > U_1$ , то  $\Delta U > 0$ . Если  $U_2 < U_1$ , то  $\Delta U < 0$ .

Теплота и работа функциями состояния не являются, ибо они служат формами передачи энергии и связаны с процессом, а не с состоянием системы. При химических реакциях  $A$  — это работа против внешнего давления, т.е. в первом приближении  $A = p\Delta V$ , где  $\Delta V$  — изменение объема системы ( $V_2 - V_1$ ). Так как большинство химических реакций проходит при постоянном давлении, то для изобарно-изотермического процесса ( $p = \text{const}$ ,  $T = \text{const}$ ) теплота  $Q_p$  будет равна:

$$\begin{aligned} Q_p &= \Delta U + p\Delta V, \\ Q_p &= (U_2 - U_1) + p(V_2 - V_1); \\ Q_p &= (U_2 + pV_2) - (U_1 + pV_1). \end{aligned}$$

Сумму  $U + pV$  обозначим через  $H$ , тогда

$$Q_p = H_2 - H_1 = \Delta H.$$

Величину  $H$  называют *энтальпией*. Таким образом, теплота при  $p = \text{const}$  и  $T = \text{const}$  приобретает свойство функции состояния и не зависит от пути, по которому протекает процесс. Отсюда теплота реакции в изобарно-изотермическом процессе  $Q_p$  равна изменению энтальпии системы  $\Delta H$  (если единственным видом работы является работа расширения):

$$Q_p = \Delta H.$$

Энтальпия, как и внутренняя энергия, является функцией состояния: ее изменение ( $\Delta H$ ) определяется только начальным и конечным состояниями системы и не зависит от пути перехода. Нетрудно видеть, что теплота реакции в изохорно-изотермическом процессе ( $V = \text{const}$ ;  $T = \text{const}$ ), при котором  $\Delta V = 0$ , равна изменению внутренней энергии системы:

$$Q_V = \Delta U.$$

Теплоты химических процессов, протекающих при  $p$ ,  $T = \text{const}$ ,  $V$ ,  $T = \text{const}$ , называют *тепловыми эффектами*.

При экзотермических реакциях энтальпия системы уменьшается и  $\Delta H < 0$  ( $H_2 < H_1$ ), а при эндотермических энтальпия системы увеличивается и  $\Delta H > 0$  ( $H_2 > H_1$ ). В дальнейшем тепловые эффекты всюду выражаются через  $\Delta H$ .

Термохимические расчеты основаны на законе Гесса (1840): *тепловой эффект реакции зависит только от природы и физического состояния исходных веществ и конечных продуктов, но не зависит от пути перехода.*

Часто в термохимических расчетах применяют следствие из закона Гесса: *тепловой эффект реакции ( $\Delta H_{x,p}$ ) равен сумме теплот образования  $\Delta H_{\text{обр}}$  продуктов реакции за вычетом суммы теплот образования исходных веществ с учетом коэффициентов перед формулами этих веществ в уравнении реакции*

$$\Delta H_{x,p} = \sum \Delta H_{\text{обр}}^{\text{прод}} - \sum \Delta H_{\text{обр}}^{\text{исх}}. \quad (1)$$

**Пример 1.** При взаимодействии кристаллов хлорида фосфора (V) с парами воды образуется жидкий  $\text{POCl}_3$  и хлороводород. Реакция сопровождается выделением 111,4 кДж теплоты. Напишите термохимическое уравнение этой реакции.

*Решение.* Уравнения реакций, в которых около символов химических соединений указываются их агрегатные состояния или кристаллическая модификация, а также числовое значение тепловых эффектов, называют термохимическими. В термохимических уравнениях, если это специально не оговорено, указываются значения тепловых эффектов при постоянном давлении  $Q_p$ , равные изменению энтальпии системы  $\Delta H$ . Значение  $\Delta H$  приводят обычно в правой части уравнения, отделяя его запятой или точкой с запятой. Приняты следующие сокращенные обозначения агрегатного состояния вещества: г — газообразное, ж — жидкое, к — кристаллическое. Эти символы опускаются, если агрегатное состояние веществ очевидно.

Если в результате реакции выделяется теплота, то  $\Delta H < 0$ . Учитывая сказанное, составляем термохимическое уравнение данной в примере реакции:

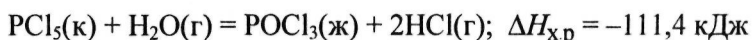
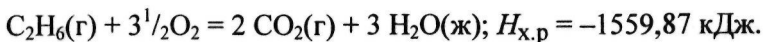




Таблица 5. Стандартные теплоты (энтальпии) образования  $\Delta H_{298}^0$ 

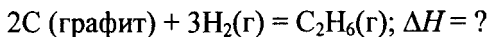
некоторых веществ					
Вещество	Состояние	$\Delta H_{298}^0$ , кДж/моль	Вещество	Состояние	$\Delta H_{298}^0$ , кДж/моль
C <sub>2</sub> H <sub>2</sub>	г	+226,75	CO	г	-110,52
CS <sub>2</sub>	г	+115,28	CH <sub>3</sub> OH	г	-201,17
NO	г	+90,37	C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH	г	-235,31
C <sub>6</sub> H <sub>6</sub>	г	+82,93	H <sub>2</sub> O	г	-241,83
C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	г	+52,28	H <sub>2</sub> O	ж	-285,84
H <sub>2</sub> S	г	-20,15	NH <sub>4</sub> Cl	к	-315,39
NH <sub>3</sub>	г	-46,19	CO <sub>2</sub>	г	-393,51
CH <sub>4</sub>	г	-74,85	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	к	-822,10
C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	г	-84,67	TiO <sub>2</sub>	к	-943,90
HCl	г	-92,31	Ca(OH) <sub>2</sub>	к	-986,50
			Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	к	-1669,80

**Пример 2.** Реакция горения этана выражается термохимическим уравнением

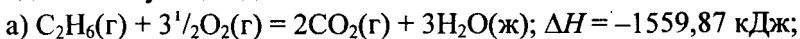


Вычислите теплоту образования этана, если известны теплоты образования CO<sub>2</sub>(г) и H<sub>2</sub>O(ж) (см. табл. 5).

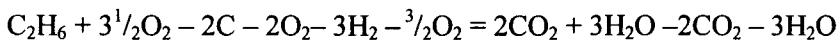
*Решение.* Теплотой образования (энтальпией) данного соединения называют тепловой эффект реакции образования 1 моль этого соединения из простых веществ, взятых в их устойчивом состоянии при данных условиях. Обычно теплоту образования относят к стандартному состоянию, т.е. 25 С (298 К) и 1,013 · 10<sup>5</sup> Па и обозначают через  $\Delta H_{298}^0$ . Так как тепловой эффект с температурой изменяется незначительно, то в дальнейшем индексы опускаются и тепловой эффект обозначается через  $\Delta H$ . Следовательно, нужно вычислить тепловой эффект реакции, термохимическое уравнение которой имеет вид



исходя из следующих данных:



На основании закона Гесса с термохимическими уравнениями можно оперировать так же, как и с алгебраическими. Для получения искомого результата следует уравнение (б) умножить на 2, уравнение (в) — на 3, а затем сумму этих уравнений вычислить из уравнения (а):



$$\Delta H = -1559,87 - 2(-393,51) - 3(-285,84) = +84,67 \text{ кДж};$$

$$\Delta H = -1559,87 + 787,02 + 857,52;$$

$$\text{C}_2\text{H}_6 = 2\text{C} + 3\text{H}_2; \Delta H = + 84,67 \text{ кДж.}$$

Так как теплота образования равна теплоте разложения с обратным знаком, то  $\Delta H_{\text{C}_2\text{H}_6(\text{г})}^{\text{обр}} = -84,67 \text{ кДж}$ . К тому же результату придем, если для решения задачи применить вывод из закона Гесса:

$$\Delta H_{\text{х.р}} = 2\Delta H_{\text{CO}_2} + 3\Delta H_{\text{H}_2\text{O}} - \Delta H_{\text{C}_2\text{H}_6} - 3\frac{1}{2}\Delta H_{\text{O}_2}$$

Учитывая, что теплоты образования простых веществ условно приняты равными нулю

$$\Delta H_{\text{C}_2\text{H}_6} = 2\Delta H_{\text{CO}_2} + 3\Delta H_{\text{H}_2\text{O}} - \Delta H_{\text{х.р}}$$

$$\Delta H_{\text{C}_2\text{H}_6} = 2(-393,51) + 3(-285,84) + 1559,87 = -84,67;$$

$$\Delta H_{\text{C}_2\text{H}_6(\text{г})}^{\text{обр}} = -84,67 \text{ кДж.}$$

**Пример 3.** Реакция горения этилового спирта выражается термохимическим уравнением



Вычислите тепловой эффект реакции, если известно, что молярная теплота парообразования  $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}(\text{ж})$  равна  $+42,36 \text{ кДж}$ , а теплоты образования  $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}(\text{г})$ ,  $\text{CO}_2(\text{г})$ ,  $\text{H}_2\text{O}(\text{ж})$  см. табл. 5.

*Решение.* Для определения  $\Delta H$  реакции необходимо знать теплоту образования  $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}(\text{ж})$ . Последнюю находим из данных:

$$\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}(\text{ж}) = \text{C}_2\text{H}_5\text{OH}(\text{г}); \Delta H = +42,36 \text{ кДж}$$

$$+42,36 = -235,31 - \Delta H_{\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}(\text{ж})};$$

$$\Delta H_{\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}(\text{ж})} = -235,31 - 42,36 = -277,67 \text{ кДж.}$$

Вычисляем  $\Delta H$  реакции, применяя следствия из закона Гесса:

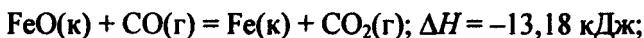
$$\Delta H_{\text{х.р}} = 2(-393,51) + 3(-285,84) + 277,67 = -1366,87 \text{ кДж.}$$

## КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

81. Вычислите количество теплоты, которое выделится при восстановлении  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  металлическим алюминием, если было получено 335,1 г железа. *Ответ:* 2543,1 кДж.

82. Газообразный этиловый спирт  $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$  можно получить при взаимодействии этилена  $\text{C}_2\text{H}_4$  (г) и водяных паров. Напишите термохимическое уравнение этой реакции, предварительно вычислив ее тепловой эффект. *Ответ:* -45,76 кДж.

83. Вычислите тепловой эффект реакции восстановления оксида железа (II) водородом, исходя из следующих термохимических уравнений:

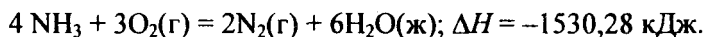
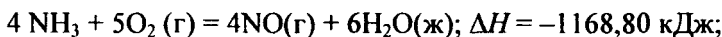


*Ответ:* +27,99 кДж.

84. При взаимодействии газообразных сероводорода и диоксида углерода образуются пары воды и сероуглерод  $\text{CS}_2$ (г). Напишите термохимическое уравнение этой реакции, предварительно вычислите ее тепловой эффект. *Ответ:* +65,43 кДж.

85. Напишите термохимическое уравнение реакции между  $\text{CO(г)}$  и водородом, в результате которой образуются  $\text{CH}_4$ (г) и  $\text{H}_2\text{O(г)}$ . Сколько теплоты выделится при этой реакции, если было получено 67,2 л метана в пересчете на нормальные условия? *Ответ:* 618,48 кДж.

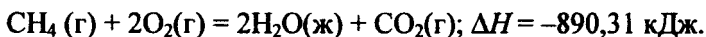
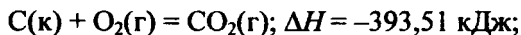
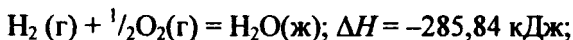
86. Тепловой эффект какой реакции равен теплоте образования  $\text{NO}$ ? Вычислите теплоту образования  $\text{NO}$ , исходя из следующих термохимических уравнений:



*Ответ:* 90,37 кДж.

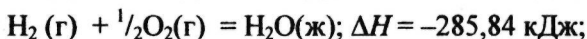
87. Кристаллический хлорид аммония образуется при взаимодействии газообразных аммиака и хлороводорода. Напишите термохимическое уравнение этой реакции, предварительно вычислив ее тепловой эффект. Сколько теплоты выделится, если в реакции было израсходовано 10 л аммиака в пересчете на нормальные условия? *Ответ:* 78,97 кДж.

88. Тепловой эффект какой реакции равен теплоте образования метана? Вычислите теплоту образования метана, исходя из следующих термохимических уравнений:



*Ответ:* -74,88 кДж.

89. Тепловой эффект какой реакции равен теплоте образования гидроксида кальция? Вычислите теплоту образования гидроксида кальция, исходя из следующих термохимических уравнений:



*Ответ:* -986,50 кДж.

90. Тепловой эффект реакции сгорания жидкого бензина с образованием паров воды и диоксида углерода равен -3135,58 кДж. Составьте термохимическое уравнение этой реакции и вычислите теплоту образования  $\text{C}_6\text{H}_6(\text{ж})$ . *Ответ:* +49,03 кДж.

91. Вычислите, сколько теплоты выделится при сгорании 165 л (н.у.) ацетилена  $\text{C}_2\text{H}_2$ , если продуктами сгорания являются диоксид углерода и пары воды? *Ответ:* 924,88 кДж.

92. При сгорании газообразного аммиака образуются пары воды и оксид азота. Сколько теплоты выделится при этой реакции, если было получено 44,8 л  $\text{N}_2$  в пересчете на нормальные условия? *Ответ:* 452,37 кДж.

93. Реакция горения метилового спирта выражается термохимическим уравнением



Вычислите тепловой эффект этой реакции, если известно, что молярная теплота парообразования  $\text{CH}_3\text{OH}(\text{ж})$  равна +37,4 кДж. *Ответ:* -726,62 кДж.

94. При сгорании 11,5 г жидкого этилового спирта выделилось 308,71 кДж теплоты. Напишите термохимическое уравнение реакции, в результате которой образуются пары воды и диоксид углерода. Вычислите теплоту образования  $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}(\text{ж})$ . *Ответ:* -277,67 кДж.

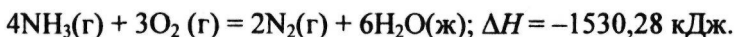
95. Реакция горения бензола выражается термохимическим уравнением



Вычислите тепловой эффект этой реакции, если известно, что молярная теплота парообразования бензола равна +33,9 кДж.  
*Ответ:* -3135,58 кДж.

96. Вычислите тепловой эффект и напишите термохимическое уравнение реакции горения 1 моль этана ( $\text{C}_2\text{H}_6$ ), в результате которой образуются пары воды и диоксид углерода. Сколько теплоты выделится при сгорании 1 м<sup>3</sup> этана в пересчете на нормальные условия? *Ответ:* 63742,86 кДж.

97. Реакция горения аммиака выражается термохимическим уравнением



Вычислите теплоту образования  $\text{NH}_3$ (г). *Ответ:* -46,19 кДж/моль.

98. При взаимодействии 6,3 г железа с серой выделилось 11,31 кДж теплоты. Вычислите теплоту образования сульфида железа FeS. *Ответ:* -100,26 кДж/моль.

99. При сгорании 1 л ацетилена (н.у) выделяется 56,053 кДж теплоты. Напишите термохимическое уравнение реакции, в результате которой образуются пары воды и диоксида углерода. Вычислите теплоту образования  $\text{C}_2\text{H}_2$ (г). *Ответ:* 226,75 кДж/моль.

100. При получении молярной массы эквивалента гидроксида кальция из  $\text{CaO}$ (к) и  $\text{H}_2\text{O}$ (ж) выделяется 32,53 кДж теплоты. Напишите термохимическое уравнение этой реакции и вычислите теплоту образования оксида кальция. *Ответ:* -635,6 кДж.

## Химическое сродство

При решении задач этого раздела см. табл. 5-7.

Самопроизвольно могут протекать реакции, сопровождающиеся не только выделением, но и поглощением теплоты.

Реакция, идущая при данной температуре с выделением теплоты, при другой температуре проходит с поглощением теплоты. Здесь проявляется диалектический закон единства и

борьбы противоположностей. С одной стороны, система стремится к упорядочению (агрегации), к уменьшению  $H$ ; с другой стороны, система стремится к беспорядку (деагрегации). Первая тенденция растет с понижением, а вторая — с повышением температуры. Тенденцию к беспорядку характеризует величина, которую называют *энтропией*.

Энтропия  $S$ , так же как внутренняя энергия  $U$ , энтальпия  $H$ , объем  $V$  и др., является свойством вещества, пропорциональным его количеству.  $S, U, H, V$  обладают аддитивными свойствами, т.е. при соприкосновении системы суммируются. Энтропия отражает движение частиц вещества и является *мерой неупорядоченности системы*. Она возрастает с увеличением движения частиц: при нагревании, испарении, плавлении, расширении газа, при ослаблении или разрыве связей между атомами и т.п. Процессы, связанные с упорядоченностью системы: конденсация, кристаллизация, сжатие, упрочнение связей, полимеризация и т.п.— ведут к уменьшению энтропии. Энтропия является функцией состояния, т.е. ее изменение ( $\Delta S$ ) зависит только от начального ( $S_1$ ) и конечного ( $S_2$ ) состояний и не зависит от пути процесса:

$$\Delta S_{x,p} = \Sigma S_{\text{прод}}^0 - \Sigma S_{\text{исх}}^0 \quad (2)$$

$\Delta S = S_2 - S_1$ . Если  $S_2 > S_1$ , то  $\Delta S > 0$ . Если  $S_2 < S_1$ , то  $\Delta S < 0$ .

Так как энтропия увеличивается с повышением температуры, то можно считать, что мера беспорядка равна  $\approx T\Delta S$ . Энтропия выражается в Дж/(мольК). Таким образом, движущая сила процесса складывается из двух сил: стремления к упорядочению ( $H$ ) и стремления к беспорядку ( $TS$ ). При  $p = \text{const}$  и  $\Gamma = \text{const}$  общую движущую силу процесса, которую обозначают  $\Delta G$ , можно найти из соотношения

$$\Delta G = (H_2 - H_1) - (TS_2 - TS_1); \Delta G = \Delta H - T\Delta S.$$

Величина  $G$  называется изобарно-изотермическим потенциалом или энергией Гиббса. Итак, мерой химического сродства является убыль энергии Гиббса ( $\Delta G$ ), которая зависит от природы вещества, его количества и температуры. Энергия Гиббса является функцией состояния, поэтому

$$\Delta G_{x,p} = \Sigma \Delta G_{\text{обр}}^{\text{прод}} - \Sigma \Delta G_{\text{обр}}^{\text{исх}} \quad (3)$$

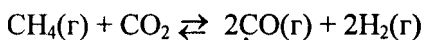
Самопроизвольно протекающие процессы идут в сторону уменьшения потенциала и, в частности, в сторону уменьшения  $\Delta G$ . Если  $\Delta G < 0$ , процесс принципиально осуществим; если  $\Delta G > 0$ , процесс самопроизвольно проходить не может. Чем меньше  $\Delta G$ , тем сильнее стремление к протеканию данного процесса и тем дальше он от состояния равновесия, при котором  $\Delta G = 0$  и  $\Delta H = T\Delta S$ .

Из соотношения  $\Delta G = \Delta H - T\Delta S$  видно, что самопроизвольно могут протекать и процессы, для которых  $\Delta H > 0$  (эндотермические). Это возможно, когда  $\Delta S > 0$ , но  $|T\Delta S| > |\Delta H|$  и тогда  $\Delta G < 0$ . С другой стороны, экзотермические реакции ( $\Delta H < 0$ ) самопроизвольно не протекают, если при  $\Delta S < 0$  окажется, что  $\Delta G > 0$ .

**Пример 1.** В каком состоянии энтропия 1 моль вещества больше при одинаковой температуре: в кристаллическом или парообразном?

*Решение.* Энтропия есть мера неупорядоченности состояния вещества. В кристалле частицы (атомы, ионы) расположены упорядоченно и могут находиться лишь в определенных точках пространства, а для газа таких ограничений нет. Объем 1 моль газа гораздо больше объема 1 моль кристаллического вещества; возможность хаотичного движения молекул газа больше. А так как энтропию можно рассматривать как количественную меру хаотичности атомно-молекулярной структуры вещества, то энтропия 1 моль паров вещества больше энтропии 1 моль его кристаллов при одинаковой температуре.

**Пример 2.** Прямая или обратная реакция будет протекать при стандартных условиях в системе



*Решение.* Вычислим  $\Delta G_{298}^0$  прямой реакции. Значения  $\Delta G_{298}^0$  соответствующих веществ приведены в табл. 6. Зная, что  $\Delta G$  есть функция состояния и что  $\Delta G$  для простых веществ, находящихся в устойчивых при стандартных условиях агрегатных состояниях, равны нулю, находим  $\Delta G_{298}^0$  процесса:

$$\Delta G_{298}^0 = 2(-137,27) + 2(0) - (-50,79 - 394,38) = +170,63 \text{ кДж.}$$

То, что  $\Delta G_{298}^0 > 0$ , указывает на невозможность самопроизвольного протекания прямой реакции при  $T = 298\text{К}$  и давлении взятых газов равном  $1,013 \cdot 10^5 \text{ Па}$  ( $760 \text{ мм рт. ст.} = 1 \text{ атм}$ ).

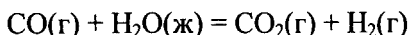
**Таблица 6. Стандартная энергия Гиббса образования  $\Delta G_{298}^0$  некоторых веществ**

Вещество	Состояние	$\Delta G_{298}^0$ , кДж/моль	Вещество	Состояние	$\Delta G_{298}^0$ , кДж/моль
BaCO <sub>3</sub>	к	-1138,8	FeO	к	-244,3
CaCO <sub>3</sub>	к	-1128,75	H <sub>2</sub> O	ж	-237,19
Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub>	к	-1014,2	H <sub>2</sub> O	г	-228,59
BeCO <sub>3</sub>	к	-944,75	PbO <sub>2</sub>	к	-219,0
CaO	к	-604,2	CO	г	-137,27
BeO	к	-581,61	CH <sub>4</sub>	г	-50,79
NaF	к	-541,0	NO <sub>2</sub>	г	+51,84
BaO	к	-528,4	NO	г	+86,69
CO <sub>2</sub>	г	-394,38	C <sub>2</sub> H <sub>2</sub>	г	+209,20
NaCl	к	-384,03			
ZnO	к	-318,2			

**Таблица 7. Стандартные абсолютные энтропии  $\Delta S_{298}^0$  некоторых веществ**

Вещество	Состояние	$\Delta S_{298}^0$ , Дж/(моль·К)	Вещество	Состояние	$\Delta S_{298}^0$ , Дж/(моль·К)
C	Алмаз	2,44	H <sub>2</sub> O	г	188,72
C	Графит	5,69	N <sub>2</sub>	г	191,49
Fe	к	27,2	NH <sub>3</sub>	г	192,50
Ti	к	30,7	CO	г	197,91
S	Ромб.	31,9	C <sub>2</sub> H <sub>2</sub>	г	200,82
TiO <sub>2</sub>	к	50,3	O <sub>2</sub>	г	205,03
FeO	к	54,0	H <sub>2</sub> S	г	205,64
H <sub>2</sub> O	ж	69,94	NO	г	210,20
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	к	89,96	CO <sub>2</sub>	г	213,65
NH <sub>4</sub> Cl	к	94,5	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	г	219,45
CH <sub>3</sub> OH	ж	126,8	Cl <sub>2</sub>	г	222,95
H <sub>2</sub>	г	130,59	NO <sub>2</sub>	г	240,46
Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub>	к	146,4	PCl <sub>3</sub>	г	311,66
CH <sub>4</sub>	г	186,19	PCl <sub>5</sub>	г	352,71
HCl	г	186,68			

**Пример 3.** На основании стандартных теплот образования (см. табл. 5) и абсолютных стандартных энтропии веществ (табл. 7) вычислите  $\Delta S_{298}^0$  реакции, протекающей по уравнению



*Решение.*  $\Delta G^0 = \Delta H^0 - T\Delta S^0$ ;  $\Delta H$  и  $\Delta S$  — функции состояния, ПОЭТОМУ



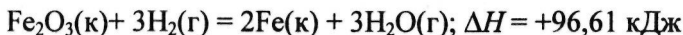
$$\Delta H_{x,p}^0 = \Sigma \Delta H_{\text{прод}}^0 - \Sigma \Delta H_{\text{исх}}^0 ; \Delta S_{x,p}^0 = \Sigma S_{\text{прод}}^0 - \Sigma S_{\text{исх}}^0$$

$$\Delta H_{x,p}^0 = (-393,51 + 0) - (-110,52 - 285,84) = +2,85 \text{ кДж};$$

$$\Delta S_{x,p}^0 = (213,65 + 130,59) - (197,91 + 69,94) = +76,39 = 0,07639 \text{ кДж} / (\text{моль} \cdot \text{К});$$

$$\Delta G^0 = +2,85 - 298 \cdot 0,07639 = -19,91 \text{ кДж}.$$

**Пример 4.** Реакция восстановления  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  водородом протекает по уравнению



Возможна ли эта реакция при стандартных условиях, если изменение энтропии  $\Delta S = 0,1387 \text{ кДж}/(\text{моль} \cdot \text{К})$ ? При какой температуре начнется восстановление  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ?

*Решение.* Вычисляем  $\Delta G^0$  реакции:

$$\Delta G = \Delta H - T\Delta S = 96,61 - 298 \cdot 0,1387 = +55,28 \text{ кДж}.$$

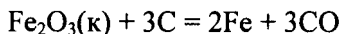
Так как  $\Delta G > 0$ , то реакция при стандартных условиях невозможна; наоборот, при этих условиях идет обратная реакция окисления железа (коррозия). Найдем температуру, при которой

$$\Delta G = 0:$$

$$\Delta H = T\Delta S ; T = \frac{\Delta H}{\Delta S} = \frac{96,61}{0,1387} = 696,5 \text{ К}.$$

Следовательно, при температуре  $\approx 696,5 \text{ К}$  начнется реакция восстановления  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ . Иногда эту температуру называют температурой начала реакции.

**Пример 5.** Вычислите  $\Delta H^0$ ,  $\Delta S$  и  $\Delta G^0_T$  реакции, протекающей по уравнению



Возможна ли реакция восстановления  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  углеродом при 500 и 1000 К?

*Решение.*  $\Delta H_{x,p}^0$  и  $\Delta S_{x,p}^0$  находим из соотношений (1) и (2):

$$\Delta H_{x,p}^0 = [3(-110,52) + 2 \cdot 0] - [-822,10 + 3 \cdot 0] = -331,56 + 822,10 = +490,54 \text{ кДж};$$

$$\Delta S_{x,p}^0 = (2 \cdot 27,2 + 3 \cdot 197,91) - (89,96 + 3 \cdot 5,69) = 541,1 \text{ Дж} / (\text{моль} \cdot \text{К}).$$

Энергию Гиббса при соответствующих температурах находим из соотношения

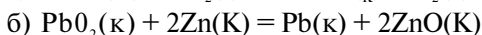
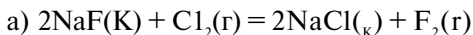
$$\Delta G_{500} = 490,54 - 500 \frac{541,1}{1000} = +219,99 \text{ кДж};$$

$$\Delta G_{1000} = 490,54 - 1000 \frac{541,1}{1000} = -50,56 \text{ кДж.}$$

Так как  $\Delta G_{500} > 0$ , а  $\Delta G_{1000} < 0$ , то восстановление  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  возможно при 1000 К и невозможно при 500 К.

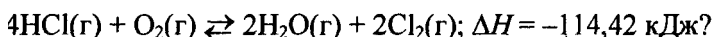
### КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

**101.** Вычислите  $AG_{2,8}$  для следующих реакций:



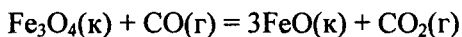
Можно ли получить фтор по реакции (а) и восстановить  $\text{PbO}_2$  цинком по реакции (б). *Ответ:* +313,94 кДж; -417,4 кДж.

**102.** При какой температуре наступит равновесие системы



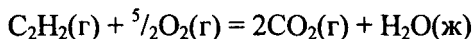
Хлор или кислород в этой системе является более сильным окислителем и при какой температуре? *Ответ:* 891 К.

**103.** Восстановление  $\text{BeC}^{\wedge}$  оксидом углерода идет по уравнению



Вычислите  $\Delta G_{298}^0$  и сделайте вывод о возможности самопроизвольного протекания этой реакции при стандартных условиях. Чему равно  $\Delta S_{298}^0$  в этом процессе? *Ответ:* +24,19 кДж; + 31,34 кДж/(мольК).

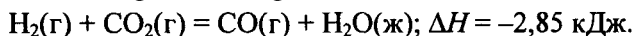
**104.** Реакция горения ацетилена идет по уравнению



Вычислите  $\Delta G_{298}^0$  и  $\Delta S_{298}^0$ . Объясните уменьшение энтропии в результате этой реакции. *Ответ:* -1235,15 кДж; -216,15 Дж/(моль · К).

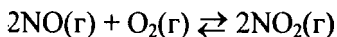
**105.** Уменьшается или увеличивается энтропия при переходах: а) воды в пар; б) графита в алмаз? Почему? Вычислите  $\Delta S_{298}^0$  для каждого превращения. Сделайте вывод о количественном изменении энтропии при фазовых и аллотропических превращениях. *Ответ:* а) 118,78 Дж/(моль · К); б) -3,25 Дж/(моль · К).

**106.** Чем можно объяснить, что при стандартных условиях невозможна экзотермическая реакция



Зная тепловой эффект реакции и абсолютные стандартные энтропии соответствующих веществ, определите  $\Delta G_{298}^0$  этой реакции. *Ответ:* +19,91 кДж.

**107.** Прямая или обратная реакция будет протекать при стандартных условиях в системе



Ответ мотивируйте, вычислив  $\Delta G_{298}^0$  прямой реакции. *Ответ:* -69,70 кДж.

**108.** Исходя из значений стандартных теплот образования и абсолютных стандартных энтропии соответствующих веществ, вычислите  $\Delta G_{298}^0$  реакции, протекающей по уравнению



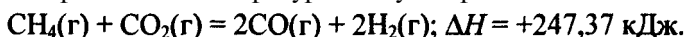
Может ли эта реакция при стандартных условиях идти самопроизвольно? *Ответ:* -92,08 кДж.

**109.** При какой температуре наступит равновесие системы



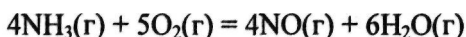
*Ответ:*  $\approx 385,5 \text{ К.}$

**110.** При какой температуре наступит равновесие системы



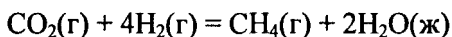
*Ответ:*  $\approx 961,9 \text{ К.}$

**111.** На основании стандартных теплот образования и абсолютных стандартных энтропии соответствующих веществ вычислите  $\Delta G_{298}^0$  реакции, протекающей по уравнению



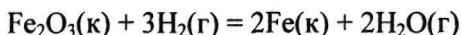
Возможна ли эта реакция при стандартных условиях: *Ответ:* -957,77 кДж.

**112.** На основании стандартных теплот образования и абсолютных стандартных энтропии соответствующих веществ вычислите  $\Delta G_{298}^0$  реакции, протекающей по уравнению



Возможна ли эта реакция при стандартных условиях? *Ответ:* -130,89 кДж.

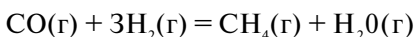
**113.** Вычислите  $\Delta H^0$ ,  $\Delta S^0$  и  $\Delta G^0$  реакции, протекающей по уравнению



Возможна ли реакция восстановления  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  водородом при 500 и 2000 К? *Ответ:* +96,61 кДж; 138,83 Дж/К; 27,2 кДж; -181,05 кДж.

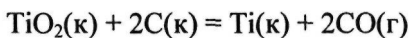
**114.** Какие из карбонатов:  $\text{BeCO}_3$ ,  $\text{CaCO}_3$  или  $\text{BaCO}_3$  — можно получить при взаимодействии соответствующих оксидов с  $\text{CO}_2$ ? Какая реакция идет наиболее энергично? Вывод сделайте, вычислив  $\Delta G_{298}^0$  реакций. *Ответ:* +31,24 кДж; -130,17 кДж; -216,02 кДж.

**115.** На основании стандартных теплот образования и абсолютных стандартных энтропии соответствующих веществ вычислите  $\Delta G_{298}^0$  реакции, протекающей по уравнению



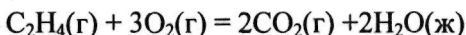
Возможна ли эта реакция при стандартных условиях? *Ответ:* -142,16 кДж.

**116.** Вычислите  $\Delta H^\circ$ ,  $\Delta S^\circ$  и  $\Delta G^\circ_T$  реакции, протекающей по уравнению



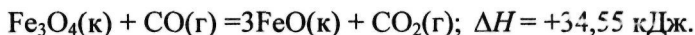
Возможна ли реакция восстановления  $\text{TlOg}$  углеродом при 1000 и 3000 К? *Ответ:* +722,86 кДж; 364,84 Дж/К; +358,02 кДж; -371,66 кДж.

**117.** На основании стандартных теплот образования и абсолютных стандартных энтропии соответствующих веществ вычислите  $\Delta G_{298}^0$  реакции, протекающей по уравнению



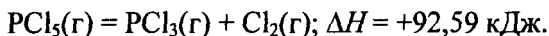
Возможна ли эта реакция при стандартных условиях? *Ответ:* -1331,21 кДж.

**118.** Определите, при какой температуре начнется реакция восстановления  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ , протекающая по уравнению



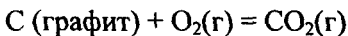
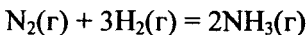
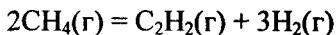
*Ответ:* 1102,4 К.

**119.** Вычислите, при какой температуре начнется диссоциация пентахлорида фосфора, протекающая по уравнению:



*Ответ:* 509 К.

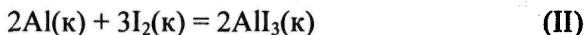
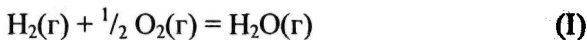
**120.** Вычислите изменения энтропии для реакций, протекающих по уравнениям:



Почему в этих реакциях  $0 > \Delta S_{298}^0 \geq 0$ . Ответ: 220,21 Дж/К; -198,26 Дж/К; 2,93 Дж/К.

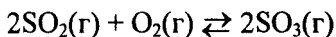
## Химическая кинетика и равновесие

Кинетика — учение о скорости различных процессов, в том числе химических реакций. Критерием принципиальной осуществимости реакций является неравенство  $\Delta G_{p,T} < 0$ . Но это неравенство не является полной гарантией фактического течения процесса в данных условиях, не является достаточным для оценки кинетических возможностей реакции. Так,  $\Delta G_{298}^0 \text{H}_2\text{O}(\text{г}) = -228,59$  кДж/моль, а  $\Delta G_{298}^0 \text{Al}_3(\text{к}) = -313,8$  кДж/моль и, следовательно, при  $T = 298$  К и  $p = 1,01310^5$  Па возможны реакции, идущие по уравнениям:



Однако эти реакции при стандартных условиях идут только в присутствии катализатора (платина для первой и вода для второй). Катализатор как бы снимает кинетический «тормоз» и проявляется термодинамическая природа вещества. Скорость химических реакций зависит от многих факторов, основные из которых — концентрация (давление) реагентов, температура и действие катализатора. Эти же факторы определяют и достижение равновесия в реагирующей системе.

**Пример 1.** Во сколько раз изменится скорость прямой и обратной реакции в системе



если объем газовой смеси уменьшится в три раза? В какую сторону сместится равновесие системы?

*Решение.* Обозначим концентрации реагирующих веществ:  $[\text{SO}_2] = a$ ,  $[\text{O}_2] = b$ ,  $[\text{SO}_3] = c$ . Согласно закону действующих масс, скорости прямой и обратной реакций до изменения объема равны

$$v_{\text{пр}} = Ka^2b, v_{\text{обр}} = K_1c^2.$$

После уменьшения объема гомогенной системы в три раза концентрация каждого из реагирующих веществ увеличится в три раза:  $[SO_2] = 3a$ ,  $[O_2] = 3b$ ;  $[SO_3] = 3c$ . При новых концентрациях скорости  $v'_{\text{пр}}$  прямой и обратной реакций:

$$v'_{\text{пр}} = K(3a)^2(3b) = 27Ka^2b; v_{\text{обр}} = K_1(3c)^2 = 9K_1c^2.$$

Отсюда

$$\frac{v'_{\text{пр}}}{v_{\text{пр}}} = \frac{27Ka^2b}{Ka^2b} = 27; \frac{v_{\text{обр}}}{v_{\text{обр}}} = \frac{9K_1c^2}{K_1c^2} = 9.$$

Следовательно, скорость прямой реакции увеличилась в 27 раз, а обратной — только в девять раз. Равновесие системы сместилось в сторону образования  $SO_3$ .

**Пример 2.** Вычислите, во сколько раз увеличится скорость реакции, протекающей в газовой фазе, при повышении температуры от 30 до 70 °С, если температурный коэффициент реакции равен 2.

*Решение.* Зависимость скорости химической реакции от температуры определяется эмпирическим правилом Вант-Гоффа по формуле

$$v_{T_2} = v_{T_1} \gamma^{\frac{T_2 - T_1}{10}}; v_{T_2} = v_{T_1} 2^{\frac{70 - 30}{10}} = v_{T_1} 2^4 = 16v_{T_1}.$$

Следовательно, скорость реакции  $v_r$  при 70 °С больше скорости реакции  $v_{T_1}$  при 30 °С в 16 раз.

**Пример 3.** Константа равновесия гомогенной системы

$$CO(g) + H_2O(g) \rightleftharpoons CO_2(g) + H_2(g)$$

при 850 °С равна 1. Вычислите концентрации всех веществ при равновесии, если исходные концентрации:  $[CO]_{\text{исх}} = 3$  моль/л,  $[H_2O]_{\text{исх}} = 2$  моль/л.

*Решение.* При равновесии скорости прямой и обратной реакций равны, а отношение констант этих скоростей постоянно и называется константой равновесия данной системы:

$$v_{\text{пр}} = K_1[CO][H_2O]; v_{\text{обр}} = K_2[CO_2][H_2];$$

$$K_p = \frac{K_1}{K_2} = \frac{[CO_2][H_2]}{[CO][H_2O]}.$$

В условии задачи даны исходные концентрации, тогда как в выражение  $K_p$  входят только равновесные концентрации всех веществ системы. Предположим, что к моменту равновесия концентрация  $[CO_2]_p = x$  моль/л. Согласно уравнению системы число молей образовавшегося водорода при этом будет также  $x$  моль/л. По столько же молей ( $x$  моль/л)  $CO$  и  $H_2O$  расходуется для образования по  $x$  молей  $CO_2$  и  $H_2$ . Следовательно, равновесные концентрации всех четырех веществ (моль/л):

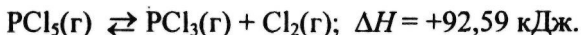
$$[CO_2]_p = [H_2]_p = x; [CO]_p = (3 - x); [H_2O]_p = (2 - x).$$

Зная константу равновесия, находим значение  $d$ , а затем исходные концентрации всех веществ:

$$1 = \frac{x^2}{(3-x)(2-x)}; x^2 = 6 - 2x - 3x + x^2; 5x = 6, x = 1,2 \text{ моль/л.}$$

Таким образом, искомые равновесные концентрации:  $[CO_2]_p = 1,2$  моль/л;  $[H_2]_p = 1,2$  моль/л;  $[CO]_p = 3 - 1,2 = 1,8$  моль/л;  $[H_2O]_p = 2 - 1,2 = 0,8$  моль/л.

**Пример 4.** Эндотермическая реакция разложения пентахлорида фосфора протекает по уравнению



Как надо изменить: а) температуру; б) давление; в) концентрацию, чтобы сместить равновесие в сторону прямой реакции — разложения  $PCl_5$ ?

*Решение.* Смещением или сдвигом химического равновесия называют изменение равновесных концентраций реагирующих веществ в результате изменения одного из условий реакции. Направление, в котором сместилось равновесие, определяется по принципу Ле Шателье: а) так как реакция разложения  $PCl_5$  эндотермическая ( $\Delta H > 0$ ), то для смещения равновесия в сторону прямой реакции нужно повысить температуру; б) так как в данной системе разложение  $PCl_5$  ведет к увеличению объема (из одной молекулы газа образуются две газообразные молекулы), то для смещения равновесия в сторону прямой реакции надо уменьшить давление; в) смещения равновесия в указанном направлении можно достигнуть как увеличением концентрации  $PCl_5$ , так и уменьшением концентрации  $PCl_3$  или  $Cl_2$ .

## КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

**121.** Окисление серы и ее диоксида протекает по уравнениям:  
а)  $S(K) + O_2 = SO_2(r)$ ; б)  $2SO_2(r) + O_2 = 2SO_3(r)$ .

Как изменится скорость этих реакций, если объемы каждой из систем уменьшить в четыре раза?

**122.** Напишите выражение для константы равновесия гомогенной системы  $N_2 + 3H_2 \rightleftharpoons 2NH_3$ . Как изменится скорость прямой реакции — образования аммиака, если увеличить концентрацию водорода в три раза?

**123.** Реакция идет по уравнению  $N_2 + O_2 = 2NO$ . Концентрации исходных веществ до начала реакции были  $[N_2] = 0,049$  моль/л,  $[O_2] = 0,01$  моль/л. Вычислите концентрацию этих веществ, когда  $[NO] = 0,005$  моль/л. *Ответ:*  $[N_2] = 0,0465$  моль/л;  $[O_2] = 0,0075$  моль/л.

**124.** Реакция идет по уравнению  $N_2 + 3H_2 = 2NH_3$ . Концентрации участвующих в ней веществ (моль/л):  $[N_2] = 0,80$ ;  $[H_2] = 1,5$ ;  $[NH_3] = 0,10$ . Вычислите концентрацию водорода и аммиака, когда  $[N_2] = 0,5$  моль/л. *Ответ:*  $[NH_3] = 0,70$  моль/л;  $[H_2] = 0,60$  моль/л.

**125.** Реакция идет по уравнению  $H_2 + I_2 = 2HI$ . Константа скорости этой реакции при некоторой температуре равна 0,16. Исходные концентрации реагирующих веществ (моль/л):  $[H_2] = 0,04$ ;  $[I_2] = 0,05$ . Вычислите начальную скорость реакции и ее скорость при  $[H_2] = 0,03$  моль/л. *Ответ:*  $3,2 \cdot 10^{-4}$ ;  $1,92 \cdot 10^{-4}$ .

**126.** Вычислите, во сколько раз уменьшится скорость реакции, протекающей в газовой фазе, если понизить температуру от 120 до 80° С? Температурный коэффициент скорости реакции 3.

**127.** Как изменится скорость реакции, протекающей в газовой фазе, при повышении температуры на 60° С, если температурный коэффициент скорости данной реакции 2?

**128.** В гомогенной системе  $CO + Cl_2 \rightleftharpoons COCl_2$  равновесные концентрации реагирующих веществ (моль/л):  $[CO] = 0,2$ ;  $[Cl_2] = 0,3$ ;  $[COCl_2] = 1,2$ . Вычислите константу равновесия системы и исходные концентрации  $Cl_2$  и  $CO$ . *Ответ:*  $K = 20$ ;  $[Cl_2]_{исх} = 1,5$  моль/л;  $[CO]_{исх} = 1,4$  моль/л.

**129.** В гомогенной системе  $A + 2B \rightleftharpoons C$  равновесные концентрации реагирующих газов (моль/л):  $[A] = 0,06$ ;  $[B] = 0,12$ ;  $[C] = 0,216$ . Вычислите константу равновесия системы и исходные



концентрации веществ А и В. *Ответ:*  $K = 250$ ;  $[A]_{\text{исх}} = 0,276$  моль/л;  $[B]_{\text{исх}} = 0,552$  моль/л.

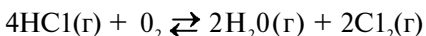
130. В гомогенной газовой системе  $A + B \rightleftharpoons C + D$  равновесие установилось при концентрациях (моль/л):  $[B] = 0,05$  и  $[C] = 0,02$ . Константа равновесия системы равна 0,04. Вычислите исходные концентрации веществ А и В. *Ответ:*  $[A]_{\text{исх}} = 0,22$  моль/л;  $[B]_{\text{исх}} = 0,07$  моль/л.

131. Константа скорости реакции разложения  $N_2O$ , протекающей по уравнению  $2N_2O = 2N_2 + O_2$ , равна  $5 \cdot 10^{-4}$ . Начальная концентрация  $N_2O$  равна 6,0 моль/л. Вычислите начальную скорость реакции и ее скорость, когда разложится 50%  $N_2O$ . *Ответ:*  $1,8 \cdot 10^{-2}$ ;  $4,5 \cdot 10^{-3}$ .

132. Напишите выражение для константы равновесия гетерогенной системы  $CO_2 + C \rightleftharpoons 2CO$ . Как изменится скорость прямой реакции — образования  $CO$ , если концентрацию  $CO_2$  уменьшить в четыре раза? Как следует изменить давление, чтобы повысить выход  $CO$ ?

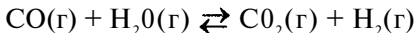
133. Напишите выражение для константы равновесия гетерогенной системы  $C + H_2O(g) \rightleftharpoons CO + H_2$ . Как следует изменить концентрацию и давление, чтобы сместить равновесие в сторону обратной реакции — образования водяных паров?

134. Равновесие гомогенной системы



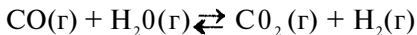
установилось при следующих концентрациях реагирующих веществ (моль/л):  $[H_2O]_p = 0,14$ ;  $[Cl_2]_p = 0,14$ ;  $[HCl]_p = 0,20$ ;  $[O_2]_p = 0,32$ . Вычислите исходные концентрации хлороводорода и кислорода. *Ответ:*  $[HCl]_{\text{исх}} = 0,48$  моль/л;  $[O_2]_{\text{исх}} = 0,39$  моль/л.

135. Вычислите константу равновесия для гомогенной системы



если равновесие концентрации реагирующих веществ (моль/л):  $[CO]_p = 0,004$ ;  $[H_2O]_p = 0,064$ ;  $[CO_2]_p = 0,016$ ;  $[H_2]_p = 0,016$ . Чему равны исходные концентрации воды и  $CO$ ? *Ответ:*  $K = 1$ ;  $[H_2O]_{\text{исх}} = 0,08$  моль/л;  $[CO]_{\text{исх}} = 0,02$  моль/л.

136. Константа равновесия гомогенной системы



при некоторой температуре равна 1. Вычислите равновесные концентрации всех реагирующих веществ, если исходные

концентрации равны (моль/л):  $[\text{CO}]_{\text{исх}} = 0,10$ ;  $[\text{H}_2\text{O}]_{\text{исх}} = 0,40$ .

*Ответ:*  $[\text{CO}_2]_{\text{р}} = [\text{H}_2]_{\text{р}} = 0,08$ ;  $[\text{CO}]_{\text{р}} = 0,02$ ;  $[\text{H}_2\text{O}]_{\text{р}} = 0,32$ .

**137.** Константа равновесия гомогенной системы  $\text{N}_2 + 3\text{H}_2 \rightleftharpoons 2\text{NH}_3$  при некоторой температуре равна 0,1. Равновесные концентрации водорода и аммиака соответственно равны 0,2 и 0,08 моль/л. Вычислите равновесную и исходную концентрации азота. *Ответ:*  $[\text{N}_2]_{\text{р}} = 8$  моль/л;  $[\text{N}_2]_{\text{исх}} = 8,04$  моль/л.

**138.** При некоторой температуре равновесие гомогенной системы  $2\text{NO} + \text{O}_2 \rightleftharpoons 2\text{NO}_2$  установилось при следующих концентрациях реагирующих веществ (моль/л):  $[\text{NO}]_{\text{р}} = 0,2$ ;  $[\text{O}_2]_{\text{р}} = 0,1$ ;  $[\text{NO}_2]_{\text{р}} = 0,1$  моль. Вычислите константу равновесия и исходную концентрацию NO и  $\text{O}_2$ . *Ответ:*  $K = 2,5$ ;  $[\text{NO}]_{\text{исх}} = 0,3$  моль/л;  $[\text{O}_2]_{\text{исх}} = 0,15$  моль/л.

**139.** Почему при изменении давления смещается равновесие системы  $\text{N}_2 + 3\text{H}_2 \rightleftharpoons 2\text{NH}_3$  и не смещается равновесие системы  $\text{N}_2 + \text{O}_2 \rightleftharpoons 2\text{NO}$ ? Ответ мотивируйте на основании расчета скорости прямой и обратной реакций в этих системах до и после изменения давления. Напишите выражения для констант равновесия каждой из данных систем.

**140.** Исходные концентрации  $[\text{NO}]_{\text{исх}}$  и  $[\text{Cl}_2]_{\text{исх}}$  в гомогенной системе  $2\text{NO} + \text{Cl}_2 \rightleftharpoons 2\text{NOCl}$  составляют соответственно 0,5 и 0,2 моль/л. Вычислите константу равновесия, если к моменту наступления равновесия прореагировано 20% NO. *Ответ:* 0,416.

## Способы выражения концентрации раствора

Концентрацией раствора называется содержание растворенного вещества в определенной массе или известном объеме раствора или растворителя.

**Пример 1.** Вычислите: а) массовую (процентную) ( $c, \%$ ); б) молярную концентрацию ( $c_{\text{м}}$ ); в) молярную концентрацию эквивалента ( $c_{\text{н}}$ ); г) моляльную ( $c_{\text{м}}$ ) концентрацию раствора  $\text{H}_3\text{PO}_4$ , полученного при растворении 18 г кислоты в  $282 \text{ см}^3$  воды, если плотность его  $1,031 \text{ г/см}^3$ . Чему равен титр  $\Gamma$  этого раствора?

*Решение:* а) Массовая концентрация показывает число граммов (единиц массы) вещества, содержащееся в 100 г (единиц массы) раствора. Так как массу 282 см<sup>3</sup> воды можно принять равной 282 г, то масса полученного раствора 18 + 282 = 300 г и, следовательно:

$$c, \% = \frac{100 \cdot 18}{300} = 6\%.$$

$$100 - c, \%$$

б) молярная (мольно-объемная) концентрация показывает число молей растворенного вещества, содержащихся в 1 л раствора. Масса 1 л раствора 1031 г. Массу кислоты в литре раствора находим из соотношения

$$x = \frac{1031 \cdot 18}{300} = 61,86.$$

$$1031 - x$$

Молярную концентрацию раствора получим делением числа граммов H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> в 1 л раствора на молярную массу H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> (97,99 г/моль):

$$c_m = 61,86/97,99 = 0,63 \text{ М.}$$

в) молярная концентрация эквивалента (или нормальность) показывает число эквивалентов растворенного вещества, содержащихся в 1 л раствора.

Так как эквивалентная масса H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> = M/3 = 97,99/3 = 32,66 г/моль, то

$$c_n = 61,86/32,66 = 1,89 \text{ н.};$$

г) молярная концентрация (или молярность) показывает число молей растворенного вещества, содержащихся в 1000 г растворителя. Массу H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> в 1000 г растворителя находим из соотношения

$$x = \frac{1000 \cdot 18}{282} = 63,83.$$

$$1000 - x$$

Отсюда  $c_m = 63,83/97,99 = 0,65 \text{ м.}$

Титром раствора называют число граммов растворенного вещества в 1 см<sup>3</sup> (мл) раствора. Так как в 1 л раствора содержится 61,86 г кислоты, то  $T = 61,86/1000 = 0,06186 \text{ г/см}^3$ .

Зная молярную концентрацию эквивалента и молярную массу эквивалента ( $m_э$ ) растворенного вещества, титр легко найти по формуле

$$T = c_n m_э / 1000.$$

**Пример 2.** На нейтрализацию 50 см<sup>3</sup> раствора кислоты израсходовано 25 см<sup>3</sup> 0,5 н. раствора щелочи. Чему равна молярная концентрация эквивалентов кислоты?

*Решение.* Так как вещества взаимодействуют между собой в эквивалентных соотношениях, то растворы равной молярной концентрации эквивалентов реагируют в равных объемах. При разных молярных концентрациях эквивалентов объемы растворов реагирующих веществ обратно пропорциональны их нормальностям, т.е.

$$V_1 : V_2 = c_{н_2} : c_{н_1} \quad \text{или} \quad V_1 c_{н_1} = V_2 \cdot c_{н_2}$$
$$50 c_{н_1} = 25 \cdot 0,5, \text{откуда } c_{н_1} = 25 \cdot 0,5 / 50 = 0,25_n.$$

**Пример 3.** К 1 л 10%-ного раствора КОН (пл. 1,092 г/см<sup>3</sup>) прибавили 0,5 л 5%-ного раствора КОН (пл. 1,045 г/см<sup>3</sup>). Объем смеси довели до 2 л. Вычислите молярную концентрацию полученного раствора.

*Решение.* Масса одного литра 10%-ного раствора КОН равна 1092 г. В этом растворе содержится  $1092 \cdot 10/100 = 109,2$  г КОН. Масса 0,5 л 5%-ного раствора  $1045 \cdot 0,5 = 522,5$  г. В этом растворе содержится  $522,5 \cdot 5/100 = 26,125$  г КОН.

В общем объеме полученного раствора (2 л) содержание КОН составляет  $109,2 + 26,125 = 135,325$  г. Отсюда молярная концентрация раствора  $c_m = 135,325 / (2 \cdot 56,1) = 1,2$  М, где 56,1 г/моль — молярная масса КОН.

**Пример 4.** Какой объем 96%-ной кислоты плотностью 1,84 г/см<sup>3</sup> потребуется для приготовления 3 л 0,4 н. раствора?

*Решение.* Эквивалентная масса  $H_2SO_4 = M/2 = 98,08/2 = 49,04$  г/моль. Для приготовления 3 л 0,4 н. раствора требуется  $49,04 \cdot 0,4 \cdot 3 = 58,848$  г  $H_2SO_4$ . Масса 1 см<sup>3</sup> 96% -ной кислоты 1,84 г. В этом растворе содержится  $1,84 \cdot 96/100 = 1,766$  г  $H_2SO_4$ .

Следовательно, для приготовления 3 л 0,4 н. раствора надо взять  $58,848 : 1,766 = 33,32$  см<sup>3</sup> этой кислоты.

## КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

**141.** Вычислите молярную концентрацию и молярную концентрацию эквивалента 20%-ного раствора хлорида кальция плотностью 1,178 г/см<sup>3</sup>. *Ответ:* 2,1 М; 4,2 н.

**142.** Чему равна молярная концентрация эквивалента 30%-ного раствора NaOH плотностью  $1,328 \text{ г/см}^3$ ? К 1 л этого раствора прибавили 5 л воды. Вычислите массовую (процентную) долю полученного раствора. *Ответ:* 9,96 н.; 6,3%.

**143.** К 3 л 10%-ного раствора  $\text{HNO}_3$  плотностью  $1,054 \text{ г/см}^3$  прибавили 5 л 2%-ного раствора той же кислоты плотностью  $1,009 \text{ г/см}^3$ . Вычислите массовую (процентную) и молярную концентрации полученного раствора, объем которого равен 8 л. *Ответ:* 5,0%; 0,82 М.

**144.** Вычислите молярную концентрацию эквивалента и моляльную концентрацию 20,8%-ного раствора  $\text{HNO}_3$  плотностью  $1,12 \text{ г/см}^3$ . Сколько граммов кислоты содержится в 4 л этого раствора? *Ответ:* 3,70 н.; 4,17 М; 931,8 г.

**145.** Вычислите молярную концентрацию эквивалента, молярную и моляльную концентрации 16%-ного раствора хлорида алюминия плотностью  $1,149 \text{ г/см}^3$ . *Ответ:* 4,14 н.; 1,38 М; 1,43 М.

**146.** Сколько и какого вещества останется в избытке, если к  $75 \text{ см}^3$  0,3 н. раствора  $\text{H}_2\text{SO}_4$  прибавить  $125 \text{ см}^3$  0,2 н. раствора KOH? *Ответ:* 0,14 г KOH.

**147.** Для осаждения в виде AgCl всего серебра, содержащегося в  $100 \text{ см}^3$  раствора  $\text{AgNO}_3$ , потребуется  $50 \text{ см}^3$  0,2 н. раствора HCl. Какова молярная концентрация эквивалента раствора  $\text{AgNO}_3$ ? Какая масса AgCl выпала в осадок? *Ответ:* 0,1 н.; 1,433 г.

**148.** Какой объем 20,01%-ного раствора HCl (пл.  $1,100 \text{ г/см}^3$ ) требуется для приготовления 1 л 10,17%-ного раствора (пл.  $1,050 \text{ г/см}^3$ )? *Ответ:*  $485,38 \text{ см}^3$ .

**149.** Смешали  $10 \text{ см}^3$  10%-ного раствора  $\text{HNO}_3$  (пл.  $1,056 \text{ г/см}^3$ ) и  $100 \text{ см}^3$  30%-ного раствора  $\text{HNO}_3$  (пл.  $1,184 \text{ г/см}^3$ ). Вычислите массовую (процентную) долю полученного раствора. *Ответ:* 28,38%.

**150.** Какой объем 50%-ного раствора KOH (пл.  $1,538 \text{ г/см}^3$ ) требуется для приготовления 3 л 6%-ного раствора (пл.  $1,048 \text{ г/см}^3$ ). *Ответ:*  $245,5 \text{ см}^3$ .

**151.** Какой объем 10%-ного раствора карбоната натрия (пл.  $1,105 \text{ г/см}^3$ ) требуется для приготовления 5 л 2%-ного раствора (пл.  $1,02 \text{ г/см}^3$ ). *Ответ:*  $923,1 \text{ см}^3$ .

**152.** На нейтрализацию 31 см<sup>3</sup> 0,16 н. раствора щелочи требуется 217 см<sup>3</sup> раствора H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>? Чему равны молярная концентрация эквивалента и титр раствора H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>? *Ответ:* 0,023 н.; 1,127 · 10<sup>-3</sup> г/см<sup>3</sup>.

**153.** Какой объем 0,3 н. раствора кислоты требуется для нейтрализации раствора, содержащего 0,32 г NaOH в 40 см<sup>3</sup>? *Ответ:* 26,6 см<sup>3</sup>.

**154.** На нейтрализацию 1 л раствора, содержащего 1,4 г КОН, требуется 50 см<sup>3</sup> раствора кислоты. Вычислите молярную концентрацию эквивалента раствора кислоты. *Ответ:* 0,5 н.

**155.** Какая масса HNO<sub>3</sub> содержалась в растворе, если на нейтрализацию его потребовалось 35 см<sup>3</sup> 0,4 н. раствора NaOH? Каков титр раствора NaOH? *Ответ:* 0,882 г; 0,016 г/см<sup>3</sup>.

**156.** Какую массу NaN<sub>3</sub> нужно растворить в 400 г воды, чтобы приготовить 20%-ный раствор? *Ответ:* 100 г.

**157.** Смешали 300 г 20%-ного раствора и 500 г 40%-ного раствора NaCl. Чему равна массовая доля полученного раствора? *Ответ:* 32,5%.

**158.** Смешали 247 г 62%-ного и 145 г 18%-ного раствора серной кислоты. Какова массовая доля полученного раствора? *Ответ:* 45,72%.

**159.** Из 700 г 60%-ной серной кислоты выпариванием удалили 200 г воды. Чему равна массовая доля оставшегося раствора? *Ответ:* 84%.

**160.** Из 10 кг 20%-ного раствора при охлаждении выделилось 400 г соли. Чему равна массовая доля охлажденного раствора? *Ответ:* 16,7%.

## Свойства растворов

**Пример 1.** Вычислите температуры кристаллизации и кипения 2%-ного водного раствора глюкозы.

*Решение.* По закону Рауля понижение температуры кристаллизации и повышение температуры кипения раствора (A7) по сравнению с температурами кристаллизации и кипения растворителя выражаются уравнением

$$\Delta T = K \frac{m \cdot 1000}{M m_1}, \quad (1)$$

где  $K$  — криоскопическая или эбулиоскопическая константа. Для воды они соответственно равны 1,86 и 0,52°;  $m$  и  $M$  — соответственно масса растворенного вещества и его молярная масса;  $m_1$  — масса растворителя.

Понижение температуры кристаллизации 2%-ного раствора  $C_6H_{12}O_6$  находим по формуле (1):

$$\Delta T = 1,86 \frac{2 \cdot 1000}{180 \cdot 98} = 0,21^\circ.$$

Вода кристаллизуется при 0°С, следовательно, температура кристаллизации раствора  $0 - 0,21 = -0,21^\circ\text{С}$ .

По формуле (1) находим и повышение температуры кипения 2%-ного раствора:

$$\Delta T = 0,52 \frac{2 \cdot 1000}{180 \cdot 98} = 0,06^\circ.$$

Вода кипит при 100 С, следовательно, температура кипения этого раствора  $100 + 0,06 = 100,06^\circ\text{С}$ .

**Пример 2.** Раствор, содержащий 1,22 г бензойной кислоты  $C_6H_5COOH$  в 100 г сероуглерода, кипит при 46,529 С. Температура кипения сероуглерода 46,3 С. Вычислите эбулиоскопическую константу сероуглерода.

*Решение.* Повышение температуры кипения  $\Delta T = 46,529 - 46,3 = 0,229^\circ$ . Молярная масса бензойной кислоты 122 г/моль. По формуле (1) находим эбулиоскопическую константу:

$$K_{эб} = \frac{\Delta T M m_1}{m \cdot 1000} = \frac{0,229 \cdot 122 \cdot 100}{1,22 \cdot 1000} = 2,29^\circ.$$

**Пример 3.** Раствор, содержащий 11,04 г глицерина в 800 г воды, кристаллизуется при -0,279 С. Вычислите молярную массу глицерина.

*Решение.* Температура кристаллизации чистой воды 0 С, следовательно, понижение температуры кристаллизации  $\Delta T = 0 - (-0,279) = 0,279$ . Масса глицерина  $m$  (г), приходящаяся на 1000 г воды, равна:

$$m = \frac{11,04 \cdot 1000}{800} = 13,8.$$

Подставляя в уравнение

$$M = K \frac{m}{\Delta T} \quad (2)$$

числовые значения, вычисляем молярную массу глицерина:

$$M = \frac{1,86 \cdot 13,8}{0,279} = 92 \text{ г/моль.}$$

**Пример 4.** Вычислите массовую долю (%) водного раствора мочевины  $(\text{NH}_2)_2\text{CO}$ , зная, что температура кристаллизации этого раствора равна  $-0,465 \text{ }^\circ\text{C}$ .

*Решение:* Температура кристаллизации чистой воды  $0^\circ\text{C}$ , следовательно  $\Delta T = 0 - (-0,465) = + 0,465^\circ$ . Молярная масса мочевины  $60 \text{ г/моль}$ . Находим массу  $m$  (г) растворенного вещества, приходящуюся на  $1000 \text{ г}$  воды, по формуле (2):

$$m = \frac{\Delta T M}{K} = \frac{0,465 \cdot 60}{1,86} = 15.$$

Общая масса раствора, содержащего  $15 \text{ г}$  мочевины, составляет  $1000 + 15 = 1015 \text{ г}$ . Процентное содержание мочевины в данном растворе находим из соотношения

$$\begin{array}{l} \text{в } 1015 \text{ г раствора} - 15 \text{ г вещества} \\ \gg 100 \gg \gg - x \gg \quad \quad \quad x = 1,48\%. \end{array}$$

### КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

**161.** Раствор, содержащий  $0,512 \text{ г}$  неэлектролита в  $100$  бензола, кристаллизуется при  $5,296 \text{ }^\circ\text{C}$ . Температура кристаллизации бензола  $5,5 \text{ }^\circ\text{C}$ . Криоскопическая константа  $5,1$ . Вычислите молярную массу растворенного вещества. *Ответ:*  $128 \text{ г/моль}$ .

**162.** Вычислите массовую долю (%) водного раствора сахара  $\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$ , зная, что температура кристаллизации раствора  $-0,93 \text{ }^\circ\text{C}$ . Криоскопическая константа воды  $1,86^\circ$ . *Ответ:*  $14,6\%$ .

**163.** Вычислите температуру кристаллизации раствора мочевины  $(\text{NH}_2)_2\text{CO}$ , содержащего  $5 \text{ г}$  мочевины в  $150 \text{ г}$  воды. Криоскопическая константа воды  $1,86$ . *Ответ:*  $-1,03 \text{ }^\circ\text{C}$ .

**164.** Раствор, содержащий  $3,04 \text{ г}$  камфоры  $\text{C}_{10}\text{H}_{16}\text{O}$  в  $100 \text{ г}$  бензола, кипит при  $80,714^\circ\text{C}$ . Температура кипения бензола  $80,2^\circ\text{C}$ . Вычислите эбулиоскопическую константу бензола. *Ответ:*  $2,57$ .



**165.** Вычислите массовую долю (%) водного раствора глицерина  $C_3H_5(OH)_3$ , зная, что этот раствор кипит при  $100,39^\circ C$ . Эбулиоскопическая константа воды  $0,52^\circ$ . *Ответ:* 6,45%.

**166.** Вычислите молярную массу неэлектролита, зная, что раствор, содержащий 2,25 г этого вещества в 250 г воды, кристаллизуется при  $-0,279 C$ . Криоскопическая константа воды  $1,86$ . *Ответ:* 60 г/моль.

**167.** Вычислите температуру кипения 5%-ного раствора нафталина  $C_{10}H_8$  в бензоле. Температура кипения бензола  $80,2 C$ . Эбулиоскопическая константа его  $2,57$ . *Ответ:*  $81,25 C$ .

**168.** Раствор, содержащий 25,65 г некоторого неэлектролита в 300 г воды, кристаллизуется при  $-0,465^\circ C$ . Вычислите молярную массу растворенного вещества. Криоскопическая константа воды  $1,86$ . *Ответ:* 342 г/моль.

**169.** Вычислите криоскопическую константу уксусной кислоты, зная, что раствор, содержащий 4,25 г антрацена  $C_{14}H_{10}$  в 100 г уксусной кислоты, кристаллизуется при  $15,718 C$ . Температура кристаллизации уксусной кислоты  $16,65 C$ . *Ответ:* 3,9.

**170.** При растворении 4,86 г серы в 60 г бензола температура кипения его повысилась на  $0,81$ . Сколько атомов содержит молекула серы в этом растворе. Эбулиоскопическая константа бензола  $2,57$ . *Ответ:* 8.

**171.** Температура кристаллизации раствора, содержащего 66,3 г некоторого неэлектролита в 500 г воды, равна  $-0,558 C$ . Вычислите молярную массу растворенного вещества. Криоскопическая константа воды  $1,86$ . *Ответ:* 442 г/моль.

**172.** Какую массу анилина  $C_6H_5NH_2$  следует растворить в 50 г этилового эфира, чтобы температура кипения раствора была выше температуры кипения этилового эфира на  $0,53$ . Эбулиоскопическая константа этилового эфира  $2,12$ . *Ответ:* 1,16 г.

**173.** Вычислите температуру кристаллизации 2%-ного раствора этилового спирта  $C_2H_5OH$ . Криоскопическая константа воды  $1,86^\circ$ . *Ответ:*  $-0,82 C$ .

**174.** Сколько граммов мочевины  $(NH_2)_2CO$  следует растворить в 75 г воды, чтобы температура кристаллизации понизилась на  $0,465$ ? Криоскопическая константа воды  $1,86$ . *Ответ:* 1,12 г.

**175.** Вычислите массовую долю (%) водного раствора глюкозы  $C_6H_{12}O_6$ , зная, что этот раствор кипит при  $100,26 C$ . Эбулиоскопическая константа воды  $0,52$ . *Ответ:* 8,25%.

**176.** Сколько граммов фенола  $C_6H_5OH$  следует растворить в 125 г бензола, чтобы температура кристаллизации раствора была ниже температуры кристаллизации бензола на  $1,7^\circ$ ? Криоскопическая константа бензола  $5,1$ . *Ответ:* 3,91 г.

**177.** Сколько граммов мочевины  $(NH_2)_2CO$  следует растворить в 250 г воды, чтобы температура кипения повысилась на  $0,26^\circ$ ? Эбулиоскопическая константа воды  $0,52$ . *Ответ:* 7,5 г.

**178.** При растворении 2,3 г некоторого неэлектролита в 125 г воды температура кристаллизации понижается на  $0,372$ . Вычислите молярную массу растворенного вещества. Криоскопическая константа воды  $1,86$ . *Ответ:* 92 г/моль.

**179.** Вычислите температуру кипения 15%-ного водного раствора пропилового спирта  $C_3H_7OH$ . Эбулиоскопическая константа воды  $0,52$ . *Ответ:*  $101,52^\circ C$ .

**180.** Вычислите массовую долю (%) водного раствора метанола  $CH_3OH$ , температура кристаллизации которого  $-2,79^\circ C$ . Криоскопическая константа воды  $1,86$ . *Ответ:* 4,58%.

## Ионно-молекулярные (ионные) реакции обмена

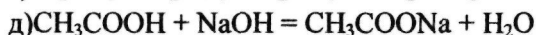
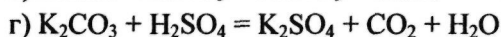
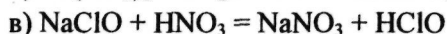
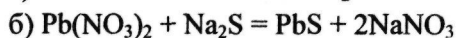
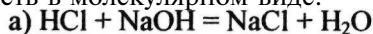
При решении задач этого раздела см. табл. 9 и табл. III приложения.

Ионно-молекулярные, или ионные, уравнения реакций обмена отражают состояние электролита в растворе. В этих уравнениях сильные растворимые электролиты, поскольку они полностью диссоциированы, записывают в виде ионов, а слабые электролиты, малорастворимые и газообразные вещества, записывают в молекулярной форме.

В ионно-молекулярном уравнении одинаковые ионы из обеих его частей исключаются. При составлении ионно-молекулярных уравнений следует помнить, что сумма электрических зарядов в левой части уравнения должна быть равна сумме электрических зарядов в правой части уравнения.

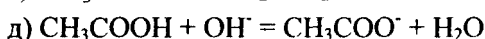
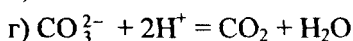
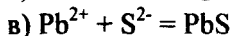
**Пример 1.** Напишите ионно-молекулярные уравнения реакций взаимодействия между водными растворами следующих веществ: а)  $HCl$  и  $NaOH$ ; б)  $Pb(NO_3)_2$  и  $Na_2S$ ; в)  $NaClO$  и  $HN O_3$ ; г)  $K_2CO_3$  и  $H_2SO_4$ ; д)  $CH_3COOH$  и  $NaOH$ .

*Решение.* Запишем уравнения взаимодействия указанных веществ в молекулярном виде:

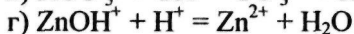
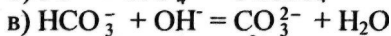
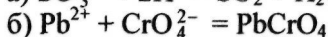
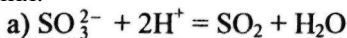


Отметим, что взаимодействие этих веществ возможно, ибо в результате происходит связывание ионов с образованием слабых электролитов ( $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{HClO}$ ), осадка ( $\text{PbS}$ ), газа ( $\text{CO}_2$ ).

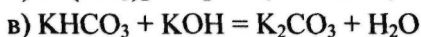
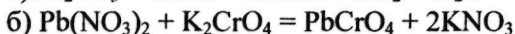
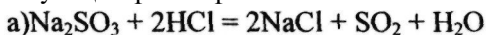
В реакции (д) два слабых электролита, но так как реакции идут в сторону большего связывания ионов и вода — более слабый электролит, чем уксусная кислота, то равновесие реакции смещено в сторону образования воды. Исключив одинаковые ионы из обеих частей равенства: а)  $\text{Na}^+$  и  $\text{Cl}^-$ ; б)  $\text{Na}^+$  и  $\text{NO}_3^-$ ; в)  $\text{Na}^+$  и  $\text{NO}_3^-$ ; г)  $\text{K}^+$  и  $\text{SO}_4^{2-}$ ; д)  $\text{Na}^+$ , получим ионно-молекулярные уравнения этих реакций:



**Пример 2.** Составьте молекулярные уравнения реакций, которым соответствуют следующие ионно-молекулярные уравнения:



*Решение.* В левой части данных ионно-молекулярных уравнений указаны свободные ионы, которые образуются при диссоциации растворимых сильных электролитов, следовательно, при составлении молекулярных уравнений следует исходить из соответствующих растворимых сильных электролитов. Например:

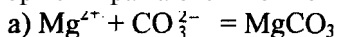


## КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

181. Составьте молекулярные и ионно-молекулярные уравнения реакций взаимодействия в растворах между: а)  $\text{NaHCO}_3$  и  $\text{NaOH}$ ; б)  $\text{K}_2\text{SiO}_3$  и  $\text{HCl}$ ; в)  $\text{BaCl}_2$  и  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ .

182. Составьте молекулярные и ионно-молекулярные уравнения реакций взаимодействия в растворах между: а)  $\text{K}_2\text{S}$  и  $\text{HCl}$ ; б)  $\text{FeSO}_4$  и  $(\text{NH}_4)_2\text{S}$ ; в)  $\text{Cr}(\text{OH})_3$  и  $\text{KOH}$ .

183. Составьте по три молекулярных уравнения реакций, которые выражаются ионно-молекулярными уравнениями:

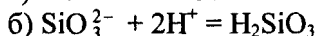
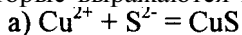


184. Какие из веществ —  $\text{Al}(\text{OH})_3$ ;  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ;  $\text{Ba}(\text{OH})_2$  — взаимодействуют с гидроксидом калия? Выразите эти реакции молекулярными и ионно-молекулярными уравнениями.

185. Составьте молекулярные и ионно-молекулярные уравнения реакций взаимодействия в растворах между: а)  $\text{KHCO}_3$  и  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ; б)  $\text{Zn}(\text{OH})_2$  и  $\text{NaOH}$ ; в)  $\text{CaCl}_2$  и  $\text{AgNO}_3$ .

186. Составьте молекулярные и ионно-молекулярные уравнения реакций взаимодействия в растворах между: а)  $\text{CuSO}_4$  и  $\text{H}_2\text{S}$ ; б)  $\text{BaCO}_3$  и  $\text{HN}_3$ ; в)  $\text{FeCl}_3$  и  $\text{KOH}$ .

187. Составьте по три молекулярных уравнения реакций, которые выражаются ионно-молекулярными уравнениями:

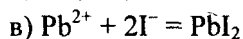
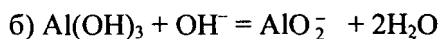
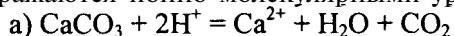


188. Составьте молекулярные и ионно-молекулярные уравнения реакций взаимодействия в растворах между: а)  $\text{Sn}(\text{OH})_2$  и  $\text{HCl}$ ; б)  $\text{BeSO}_4$  и  $\text{KOH}$ ; в)  $\text{NH}_4\text{Cl}$  и  $\text{Ba}(\text{OH})_2$ .

189. Какие из веществ  $\text{KHCO}_3$ ,  $\text{CH}_3\text{COOH}$ ,  $\text{NiSO}_4$ ,  $\text{Na}_2\text{S}$  — взаимодействуют с раствором серной кислоты? Напишите молекулярные и ионно-молекулярные уравнения этих реакций.

190. Составьте молекулярные и ионно-молекулярные уравнения реакций взаимодействия в растворах между: а)  $\text{AgNO}_3$  и  $\text{K}_2\text{CrO}_4$ ; б)  $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$  и  $\text{KI}$ ; в)  $\text{CdSO}_4$  и  $\text{Na}_2\text{S}$ .

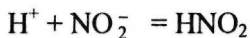
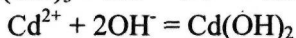
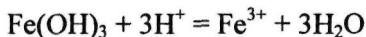
191. Составьте молекулярные уравнения реакций, которые выражаются ионно-молекулярными уравнениями:



**192.** Составьте молекулярные и ионно-молекулярные уравнения реакций взаимодействия в растворах между: а)  $\text{Be}(\text{OH})_2$  и  $\text{NaOH}$ ; б)  $\text{Si}(\text{OH})_2$  и  $\text{HNO}_3$ ; в)  $\text{ZnOHNO}_3$  и  $\text{HNO}_3$ .

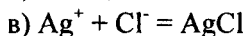
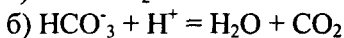
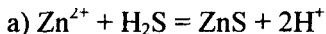
**193.** Составьте молекулярные и ионно-молекулярные уравнения реакций взаимодействия в растворах между: а)  $\text{Na}_3\text{PO}_4$  и  $\text{CaCl}_2$ ; б)  $\text{K}_2\text{CO}_3$  и  $\text{BaCl}_2$ ; в)  $\text{Zn}(\text{OH})_2$  и  $\text{KOH}$ .

**194.** Составьте молекулярные и ионно-молекулярные уравнения реакций, которые выражаются ионно-молекулярными уравнениями:



**195.** Составьте молекулярные и ионно-молекулярные уравнения реакций взаимодействия в растворах между: а)  $\text{CdS}$  и  $\text{HCl}$ ; б)  $\text{Cr}(\text{OH})_3$  и  $\text{NaOH}$ ; в)  $\text{Ba}(\text{OH})_2$  и  $\text{CoCl}_2$ .

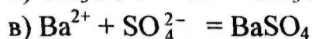
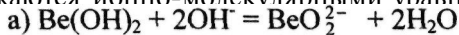
**196.** Составьте молекулярные и ионно-молекулярные уравнения реакций, которые выражаются ионно-молекулярными уравнениями:



**197.** Составьте молекулярные и ионно-молекулярные уравнения реакций взаимодействия в растворах между: а)  $\text{H}_2\text{SO}_4$  и  $\text{Ba}(\text{OH})_2$ ; б)  $\text{FeCl}_3$  и  $\text{NH}_4\text{OH}$ ; в)  $\text{CH}_3\text{COONa}$  и  $\text{HCl}$ .

**198.** Составьте молекулярные и ионно-молекулярные уравнения реакций взаимодействия в растворах между: а)  $\text{FeCl}_3$  и  $\text{KOH}$ ; б)  $\text{NiSO}_4$  и  $(\text{NH}_4)_2\text{S}$ ; в)  $\text{MgCO}_3$  и  $\text{HNO}_3$ .

**199.** Составьте молекулярные уравнения реакций, которые выражаются ионно-молекулярными уравнениями:



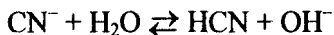
**200.** Какие из веществ -  $\text{NaCl}$ ,  $\text{NiSO}_4$ ,  $\text{Be}(\text{OH})_2$ ,  $\text{KHCO}_3$  — взаимодействуют с раствором гидроксида натрия. Запишите молекулярные и ионно-молекулярные уравнения этих реакций.

## Гидролиз солей

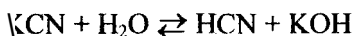
Химическое обменное взаимодействие ионов растворенной соли с водой, приводящее к образованию слабодиссоциирующих продуктов (молекул слабых кислот или оснований, анионов кислых или катионов основных солей) и сопровождающееся изменением рН среды, называется *гидролизом*.

**Пример 1.** Составьте ионно-молекулярные и молекулярные уравнения гидролиза солей: а) KCN; б) Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>; в) ZnSO<sub>4</sub>. Определите реакцию среды растворов этих солей.

*Решение,* а) Цианид калия KCN — соль слабой одноосновной кислоты (см. табл. I приложения) HCN и сильного основания KOH. При растворении в воде молекулы KCN полностью диссоциируют на катионы K<sup>+</sup> и анионы CN<sup>-</sup>. Катионы K<sup>+</sup> не могут связывать ионы OH<sup>-</sup> воды, так как KOH — сильный электролит. Анионы же CN<sup>-</sup> связывают ионы H<sup>+</sup> воды, образуя молекулы слабого электролита HCN. Соль гидролизуется по аниону. Ионно-молекулярное уравнение гидролиза

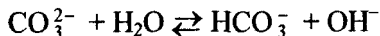


или в молекулярной форме

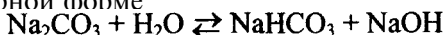


В результате гидролиза в растворе появляется некоторый избыток ионов OH<sup>-</sup>, поэтому раствор KCN имеет щелочную реакцию (рН > 7).

б) Карбонат натрия Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> — соль слабой многоосновной кислоты и сильного основания. В этом случае анионы соли CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>, связывая водородные ионы воды, образуют анионы кислой соли HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, а не молекулы H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>, так как ионы HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> диссоциируют гораздо труднее, чем молекулы H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>. В обычных условиях гидролиз идет по первой ступени. Соль гидролизуется по аниону. Ионно-молекулярное уравнение гидролиза

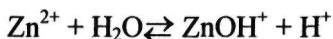


или в молекулярной форме

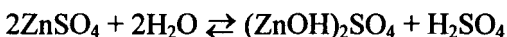


В растворе появляется избыток ионов OH<sup>-</sup>, поэтому раствор Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> имеет щелочную реакцию (рН > 7).

в) Сульфат цинка  $ZnSO_4$  — соль слабого многокислотного основания  $Zn(OH)_2$  и сильной кислоты  $H_2SO_4$ . В этом случае катионы  $Zn^{2+}$  связывают гидроксильные ионы воды, образуя катионы основной соли  $ZnOH^+$ . Образование молекул  $Zn(OH)_2$  не происходит, так как ионы  $ZnOH^+$  диссоциируют гораздо труднее, чем молекулы  $Zn(OH)_2$ . В обычных условиях гидролиз идет по первой ступени. Соль гидролизуется по катиону. Ионно-молекулярное уравнение гидролиза



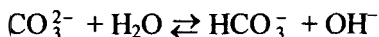
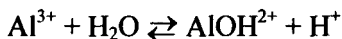
или в молекулярной форме



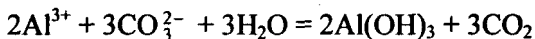
В растворе появляется избыток ионов водорода, поэтому раствор  $ZnSO_4$  имеет кислую реакцию ( $pH < 7$ ).

**Пример 2.** Какие продукты образуются при смешивании растворов  $Al(NO_3)_3$  и  $K_2CO_3$ ? Составьте ионно-молекулярное и молекулярное уравнение реакции.

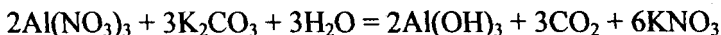
*Решение.* Соль  $Al(NO_3)_3$  гидролизуется по катиону, а  $K_2CO_3$  — по аниону:



Если растворы этих солей находятся в одном сосуде, то идет взаимное усиление гидролиза каждой из них, ибо ионы  $H^+$  и  $OH^-$  образуют молекулу слабого электролита  $H_2O$ . При этом гидролитическое равновесие сдвигается вправо и гидролиз каждой из взятых солей идет до конца с образованием  $Al(OH)_3$  и  $CO_2$  ( $H_2CO_3$ ). Ионно-молекулярное уравнение:



молекулярное уравнение:



## КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

**201.** Составьте ионно-молекулярное и молекулярное уравнения гидролиза, происходящего при смешивании растворов  $K_2S$  и  $CrCl_3$ . Каждая из взятых солей гидролизуется необратимо до конца с образованием соответствующих основания и кислоты.

202. К раствору  $\text{FeCl}_3$  добавили следующие вещества: а)  $\text{HCl}$ ; б)  $\text{KOH}$ ; в)  $\text{ZnCl}_2$ ; г)  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ . В каких случаях гидролиз хлорида железа (III) усилится? Почему? Составьте ионно-молекулярные уравнения гидролиза соответствующих солей.

203. Какие из солей —  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ ,  $\text{K}_2\text{S}$ ,  $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ ,  $\text{KCl}$  — подвергаются гидролизу? Составьте ионно-молекулярные и молекулярные уравнения гидролиза соответствующих солей. Какое значение ( $7 < \text{pH} < 7$ ) имеют растворы этих солей?

204. При смешивании  $\text{FeCl}_3$  и  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  каждая из взятых солей гидролизуеться необратимо до конца с образованием соответствующих основания и кислоты. Выразите этот совместный гидролиз ионно-молекулярным и молекулярным уравнениями.

205. К раствору  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  добавили следующие вещества: а)  $\text{HCl}$ ; б)  $\text{NaOH}$ ; в)  $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ ; г)  $\text{K}_2\text{S}$ . В каких случаях гидролиз карбоната натрия усилится? Почему? Составьте ионно-молекулярные уравнения гидролиза соответствующих солей.

206. Какое значение  $\text{pH}$  ( $7 < \text{pH} < 7$ ) имеют растворы солей  $\text{Na}_2\text{S}$ ,  $\text{AlCl}_3$ ,  $\text{NiSO}_4$ ? Составьте ионно-молекулярные и молекулярные уравнения гидролиза этих солей.

207. Составьте ионно-молекулярные и молекулярные уравнения гидролиза солей  $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ ,  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ,  $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ . Какое значение  $\text{pH}$  ( $7 < \text{pH} < 7$ ) имеют растворы этих солей?

208. Составьте ионно-молекулярные и молекулярные уравнения гидролиза солей  $\text{CH}_3\text{COOK}$ ,  $\text{ZnSO}_4$ ,  $\text{Al}(\text{NO}_3)_3$ . Какое значение  $\text{pH}$  ( $7 < \text{pH} < 7$ ) имеют растворы этих солей?

209. Какое значение  $\text{pH}$  ( $7 < \text{pH} < 7$ ) имеют растворы солей  $\text{Na}_3\text{PO}_4$ ,  $\text{K}_2\text{S}$ ,  $\text{CuSO}_4$ ? Составьте ионно-молекулярные и молекулярные уравнения гидролиза этих солей.

210. Составьте ионно-молекулярные и молекулярные уравнения гидролиза солей  $\text{CuCl}_2$ ,  $\text{Cs}_2\text{CO}_3$ ,  $\text{Cr}(\text{NO}_3)_3$ . Какое значение  $\text{pH}$  ( $7 < \text{pH} < 7$ ) имеют растворы этих солей?

211. Какие из солей —  $\text{RbCl}$ ,  $\text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3$ ,  $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2$ ,  $\text{Na}_2\text{SO}_3$  — подвергаются гидролизу? Составьте ионно-молекулярные и молекулярные уравнения гидролиза соответствующих солей. Какое значение  $\text{pH}$  ( $7 < \text{pH} < 7$ ) имеют растворы этих солей?



212. К раствору  $Al_2(SO_4)_3$  добавили следующие вещества: а)  $H_2SO_4$ ; б)  $KOH$ ; в)  $Na_2SO_3$ ; г)  $ZnSO_4$ . В каких случаях гидролиз сульфата алюминия усилится? Почему? Составьте ионно-молекулярные уравнения гидролиза соответствующих солей.

213. Какая из двух солей при равных условиях в большей степени подвергается гидролизу:  $Na_2CO_3$  или  $Na_2SO_3$ ;  $FeCl_3$  или  $FeCl_2$ ? Почему? Составьте ионно-молекулярные уравнения гидролиза этих солей.

214. При смешивании растворов  $Al_2(SO_4)_3$  и  $Na_2CO_3$  каждая из взятых солей гидролизуется необратимо до конца с образованием соответствующих основания и кислоты. Составьте ионно-молекулярные и молекулярные уравнения происходящего совместного гидролиза.

215. Какая из солей —  $NaBr$ ,  $Na_2S$ ,  $K_2CO_3$ ,  $CoCl_2$  — подвергается гидролизу? Составьте ионно-молекулярные и молекулярные уравнения гидролиза соответствующих солей. Определите  $pH$  ( $7 < pH < 7$ ) растворов этих солей?

216. Какая из двух солей при равных условиях в большей степени подвергается гидролизу:  $NaCN$  или  $NaClO$ ;  $MgCl_2$  или  $ZnCl_2$ ? Почему? Составьте ионно-молекулярные и молекулярные уравнения гидролиза соответствующих солей.

217. Составьте ионно-молекулярное и молекулярное уравнения гидролиза соли, раствор которого имеет: а) щелочную реакцию; б) кислую реакцию.

218. Какое значение  $pH$  ( $7 < pH < 7$ ) имеют растворы следующих солей:  $K_3PO_4$ ,  $Pb(NO_3)_2$ ,  $Na_2S$ ? Составьте ионно-молекулярные и молекулярные уравнения гидролиза этих солей.

219. Какие из солей —  $K_2CO_3$ ,  $FeCl_3$ ,  $K_2SO_4$ ,  $ZnCl_2$  — подвергаются гидролизу? Составьте ионно-молекулярные и молекулярные уравнения гидролиза соответствующих солей. Определите  $pH$  ( $7 < pH < 7$ ) растворов этих солей.

220. При смешивании растворов  $Al_2(SO_4)_3$  и  $Na_2S$  каждая из взятых солей гидролизуется необратимо до конца с образованием соответствующих основания и кислоты. Выразите этот совместный гидролиз ионно-молекулярным и молекулярным уравнениями.

## Окислительно-восстановительные реакции

Окислительно-восстановительными называют реакции, сопровождающиеся изменением степени окисления атомов, входящих в состав реагирующих веществ. *Под степенью окисления (n) понимают условный заряд атома, который вычисляют исходя из предположения, что молекула состоит только из ионов.* Иными словами: *степень окисления — это условный заряд, который приобрел бы атом элемента, если предположить, что он принял или отдал то или иное число электронов.*

Окисление-восстановление — это единый, взаимосвязанный процесс. *Окисление приводит к повышению степени окисления восстановителя, а восстановление — к ее понижению у окислителя.*

Повышение или понижение степени окисления атомов отражается в электронных уравнениях: окислитель принимает электроны, а восстановитель их отдает. При этом не имеет значения, переходят ли электроны от одного атома к другому полностью и образуются ионные связи или электроны только оттягиваются к более электроотрицательному атому и возникает полярная связь. О способности того или иного вещества проявлять окислительные, восстановительные или двойственные (как окислительные, так и восстановительные) свойства можно судить по степени окисления атомов окислителя и восстановителя.

*Атом того или иного элемента в своей высшей степени окисления не может ее повысить (отдать электроны) и проявляет только окислительные свойства, а в своей низшей степени окисления не может ее понизить (принять электроны) и проявляет только восстановительные свойства. Атом же элемента, имеющий промежуточную степень окисления, может проявлять как окислительные, так и восстановительные свойства.* Например:

$N^{5+}(HNO_3)$	$S^{6+}(H_2SO_4)$	} проявляют только окислительные свойства;
$N^{4+}(NO_2)$	$S^{4+}(SO_2)$	
$N^{3+}(HNO_2)$	} проявляют окислительные и восстановительные свойства;	
$N_2+(NO)$		$S^{2+}(SO)$
$N^+(N_2O)$		$S^0(S_2; S_8)$
$N^0(N_2)$		
$N^-(NH_2OH)$	} проявляют только восстановительные свойства	
$N^2-(N_2H_4)$		$S^2-(H_2S)$
$N^3-(NH_3)$		

При окислительно-восстановительных реакциях валентность атомов может и не меняться. Например, в окислительно-восстановительной реакции  $\text{H}^0_2 + \text{Cl}^0_2 = 2\text{H}^+\text{Cl}^-$  валентность атомов водорода и хлора до и после реакции равна единице. Изменилась их степень окисления. Валентность определяет число связей, образованных данным атомом, и поэтому знака заряда не имеет. Степень же окисления имеет знак плюс или минус.

**Пример 1.** Исходя из степени окисления (и) азота, серы и марганца в соединениях  $\text{NH}_3$ ,  $\text{HNO}_2$ ,  $\text{HNO}_3$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{H}_2\text{SO}_3$ ,  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{MnO}_2$  и  $\text{KMnO}_4$ , определите, какие из них могут быть только восстановителями, только окислителями и какие проявляют как окислительные, так и восстановительные свойства.

*Решение.* Степень окисления азота в указанных соединениях соответственно равна: -3 (низшая), +3 (промежуточная), +5 (высшая);  $n(\text{S})$  соответственно равна: -2 (низшая), +4 (промежуточная), +6 (высшая);  $n(\text{Mn})$  соответственно равна: +4 (промежуточная), +7 (высшая). Отсюда:  $\text{NH}_3$ ,  $\text{H}_2\text{S}$  — только восстановители;  $\text{HNO}_3$ ,  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{KMnO}_4$  — только окислители;  $\text{HNO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{SO}_3$ ,  $\text{MnO}_2$  — окислители и восстановители.

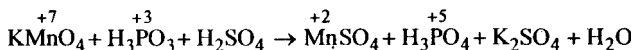
**Пример 2.** Могут ли происходит окислительно-восстановительные реакции между следующими веществами: а)  $\text{H}_2\text{S}$  и  $\text{I}_2$ ; б)  $\text{H}_2\text{S}$  и  $\text{H}_2\text{SO}_3$ ; в)  $\text{H}_2\text{SO}_3$  и  $\text{HClO}_4$ ?

*Решение.* а) Степень окисления в  $\text{H}_2\text{S}$   $n(\text{S}) = -2$ ; в  $\text{HI}$   $n(\text{I}) = -1$ . Так как и сера, и иод находятся в своей низшей степени окисления, то оба вещества проявляют только восстановительные свойства и взаимодействовать друг с другом не могут; б) в  $\text{H}_2\text{S}$   $n(\text{S}) = -2$  (низшая), в  $\text{H}_2\text{SO}_3$   $n(\text{S}) = +4$  (промежуточная).

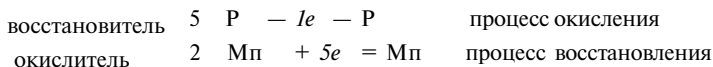
Следовательно, взаимодействие этих веществ возможно, причем  $\text{H}_2\text{SO}_3$  является окислителем;

в) в  $\text{H}_2\text{SO}_3$  « $\text{S}$ » = +4 (промежуточная); в  $\text{HClO}_4$   $n(\text{Cl}) = +7$  (высшая). Взятые вещества могут взаимодействовать,  $\text{H}_2\text{SO}_3$  в этом случае будет проявлять восстановительные свойства.

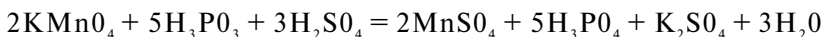
**Пример 3.** Составьте уравнения окислительно-восстановительной реакции, идущей по схеме:



*Решение.* Если в условии задачи даны как исходные вещества, так и продукты их взаимодействия, то написание уравнения реакции сводится, как правило, к нахождению и расстановке коэффициентов. Коэффициенты определяют методом электронного баланса с помощью электронных уравнений. Вычисляем, как изменяют степень окисления восстановитель и окислитель, и отражаем это в электронных уравнениях:

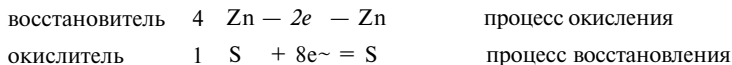


Общее число электронов, отданных восстановителем, должно быть равно числу электронов, которые присоединяет окислитель. Общее наименьшее кратное для отданных и принятых электронов десять. Разделив это число на 5, получаем коэффициент 2 для окислителя и продукта его восстановления, а при делении 10 на 2 получаем коэффициент 5 для восстановителя и продукта его окисления. Коэффициент перед веществами, атомы которых не меняют свою степень окисления, находят подбором. Уравнение реакции будет иметь вид

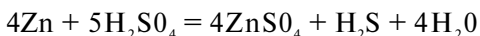


**Пример 4.** Составьте уравнение реакции взаимодействия цинка с концентрированной серной кислотой, учитывая максимальное восстановление последней.

*Решение.* Цинк, как любой металл, проявляет только восстановительные свойства. В концентрированной серной кислоте окислительная функция принадлежит сере (+6). Максимальное восстановление серы означает, что она приобретает минимальную степень окисления. Минимальная степень окисления серы как р-элемента VIA-группы равна -2. Цинк как металл IB-группы имеет постоянную степень окисления +2. Отражаем сказанное в электронных уравнениях:



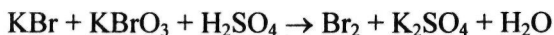
Составляем уравнение реакции:



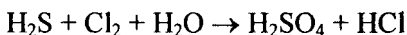
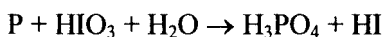
Перед  $\text{H}_2\text{SO}_4$  стоит коэффициент 5, а не 1, ибо четыре молекулы  $\text{H}_2\text{SO}_4$  идут на связывание четырех ионов  $\text{Zn}^{2+}$ .

## КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

221. Исходя из степени окисления хлора в соединениях  $\text{HCl}$ ,  $\text{HClO}_3$ ,  $\text{HClO}_4$ , определите, какое из них является только окислителем, только восстановителем и какое может проявлять как окислительные, так и восстановительные свойства. Почему? На основании электронных уравнений расставьте коэффициенты в уравнении реакции, идущей по схеме



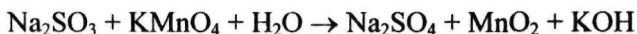
222. Реакции выражаются схемами:



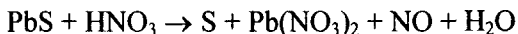
Составьте электронные уравнения. Расставьте коэффициенты в уравнениях реакций. Для каждой реакции укажите, какое вещество является окислителем, какое — восстановителем; какое вещество окисляется, какое — восстанавливается.

223. Составьте электронные уравнения и укажите, какой процесс — окисление или восстановление — происходит при следующих превращениях:  $\text{As}^{3-} \rightarrow \text{As}^{5+}$ ;  $\text{N}^{3+} \rightarrow \text{N}^{3-}$ ;  $\text{S}^{2-} \rightarrow \text{S}^0$ .

На основании электронных уравнений расставьте коэффициенты в уравнении реакции, идущей по схеме



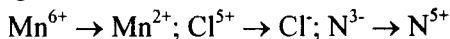
224. Исходя из степени окисления фосфора в соединениях  $\text{PH}_3$ ,  $\text{H}_3\text{P}_2\text{O}_4$ ,  $\text{H}_3\text{PO}_3$ , определите, какое из них является только окислителем, только восстановителем и какое может проявлять как окислительные, так и восстановительные свойства. Почему? На основании электронных уравнений расставьте коэффициенты в уравнении реакции, идущей по схеме



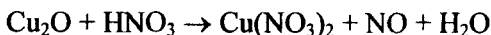
225. См. условие задачи 222.



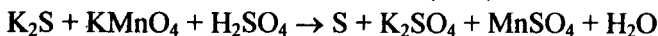
226. Составьте электронные уравнения и укажите, какой процесс — окисление или восстановление — происходит при следующих превращениях:



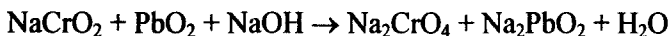
На основании электронных уравнений расставьте коэффициенты в уравнении реакции, идущей по схеме



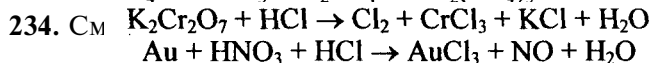
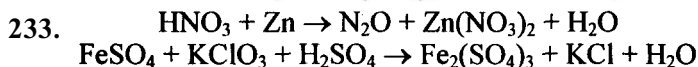
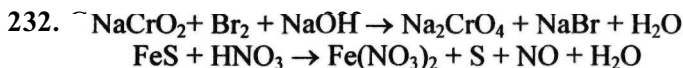
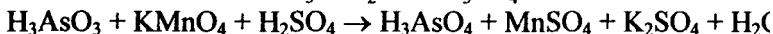
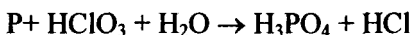
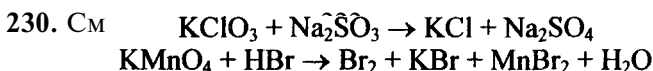
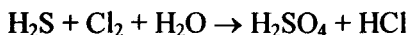
227. См. условие задачи 222.



228. Исходя из степени окисления хрома, иода и серы в соединениях  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ ,  $\text{KI}$  и  $\text{H}_2\text{SO}_3$ , определите, какое из них является только окислителем, только восстановителем и какое может проявлять как окислительные, так и восстановительные свойства. Почему? На основании электронных уравнений расставьте коэффициенты в уравнении реакции, идущей по схеме



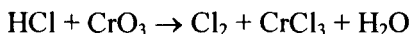
229. См. условие задачи 222.



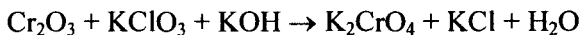
235. Могут ли происходить окислительно-восстановительные реакции между веществами: а)  $\text{NH}_3$  и  $\text{KMnO}_4$ ; б)  $\text{HNO}_2$  и  $\text{HI}$ ; в)  $\text{HCl}$  и  $\text{H}_2\text{Se}$ ? Почему? На основании электронных уравнений расставьте коэффициенты в уравнении реакции, идущей по схеме



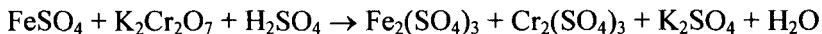
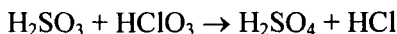
236. См. условие задачи 222.



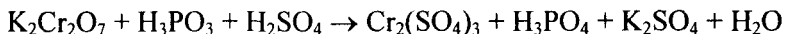
237. См. условие задачи 222.



238. См. условие задачи 222.



239. См. условие задачи 222.



240. Могут ли происходить окислительно-восстановительные реакции между веществами: а)  $\text{PH}_3$  и  $\text{HBr}$ ; б)  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$  и  $\text{H}_3\text{PO}_3$ ; в)  $\text{HNO}_3$  и  $\text{H}_2\text{S}$ ? Почему? На основании электронных уравнений расставьте коэффициенты в уравнении реакции, идущей по схеме



## Электродные потенциалы и электродвижущие силы

При решении задач этого раздела см. табл. 8.

Если металлическую пластинку опустить в воду, то катионы металла на ее поверхности гидратируются полярными молекулами воды и переходят в жидкость. При этом электроны, в избытке остающиеся в металле, разряжают его поверхностный слой отрицательно. Возникает электростатическое притяжение между перешедшими в жидкость гидратированными катионами и поверхностью металла. В результате этого в системе устанавливается подвижное равновесие:



в растворе

на металле

где  $n$  — число электронов, принимающих участие в процессе.

На границе металл — жидкость возникает *двойной электрический слой*, характеризующийся определенным скачком потенциала — *электродным потенциалом*. Абсолютные значения электродных потенциалов измерить не удастся. Электродные потенциалы зависят от ряда факторов (природы металла, концентрации, температуры и др.). Поэтому обычно определяют относительные электродные потенциалы в определенных условиях — так называемые стандартные электродные потенциалы ( $E^0$ ).

*Стандартным электродным потенциалом металла называют его электродный потенциал, возникающий при погружении металла в раствор собственного иона с концентрацией (или активностью), равной 1 моль/л, измеренный по сравнению со стандартным водородным электродом, потенциал которого при 25°C условно принимается равным нулю ( $E^0 = 0$ ;  $\Delta G^0 = 0$ ).*

*Располагая металлы в ряд по мере возрастания их стандартных электродных потенциалов ( $E^0$ ), получаем ряд стандартных электродных потенциалов (ряд напряжений).*

Положение того или иного металла в ряду стандартных электродных потенциалов (ряд напряжений) характеризует его восстановительную способность, а также окислительные свойства его ионов в водных растворах при стандартных условиях. Чем меньше значение  $E^0$ , тем большими восстановительными способностями обладает данный металл в виде простого вещества и тем меньшие окислительные способности проявляют его ионы, и наоборот. Электродные потенциалы измеряют приборами, которые называют гальваническими элементами. Окислительно-восстановительная реакция, которая характеризует работу гальванического элемента, протекает в направлении, в котором ЭДС элемента имеет положительное значение. В этом случае  $\Delta G^0 < 0$ , так как  $\Delta G^0 = -nFE^0$ .

**Пример 1.** Стандартный электродный потенциал никеля больше, чем кобальта (табл. 8). Изменится ли это соотношение, если измерить потенциал никеля в растворе его ионов с концентрацией 0,001 моль/л, а потенциалы кобальта — в растворе с концентрацией 0,1 моль/л.



Таблица 8. Стандартные электродные потенциалы ( $\Delta E^0$ )  
некоторых металлов

Электрод	$E^0$ , В	Электрод	$E^0$ , В
Li <sup>+</sup> /Li	-3,045	Cd <sup>2+</sup> /Cd	-0,403
Rb <sup>+</sup> /Rb	-2,925	Co <sup>2+</sup> /Co	-0,277
K <sup>+</sup> /K	-2,924	Ni <sup>2+</sup> /Ni	-0,25
Cs <sup>+</sup> /Cs	-2,923	Sn <sup>2+</sup> /Sn	-0,136
Ba <sup>2+</sup> /Ba	-2,90	Pb <sup>2+</sup> /Pb	-0,127
Ca <sup>2+</sup> /Ca	-2,87	Fe <sup>3+</sup> /Fe	-0,037
Na <sup>+</sup> /Na	-2,714	2H <sup>+</sup> /H <sub>2</sub>	-0,000
Mg <sup>2+</sup> /Mg	-2,37	Sb <sup>3+</sup> /Sb	+0,20
Al <sup>3+</sup> /Al	-1,70	Bi <sup>3+</sup> /Bi	+0,215
Ti <sup>2+</sup> /Ti	-1,603	Cu <sup>2+</sup> /Cu	+0,34
Zr <sup>4+</sup> /Zr	-1,58	Cu <sup>+</sup> /Cu	+0,52
Mn <sup>2+</sup> /Mn	-1,18	Hg <sub>2</sub> <sup>2+</sup> /2Hg	+0,79
V <sup>2+</sup> /V	-1,18	Ag <sup>+</sup> /Ag	+0,80
Cr <sup>2+</sup> /Cr	-0,913	Hg <sup>2+</sup> /Hg	+0,85
Zn <sup>2+</sup> /Zn	-0,763	Pt <sup>2+</sup> /Pt	+1,19
Cr <sup>3+</sup> /Cr	-0,74	Au <sup>3+</sup> /Au	+1,50
Fe <sup>2+</sup> /Fe	-0,44	Au <sup>+</sup> /Au	+1,70

*Решение.* Электродный потенциал металла ( $E$ ) зависит от концентрации его ионов в растворе. Эта зависимость выражается уравнением Нернста:

$$E = E^0 + \frac{0,059}{n} \lg c,$$

где  $E^0$  — стандартный электродный потенциал;  $n$  — число электронов, принимающих участие в процессе;  $c$  — концентрация (при точных вычислениях — активность) гидратированных ионов металла в растворе, моль/л;  $E^0$  — для никеля и кобальта соответственно равны -0,25 и -0,277 В. Определим электродные потенциалы этих металлов при заданных концентрациях:

$$E_{\text{Ni}^{2+}/\text{Ni}} = -0,25 + \frac{0,059}{2} \lg 10^{-3} = -0,339 \text{ В},$$

$$E_{\text{Co}^{2+}/\text{Co}} = -0,277 + \frac{0,059}{2} \lg 10^{-1} = -0,307 \text{ В}.$$

Таким образом, при изменившейся концентрации потенциал кобальта стал больше потенциала никеля.

**Пример 2.** Магниевую пластинку опустили в раствор его соли. При этом электродный потенциал магния оказался равен -2,41 В. Вычислите концентрацию ионов магния (в моль/л).

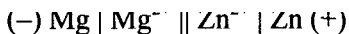
*Решение.* Подобные задачи также решаются на основании уравнения Нернста (см. пример 1):

$$-2,41 = -2,37 + \frac{0,059}{2} \lg c, \quad -0,04 = 0,0295 \lg c,$$

$$\lg c = \frac{-0,04}{0,0295} = -1,3559 = \bar{2},6441, \quad c_{\text{Mg}^{2+}} = 4,4 \cdot 10^{-2} \text{ моль / л.}$$

**Пример 3.** Составьте схему гальванического элемента, в котором электродами являются магниевая и цинковая пластинки, опущенные в растворы их ионов с активной концентрацией 1 моль/л. Какой металл является анодом, какой катодом? Напишите уравнение окислительно-восстановительной реакции, протекающей в этом гальваническом элементе, и вычислите его ЭДС.

*Решение.* Схема данного гальванического элемента



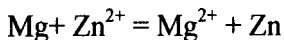
Вертикальная линейка обозначает поверхность раздела между металлом и раствором, а две линейки — границу раздела двух жидких фаз — пористую перегородку (или соединительную трубку, заполненную раствором электролита). Магний имеет меньший потенциал (-2,37 В) и является анодом, на котором протекает окислительный процесс:



Цинк, потенциал которого -0,763 В, — катод, т.е. электрод, на котором протекает восстановительный процесс:



Уравнение окислительно-восстановительной реакции, характеризующее работу данного гальванического элемента, можно получить, сложив электронные уравнения анодного (1) и катодного (2) процессов:



Для определения ЭДС гальванического элемента из потенциала катода следует вычесть потенциал анода. Так как концентрация ионов в растворе 1 моль/л, то ЭДС элемента равна разности стандартных потенциалов двух его электродов:

$$\text{ЭДС} = E^0_{\text{Zn}^{2+}/\text{Zn}} - E^0_{\text{Mg}^{2+}/\text{Mg}} = -0,763 - (-2,37) = 1,607 \text{ В.}$$

## КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

241. В два сосуда с голубым раствором медного купороса поместили в первый цинковую пластинку, а во второй серебряную. В каком сосуде цвет раствора постепенно пропадает?

Почему? Составьте электронные и молекулярные уравнения соответствующей реакции.

**242.** Увеличится, уменьшится или останется без изменения масса цинковой пластинки при взаимодействии ее с растворами: а)  $\text{CuSO}_4$ ; б)  $\text{MgSO}_4$ ; в)  $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ ? Почему? Составьте электронные и молекулярные уравнения соответствующих реакций.

**243.** При какой концентрации ионов  $\text{Zn}^{2+}$  (в моль/л) потенциал цинкового электрода будет на 0,015 В меньше его стандартного электродного потенциала? *Ответ:* 0,30 моль/л.

**244.** Увеличится, уменьшится или останется без изменения масса кадмиевой пластинки при взаимодействии ее с растворами: а)  $\text{AgNO}_3$ ; б)  $\text{ZnSO}_4$ ; в)  $\text{NiSO}_4$ ? Почему? Составьте электронные и молекулярные уравнения соответствующих реакций.

**245.** Марганцевый электрод в растворе его соли имеет потенциал -1,23 В. Вычислите концентрацию ионов  $\text{Mn}^{2+}$  (моль/л). *Ответ:*  $1,89 \cdot 10^{-2}$  моль/л.

**246.** Потенциал серебряного электрода в растворе  $\text{AgNO}_3$  составил 95% от значения его стандартного электронного потенциала. Чему равна концентрация ионов  $\text{Ag}^+$  (моль/л). *Ответ:* 0,20 моль/л.

**247.** Составьте схему, напишите электронные уравнения электродных процессов, и вычислите ЭДС медно-кадмиевого гальванического элемента, в котором  $[\text{Cd}^{2+}] = 0,8$  моль/л, а  $[\text{Cu}^{2+}] = 0,01$  моль/л. *Ответ:* 0,68 В.

**248.** Составьте схемы двух гальванических элементов, в одном из которых медь была бы катодом, а в другом — анодом. Напишите для каждого из этих элементов электронные уравнения реакций, протекающих на катоде и на аноде.

**249.** При какой концентрации ионов  $\text{Cu}^{2+}$  (моль/л) значение потенциала медного электрода становится равным стандартному потенциалу водородного электрода? *Ответ:*  $1,89 \cdot 10^{12}$  моль/л.

**250.** Какой гальванический элемент называют концентрационным? Составьте схему, напишите электронные уравнения электродных процессов и вычислите ЭДС гальванического элемента, состоящего из серебряных электродов, опущенных: первый в 0,01 н., а второй в 0,1 н. растворы  $\text{AgNO}_3$ . *Ответ:* 0,059 В.

**251.** При каком условии будет работать гальванический элемент, электроды которого сделаны из одного и того же

металла? Составьте схему, напишите электронные уравнения электродных процессов и вычислите ЭДС гальванического элемента, в котором один никелевый электрод находится в 0,001 М растворе, а другой такой же электрод — в 0,01 М растворе сульфата никеля. *Ответ:* 0,0295 В.

**252.** Составьте схему, напишите электронные уравнения электродных процессов и вычислите ЭДС гальванического элемента, состоящего из свинцовой и магниевой пластин, опущенных в растворы своих солей с концентрацией  $[Pb^{2+}] = [Mg^{2+}] = 0,01$  моль/л. Изменится ли ЭДС этого элемента, если концентрацию каждого из ионов увеличить в одинаковое число раз? *Ответ:* 2,244 В.

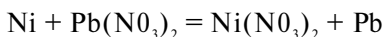
**253.** Составьте схемы двух гальванических элементов, в одном из которых никель является катодом, а в другом — анодом. Напишите для каждого из этих элементов электронные уравнения реакций, протекающих на катоде и на аноде.

**254.** Железная и серебряная пластины соединены внешним проводником и погружены в раствор серной кислоты. Составьте схему данного гальванического элемента и напишите электронные уравнения процессов, происходящих на аноде и на катоде.

**255.** Составьте схему, напишите электронные уравнения электродных процессов и вычислите ЭДС гальванического элемента, состоящего из пластин кадмия и магния, опущенных в растворы своих солей с концентрацией  $[Mg^{2+}] = [Cd^{2+}] = 1$  моль/л. Изменится ли значение ЭДС, если концентрацию каждого из ионов понизить до 0,01 моль/л? *Ответ:* 1,967 В.

**256.** Составьте схему гальванического элемента, состоящего из пластин цинка и железа, погруженных в растворы их солей. Напишите электронные уравнения процессов, протекающих на аноде и на катоде. Какой концентрации надо было бы взять ионы железа (+2) (моль/л), чтобы ЭДС элемента стала равной нулю, если  $[Zn^{2+}] = 0,001$  моль/л? *Ответ:*  $7,3 \cdot 10^{15}$  моль/л.

**257.** Составьте схему гальванического элемента, в основе которого лежит реакция, протекающая по уравнению



Напишите электронные уравнения анодного и катодного процессов. Вычислите ЭДС этого элемента, если  $[Ni^{2+}] = 0,01$  моль/л,  $[Pb^{2+}] = 0,0001$  моль/л. *Ответ:* 0,064 В.

**258.** Какие химические процессы протекают на электродах при зарядке и разрядке свинцового аккумулятора?

**259.** Какие химические процессы протекают на электродах при зарядке и разрядке кадмий-никелевого аккумулятора?

**260.** Какие химические процессы протекают на электродах при зарядке и разрядке железо-никелевого аккумулятора?

## Электролиз

**Пример 1.** Какая масса меди выделится на катоде при электролизе раствора  $\text{CuSO}_4$  в течение 1 ч. При силе тока 4А?

*Решение.* Согласно законам Фарадея

$$m = m_3 It / 96\,500, \quad (1)$$

где  $m$  — масса вещества, окисленного или восстановленного на электроде;  $m_3$  — молярная масса эквивалента вещества;  $I$  — сила тока, А;  $t$  — продолжительность электролиза, с.

Молярная масса эквивалентов меди в  $\text{CuSO}_4$  равна  $63,54 : 2 = 31,77$  г/моль. Подставив в формулу (1) значения  $m_3 = 31,77$ ,  $I = 4$  А,  $t = 60 \cdot 60 = 3600$  с, получим

$$m = \frac{31,77 \cdot 4 \cdot 3600}{96500} = 4,74 \text{ г.}$$

**Пример 2.** Вычислите молярную массу эквивалента металла, зная, что при электролизе раствора хлорида этого металла затрачено 3880 Кл электричества и на катоде выделяется 11,742 г металла.

*Решение.* Подставляя в формулу (1) числовые значения, получаем

$$m_3 = 11,742 \cdot 96500 / 3880 = 29,35 \text{ г/моль,}$$

где  $m = 11,742$  г;  $It = Q = 3880$  Кл.

**Пример 3.** Чему равна сила тока при электролизе раствора в течение 1 ч 40 мин 25 с, если на катоде выделилось 1,4 л водорода (н.у.)?

*Решение.* Из формулы (1)

$$I = m \cdot 96\,500 / (m_3 t).$$

Так как дан объем водорода, то отношение  $r \cdot t / m_3$  заменяем отношением  $V_{\text{H}_2} / V_{\text{Э}(\text{H}_2)}$ , где  $V_{\text{H}_2}$  — объем водорода, л.;  $V_{\text{Э}(\text{H}_2)}$  — объем эквивалентной массы водорода, л. Тогда

$$I = V_{H_2} \cdot 96500 / V_{Э(H_2)}.$$

Объем эквивалентной массы водорода при н.у. равен половине молярного объема  $22,4/2 = 11,2$  л. Подставив в приведенную формулу значения  $V_{H_2} = 1,4$  л,  $V_{Э(H_2)} = 11,2$  л,  $t = 6025$  (1 ч 40 мин 25 с = 6025 с), находим

$$I = 1,4 \cdot 96\,500 / (11,2 \cdot 6025) = 2 \text{ А.}$$

**Пример 4.** Какая масса гидроксида калия образовалась у катода при электролизе раствора  $K_2SO_4$ , если на аноде выделилось 11,2 л кислорода (н.у.)?

*Решение.* Объем эквивалентной массы кислорода (н.у.)  $22,4/4 = 5,6$  л. Следовательно, 11,2 л содержат две молярные массы эквивалента кислорода. Столько же эквивалентных масс КОН образовалось у катода, или  $56,11 \cdot 2 = 112,22$  г (56,11 г/моль — молярная и эквивалентная масса КОН).

## КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

**261.** Электролиз раствора  $K_2SO_4$  проводили при силе тока 5 А в течение 3 ч. Составьте электронные уравнения процессов, происходящих на электродах. Какая масса воды при этом разложилась и чему равен объем газов (н.у.), выделившихся на катоде и аноде? *Ответ:* 5,03 г; 6,266 л; 3,133 л.

**262.** При электролизе соли некоторого металла в течение 1,5 ч при силе тока 1,8 А на катоде выделилось 1,75 г этого металла. Вычислите эквивалентную массу металла. *Ответ:* 17,37 г/моль.

**263.** При электролизе раствора  $CuSO_4$  на аноде выделилось 168 см<sup>3</sup> газа (н.у.). Составьте электронные уравнения процессов, происходящих на электродах, и вычислите, какая масса меди выделилась на катоде. *Ответ:* 0,953 г.

**264.** Электролиз раствора  $Na_2SO_4$  проводили в течение 5 ч при силе тока 7 А. Составьте электронные уравнения процессов, происходящих на электродах. Какая масса воды при этом разложилась и чему равен объем газов (н.у.), выделившихся на катоде и аноде? *Ответ:* 11,75 г; 14,62 л; 7,31 л.

**265.** Электролиз раствора нитрата серебра проводили при силе тока 2 А в течение 4 ч. Составьте электронные уравнения процессов, происходящих на электродах. Какая масса серебра

выделилась на катоде и каков объем газа (н.у.), выделившегося на аноде? *Ответ:* 32,20 г; 1,67 л.

**266.** Электролиз раствора сульфата некоторого металла проводили при силе тока 6 А в течение 45 мин, в результате чего на катоде выделилось 5,49 г металла. Вычислите эквивалентную массу металла. *Ответ:* 32,7 г/моль.

**267.** На сколько уменьшится масса серебряного анода, если электролиз раствора  $\text{AgNO}_3$  проводить при силе тока 2 А в течение 38 мин 20 с? Составьте электронные уравнения процессов, происходящих на графитовых электродах. *Ответ:* 5,14 г.

**268.** Электролиз раствора сульфата цинка проводили в течение 5 ч, в результате чего выделилось 6 л кислорода (н.у.). Составьте уравнения электродных процессов и вычислите силу тока. *Ответ:* 5,74 А.

**269.** Электролиз раствора  $\text{CuSO}_4$  проводили с медным анодом в течение 4 ч при силе тока 50 А. При этом выделилось 224 г меди. Вычислите выход по току (отношение массы выделившегося вещества к теоретически возможной). Составьте электронные уравнения процессов, происходящих на электродах в случае медного и угольного анодов. *Ответ:* 94,48%.

**270.** Электролиз раствора  $\text{NaI}$  проводили при силе тока 6 А в течение 2,5 ч. Составьте электронные уравнения процессов, происходящих на угольных электродах, и вычислите массу вещества, выделившегося на катоде и аноде? *Ответ:* 0,56 г; 71,0 г.

**271.** Составьте электронные уравнения процессов, происходящих на угольных электродах при электролизе раствора  $\text{AgNO}_3$ . Если электролиз проводить с серебряным анодом, то его масса уменьшается на 5,4 г. Определите расход электричества при этом. *Ответ:* 4830 Кл.

**272.** Электролиз раствора  $\text{CuSO}_4$  проводили в течение 15 мин при силе тока 2,5 А. Выделилось 0,72 г меди. Составьте электронные уравнения процессов, происходящих на электродах в случае медного и угольного анодов. Вычислите выход по току (отношение массы выделившегося вещества к теоретически возможной). *Ответ:* 97,3%.

**273.** Составьте электронные уравнения процессов, происходящих на графитовых электродах при электролизе расплавов и водных растворов  $\text{NaCl}$  и  $\text{KOH}$ . Сколько литров (н.у.)

газа выделится на аноде при электролизе гидроксида калия, если электролиз проводить в течение 30 мин при силе тока 0,5 А?  
*Ответ:* 0,052 л.

**274.** Составьте электронные уравнения процессов, происходящих на графитовых электродах при электролизе раствора КВг. Какая масса вещества выделяется на катоде и аноде, если электролиз проводить в течение 1 ч 35 мин при силе тока 15 А?  
*Ответ:* 0,886 г; 70,79 г.

**275.** Составьте электронные уравнения процессов, происходящих на угольных электродах при электролизе раствора  $\text{SiCl}_2$ . Вычислите массу меди, выделившейся на катоде, если на аноде выделилось 560 мл газа (н.у.). *Ответ:* 1,588 г.

**276.** При электролизе соли трехвалентного металла при силе тока 1,5 А в течение 30 мин на катоде выделилось 1,071 г металла. Вычислите атомную массу металла. *Ответ:* 114,82.

**277.** При электролизе растворов  $\text{MgSO}_4$  и  $\text{ZnSO}_4$ , соединенных последовательно с источником тока, на одном из катодов выделилось 0,25 г водорода. Какая масса вещества выделится на другом катоде; на анодах? *Ответ:* 8,17 г; 2,0 г; 8,86 г.

**278.** Составьте электронные уравнения процессов, происходящих на угольных электродах при электролизе раствора  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ . Вычислите массу вещества, выделяющегося на катоде, если на аноде выделяется 1,12 л газа (н.у.). Какая масса  $\text{H}_2\text{SO}_4$  образуется при этом возле анода? *Ответ:* 0,2 г; 9,8 г.

**279.** При электролизе раствора соли кадмия израсходовано 3434 Кл электричества. Выделилось 2 г кадмия. Чему равна молярная масса эквивалента кадмия? *Ответ:* 56,26 г/моль.

**280.** Составьте электронные уравнения процессов, происходящих на электродах при электролизе раствора КОН. Чему равна сила тока, если в течение 1 ч 15 мин 20 с на аноде выделилось 6,4 г газа? Сколько литров газа (н.у.) выделилось при этом на катоде?  
*Ответ:* 17,08 А; 8,96 л.

## Коррозия металлов

При решении задач этого раздела см. табл. 8.

*Коррозия* — это самопроизвольно протекающий процесс разрушения металлов в результате химического или электрохимического взаимодействия их с окружающей средой.

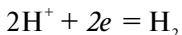


При электрохимической коррозии на поверхности металла одновременно протекают два процесса:

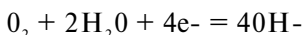
анодный — окисление металла



и катодный — восстановление ионов водорода



или молекул кислорода, растворенного в воде,

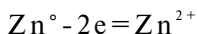


Ионы или молекулы, которые восстанавливаются на катоде, называют деполяризаторами. При атмосферной коррозии — коррозии во влажном воздухе при комнатной температуре — деполяризатором является кислород.

**Пример 1.** Как происходит коррозия цинка, находящегося в контакте с кадмием в нейтральном и кислом растворах. Составьте электронные уравнения анодного и катодного процессов. Каков состав продуктов коррозии?

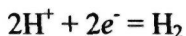
*Решение.* Цинк имеет более отрицательный потенциал (-0,763 В), чем кадмий (-0,403 В), поэтому он является анодом, а кадмий катодом.

Анодный процесс:

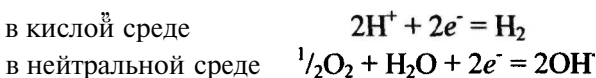


катодный процесс:

в кислой среде



в нейтральной среде



Так как ионы  $\text{Zn}^{2+}$  с гидроксильной группой образуют нерастворимый гидроксид, то продуктом коррозии будет  $\text{Zn}(\text{OH})_2$ .

## КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

**281.** Как происходит атмосферная коррозия луженого и оцинкованного железа при нарушении покрытия? Составьте электронные уравнения анодного и катодного процессов.

**282.** Медь не вытесняет водород из разбавленных кислот. Почему? Однако, если к медной пластинке, опущенной в кислоту, прикоснуться цинковой, то на меди начинается бурное выделение

водорода. Дайте этому объяснение, составив электронные уравнения анодного и катодного процессов. Напишите уравнение протекающей химической реакции.

283. Как происходит атмосферная коррозия луженого железа и луженой меди при нарушении покрытия? Составьте электронные уравнения анодного и катодного процессов.

284. Если пластинку из чистого цинка опустить в разбавленную кислоту, то начавшееся выделение водорода вскоре почти прекращается. Однако при прикосновении к цинку медной палочкой на последней начинается бурное выделение водорода. Дайте этому объяснение, составив электронные уравнения анодного и катодного процессов. Напишите уравнения протекающей химической реакции.

285. В чем сущность протекторной защиты металлов от коррозии? Приведите пример протекторной защиты железа в электролите, содержащем растворенный кислород. Составьте электронные уравнения анодного и катодного процессов.

286. Железное изделие покрыли никелем. Какое это покрытие — анодное или катодное? Почему? Составьте электронные уравнения анодного и катодного процессов коррозии этого изделия при нарушении покрытия во влажном воздухе и в хлороводородной (соляной) кислоте. Какие продукты коррозии образуются в первом и во втором случаях?

287. Составьте электронные уравнения анодного и катодного процессов с кислородной и водородной деполяризацией при коррозии пары магний — никель. Какие продукты коррозии образуются в первом и во втором случаях?

288. В раствор хлороводородной (соляной) кислоты поместили цинковую пластинку и цинковую пластинку, частично покрытую медью. В каком случае процесс коррозии цинка происходит интенсивнее? Ответ мотивируйте, составив электронные уравнения соответствующих процессов.

289. Почему химически чистое железо более стойко против коррозии, чем техническое железо? Составьте электронные уравнения анодного и катодного процессов происходящих при коррозии технического железа во влажном воздухе и в кислой среде.

290. Какое покрытие металла называется анодным и какое — катодным? Назовите несколько металлов, которые могут служить

для анодного и катодного покрытий железа. Составьте электронные уравнения анодного и катодного процессов, происходящих при коррозии железа, покрытого медью, во влажном воздухе и в кислой среде.

291. Железное изделие покрыли кадмием. Какое это покрытие — анодное или катодное? Почему? Составьте электронные уравнения анодного и катодного процессов коррозии этого изделия при нарушении покрытия во влажном воздухе и в хлороводородной (соляной) кислоте. Какие продукты коррозии образуются в первом и во втором случаях?

292. Железное изделие покрыли свинцом. Какое это покрытие — анодное или катодное? Почему? Составьте электронные уравнения анодного и катодного процессов коррозии этого изделия при нарушении покрытия во влажном воздухе и в хлороводородной (соляной) кислоте. Какие продукты коррозии образуются в первом и во втором случаях?

293. Две железные пластинки, частично покрытые одна оловом, другая медью, находятся во влажном воздухе. На какой из этих пластинок быстрее образуется ржавчина? Почему? Составьте электронные уравнения анодного и катодного процессов коррозии этих пластинок. Каков состав продуктов коррозии железа?

294. Какой металл целесообразней выбрать для протекторной защиты от коррозии свинцовой оболочки кабеля: цинк, магний или хром? Почему? Составьте электронные уравнения анодного и катодного процессов атмосферной коррозии. Каков состав продуктов коррозии?

295. Если опустить в разбавленную серную кислоту пластинку из чистого железа, то выделение на ней водорода идет медленно и со временем почти прекращается. Однако, если цинковой палочкой прикоснуться к железной пластинке, то на последней начинается бурное выделение водорода. Почему? Какой металл при этом растворяется? Составьте электронные уравнения анодного и катодного процессов.

296. Цинковую и железную пластинки опустили в раствор сульфата меди. Составьте электронные и ионно-молекулярные уравнения реакций, происходящих на каждой из этих пластинок. Какие процессы будут проходить на пластинках, если наружные концы их соединить проводником?

**297.** Как влияет рН среды на скорость коррозии железа и цинка? Почему? Составьте электронные уравнения анодного и катодного процессов атмосферной коррозии этих металлов.

**298.** В раствор электролита, содержащего растворенный кислород, опустили цинковую пластинку и цинковую пластинку, частично покрытую медью. В каком случае процесс коррозии цинка проходит интенсивнее? Составьте электронные уравнения анодного и катодного процессов.

**299.** Составьте электронные уравнения анодного и катодного процессов с кислородной и водородной деполяризацией при коррозии пары алюминий — железо. Какие продукты коррозии образуются в первом и во втором случаях?

**300.** Как протекает атмосферная коррозия железа, покрытого слоем никеля, если покрытие нарушено? Составьте электронные уравнения анодного и катодного процессов. Каков состав продуктов коррозии?

## Комплексные соединения

Комплексообразование происходит во всех случаях, когда из менее сложных систем образуются системы более сложные.

В структуре комплексного соединения различают *координационную (внутреннюю) сферу*, состоящую из центральной частицы — комплексообразователя (ион или атом) — и окружающих ее лигандов (ионы противоположного знака или молекулы). Ионы, находящиеся за пределами координационной сферы, образуют *внешнюю сферу* комплексного соединения. Число лигандов вокруг комплексообразователя называется его координационным числом. Внутренняя сфера (комплекс) может быть анионом, катионом и не иметь заряда. Например, в комплексном соединении  $K_3[Fe(CN)_6]$  внешняя сфера —  $3K^+$ , внутренняя сфера  $[Fe(CN)_6]^{3-}$ , где  $Fe^{3+}$  — комплексообразователь, а  $6CN^-$  — лиганды, причем шесть — координационное число. Таким образом, комплексное соединение (как правило) в узлах кристаллической решетки содержит комплекс, способный к самостоятельному существованию и в растворе.

**Пример 1.** Определите заряд комплексного иона, координационное число (к.ч.) и степень окисления комплексообразователя в соединениях: а)  $K_4[Fe(CN)_6]$ ; б)  $Na[Ag(NO_2)_2]$ ; в)  $K_2[MoF_8]$ ; г)  $[Cr(H_2O)_2(NH_3)_3Cl]Cl_2$ .

*Решение.* Заряд комплексного иона равен заряду внешней сферы, но противоположен ему по знаку. Координационное число комплексообразователя равно числу лигандов, координированных вокруг него. Степень окисления комплексообразователя определяется так же, как степень окисления атома в любом соединении, исходя из того, что сумма степеней окисления всех атомов в молекуле равна нулю. Заряды нейтральных молекул ( $H_2O$ ,  $NH_3$ ) равны нулю. Заряды кислотных остатков определяют из формул соответствующих кислот. Отсюда:

	Заряд иона	К.ч.	Степень окисления
а)	-4	6	+2
б)	-1	2	+1
в)	-2	8	+6
г)	+2	6	+3

**Пример 2.** Напишите выражение для константы нестойкости комплекса  $[Fe(CN)_6]^{4-}$ .

*Решение.* Если комплексная соль гексацианоферрат (II) калия, являясь сильным электролитом, в водном растворе необратимо диссоциирует на ионы внешней и внутренней сфер



то комплексный ион диссоциирует обратимо и в незначительной степени на составляющие его частицы:



Обратимый процесс характеризуется своей константой равновесия, которая в данном случае называется константой нестойкости ( $K_n$ ) комплекса:

$$K_n = \frac{[Fe^{2+}][CN^-]^6}{[Fe(CN)_6]^{4-}}$$

Чем меньше  $K_n$  тем более прочен данный комплекс.

## КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

301. Определите заряд комплексного иона, степень окисления и координационное число комплексообразователя в соединениях  $[Cu(NH_3)_4]SO_4$ ,  $K_2[PtCl_6]$ ,  $K[Ag(CN)_2]$ . Напишите уравнения диссоциации этих соединений в водных растворах.

**302.** Составьте координационные формулы следующих комплексных соединений платины:  $\text{PtCl}_4 \cdot 6\text{NH}_3$ ;  $\text{PtCl}_4 \cdot 4\text{NH}_3$ ;  $\text{PtCl}_4 \cdot 2\text{NH}_3$ . Координационное число платины (IV) равно шести. Напишите уравнение диссоциации этих соединений в водных растворах. Какое из соединений является комплексным неэлектролитом?

**303.** Составьте координационные формулы следующих комплексных соединений кобальта:  $\text{CoCl}_3 \cdot 6\text{NH}_3$ ;  $\text{CoCl}_3 \cdot 5\text{NH}_3$ ;  $\text{CoCl}_3 \cdot 4\text{NH}_3$ . Координационное число кобальта (III) равно шести. Напишите уравнения диссоциации этих соединений в водных растворах.

**304.** Определите заряд комплексного иона, степень окисления и координационное число сурьмы в соединениях  $\text{Rb}[\text{SbBr}_6]$ ;  $\text{K}[\text{SbCl}_6]$ ;  $\text{Na}[\text{Sb}(\text{SO}_4)_2]$ . Как диссоциируют эти соединения в водных растворах?

**305.** Составьте координационные формулы следующих комплексных соединений серебра:  $\text{AgCl} \cdot 2\text{NH}_3$ ;  $\text{AgCN} \cdot \text{KCN}$ ;  $\text{AgNO}_2 \cdot \text{NaNO}_2$ . Координационное число серебра равно двум. Напишите уравнения диссоциации этих соединений в водных растворах.

**306.** Определите заряд комплексного иона, степень окисления и координационное число комплексообразователя в соединениях  $\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]$ ,  $\text{K}_2[\text{TiCl}_6]$ ,  $\text{K}_2[\text{HgI}_4]$ . Как диссоциируют эти соединения в водных растворах?

**307.** Из сочетания частиц  $\text{Co}^{3+}$ ,  $\text{NH}_3$ ,  $\text{NO}_2^-$  и  $\text{K}^+$  можно составить семь координационных формул комплексных соединений кобальта, одна из которых  $[\text{Co}(\text{NH}_3)_6(\text{NO}_2)_2]^{3+}$ . Составьте формулы других шести соединений и напишите уравнения их диссоциации в водных растворах.

**308.** Определите, чему равен заряд следующих комплексных ионов:  $[\text{Cr}(\text{H}_2\text{O})_4\text{Cl}_2]$ ,  $[\text{HgBr}_4]$ ,  $[\text{Fe}(\text{CN})_6]$ , если комплексообразователями являются  $\text{Cr}^{3+}$ ,  $\text{Hg}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{3+}$ . Напишите формулы соединений, содержащих эти комплексные ионы.

**309.** Определите заряд следующих комплексных ионов:  $[\text{Cr}(\text{NH}_3)_3\text{NO}]$ ,  $[\text{Pt}(\text{NH}_3)\text{Cl}_3]$ ,  $[\text{Ni}(\text{CN})_4]$ , если комплексообразователями являются  $\text{Cr}^{3+}$ ,  $\text{Pt}^{2+}$ ,  $\text{Ni}^{2+}$ . Напишите формулы комплексных соединений, содержащих эти ионы.

310. Из сочетания частиц  $\text{Cr}^{3+}$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{Cl}^-$  и  $\text{K}^+$  можно составить семь координационных формул комплексных соединений хрома, одна из которых  $[\text{Cr}(\text{H}_2\text{O})_6]\text{Cl}_3$ . Составьте формулы других шести соединений и напишите уравнения их диссоциации в водных растворах.

311. Составьте координационные формулы следующих комплексных соединений кобальта:  $3\text{NaNO}_2 \cdot \text{Co}(\text{NO}_2)_3$ ;  $\text{CoCl}_3 \cdot 3\text{NH}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ;  $2\text{KNO}_2 \cdot \text{NH}_3 \cdot \text{Co}(\text{NO}_2)_6$ . Координационное число кобальта (III) равно шести. Напишите уравнения диссоциации этих соединений в водных растворах.

312. Напишите выражения для констант нестойкости комплексных ионов  $[\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]^+$ ,  $[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{4-}$ ,  $[\text{PtCl}_6]^{2-}$ . Чему равны степень окисления и координационное число комплексообразователей в этих ионах?

313. Константы нестойкости комплексных ионов  $[\text{Co}(\text{CN})_4]^{2-}$ ,  $[\text{Hg}(\text{CN})_4]^{2-}$ ,  $[\text{Cd}(\text{CN})_4]^{2-}$  соответственно равны  $8 \cdot 10^{-20}$ ;  $4 \cdot 10^{-41}$ ,  $1,4 \cdot 10^{-17}$ . В каком растворе, содержащем эти ионы, при равной молярной концентрации ионов  $\text{CN}^-$  больше?

314. Напишите выражения для констант нестойкости следующих комплексных ионов:  $[\text{Ag}(\text{CN})_2]^-$ ,  $[\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]^+$ ,  $[\text{Ag}(\text{SCN})_2]^-$ . Зная, что они соответственно равны  $1,0 \cdot 10^{-21}$ ,  $6,8 \cdot 10^{-8}$ ,  $2,0 \cdot 10^{-11}$ , укажите, в каком растворе, содержащем эти ионы, при равной молярной концентрации ионов  $\text{Ag}^+$  больше.

315. При прибавлении раствора  $\text{KCN}$  к раствору  $[\text{Zn}(\text{NH}_3)_4]\text{SO}_4$  образуется растворимое комплексное соединение  $\text{K}_2[\text{Zn}(\text{CN})_4]$ . Напишите молекулярное и ионно-молекулярное уравнения реакции. Константа нестойкости какого иона,  $[\text{Zn}(\text{NH}_3)_4]^{2+}$  или  $[\text{Zn}(\text{CN})_4]^{2-}$ , больше? Почему?

316. Напишите уравнения диссоциации солей  $\text{K}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]$  и  $\text{NH}_4\text{Fe}(\text{SO}_4)_2$  в водном растворе. К каждой из них прилили раствор щелочи. В каком случае выпадает осадок гидроксида железа (III)? Напишите молекулярные и ионно-молекулярные уравнения реакций. Какие комплексные соединения называют двойными солями?

317. Составьте координационные формулы следующих комплексных соединений платины (II), координационное число

которой равно четырем:  $\text{PtCl}_2 \cdot 3\text{NH}_3$ ;  $\text{PtCl}_2\text{NH}_3\text{KCl}$ ;  $\text{PtCl}_2 \cdot 2\text{NH}_3$ .  
Напишите уравнения диссоциации этих соединений в водных растворах. Какое из соединений является комплексным неэлектролитом?

**318.** Хлорид серебра растворяется в растворах аммиака и тиосульфата натрия. Дайте этому объяснение и напишите молекулярные и ионно-молекулярные уравнения соответствующих реакций.

**319.** Какие комплексные соединения называют двойными солями? Напишите уравнения диссоциации солей  $\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]$  и  $(\text{NH}_4)_2\text{Fe}(\text{SO}_4)_2$  в водном растворе. В каком случае выпадает осадок гидроксида железа (II), если к каждой из них прилить раствор щелочи? Напишите молекулярное и ионно-молекулярное уравнения реакции.

**320.** Константы нестойкости комплексных ионов  $[\text{Co}(\text{NH}_3)_6]^{3+}$ ,  $[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{4-}$ ,  $[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{3-}$  соответственно равны  $6,2 \cdot 10^{-6}$ ,  $1,0 \cdot 10^{-37}$ ,  $1,0 \cdot 10^{-44}$ . Какой из этих ионов является более прочным? Напишите выражения для констант нестойкости указанных комплексных ионов и формулы соединений, содержащих эти ионы.

### **s-элементы (... ns<sup>1-2</sup>)**

## КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

**321.** Какую степень окисления может проявлять водород в своих соединениях? Приведите примеры реакций, в которых газообразный водород окислитель и в которых — восстановитель.

**322.** Напишите уравнения реакций натрия с водородом, кислородом, азотом и серой. Какую степень окисления приобретают атомы окислителя в каждой из этих реакций?

**323.** Напишите уравнения реакций с водой следующих соединений натрия:  $\text{Na}_2\text{O}_2$ ,  $\text{Na}_2\text{S}$ ,  $\text{NaNH}_2$ ,  $\text{Na}_3\text{N}$ .

**324.** Как получают металлический натрий? Составьте электронные уравнения процессов, происходящих на электродах при электролизе расплава  $\text{NaOH}$ .

**325.** Какие свойства может проявлять пероксид водорода в окислительно-восстановительных реакциях? На основании электронных уравнений напишите уравнения реакций  $\text{H}_2\text{O}_2$ : а) с  $\text{Ag}_2\text{O}$ ; б) с  $\text{KI}$ .



326. Почему пероксид водорода способен диспропорционировать (самоокисляться — самовосстанавливаться)? Составьте электронные и молекулярные уравнения процесса разложения  $H_2O_2$ .

327. Как можно получить гидрид и нитрид кальция? Напишите уравнения реакций этих соединений с водой. К окислительно-восстановительным реакциям составьте электронные уравнения.

328. Назовите три изотопа водорода. Укажите состав их ядер. Что такое тяжелая вода? Как она получается и каковы ее свойства?

329. Гидроксид какого из s-элементов проявляет амфотерные свойства? Составьте молекулярные и ионно-молекулярные уравнения реакций этого гидроксида: а) с кислотой; б) со щелочью.

330. При пропускании диоксида углерода через известковую воду [раствор  $Ca(OH)_2$ ] образуется осадок, который при дальнейшем пропускании  $CO_2$  растворяется. Дайте объяснение этому явлению. Составьте уравнения реакций.

331. Составьте электронные и молекулярные уравнения реакций: а) бериллия с раствором щелочи; б) магния с концентрированной серной кислотой, учитывая, что окислитель приобретает низшую степень окисления.

332. При сплавлении оксид бериллия взаимодействует с диоксидом кремния и с оксидом натрия. Напишите уравнения соответствующих реакций. О каких свойствах  $BeO$  говорят эти реакции?

333. Какие соединения магния и кальция применяются в качестве вяжущих строительных материалов? Чем обусловлены их вяжущие свойства?

334. Как можно получить карбид кальция? Что образуется при его взаимодействии с водой? Напишите уравнения соответствующих реакций.

335. Как можно поучить гидроксиды щелочных металлов? Почему едкие щелочи необходимо хранить в хорошо закрытой посуде? Составьте уравнения реакций, происходящих при насыщении гидроксида натрия: а) хлором; б) оксидом серы  $SO_3$ ; в) сероводородом.

336. Чем можно объяснить большую восстановительную способность щелочных металлов. При сплавлении гидроксида натрия с металлическим натрием последний восстанавливает

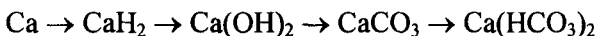
водород в гидрид-ион. Составьте электронные и молекулярные уравнения этой реакции.

**337.** Какое свойство кальция позволяет применять его в металлотермии для получения некоторых металлов из их соединений? Составьте электронные и молекулярные уравнения реакций кальция: а) с  $V_2O_5$ ; б)  $CaSO_4$ . В каждой из этих реакций окислитель восстанавливается максимально, приобретая низшую степень окисления.

**338.** Какие соединения называют негашеной и гашеной известью? Составьте уравнения реакций их получения. Какое соединение образуется при прокаливании негашеной извести с углем? Что является окислителем и восстановителем в последней реакции? Составьте электронные и молекулярные уравнения.

**339.** Составьте электронные и молекулярные уравнения реакций: а) кальция с водой; б) магния с азотной кислотой, учитывая, что окислитель приобретает низшую степень окисления.

**340.** Составьте уравнения реакций, которые нужно провести для осуществления следующих превращений:



## Жесткость воды и методы ее устранения

Жесткость воды выражается суммой миллиэквивалентов ионов  $Ca^{2+}$  и  $Mg^{2+}$ , содержащихся в 1 л воды (моль/л). Один миллимоль жесткости отвечает содержанию 20,04 мг/л  $Ca^{2+}$  или 12,16 мг/л  $Mg^{2+}$ .

**Пример 1.** Вычислите жесткость воды, зная, что в 500 л ее содержится 202,5 г  $Ca(HCO_3)_2$ .

*Решение.* В 1 л воды содержится  $202,5 : 500 = 0,405$  г  $Ca(HCO_3)_2$ , что составляет  $0,405 : 81 = 0,005$  ммоль/л [81 г/моль — эквивалентная масса  $Ca(HCO_3)_2$ ]. Следовательно, жесткость воды 5 ммоль.

**Пример 2.** Сколько граммов  $CaSO_4$  содержится в 1 м воды, если жесткость, обусловленная присутствием этой соли, равна 4 ммоль?

*Решение.* Молярная масса  $CaSO_4$  136,14 г/моль; молярная масса эквивалента равна  $136,14 : 2 = 68,07$  г/моль. В 1 м воды жесткостью 4 ммоль содержится  $4 \cdot 1000 = 4000$  ммоль, или  $4000 \cdot 68,07 = 272\,280$  мг - 272,280 г  $CaSO_4$ .

**Пример 3.** Какую массу соды надо добавить к 500 л воды, чтобы устранить ее жесткость, равную 5 ммоль?

*Решение.* В 500 л воды содержится  $500 \cdot 5 = 2500$  ммоль солей, обуславливающих жесткость воды. Для устранения жесткости следует прибавить  $2500 - 53 = 132\,500$  мг = 132,5 г соды (53 г/ммоль — молярная масса эквивалента  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ).

**Пример 4.** Вычислите карбонатную жесткость воды, зная, что на титрование 100 см<sup>3</sup> этой воды, содержащей гидрокарбонат кальция, потребовалось 6,25 см<sup>3</sup> 0,08 н. раствора HCl.

*Решение.* Вычисляем молярную концентрацию эквивалентов раствора гидрокарбоната кальция. Обозначив число эквивалентов растворенного вещества в 1 л раствора, через  $x$ , составляем пропорцию:

$$\frac{6,25}{100} = \frac{x}{0,08}, \quad x = 0,005 \text{ н.}$$

Таким образом, в 1 л исследуемой воды содержится  $0,005 \cdot 1000 = 5$  ммоль гидрокарбоната кальция или 5 ммоль  $\text{Ca}^{2+}$ -ионов. Карбонатная жесткость воды 5 ммоль.

Приведенные примеры решают, применяя формулу

$$Ж = m / (m_3 V),$$

где  $m$  — масса вещества, обуславливающего жесткость воды или применяемого для устранения жесткости, мг;  $m_3$  — молярная масса эквивалента этого вещества;  $V$  — объем воды, л.

**Решение примера 1.**  $Ж = m / (m_3 V) = 202\,500 / (81 \cdot 500) = 5$  ммоль. 81 — эквивалентная масса  $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ , равная половине его молярной массы.

**Решение примера 2.** Из формулы  $Ж = m / (m_3 V)$ ,  $m = 4 \cdot 68,07 \cdot 1000 = 272\,280$  мг = 272,280 г  $\text{CaSO}_4$ .

## КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

**341.** Какую массу  $\text{Na}_3\text{PO}_4$  надо прибавить к 500 л воды, чтобы устранить ее карбонатную жесткость, равную 5 ммоль/л? *Ответ:* 136,6 г.

**342.** Какие соли обуславливают жесткость природной воды? Какую жесткость называют карбонатной, некарбонатной? Как можно устранить карбонатную, некарбонатную жесткость?

Напишите уравнения соответствующих реакций. Чему равна жесткость воды, в 100 л которой содержится 14,632 г гидрокарбоната магния? *Ответ:* 2 ммоль/л.

**343.** Вычислите карбонатную жесткость воды, зная, что для реакции с гидрокарбонатом кальция, содержащимся в 200 см<sup>3</sup> воды, требуется 15 см<sup>3</sup> 0,08 н. раствора HCl. *Ответ:* 6 ммоль/л.

**344.** В 1 л воды содержится 36,47 мг ионов магния и 50,1 мг ионов кальция. Чему равна жесткость этой воды? *Ответ:* 5,5 ммоль/л.

**345.** Какую массу карбоната натрия надо прибавить к 400 л воды, чтобы устранить жесткость, равную 3 ммоль/л. *Ответ:* 63,6 г.

**346.** Вода, содержащая только сульфат магния, имеет жесткость 7 ммоль/л. Какая масса сульфата магния содержится в 300 л этой воды? *Ответ:* 126,3 г.

**347.** Вычислите жесткость воды, зная, что в 600 л ее содержится 65,7 г гидрокарбоната магния и 61,2 сульфата кальция. *Ответ:* 3 ммоль/л.

**348.** В 220 л воды содержится 11 г сульфата магния. Чему равна жесткость этой воды? *Ответ:* 0,83 ммоль/л.

**349.** Жесткость воды, в которой растворен только гидрокарбонат кальция, равна 4 ммоль/л. Какой объем 0,1 н. раствора HCl потребуется для реакции с гидрокарбонатом кальция, содержащимся в 75 см<sup>3</sup> этой воды? *Ответ:* 3 см<sup>3</sup>.

**350.** В 1 м<sup>3</sup> воды содержится 140 г сульфата магния. Вычислите жесткость этой воды. *Ответ:* 2,33 ммоль/л.

**351.** Вода, содержащая только гидрокарбонат магния, имеет жесткость 3,5 ммоль/л. Какая масса гидрокарбоната магния содержится в 200 л этой воды? *Ответ:* 51,1 г.

**352.** К 1 м<sup>3</sup> жесткой воды прибавили 132,5 г карбоната натрия. На сколько понизилась жесткость? *Ответ:* на 2,5 ммоль/л.

**353.** Чему равна жесткость воды, если для ее устранения к 50 л воды потребовалось прибавить 21,2 г карбоната натрия? *Ответ:* 8 ммоль/л.

**354.** Какая масса CaSO<sub>4</sub> содержится в 200 л воды, если жесткость, обуславливаемая этой солью, равна 8 ммоль/л. *Ответ:* 108,9 г.

**355.** Вода, содержащая только гидрокарбонат кальция, имеет жесткость 9 ммоль/л. Какая масса гидрокарбоната кальция содержится в 500 л воды? *Ответ:* 364,5 г.

**356.** Какие ионы надо удалить из природной воды, чтобы сделать ее мягкой? Введением каких ионов можно умягчить воду? Составьте уравнения соответствующих реакций. Какую массу  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  надо прибавить к 2,5 л воды, чтобы устранить ее жесткость, равную 4,43 ммоль/л. *Ответ:* 0,406 г.

**357.** Какую массу карбоната натрия надо прибавить к 0,1 м<sup>3</sup> воды, чтобы устранить жесткость, равную 4 ммоль/л? *Ответ:* 21,2 г.

**358.** К 100 л жесткой воды прибавили 12,95 г гидроксида кальция. На сколько понизилась карбонатная жесткость. *Ответ:* на 3,5 ммоль/л.

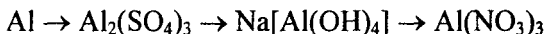
**359.** Чему равна карбонатная жесткость воды, если в 1 л ее содержится 0,292 г гидрокарбоната магния и 0,2025 г гидрокарбоната кальция? *Ответ:* 6,5 ммоль/л.

**360.** Какую массу гидроксида кальция надо прибавить к 275 л воды, чтобы устранить ее карбонатную жесткость, равную 5,5 ммоль/л? *Ответ:* 55,96 г.

### *p*-Элементы (... $ns^2np^{1-6}$ )

## КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

**361.** Составьте уравнения реакций, которые нужно провести для осуществления следующих превращений:



**362.** Составьте электронные и молекулярные уравнения реакций: а) алюминия с раствором щелочи; б) бора с концентрированной азотной кислотой.

**363.** Какой процесс называют алюминотермией? Составьте электронные и молекулярные уравнения реакции, на которой основано применение термита (смесь  $\text{Al}$  и  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ).

**364.** Составьте уравнения реакций, которые нужно провести для осуществления следующих превращений:



Уравнение окислительно-восстановительной реакции составьте на основании электронных уравнений.

**365.** Какая степень окисления наиболее характерна для олова и какая для свинца? Составьте электронные и молекулярные уравнения реакций олова и свинца с концентрированной азотной кислотой.

366. Чем можно объяснить восстановительные свойства олова (II) и окислительные свинца (IV)? На основании электронных уравнений составьте уравнения реакций: а)  $\text{SnCl}_2$  с  $\text{HgCl}_2$ ; б)  $\text{PbO}_2$  с  $\text{HCl}$  (конц.).

367. Какие оксиды и гидроксиды образуют олово и свинец? Как изменяются их кислотно-основные и окислительно-восстановительные свойства в зависимости от степени окисления элементов? Составьте молекулярные и ионно-молекулярные уравнения реакций взаимодействия раствора гидроксида натрия: а) с оловом; б) с гидроксидом свинца (II).

368. Какие соединения называются карбидами и силицидами? Напишите уравнения реакций: а) карбида алюминия с водой; б) силицида магния с хлороводородной (соляной) кислотой. Являются ли эти реакции окислительно-восстановительными? Почему?

369. На основании электронных уравнений составьте уравнение реакции фосфора с азотной кислотой, учитывая, что фосфор приобретает высшую, а азот степень окисления +4.

370. Почему атомы большинства р-элементов способны к реакциям диспропорционирования (самоокисления — самовосстановления)? На основании электронных уравнений напишите уравнение реакции серы в концентрированном растворе щелочи. Один из продуктов содержит серу в степени окисления +4.

371. Почему сернистая кислота может проявлять как окислительные, так и восстановительные свойства? На основании электронных уравнений составьте уравнения реакций  $\text{H}_2\text{SO}_3$ : а) с сероводородом; б) с хлором.

372. Как проявляет себя сероводород в окислительно-восстановительных реакциях? Почему? Составьте электронные и молекулярные уравнения реакций взаимодействия раствора сероводорода: а) с хлором; б) с кислородом.

373. Почему азотистая кислота может проявлять как окислительные, так и восстановительные свойства? На основании электронных уравнений составьте уравнения реакций  $\text{HNO}_2$ : а) с бромной водой; б) с  $\text{HI}$ .

374. Почему диоксид азота способен к реакции самоокисления — самовосстановления (диспропорционирования)? На основании электронных уравнений напишите уравнение реакции растворения  $\text{NO}_2$  в гидроксиде натрия.

375. Какие свойства в окислительно-восстановительных реакциях проявляет серная кислота? Напишите уравнения реакций

взаимодействия разбавленной серной кислоты с магнием и концентрированной — с медью. Укажите окислитель и восстановитель.

376. В каком газообразном соединении азот проявляет свою низшую степень окисления? Напишите уравнения реакций получения этого соединения: а) при взаимодействии хлорида аммония с гидроксидом кальция; б) разложением нитрида магния водой.

377. Почему фосфористая кислота способна к реакциям самоокисления — самовосстановления (диспропорционирования)? На основании электронных уравнений составьте уравнение процесса разложения  $\text{H}_3\text{PO}_3$ , учитывая, что при этом фосфор приобретает низшую и высшую степени окисления.

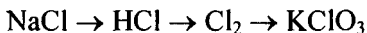
378. В каком газообразном соединении фосфор проявляет свою низшую степень окисления? Напишите уравнения реакций: а) получения этого соединения при взаимодействии фосфида кальция с хлороводородной (соляной) кислотой; б) горения его в кислороде.

379. Какую степень окисления проявляют мышьяк, сурьма и висмут? Какая степень окисления является более характерной для каждого из них? Составьте электронные и молекулярные уравнения реакций: а) мышьяка с концентрированной азотной кислотой; б) висмута с концентрированной серной кислотой.

380. Как изменяются окислительные свойства галогенов при переходе от фтора к иоду и восстановительные свойства их отрицательно заряженных ионов? Почему? Составьте электронные и молекулярные уравнения реакций: а)  $\text{Cl}_2 + \text{I}_2 + \text{H}_2\text{O} =$ ; б)  $\text{KI} + \text{Br}_2 =$  Укажите окислитель и восстановитель.

381. Составьте электронные и молекулярные уравнения реакции, происходящей при пропускании хлора через горячий раствор гидроксида калия. К какому типу окислительно-восстановительных процессов относится данная реакция?

382. Какие реакции нужно провести для осуществления следующих превращений:



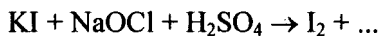
Уравнения окислительно-восстановительных реакций составьте на основании электронных уравнений.

383. К раствору, содержащему  $\text{SbCl}_3$  и  $\text{BiCl}_3$ , добавили избыток раствора гидроксида калия. Напишите молекулярные и ионно-

молекулярные уравнения происходящих реакций. Какое вещество находится в осадке?

384. Чем существенно отличается действие разбавленной азотной кислоты на металлы от действия хлороводородной (соляной) и разбавленной серной кислот? Что является окислителем в первом случае, что — в двух других? Приведите примеры.

385. Напишите формулы и назовите кислородные кислоты хлора, укажите степень окисления хлора в каждой из них. Какая из кислот более сильный окислитель? На основании электронных уравнений закончите уравнение реакции:



Хлор приобретает низшую степень окисления.

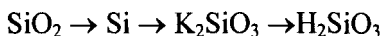
386. Какие реакции нужно провести, имея азот и воду, чтобы получить нитрат аммония? Составьте уравнения соответствующих реакций.

387. Какую степень окисления может проявлять кремний в своих соединениях? Составьте уравнения реакций, которые надо провести для осуществления следующих превращений:



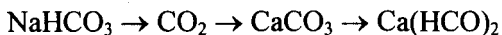
При каком превращении происходит окислительно-восстановительная реакция?

388. Какое применение находит кремний? Составьте уравнения реакций, которые надо провести для осуществления следующих превращений:



Окислительно-восстановительные реакции напишите на основании электронных уравнений.

389. Как получают диоксид углерода в промышленности и в лаборатории? Напишите уравнения соответствующих реакций и реакций, с помощью которых можно осуществить следующие превращения:



390. Какие из солей угольной кислоты имеют наибольшее промышленное применение? Как получить соду, исходя из металлического натрия, хлороводородной (соляной) кислоты, мрамора и воды? Почему в растворе соды лакмус приобретает синий цвет? Ответ подтвердите уравнениями соответствующих реакций.

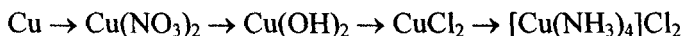


## ***d*-Элементы (... $(n-1)d^{1-10}ns^{0-2}$ )**

### КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

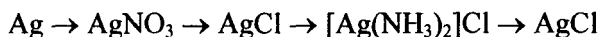
391. Серебро не взаимодействует с разбавленной серной кислотой, тогда как в концентрированной оно растворяется. Чем это можно объяснить? Составьте электронные и молекулярные уравнения соответствующей реакции.

392. Составьте уравнения реакций, которые надо провести для осуществления следующих превращений:



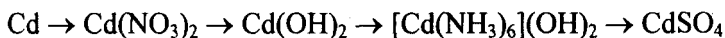
393. Составьте электронные и молекулярные уравнения реакций цинка: а) с раствором гидроксида натрия; б) с концентрированной серной кислотой, учитывая восстановление серы до нулевой степени окисления.

394. Составьте уравнения реакций, которые надо провести для осуществления следующих превращений:



395. При постепенном прибавлении раствора KI к раствору  $\text{Hg}(\text{NO}_3)_2$  образующийся вначале осадок растворяется. Какое комплексное соединение при этом получается? Составьте молекулярные и ионно-молекулярные уравнения соответствующих реакций.

396. Составьте уравнения реакций, которые надо провести для осуществления следующих превращений:



397. При сливании растворов нитрата серебра и цианида калия выпадает осадок, который легко растворяется в избытке KCN. Какое комплексное соединение при этом получается. Составьте молекулярные и ионно-молекулярные уравнения соответствующих реакций.

398. К какому классу соединений относятся вещества, полученные при действии избытка гидроксида натрия на растворы  $\text{ZnCl}_2$ ,  $\text{CdCl}_2$ ,  $\text{HgCl}_2$ ? Составьте молекулярные и ионно-молекулярные уравнения соответствующих реакций.

399. При действии на титан концентрированной хлороводородной (соляной) кислоты образуется трихлорид титана, а при

действию азотной — осадок метатитановой кислоты. Составьте электронные и молекулярные уравнения соответствующих реакций.

400. При растворении титана в концентрированной серной кислоте последняя восстанавливается минимально, а титан приобретает высшую степень окисления. Составьте электронные и молекулярные уравнения реакции.

401. Какую степень окисления проявляют медь, серебро и золото в соединениях? Какая степень окисления наиболее характерна для каждого из них? Иодид калия восстанавливает ионы меди (II) в соединения меди со степенью окисления +1. Составьте электронные и молекулярные уравнения взаимодействия KI с сульфатом меди.

402. Диоксиды титана и циркония при сплавлении взаимодействуют со щелочами. О каких свойствах оксидов говорят эти реакции? Напишите уравнения реакций между: а)  $TiO_2$  и  $CaO$ ; б)  $ZrO_2$  и  $NaOH$ . В первой реакции образуется метатитанат, а во второй — ортоцирконат соответствующих металлов.

403. На гидроксиды цинка и кадмия подействовали избытком растворов серной кислоты, гидроксида натрия и аммиака. Какие соединения цинка и кадмия образуются в каждой из этих реакций? Составьте молекулярные и ионно-молекулярные уравнения реакций?

404. Золото растворяется в царской водке и в селеновой кислоте, приобретая при этом высшую степень окисления. Составьте электронные и молекулярные уравнения соответствующих реакций.

405. В присутствии влаги и диоксида углерода медь покрывается зеленым налетом. Как называется и каков состав образующегося соединения? Что произойдет, если на него подействовать хлороводородной (соляной) кислотой? Напишите уравнения соответствующих реакций. Окислительно-восстановительную реакцию составьте на основании электронных уравнений.

406. Кусок латуни обработали азотной кислотой. Раствор разделили на две части. К одной из них прибавили избыток раствора аммиака, к другой — избыток раствора щелочи. Какие соединения цинка и меди образуются при этом? Составьте уравнения соответствующих реакций.

407. Ванадий получают алюминотермически или кальций-термически восстановлением оксида ванадия (V)  $V_2O_5$ . Последний легко растворяется в щелочах с образованием метаванадатов. Напишите уравнения соответствующих реакций. Уравнения окислительно-восстановительных реакций составьте на основании электронных уравнений.

408. Азотная кислота окисляет ванадий до метаванадиевой кислоты. Составьте электронные и молекулярные уравнения реакции.

409. Какую степень окисления проявляет ванадий в соединениях? Напишите формулы оксидов ванадия, отвечающих этим степеням окисления. Как меняются кислотно-основные свойства оксидов ванадия при переходе от низшей к высшей степени окисления. Составьте уравнения реакций: а)  $V_2O_3$  с  $H_2SO_4$ ; б)  $V_2O_3$  с  $NaOH$ .

410. При внесении цинка в подкисленный серной кислотой раствор метаванадата аммония  $NH_4VO_3$  желтая окраска постепенно переходит в фиолетовую за счет образования сульфата ванадия (II). Составьте электронные и молекулярные уравнения реакции.

411. Хромит калия окисляется бромом в щелочной среде. Зеленая окраска раствора переходит в желтую. Составьте электронные и молекулярные уравнения реакции. Какие ионы обуславливают начальную и конечную окраску раствора?

412. Составьте электронные и молекулярные уравнения реакций растворения: а) молибдена в азотной кислоте; б) вольфрама в щелочи в присутствии кислорода. Учтите, что молибден и вольфрам приобретают высшую степень окисления.

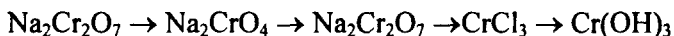
413. При сплавлении хромита железа  $Fe(CrO_2)_2$  с карбонатом натрия в присутствии кислорода хром (III) и железо (II) окисляются и приобретают соответственно степени окисления +6 и +3. Составьте электронные и молекулярные уравнения реакции.

414. К подкисленному серной кислотой раствору дихромата калия прибавили порошок алюминия. Через некоторое время оранжевая окраска раствора перешла в зеленую. Составьте электронные и молекулярные уравнения реакции.

415. Хром получают методом алюминотермии из его оксида (III), а вольфрам — восстановлением оксида вольфрама (VI) водо-

родом. Составьте электронные и молекулярные уравнения соответствующих реакций.

**416.** Составьте уравнения реакций, которые надо провести для осуществления превращений:



Уравнение окислительно-восстановительной реакции напишите на основании электронных уравнений.

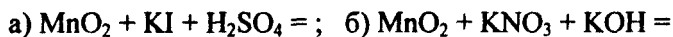
**417.** Марганец окисляется азотной кислотой до низшей степени окисления, а рений приобретает высшую степень окисления. Какие соединения при этом получаются? Составьте электронные и молекулярные уравнения соответствующих реакций.

**418.** Хлор окисляет манганат калия  $\text{K}_2\text{MnO}_4$ . Какое соединение при этом получается? Как меняется окраска раствора в результате этой реакции? Составьте электронные и молекулярные уравнения реакции.

**419.** Как меняется степень окисления марганца при восстановлении  $\text{KMnO}_4$  в кислой, нейтральной и щелочной средах? Составьте электронные и молекулярные уравнения реакций между  $\text{KMnO}_4$  и  $\text{KNO}_2$  в нейтральной среде.

**420.** На основании электронных уравнений составьте уравнение реакции получения манганата калия  $\text{K}_2\text{MnO}_4$  сплавлением оксида марганца (IV) с хлоратом калия  $\text{KClO}_3$  в присутствии гидроксида калия. Окислитель восстанавливается максимально, приобретая низшую степень окисления.

**421.** Почему оксид марганца (IV) может проявлять и окислительные, и восстановительные свойства? Исходя из электронных уравнений, составьте уравнения реакций:



**422.** Для получения хлора в лаборатории смешивают оксид марганца (IV) с хлоридом натрия в присутствии концентрированной серной кислоты. Составьте электронные и молекулярные уравнения этой реакции.

**423.** Составьте уравнения реакций, которые надо провести для осуществления следующих превращений:



**424.** Какую степень окисления проявляет железо в соединениях? Как можно обнаружить ионы Fe и Fe в растворе? Составьте молекулярные и ионно-молекулярные уравнения реакций.

**425.** Чем отличается взаимодействие гидроксидов кобальта (III) и никеля (III) с кислотами от взаимодействия гидроксида железа (III) с кислотами? Почему? Составьте электронные и молекулярные уравнения соответствующих реакций.

**426.** Могут ли в растворе существовать совместно следующие вещества: а) FeCl<sub>3</sub> и SnCb; б) FeSO<sub>4</sub> и NaOH; в) FeCl<sub>3</sub> и K<sub>3</sub>[Fe(CN)<sub>6</sub>]? Для взаимодействующих веществ составьте уравнения реакций.

**427.** Составьте уравнения реакций, которые надо провести для осуществления превращений:



Уравнения окислительно-восстановительных реакций напишите на основании электронных уравнений.

**428.** Составьте электронные и молекулярные уравнения реакций: а) растворения платины в царской водке; б) взаимодействия осмия с фтором. Платина окисляется до степени окисления +4, а осмий — до +8.

**429.** Составьте молекулярные и ионно-молекулярные уравнения реакций, которые надо провести для осуществления превращений:



К окислительно-восстановительным реакциям составьте электронные уравнения.

**430.** Феррат калия K<sub>2</sub>FeO<sub>4</sub> образуется при сплавлении Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> с калийной селитрой KN<sub>3</sub> в присутствии KOH. Составьте электронные и молекулярные уравнения реакции.

## Органические соединения. Полимеры

### КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

**431.** Напишите структурную формулу акриловой (простейшей непредельной одноосновной карбоновой) кислоты и уравнение

реакции взаимодействия этой кислоты с метиловым спиртом. Составьте схему полимеризации образовавшегося продукта.

432. Как из карбида кальция и воды, применив реакцию Кучерова, получить уксусный альдегид, затем уксусную кислоту и винилацетат. Напишите уравнения соответствующих реакций. Составьте схему полимеризации винилацетата.

433. Какие соединения называют аминами? Составьте схему поликонденсации адипиновой кислоты и гексаметилендиамина. Назовите образовавшийся полимер.

434. Как можно получить винилхлорид, имея карбид кальция, хлорид натрия, серную кислоту и воду? Напишите уравнения соответствующих реакций. Составьте схему полимеризации винилхлорида.

435. Полимером какого неопределенного углеводорода является натуральный каучук? Напишите структурную формулу этого углеводорода. Как называют процесс превращения каучука в резину? Чем по строению и свойствам различаются каучук и резина?

436. Напишите уравнения реакций получения ацетилен и превращения его в ароматический углеводород. При взаимодействии какого вещества с ацетиленом образуется акрилонитрил? Составьте схему полимеризации акрилонитрила.

437. Напишите структурную формулу метакриловой кислоты. Какое соединение получается при взаимодействии ее с метиловым спиртом? Напишите уравнение реакции. Составьте схему полимеризации образующегося продукта.

438. Какие углеводороды называют диеновыми (диолефины или алкадиены)? Приведите пример. Какая общая формула выражает состав этих углеводородов? Составьте схему полимеризации бутадиена (дивинила).

439. Какие углеводороды называют олефинами (алкенами)? Приведите пример. Какая общая формула выражает состав этих углеводородов? Составьте схему получения полиэтилена.

440. Какая общая формула выражает состав этиленовых углеводородов (олефинов или алкенов)? Какие химические реак-

ции наиболее характерны для них? Что такое полимеризация, поликонденсация? Чем отличаются друг от друга эти реакции?

441. В чем различия предельных и непредельных углеводов? Составьте схему образования каучука из дивинила и стирола. Что такое вулканизация?

442. Какие соединения называют аминокислотами? Напишите формулу простейшей аминокислоты. Составьте схему поликонденсации аминокaproновой кислоты. Как называют образующийся при этом полимер?

443. Какое соединение называют альдегидами? Что такое формалин? Какое свойство альдегидов лежит в основе реакции «серебряного зеркала»? Составьте схему получения фенолоформальдегидной смолы.

444. Как называют углеводороды, представителем которых является изопрен? Составьте схему сополимеризации изопрена и изобутилена.

445. Какие соединения называют элементарноорганическими, кремнийорганическими? Укажите важнейшие свойства кремнийорганических полимеров. Как влияет на свойства кремнийорганических полимеров увеличение числа органических радикалов, связанных с атомом кремния?

446. Какая общая формула выражает состав ацетиленовых углеводов (алкинов)? Как из метана получить ацетилен, затем винилацетилен, а из последнего хлоропен?

447. Напишите уравнение реакции дегидратации пропилового спирта. Составьте схему полимеризации полученного углеводорода.

448. Какие полимеры называют стереорегулярными? Чем объясняется более высокая температура плавления и большая механическая прочность стереорегулярных полимеров по сравнению с нерегулярными?

449. Как получают в промышленности стирол? Приведите схему его полимеризации. Изобразите с помощью схем линейную и трехмерную структуры полимеров.

450. Какие полимеры называются термопластичными, термоактивными? Укажите три состояния полимеров. Чем характеризуется переход из одного состояния в другое?

# ПРОГРАММИРОВАННЫЕ ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЯ<sup>1</sup>

## I. СТРОЕНИЕ АТОМА

1. Исходя из молярной массы углерода вычислите, чему равна средняя масса одного атома этого элемента в граммах.

- 1)  $1,99 \cdot 10^{-22}$ ; 2)  $3,98 \cdot 10^{-23}$ ; 3)  $1,99 \cdot 10^{-23}$ ; 4)  $3,98 \cdot 10^{-24}$ ;  
5)  $1,99 \cdot 10^{-21}$ ?

2. Какие электронные конфигурации в атоме реализовать невозможно:

- а)  $1p^2$ ; б)  $2p^7$ ; в)  $3s^2$ ; г)  $3f^{12}$ ; д)  $3d^6$ ; е)  $4s^3$ .

- 1) а, б, в, е; 2) а, б, г, е; 3) б, в, г, д; 4) а, г, д, е; 5) в, г, д, е?

3. Чему равны квантовые числа  $n$ ,  $l$  и  $m_l$  для внешнего электрона атома калия:

- 1) 4, 1, 0; 2) 3, 2, 1; 3) 4, 0, 0; 4) 3, 0, 1; 5) 4, 1, 1?

4. Какие из электронных формул, отражающих строение невозбужденного атома некоторого элемента, неверны: а)  $1s^2 2s^2 2p^4 3s^1$ ; б)  $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3d^3$ ; в)  $1s^2 2s^2 2p^3$ ; г)  $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 4s^2$ ; д)  $1s^2 2s^2 2p^6 4s^1$ ; е)  $1s^1 2s^1 2p^6 3s^2$ .

- 1) а, б, д, е; 2) а, б, в, д; 3) в, г, д, е; 4) б, в, г, д; 5) а, в, г, е?

5. Чему равен суммарный спин ( $\sum m_s$ )  $d$ -электронов невозбужденного атома железа.

- 1) 0; 2)  $3/2$ ; 3) 1; 4) 3; 5) 2?

6. Квантовые числа для электронов внешнего энергетического уровня атомов некоторого элемента имеют следующие значения:  $n = 3$ ;  $l = 0$ ;  $m_l = 0$ ;  $m_s = \pm 1/2$ . Какая электронная формула соответствует атому этого элемента.

- 1)  $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2$ ; 2)  $1s^2 2s^2 2p^5 3s^1$ ; 3)  $1s^2 2s^2 2p^6 3s^1 3p^1$ ; 4)  $1s^2 2s^2 3s^2$ ;  
5)  $1s^2 2s^2 2p^6 4s^2$ .

7. Чему равно количество всех орбиталей у атома, для которого главное квантовое число  $n$  равно 4.

- 1) 4; 2) 6; 3) 9; 4) 30; 5) 12?

8. Сколько свободных  $3d$ -орбиталей имеются в невозбужденных атомах титана и ванадия.

- 1) 4 и 3; 2) 3 и 2; 3) 3 и 3; 4) 4 и 2; 5) 3 и 5?

<sup>1</sup> В программированных вопросах даны пять ответов, из которых следует выбрать один правильный, в табл. 9 приведены все правильные ответы.



9. Сколько орбиталей каждого указанного ниже типа имеется в атоме: а)  $3p_x$ ; б)  $4d$ ; в)  $1s$ ; г)  $2p$ .

1) 3, 4, 1, 5; 2) 1, 5, 2, 3; 3) 3, 5, 1, 1; 4) 1, 4, 2, 3; 5) 1, 5, 1, 3?

10. Сколько неспаренных электронов имеют невозбужденные атомы бора, серы и хрома.

1) 1, 4, 4; 2) 3, 2, 6; 3) 1, 6, 4; 4) 1, 2, 6; 5) 3, 2, 4.

## II. ПЕРИОДИЧЕСКИЙ ЗАКОН. ПЕРИОДИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ЭЛЕМЕНТОВ Д.И. МЕНДЕЛЕЕВА

1. Сколько элементов в периодической системе, относящихся к р-электронному семейству.

1) 18; 2) 32; 3) 30; 4) 28; 5) 34?

2. Электронная формула атома некоторого элемента  $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^5 4s^2$ . В каком периоде и в какой группе периодической системы Д.И. Менделеева находится данный элемент. 1) 4 и II; 2) 4 и VII; 3) 3 и II; 4) 4 и V; 5) 3 и VIII?

3. Какую высшую и низшую степень окисления проявляет атом некоторого элемента, структура внешнего энергетического уровня которого ...  $4s^2 4p^2$ .

1) +2 и -4; 2) +2 и -2; 3) +4 и -2; 4) +4 и -4; 5) +4 и 0?

4. Атомы некоторых элементов имеют структуру внешнего энергетического уровня.

1)  $2s^1$ ; 2)  $3s^2$ ; 3)  $2s^2 2p^4$ ; 4)  $3s^2 3p^5$ ; 5)  $4s^2 4p^5$ .

Какой из них обладает наибольшим сродством к электрону?

5. Структура внешнего энергетического уровня атомов некоторых элементов.

1)  $3s^2 3p^6$ ; 2)  $3s^1$ ; 3)  $4s^1$ ; 4)  $2s^2$ ; 5)  $3s^2 3p^1$ . Какой из них имеет наименьшую энергию ионизации?

6. Электронная формула атома некоторого элемента  $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^3 4s^2$ . Напишите формулы оксида и гидроксида этого элемента, в которых он проявляет высшую степень окисления.

1) ЭО и Э(OH)<sub>2</sub>; 2) Э<sub>2</sub>O<sub>3</sub> и Э(OH)<sub>3</sub>; 3) Э<sub>2</sub>O<sub>5</sub> и Э(OH)<sub>2</sub>; 4) Э<sub>2</sub>O<sub>5</sub> и Н<sub>3</sub>ЭO<sub>4</sub>; 5) ЭО и НЭO<sub>3</sub>.

7. Исходя из степени окисления азота, серы, марганца и хлора в соединениях: а) HNO<sub>2</sub>; б) NH<sub>3</sub>; в) H<sub>2</sub>SO<sub>3</sub>; г) H<sub>2</sub>S; д) K<sub>2</sub>MnO<sub>4</sub>;

е)  $\text{HClO}_4$ , определите, какие из них могут проявлять как окислительные, так и восстановительные свойства.

1) а, в, д; 2) б, в, г; 3) а, б, в; 4) в, г, д; 5) г, д, е.

8. Исходя из степени окисления фосфора, серы, хрома и брома в соединениях: а)  $\text{H}_3\text{PO}_3$ ; б)  $\text{PH}_3$ ; в)  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ; г)  $\text{H}_2\text{S}$ ; д)  $\text{K}_2\text{CrO}_4$ ; е)  $\text{HBr}$ , определите, какие из них могут проявлять только восстановительные свойства.

1) а, б, в; 2) б, г, е; 3) б, в, г; 4) б, д, е; 5) в, г, д.

9. Между какими веществами могут происходить окислительно-восстановительные реакции: а)  $\text{NH}_3$  и  $\text{KMnO}_4$ ; б)  $\text{HNO}_2$  и  $\text{HI}$ ; в)  $\text{HNO}_3$  и  $\text{HClO}_4$ ; г)  $\text{HCl}$  и  $\text{H}_2\text{S}$ ; д)  $\text{H}_2\text{S}$  и  $\text{H}_2\text{SO}_3$ ; е)  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$  и  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ?

1) а, б, в; 2) г, д, е; 3) б, в, г; 4) а, в, д; 5) а, б, д.

10. Какой из гидроксидов является наиболее сильным основанием?

1)  $\text{Si}(\text{OH})_2$ ; 2)  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ; 3)  $\text{Fe}(\text{OH})_2$ ; 4)  $\text{Ba}(\text{OH})_2$ ; 5)  $\text{Sr}(\text{OH})_2$ .

### III. ХИМИЧЕСКАЯ СВЯЗЬ. СТРОЕНИЕ МОЛЕКУЛ

1. Чему равна валентность азота, обусловленная неспаренными элетронами (спинвалентность)?

1) 5; 2) 1; 3) 3; 4) 2; 5) 4.

2. Какие из следующих пар элементов должны образовывать ионные соединения: а)  $\text{Na}$  и  $\text{O}$ ; б)  $\text{P}$  и  $\text{S}$ ; в)  $\text{Rb}$  и  $\text{F}$ ; г)  $\text{C}$  и  $\text{O}$ ; д)  $\text{Ba}$  и  $\text{Cl}$ ; е)  $\text{N}$  и  $\text{Cl}$ ?

1) а, б, в; 2) а, в, д; 3) б, в, г; 4) в, г, д; 5) г, д, е.

3. Какая из следующих связей более полярна?

1)  $\text{F}-\text{F}$ ; 2)  $\text{C}-\text{I}$ ; 3)  $\text{O}-\text{H}$ ; 4)  $\text{C}-\text{N}$ ; 5)  $\text{H}-\text{F}$ .

4. Валентность (ковалентность) элемента равна общему числу орбиталей его атома, принимающих участие в образовании химических связей. Чему равна максимальная валентность атома бора?

1) 3; 2) 4; 3) 2; 4) 1; 5) 5.

5. Какой тип гибридизации орбиталей атома серы осуществляется в молекуле  $\text{SF}_6$ ? Какова пространственная конфигурация этой молекулы?

1)  $sp^3$  — тетраэдр; 2)  $sp^3d$  — октаэдр; 3)  $sp^3d^2$  — тригональная бипирамида; 4)  $sp^3d^2$  — октаэдр; 5)  $sp^3d^2$  — тетраэдр.

6. Какой тип гибридизации орбиталей атома бора осуществляется в ионе  $[BF_4]^-$ ? Какая пространственная конфигурация этого иона?

1)  $sp^3$  — тетраэдр; 2)  $sp^2$  — плоская треугольная; 3)  $sp$  — линейная; 4)  $sp^2$  — тетраэдр; 5)  $sp^3$  — октаэдр.

7. Существование каких из приведенных ниже молекул согласно теории валентных связей (ВС) невозможно: а)  $NF_5$ ; б)  $NF_3$ ; в)  $PF_5$ ; г)  $OF_4$ ; д)  $PF_3$ ; е)  $OF_6$ ?

1) а, б, в; 2) б, в, г; 3) а, г, е; 4) в, г, д; 5) г, д, е.

8. Сколько электронов находятся на связывающих и разрыхляющих орбиталях в молекуле кислорода?

1) 8 и 4; 2) 10 и 8; 3) 8 и 12; 4) 10 и 6; 5) 8 и 8.

9. Чему равен порядок (кратность) связи в двухатомном молекулярном ионе  $Cl_2^+$ ?

1) 2; 2) 3; 3)  $1/2$ ; 4) 1; 5)  $3/2$ .

10. Чему равен порядок (кратность) связи в молекуле  $N_2$ ?

1)  $5/2$ ; 2)  $3/2$ ; 3) 4; 4) 3; 5)  $1/2$ .

#### IV. СВОЙСТВА СОЕДИНЕНИЙ p-ЭЛЕМЕНТОВ

1. Атом какого из p-элементов в невозбужденном состоянии имеет электронное строение внешнего энергетического уровня  $...3s^2 3p^2 x 3p^2 y 3p^2 z$ ?

1) N; 2) Ar; 3) P; 4) S; 5) Cl.

2. В каких соединениях сера имеет высшую степень окисления:

а)  $SO_2F_2$ ; б)  $H_2S_2O_3$ ; в)  $SF_6$ ; г)  $SOCl_2$ ; д)  $Ca(HSO_3)_2$ ; е)  $H[S_2O_3Cl]$ ?

1) а, б, д; 2) б, в, г; 3) г, д, е; 4) а, в, е; 5) а, д, е.

3. В каких соединениях валентные орбитали атома углерода находятся в состоянии  $5p^3$ -гибридизации: а)  $CH_4$ ; б)  $C_2H_2$ ; в)  $C_2H_4$ ; г)  $C_6H_6$ ; д)  $CF_4$ ; е)  $CCl_4$ ?

1) а, б, в; 2) в, г, д; 3) а, д, е; 4) г, д, е; 5) б, д, е.

4. Оксид серы содержит 60% кислорода. Какова формула этого оксида?

1)  $SO_3$ ; 2)  $S_2O$ ; 3)  $SO$ ; 4)  $S_2O_3$ ; 5)  $SO_2$ .

5. Какой объем водорода (н.у.) выделится при растворении 26,96 г алюминия в водном растворе гидроксида натрия?

1) 22,4 л; 2) 44,8 л; 3) 11,2 л; 4) 67,2 л; 5) 33,6 л.

6. Сколько литров метана (н.у.) выделится при растворении молярной массы карбида алюминия в воде?

1) 22,4 л; 2) 67,2 л; 3) 44,8 л; 4) 33,6 л; 5) 11,2 л.

7. Чему равна сумма всех коэффициентов в уравнении реакции германия со смесью азотной и хлороводородной (соляной) кислот? Образуется хлорид германия (IV), а окислитель приобретает степень окисления +2?

1) 28; 2) 30; 3) 26; 4) 34; 5) 32.

8. Свободный висмут образуется при взаимодействии  $\text{BiCl}_3$  и  $\text{K}_2\text{SnO}_2$  в щелочной среде. Сколько молей гидроксида калия необходимо для этой реакции?

1) 4; 2) 8; 3) 6; 4) 5; 5) 3.

9. Чему равна сумма всех коэффициентов в уравнении реакции сероводорода с сернистой кислотой?

1) 8; 2) 7; 3) 6; 4) 10; 5) 9.

10. Окисляя сульфид мышьяка (III), азотная кислота восстанавливается до  $\text{NO}_2$ . Сколько молей  $\text{HNO}_3$  необходимо для окисления молярной массы этого сульфида, если в результате реакции образуются ортомышьяковая и серная кислоты?

1) 28; 2) 26; 3) 10; 4) 24; 5) 4.

## V. СВОЙСТВА СОЕДИНЕНИЙ d-ЭЛЕМЕНТОВ

1. Какая из электронных формул внешнего и предвнешнего  $(n-1)d$ -энергетических уровней соответствует строению атома меди в невозбужденном состоянии?

1)  $3d^9 4s^2$ ; 2)  $3d^3 4s^2 4p^6$ ; 3)  $3d^{10} 4s^1$ ; 4)  $3d^6 4s^2 4p^3$ ; 5)  $3d^7 4s^1 4p^3$ .

Z. К какому классу относится соединение цинка, полученное при его взаимодействии с избытком раствора щелочи?

1) основание; 2) соль; 3) оксид; 4) кислота; 5) реакция не идет?

3. Гидроксид титана (III) восстанавливает нитрат натрия в щелочной среде до аммиака. Сколько молей  $\text{NaOH}$  потребуется для этой реакции?

1) 16; 2) 18; 3) 17; 4) 15; 5) 14.

4. Иодид-ион восстанавливает ванадат-ион  $\text{VO}_3^-$  в кислой среде до иона  $\text{V}^{3+}$ . В каком соотношении находятся числа молей окислителя и восстановителя друг к другу, если образуется свободный иод?

1) 1:1; 2) 2:1; 3) 4:1; 4) 1:4; 5) 1:2.

5. При сплавлении металлического ванадия с щелочами в присутствии кислорода образуется ортованадат. Чему равна сумма всех коэффициентов в уравнении этой реакции?

1) 31; 2) 19; 3) 20; 4) 28; 5) 30.

6. Сульфат хрома в щелочной среде окислили хлором. Сколько молей щелочи необходимо для связывания всех продуктов реакции, если окислили моль  $\text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3$ ?

1) 4; 2) 12; 3) 16; 4) 8; 5) 32.

7. Сколько литров кислорода (н.у.) выделится при восстановлении молярной массы перманганата калия пероксидом водорода в сернокислой среде?

1) 22,4 л; 2) 33,6 л; 3) 112 л; 4) 56 л; 5) 67,2 л.

8. Какие свободные орбитали внешнего (n) энергетического уровня кадмия (II) гибридизируются при образовании комплексного иона гексаамминокадмия  $[\text{Cd}(\text{NH}_3)_6]^{2+}$ ?

1)  $5p^3 5d^3$ ; 2)  $5s^3 5p^3 5d^2$ ; 3)  $5p^2 5d^4$ ; 4)  $5p^3 5d^4$ ; 5)  $5s^5 p^3$ .

9. Если через суспензию гидроксида железа (III) в концентрированной щелочи пропустить хлор, то образуется соответствующий феррат. Чему равна сумма всех коэффициентов в уравнении этой реакции?

1) 28; 2) 30; 3) 29; 4) 32; 5) 31.

10. При растворении платины в «царской водке» ( $\text{HNO}_3 + \text{HCl}$ ) образуется платинохлороводородная кислота (гексахлороплатинат водорода  $\text{H}_2\text{PtCl}_6$ ). Определите соотношение числа молей хлороводородной (соляной) и азотной кислот в уравнении этой реакции, если последняя восстанавливает до  $\text{N}_0$ .

1) 9:2; 2) 9:1; 3) 3:2; 4) 18:1; 5) 6:1.

**Таблица 9. Ответы на программированные вопросы для самопроверки**

Тема	Номера вопросов									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
I	3	2	3	1	5	1	4	2	5	4
II	3	2	4	4	3	4	1	2	5	4
III	3	2	5	2	4	1	3	4	5	1
IV	2	4	3	1	5	2	4	3	5	1
V	3	2	4	5	1	3	4	2	5	1

## ВАРИАНТЫ КОНТРОЛЬНЫХ ЗАДАНИЙ

Номер варианта	Номера контрольного задания	Номера задач, относящихся к данному заданию
01	I	1, 21, 41, 61, 81, 101, 121, 141, 161, 181, 201
	II	221, 241, 261, 281, 301, 321, 341, 361, 391, 411, 431
02	I	2, 22, 42, 62, 82, 102, 122, 142, 162, 182, 202
	II	222, 242, 262, 282, 302, 322, 342, 362, 392, 412, 432
03	I	3, 23, 43, 63, 83, 103, 123, 143, 163, 183, 203
	II	223, 243, 263, 283, 303, 323, 343, 363, 393, 413, 433
04	I	4, 24, 44, 64, 84, 104, 124, 144, 164, 184, 204
	II	224, 244, 264, 284, 304, 324, 344, 364, 394, 414, 434
05	I	5, 25, 45, 65, 85, 105, 125, 145, 165, 185, 205
	II	225, 245, 265, 285, 305, 325, 345, 365, 395, 415, 435
06	I	6, 26, 46, 66, 86, 106, 126, 146, 166, 186, 206
	II	226, 246, 266, 286, 306, 326, 346, 366, 396, 416, 436
07	I	7, 27, 47, 67, 87, 107, 127, 147, 167, 187, 207
	II	227, 247, 267, 287, 307, 327, 347, 367, 397, 417, 437
08	I	8, 28, 48, 68, 88, 108, 128, 148, 168, 188, 208
	II	228, 248, 268, 288, 308, 328, 348, 368, 398, 418, 438
09	I	9, 29, 49, 69, 89, 109, 129, 149, 169, 189, 209
	II	229, 249, 269, 289, 309, 329, 349, 369, 399, 419, 439
10	I	10, 30, 50, 70, 90, 110, 130, 150, 170, 190, 210
	II	230, 250, 270, 290, 310, 330, 350, 370, 400, 420, 440
11	I	11, 31, 51, 71, 91, 111, 131, 151, 171, 191, 211
	II	231, 251, 271, 291, 311, 331, 351, 371, 401, 421, 441
12	I	12, 32, 52, 72, 92, 112, 132, 152, 172, 192, 212
	II	232, 252, 272, 292, 312, 332, 352, 372, 402, 422, 442
13	I	13, 33, 53, 73, 93, 113, 133, 153, 173, 193, 213
	II	233, 253, 273, 293, 313, 333, 353, 373, 403, 423, 443
14	I	14, 34, 54, 74, 94, 114, 134, 154, 174, 194, 214
	II	234, 254, 274, 294, 314, 334, 354, 374, 404, 424, 444
15	I	15, 35, 55, 75, 95, 115, 135, 155, 175, 195, 215
	II	235, 255, 275, 295, 315, 335, 355, 375, 405, 425, 445
16	I	16, 36, 56, 76, 96, 116, 136, 156, 176, 196, 216
	II	236, 256, 276, 296, 316, 336, 356, 376, 406, 426, 446
17	I	17, 37, 57, 77, 97, 117, 137, 157, 177, 197, 217
	II	237, 257, 277, 297, 317, 337, 357, 377, 407, 427, 447

Номер варианта	Номера контрольного задания	Номера задач, относящихся к данному заданию
18	I II	18, 38, 58, 78, 98, 118, 138, 158, 178, 198, 218 238, 258, 278, 298, 318, 338, 358, 378, 408, 428, 448
19	I II	19, 39, 59, 79, 99, 119, 139, 159, 179, 199, 219 239, 259, 279, 299, 319, 339, 359, 379, 409, 429, 449
20	I II	30, 40, 60, 80, 100, 120, 140, 160, 180, 200, 220 240, 260, 280, 300, 320, 340, 360, 380, 410, 430, 450
21	I II	1, 22, 43, 64, 85, 106, 127, 148, 169, 190, 211 222, 243, 264, 285, 306, 327, 348, 381, 391, 412, 433
22	I II	2, 23, 44, 65, 86, 107, 128, 149, 170, 191, 212 223, 244, 265, 286, 307, 328, 349, 382, 392, 413, 434
23	I II	3, 24, 45, 66, 87, 108, 129, 150, 171, 192, 213 224, 245, 266, 287, 308, 329, 350, 383, 393, 414, 435
24	I II	4, 25, 46, 67, 88, 109, 130, 151, 172, 193, 214 225, 246, 267, 288, 309, 330, 351, 384, 394, 415, 436
25	I II	5, 26, 47, 68, 89, 110, 131, 152, 173, 194, 215 226, 247, 268, 289, 310, 331, 352, 385, 395, 416, 437
26	I II	6, 27, 48, 69, 90, 111, 132, 153, 174, 195, 216 227, 248, 269, 290, 311, 332, 353, 386, 396, 417, 438
27	I II	7, 28, 49, 70, 91, 112, 133, 154, 175, 196, 217 228, 249, 270, 291, 312, 333, 354, 387, 397, 418, 439
28	I II	8, 29, 50, 71, 92, 113, 134, 155, 176, 197, 218 229, 250, 271, 292, 313, 334, 355, 388, 398, 419, 440
29	I II	9, 30, 51, 72, 93, 114, 135, 156, 177, 198, 219 230, 251, 272, 293, 314, 335, 356, 389, 399, 420, 441
30	I II	10, 31, 52, 73, 94, 115, 136, 157, 178, 199, 220 231, 252, 273, 294, 315, 336, 357, 390, 400, 421, 442
31	I II	11, 32, 53, 74, 95, 116, 137, 158, 179, 200, 201 232, 253, 274, 295, 316, 337, 358, 361, 401, 422, 443
32	I II	12, 33, 54, 75, 96, 117, 138, 159, 180, 181, 202 233, 254, 275, 296, 317, 338, 359, 362, 402, 423, 444
33	I II	13, 34, 55, 76, 97, 118, 139, 160, 161, 182, 203 234, 255, 276, 297, 318, 339, 360, 363, 403, 424, 445
34	I II	14, 35, 56, 77, 98, 119, 140, 141, 162, 183, 204 235, 256, 277, 298, 319, 340, 347, 364, 404, 425, 446

Номер варианта	Номера контрольного задания	Номера задач, относящихся к данному заданию
35	I II	15, 36, 87, 78, 99, 120, 121, 142, 163, 184, 205 236, 257, 278, 299, 320, 322, 346, 365, 405, 426, 447
36	I II	16, 37, 58, 79, 100, 101, 122, 143, 164, 185, 206 237, 258, 279, 300, 301, 323, 345, 366, 406, 427, 448
37	I II	17, 38, 59, 80, 81, 102, 123, 144, 165, 186, 207 238, 259, 280, 281, 302, 324, 344, 367, 407, 428, 449
38	I II	18, 39, 60, 65, 86, 107, 128, 145, 166, 187, 208 239, 260, 261, 282, 303, 325, 343, 368, 408, 429, 450
39	I II	19, 40, 44, 66, 87, 108, 129, 146, 167, 188, 209 240, 241, 262, 283, 304, 326, 342, 369, 409, 430, 432
40	I II	20, 23, 45, 67, 88, 109, 130, 147, 168, 189, 210 221, 242, 263, 284, 305, 327, 341, 370, 410, 411, 431
41	I II	2, 24, 46, 68, 89, 110, 131, 148, 170, 190, 201 223, 241, 265, 281, 306, 328, 341, 371, 391, 411, 431
42	I II	3, 25, 47, 69, 90, 111, 132, 149, 171, 191, 202 224, 242, 266, 282, 307, 329, 342, 372, 392, 412, 432
43	I II	4, 26, 48, 70, 91, 112, 133, 150, 172, 192, 203 225, 243, 267, 283, 308, 330, 343, 373, 393, 413, 433
44	I II	5, 27, 49, 71, 92, 113, 134, 151, 173, 193, 204 226, 244, 268, 284, 309, 331, 344, 374, 394, 414, 434
45	I II	6, 28, 50, 72, 93, 114, 135, 152, 174, 194, 205 227, 245, 269, 285, 310, 332, 345, 375, 395, 415, 435
46	I II	7, 29, 51, 73, 94, 115, 136, 153, 175, 195, 206 228, 246, 270, 286, 311, 333, 346, 376, 396, 416, 436
47	I II	8, 30, 52, 74, 95, 116, 137, 154, 176, 196, 207 229, 247, 271, 287, 312, 334, 347, 377, 397, 417, 437
48	I II	9, 31, 53, 75, 96, 117, 138, 155, 177, 197, 208 230, 248, 272, 288, 313, 335, 348, 378, 398, 418, 438
49	I II	10, 32, 54, 76, 97, 118, 139, 156, 178, 198, 209 231, 249, 273, 289, 314, 336, 349, 379, 399, 419, 439
50	I II	11, 33, 55, 77, 98, 119, 140, 157, 179, 199, 210 232, 250, 274, 290, 315, 337, 350, 380, 400, 420, 440
51	I II	12, 34, 56, 78, 99, 120, 122, 158, 180, 200, 211 233, 251, 275, 291, 316, 321, 351, 381, 401, 411, 433



Номер варианта	Номера контрольного задания	Номера задач, относящихся к данному заданию
52	I II	13, 35, 57, 79, 100, 103, 121, 159, 169, 182, 212 234, 252, 276, 292, 317, 325, 352, 382, 402, 412, 432
53	I II	14, 36, 58, 80, 85, 104, 123, 160, 161, 183, 213 235, 253, 277, 293, 318, 324, 353, 383, 403, 413, 431
54	I II	15, 37, 59, 61, 84, 105, 124, 141, 162, 184, 214 236, 254, 278, 294, 319, 323, 354, 384, 404, 414, 434
55	I II	16, 38, 60, 62, 83, 106, 125, 143, 163, 185, 215 237, 255, 279, 295, 320, 322, 355, 385, 405, 415, 435
56	I II	17, 33, 41, 63, 82, 101, 126, 142, 164, 186, 216 238, 256, 280, 296, 301, 321, 356, 386, 406, 416, 436
57	I II	18, 40, 42, 61, 81, 102, 127, 144, 165, 187, 217 239, 257, 271, 297, 302, 326, 357, 387, 407, 417, 437
58	I II	19, 21, 43, 62, 87, 103, 128, 145, 166, 188, 218 240, 258, 272, 298, 303, 327, 358, 388, 408, 418, 438
59	I II	20, 22, 41, 63, 88, 104, 129, 146, 167, 189, 219 223, 259, 273, 299, 304; 328, 359, 389, 409, 419, 433
60	I II	1, 24, 42, 64, 89, 105, 130, 147, 168, 190, 220 222, 260, 274, 300, 305, 329, 360, 390, 410, 420, 440
61	I II	3, 25, 43, 65, 90, 106, 131, 148, 169, 191, 201 221, 250, 275, 381, 301, 330, 341, 361, 392, 421, 441
62	I II	4, 26, 44, 66, 91, 107, 132, 149, 170, 192, 202 222, 251, 276, 282, 302, 331, 342, 362, 393, 422, 442
63	I II	5, 27, 45, 67, 92, 108, 133, 150, 171, 193, 203 223, 252, 277, 283, 303, 332, 343, 363, 394, 423, 443
64	I II	6, 28, 46, 68, 93, 109, 134, 151, 172, 194, 204 224, 253, 278, 284, 304, 333, 344, 364, 395, 424, 444
65	I II	7, 29, 47, 69, 94, 110, 135, 152, 173, 195, 205 225, 254, 279, 285, 305, 334, 345, 365, 396, 425, 445
66	I II	8, 30, 48, 70, 95, 111, 136, 153, 174, 196, 206 226, 255, 280, 286, 306, 335, 346, 366, 397, 426, 446
67	I II	9, 31, 49, 71, 96, 112, 137, 154, 175, 197, 207 227, 256, 261, 287, 307, 336, 347, 367, 398, 427, 446
68	I II	10, 32, 50, 72, 97, 113, 138, 155, 176, 198, 208 228, 257, 262, 288, 308, 337, 348, 368, 399, 428, 447

Номер варианта	Номера контрольного задания	Номера задач, относящихся к данному заданию
69	I II	11, 33, 51, 73, 98, 114, 139, 156, 177, 199, 209 229, 258, 263, 289, 309, 338, 349, 369, 400, 429, 448
70	I II	12, 34, 52, 74, 99, 115, 140, 157, 178, 200, 210 230, 259, 264, 290, 310, 339, 350, 370, 391, 430, 449
71	I II	13, 35, 53, 75, 100, 116, 121, 158, 179, 181, 211 231, 260, 265, 291, 311, 340, 351, 371, 404, 411, 450
72	I II	14, 36, 54, 76, 86, 117, 122, 159, 180, 182, 212 232, 241, 266; 292, 312, 321, 352, 372, 401, 417, 431
73	I II	15, 37, 55, 77, 85, 118, 123, 160, 162, 183, 213 233, 242, 267, 293, 313, 322, 353, 373, 402, 413, 432
74	I II	16, 38, 56, 78, 84, 119, 124, 142, 161, 184, 214 234, 243, 268, 294, 314, 323, 354, 374, 403, 414, 433
75	I II	17, 39, 57, 79, 83, 120, 125, 141, 163, 185, 215 235, 244, 269, 295, 315, 324, 355, 375, 406, 415, 434
76	I II	18, 40, 58, 80, 82, 101, 126, 143, 164, 186, 216 236, 245, 270, 296, 316, 325, 356, 376, 407, 416, 435
77	I II	19, 23, 59, 61, 81, 102, 127, 144, 165, 187, 217 237, 246, 271, 297, 317, 326, 357, 377, 408, 417, 436
78	I II	20, 21, 60, 62, 100, 103, 128, 145, 166, 188, 218 238, 247, 272, 298, 318, 327, 358, 378, 409, 418, 437
79	I II	4, 22, 51, 63, 99, 104, 129, 146, 167, 189, 219 239, 248, 273, 300, 319, 328, 359, 379, 410, 419, 438
80	I II	5, 23, 52, 64, 98, 105, 130, 147, 168, 190, 200 240, 249, 274, 281, 320, 329, 360, 380, 391, 420, 439
81	I II	6, 24, 53, 65, 97, 106, 131, 148, 169, 191, 211 231, 250, 275, 282, 301, 330, 351, 381, 392, 421, 440
82	I II	7, 25, 54, 66, 96, 107, 132, 149, 170, 192, 212, 232, 251, 276, 283, 302, 334, 352, 382, 393, 422, 441
83	I II	8, 26, 55, 67, 95, 108, U3, 150, 171, 193, 213 233, 252, 277, 284, 303, 335, 353, 383, 394, 423, 442
84	I II	9, 27, 56, 68, 94, 109, 134, 151, 172, 194, 214 234, 253, 278, 285, 304, 336, 354, 384, 395, 424, 443
85	I II	10, 28, 57, 69, 93, 110, 135, 152, 173, 195, 215 235, 254, 279, 286, 305, 337, 355, 385, 396, 425, 444

Номер варианта	Номера контрольного задания	Номера задач, относящихся к данному заданию
86	I II	i 1, 29, 58, 70, 92, 111, 136, 153, 174, 196, 216 236, 255, 280, 287, 306, 338, 356, 386, 397, 426, 446
87	I II	12, 30, 59, 71, 91, 112, 137, 154, 175, 197, 217 237, 256, 264, 288, 307, 339, 357, 387, 398, 427, 445
88	I II	13, 31, 60, 72, 90, 113, 138, 155, 176, 198, 218 238, 257, 265, 289, 308, 340, 358, 388, 399, 428, 447
89	I II	14, 32, 41, 73, 89, 114, 139, 156, 177, 199, 219 239, 258, 266, 290, 309, 331, 359, 389, 400, 429, 448
90	I II	15, 33, 42, 74, 88, 115, 140, 157, 178, 200, 220 240, 259, 267, 291, 310, 332, 360, 390, 401, 430, 449
91	I II	16, 34, 43, 75, 87, 116, 131, 158, 179, 181, 201 221, 260, 268, 292, 311, 333, 341, 365, 402, 416, 450
92	I II	17, 35, 44, 76, 86, 117, 132, 159, 180, 182, 202 222, 241, 269, 293, 312, 321, 342, 367, 403, 417, 431
93	I II	18, 36, 45, 77, 85, 118, 133, 160, 161, 183, 203 223, 242, 270, 294, 313, 322, 343, 369, 404, 418, 432
94	I II	19, 37, 46, 78, 84, 119, 134, 141, 162, 184, 204 224, 243, 261, 295, 314, 323, 344, 371, 405, 419, 433
95	I II	20, 38, 47, 79, 83, 120, 135, 142, 163, 185, 205 225, 244, 262, 296, 315, 324, 345, 375, 406, 420, 434
96	I II	1, 39, 48, 80, 82, ПО, 136, 143, 164, 186, 206 226, 245, 263, 297, 316, 325, 346, 377, 407, 421, 435
97	I II	2, 40, 49, 61, 81, 111, 137, 144, 165, 187, 207 227, 246, 271, 298, 317, 326, 347, 380, 408, 422, 436
98	I II	3, 24, 50, 62, 100*, 112, 138, 145, 166, 188, 208 228, 247, 272, 299, 318, 327, 348, 383, 409, 423, 437
99	I II	4, 25, 51, 63, 99, 113, 139, 146, 167, 189, 209 229, 248, 273; 300, 319, 328, 349, 384, 410, 424, 438
00	I II	5, 26, 52, 64, 98, 114, 140, 147, 168, 190, 210 230, 249, 274, 281, 320, 329, 350, 385, 391, 425, 450

# ПРИЛОЖЕНИЕ

## I. КОНСТАНТЫ И СТЕПЕНИ ДИССОЦИИАЦИИ НЕКОТОРЫХ СЛАБЫХ ЭЛЕКТРОЛИТОВ

Электролиты	Формула	Численные значения констант диссоциации	Степень диссоциации в 0,1 н. растворе, %
Азотистая кислота	$\text{HNO}_2$	$K = 4,0 \cdot 10^{-4}$	6,4
Аммиак (гидроксид)	$\text{NH}_4\text{OH}$	$K = 1,8 \cdot 10^{-5}$	1,3
Муравьиная кислота	$\text{HCOOH}$	$K = 1,76 \cdot 10^{-4}$	4,2
Ортоборная кислота	$\text{H}_3\text{BO}_3$	$K_1 = 5,8 \cdot 10^{-10}$ $K_2 = 1,8 \cdot 10^{-13}$ $K_3 = 1,6 \cdot 10^{-14}$	0,007
Ортофосфорная кислота	$\text{H}_3\text{PO}_4$	$K_1 = 7,7 \cdot 10^{-3}$ $K_2 = 6,2 \cdot 10^{-8}$ $K_3 = 2,2 \cdot 10^{-13}$	27
Сернистая кислота	$\text{H}_2\text{SO}_3$	$K_1 = 1,7 \cdot 10^{-2}$ $K_2 = 6,2 \cdot 10^{-8}$	20,0
Сероводородная кислота	$\text{H}_2\text{S}$	$K_1 = 5,7 \cdot 10^{-8}$ $K_2 = 1,2 \cdot 10^{-15}$	0,07
Синильная кислота	$\text{HCN}$	$K = 7,2 \cdot 10^{-10}$	0,009
Угольная кислота	$\text{H}_2\text{CO}_3$	$K_1 = 4,3 \cdot 10^{-7}$ $K_2 = 5,6 \cdot 10^{-11}$	0,17
Уксусная кислота	$\text{CH}_3\text{COOH}$	$K = 1,75 \cdot 10^{-5}$	1,3
Фтороводородная кислота	$\text{HF}$	$K = 7,2 \cdot 10^{-4}$	8,5
Хлорноватистая кислота	$\text{HClO}$	$K = 3,0 \cdot 10^{-8}$	0,05



# III. ПЕРИОДИЧЕСКАЯ СИСТЕМА

(вариант

Периоды	Г р у п п ы														
	IA	IIA	IIIB	С е м е й с т в а											
	1														
	1s <sup>1</sup>														
2	3 Li 2s <sup>1</sup>	4 Be 2s <sup>2</sup>													
3	11 Na 3s <sup>1</sup>	12 Mg 3s <sup>2</sup>													
4	19 K 4s <sup>1</sup>	20 Ca 4s <sup>2</sup>	21 Sc 3d <sup>1</sup> 4s <sup>2</sup>												
5	37 Rb 5s <sup>1</sup>	38 Sr 5s <sup>2</sup>	39 Y 4d <sup>1</sup> 5s <sup>2</sup>												
6	55 Cs 6s <sup>1</sup>	56 Ba 6s <sup>2</sup>	57 La 5d <sup>1</sup> 6s <sup>2</sup>	58 Ce 4f <sup>2</sup> 6s <sup>2</sup>	59 Pr 4f <sup>3</sup> 6s <sup>2</sup>	60 Nd 4f <sup>4</sup> 6s <sup>2</sup>	61 Pm 4f <sup>5</sup> 6s <sup>2</sup>	62 Sm 4f <sup>6</sup> 6s <sup>2</sup>	63 Eu 4f <sup>7</sup> 6s <sup>2</sup>	64 Gd 4f <sup>7</sup> 5d <sup>1</sup> 6s <sup>2</sup>	65 Tb 4f <sup>9</sup> 6s <sup>2</sup>	66 Dy 4f <sup>10</sup> 6s <sup>2</sup>	67 Ho 4f <sup>11</sup> 6s <sup>2</sup>	68 Er 4f <sup>12</sup> 6s <sup>2</sup>	69 Tm 4f <sup>13</sup> 6s <sup>2</sup>
7	87 Fr 7s <sup>1</sup>	88 Ra 7s <sup>2</sup>	89 Ac 6d <sup>1</sup> 7s <sup>2</sup>	90 Th 6d <sup>2</sup> 7s <sup>2</sup>	91 Pa 5f <sup>2</sup> 6d <sup>1</sup> 7s <sup>2</sup>	92 U 5f <sup>3</sup> 6d <sup>1</sup> 7s <sup>2</sup>	93 Np 5f <sup>4</sup> 6d <sup>1</sup> 7s <sup>2</sup>	94 Pu 5f <sup>6</sup> 6d <sup>1</sup> 7s <sup>2</sup>	95 Am 5f <sup>7</sup> 6d <sup>1</sup> 7s <sup>2</sup>	96 Cm 5f <sup>7</sup> 6d <sup>1</sup> 7s <sup>2</sup>	97 Bk 5f <sup>9</sup> 6d <sup>1</sup> 7s <sup>2</sup>	98 Cf 5f <sup>10</sup> 6d <sup>1</sup> 7s <sup>2</sup>	99 Es 5f <sup>11</sup> 6d <sup>1</sup> 7s <sup>2</sup>	100 Fm 5f <sup>12</sup> 6d <sup>1</sup> 7s <sup>2</sup>	101 Md 5f <sup>13</sup> 6d <sup>1</sup> 7s <sup>2</sup>
	s <sup>1</sup>	s <sup>2</sup>	d <sup>1</sup>	f <sup>2</sup>	f <sup>3</sup>	f <sup>4</sup>	f <sup>5</sup>	f <sup>6</sup>	f <sup>7</sup>	f <sup>7</sup> d <sup>1</sup>	f <sup>9</sup>	f <sup>10</sup>	f <sup>11</sup>	f <sup>12</sup>	f <sup>13</sup>
	s		d		f										

ЭЛЕМЕНТОВ Д. И. МЕНДЕЛЕЕВА

длинной формы)

Э Л Е М Е Н Т О В																						
	IVB	VB	VIB	VIIIB	VIIIB	IB	IIB	IIIA	IVA	VA	VIA	VIIA	VIIIA									
												H	He									
												5	6	7	8	9	10					
												B	C	N	O	F	Ne					
												$2s^2 2p^1$	$2s^2 2p^2$	$2s^2 2p^3$	$2s^2 2p^4$	$2s^2 2p^5$	$2s^2 2p^6$					
												13	14	15	16	17	18					
												Al	Si	P	S	Cl	Ar					
												$3s^2 3p^1$	$3s^2 3p^2$	$3s^2 3p^3$	$3s^2 3p^4$	$3s^2 3p^5$	$3s^2 3p^6$					
22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36								
Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr								
$3d^2 4s^2$	$3d^3 4s^2$	$3d^5 4s^1$	$3d^5 4s^2$	$3d^6 4s^2$	$3d^7 4s^2$	$3d^8 4s^2$	$3d^{10} 4s^1$	$3d^{10} 4s^2$	$4s^2 4p^1$	$4s^2 4p^2$	$4s^2 4p^3$	$4s^2 4p^4$	$4s^2 4p^5$	$4s^2 4p^6$								
40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54								
Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe								
$4d^2 5s^2$	$4d^4 5s^1$	$4d^5 5s^1$	$4d^6 5s^1$	$4d^7 5s^1$	$4d^8 5s^1$	$4d^{10}$	$4d^{10} 5s^1$	$4d^{10} 5s^2$	$5s^2 5p^1$	$5s^2 5p^2$	$5s^2 5p^3$	$5s^2 5p^4$	$5s^2 5p^5$	$5s^2 5p^6$								
70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86						
Yb	Lu	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn						
$4f^{14} 6s^2$	$4f^{14} 6s^2$	$5d^2 6s^2$	$5d^3 6s^2$	$5d^4 6s^2$	$5d^5 6s^2$	$5d^6 6s^2$	$5d^7 6s^2$	$5d^9 6s^1$	$5d^{10} 6s^1$	$5d^{10} 6s^2$	$6s^2 6p^1$	$6s^2 6p^2$	$6s^2 6p^3$	$6s^2 6p^4$	$6s^2 6p^5$	$6s^2 6p^6$						
102	103	104	105	106	107	108	109	110														
(No)	(Lr)	Ku	Ns																			
$5f^{13} 6d^1 7s^2$	$5f^{14} 6d^1 7s^2$	$6d^2 7s^2$	$6d^3 7s^2$	$6d^4 7s^2$	$6d^5 7s^2$																	
$f^{14}$	$f^{14} d^1$	$d^2$	$d^3$	$d^4$	$d^5$	$d^6$	$d^7$	$d^8$	$d^9$	$d^{10}$	$p^1$	$p^2$	$p^3$	$p^4$	$p^5$	$p^6$						
										d							p					

## IV. ОСНОВНЫЕ КЛАССЫ НЕОРГАНИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ

Вещества	Классификация веществ	Примеры
Простые	Металлы (85 элементов)	s-элементы (кроме H, He) p-элементы Al, Ga, In, Tl, Ge, Sn, Pb Sb, Bi
	Неметаллы (22 элемента)	d-элементы f-элементы s-элементы (H, He) p-элементы B, C, Si, N, P, As, O, S, Se, Te галогены, благородные газы
Сложные	Бинарные соединения	гидриды LiH, NaH, CaH <sub>2</sub> , BaH <sub>2</sub> карбиды Be <sub>2</sub> C, CaC <sub>2</sub> , Al <sub>4</sub> C <sub>3</sub> нитриды Na <sub>3</sub> N, Mg <sub>3</sub> N <sub>2</sub> , Si <sub>3</sub> N <sub>4</sub> оксиды Na <sub>2</sub> O, CaO, Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> сульфиды K <sub>2</sub> S, ZnS, Fe <sub>2</sub> S <sub>3</sub> галиды NaCl, BaCl <sub>2</sub> , FeCl <sub>3</sub> средние NaN <sub>3</sub> , Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> , K <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> кислые (гидро-) NaHSO <sub>4</sub> , KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> ,
	Соли	Ca(H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> основные (гидроксо-) MgOHCl, (CuOH) <sub>2</sub> , S <sub>4</sub> , Fe(OH) <sub>2</sub> Cl
	Гидроксиды	кислоты HN <sub>3</sub> , H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> , H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> амфолиты Zn(OH) <sub>2</sub> , Al(OH) <sub>3</sub> , Be(OH) <sub>2</sub> (амфотерные) H <sub>2</sub> ZnO <sub>2</sub> , H <sub>3</sub> AlO <sub>3</sub> , H <sub>2</sub> BeO <sub>2</sub> основания KOH, Ba(OH) <sub>2</sub> , Ni(OH) <sub>3</sub>

## ОГЛАВЛЕНИЕ

Общие методические указания.....	3
Программа.....	7
Содержание дисциплины.....	8
Литература.....	14
Контрольные задания.....	15
Контрольное задание 1.....	15
Контрольное задание 2.....	74
Программированные вопросы для самоконтроля.....	112
Варианты контрольных заданий.....	118
Приложение.....	124