

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ УКРАИНЫ  
НАЦИОНАЛЬНАЯ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКАЯ АКАДЕМИЯ УКРАИНЫ**

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА,  
методические указания и контрольные  
задания к изучению дисциплины "Химия"  
для студентов направлений 0902 и 0904**

**Утверждено  
на заседании Ученого совета  
академии  
Протокол № 1 от 27.01.04**

**Днепропетровск НМетАУ 2004**

УДК 54: 669. (024)

Рабочая программа, методические указания и контрольные задания к изучению дисциплины "Химия" для студентов направлений 0902 и 0904 / Сост.: Л.Г.Герасименко, Н.В.Дворникова. – Днепропетровск: НМетАУ, 2004. – 102 с.

Приведены рабочая программа, общие методические рекомендации к изучению дисциплины «Химия», представлены решения типовых примеров по отдельным разделам, задания для выполнения контрольных работ, дополнительный материал в виде таблиц.

Предназначена для студентов направлений 0902-инженерная механика и 0904 - металлургия заочной формы обучения.

Составители: Л.Г. Герасименко, ст. препод.

Н.В. Дворникова, канд. хим. наук, доц.

Ответственный за выпуск Г.Е. Самойленко, канд. техн. наук, доц.

Рецензент Е.Э. Чигиринец, канд. техн. наук, доц. (НМетАУ)

## ОБЩИЕ МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

Цель настоящих методических указаний – оказание помощи студентам-заочникам в самостоятельной работе с учебной литературой, в овладении научно-теоретическими и практическими знаниями по курсу химии. Основная задача курса химии – формирование у студентов комплекса химических знаний о веществе, его структуре, превращениях, возможных областях применения; развитие навыков химического мышления и умения использовать достижения современной химической науки в процессе подготовки по специальным дисциплинам и в будущей профессиональной деятельности.

Студенты изучают курс химии в течение первого года обучения на установочных лекциях (8 ч), в ходе самостоятельной работы над учебниками и методическими пособиями, при выполнении письменного домашнего контрольного задания. После отработки лабораторного практикума (16 или 8 ч) студенты сдают экзамен по всему курсу.

Для оказания методической помощи в межсессионный период проводятся консультации, перед экзаменом – групповые консультации.

На установочных лекциях обсуждаются важнейшие вопросы программы и методика их изучения. Следует учесть, что эти лекции охватывают только отдельные разделы курса. Изучать курс рекомендуется по темам, предварительно ознакомившись с содержанием каждой из них по рабочей программе. Следует помнить, что последовательность расположения материала в рабочей программе не всегда совпадает с порядком изложения его в учебнике.

Письменное контрольное задание выполняется студентом самостоятельно в соответствии со специальностью и высылается в институт в сроки, определенные учебным графиком. Правильно оформленное контрольное задание должно содержать: номер варианта (выбирается по двум последним цифрам номера зачетной книжки), условия и решения задач, включая уравнения химических реакций и все математические преобразования; краткие ответы на теоретические вопросы; список использованной литературы; личную подпись и дату отправки задания в академию.

После проверки преподавателем контрольного задания студент допускается к собеседованию или работа возвращается для внесения исправлений.

Зачет контрольного задания (и исправлений) проводится после собеседования студента с преподавателем.

Отработка лабораторного практикума осуществляется в период лабораторно-экзаменационной сессии.

## **РАБОЧАЯ ПРОГРАММА**

### **1. Основные законы и основные понятия химии**

Атомно-молекулярное учение. Атом. Молекула. Эквивалент. Моль – единица количества вещества. Молярная масса. Расчеты по уравнениям реакций. Закон эквивалентов.

Литература: [1, с. 14-17; 2, с. 5-19; 4, с. 11-19].

### **2. Строение вещества и периодический закон**

Квантово-механическая модель атома. Строение атомного ядра. Изотопы. Электронные уровни и подуровни. Квантовые числа. Атомные орбитали. Принцип Паули. Правила и порядок заполнения атомных орбиталей. Строение многоэлектронных атомов.

Периодическая система Д.И. Менделеева. Закономерности периодической системы элементов.

Химическая связь. Природа химической связи. Основные типы и характеристики химической связи. Ковалентная, ионная, металлическая, водородная связи. Метод валентных связей. Образование ковалентной связи по донорно-акцепторному механизму.  $\sigma$ - и  $\pi$ -Связи. Полярная связь, электрический момент диполя. Гибридизация и гибридные орбитали. Строение и свойства простейших молекул. Типы химической связи и свойства веществ.

Литература: [1, с. 17-31; 2, с. 20-85; 3, с. 15-35, 40-60, 67-100; 4, с. 19-129].

### **3. Закономерности химических реакций**

#### **3.1. Энергетика химических процессов**

Энергетические эффекты химических реакций. Внутренняя энергия и энтальпия. Термохимия. Закон Гесса и следствия из него. Стандартная энтальпия образования химических соединений. Энтропия и ее изменение при химических процессах. Энергия Гиббса и ее изменение при химических процессах. Стандартная энергия Гиббса образования химического соединения. Условия самопроизвольного протекания химических реакций.

#### **3.2. Химическая кинетика**

Гомогенные и гетерогенные системы. Скорость гомогенной химической реакции и ее зависимость от концентрации и температуры. Константа скорости реакции. Энергия активации. Скорость гетерогенных химических реакций.

#### **3.3. Равновесия в гомогенных и гетерогенных системах**

Химическое равновесие в гомогенных системах. Константа химического равновесия и ее связь с термодинамическими функциями. Смещение равновесия. Принцип Ле Шателье, его значение для технологических процессов. Химическое равновесие в гетерогенных системах.

Литература: [1, с. 116-201; 2, с. 114-164; 3, с. 156-163, 175-196, 296-328, 525-536; 4, с. 130-203].

### **4. Растворы. Электрохимические процессы**

#### **4.1. Растворы**

Типы растворов. Способы выражения концентраций 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. Комплексные соединения.

#### **4.2. Электрохимические процессы**

Окислительно-восстановительные процессы, определение, классификация. Составление уравнений окислительно-восстановительных реакций. Поня-

тие об электродных потенциалах. Стандартный водородный электрод и водородная шкала потенциалов. Гальванические элементы, ЭДС и ее измерение. Аккумуляторы, топливные элементы. Уравнение Нернста. Электродные процессы. Электрохимическая и концентрационная поляризация. Электролиз. Последовательность электродных процессов. Законы Фарадея. Выход по току. Электролиз с нерастворимыми и растворимыми анодами. Практическое применение электролиза.

#### 4.3. 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.

Литература: [1, с. 204-340; 2, с. 169-250; 3, с. 205-295, 536-543, 581-584; 4, с. 204-284].

### 5. Специальные разделы

5.1. Химия элементов (для всех специальностей направления “Металлургия”)

Обзор неметаллов и их соединений. Обзор металлов и их соединений по группам периодической системы Д.И. Менделеева. Прикладное значение металлов и неметаллов, химические основы металлургических процессов.

#### 5.1.1. Неметаллы и их соединения

Неметаллы, общая характеристика. Нахождение в природе, получение, особенности свойств в зависимости от их положения в периодической таблице Д.И. Менделеева. Применение неметаллов в промышленности, использование в металлургии в качестве восстановителей для получения металлов и как легирующих добавок для получения особых видов чугуна и стали.

Водородные соединения неметаллов – гидриды. Общие методы получения, особенности свойств. Отношение к воде, закономерности кислотно-основной диссоциации. Устойчивость, закономерность восстановительных свойств.

Кислородные соединения неметаллов – оксиды, оксикислоты, соли. Методы получения. Характеристика кислотно-основных и окислительно-восстановительных свойств на основе общих закономерностей периодической системы элементов. Особенности поведения азотной и серной кислот при взаимодействии с металлами и неметаллами.

#### 5.1.2. Металлы главных подгрупп (*s*- и *p*-) –непереходные

Общая характеристика непереходных металлов на основе их положения в периодической системе элементов. Нахождение в природе. Получение и применение. Стали и сплавы на основе магния, бериллия, алюминия – легкие, коррозионностойкие. Сравнительная характеристика физических и химических свойств металлов IA – IVA групп. Отношение к водороду, кислороду, воде, кислотам, щелочам. Характеристика водородных и кислородных соединений металлов A групп на основе общих закономерностей периодической системы элементов. Сопоставление кислотно-основных свойств, устойчивости и окислительно-восстановительной активности соединений германия, олова, свинца (II) и (IV).

Л и т е р а т у р а : [1, с. 382-418; 2, с. 290-295, 400-426; 4, с. 388-434].

#### 5.1.3. Металлы побочных подгрупп (*d*- и *f*-) – переходные

Общая характеристика переходных металлов на основе их положения в периодической системе элементов. Особенности физических и химических свойств. Явление лантаноидного сжатия и его влияние на свойства металлов. Общие закономерности изменения кислотно-основных и окислительно-восстановительных свойств соединений переходных металлов.

Систематический обзор свойств переходных металлов – металлов B групп и их соединений по группам периодической системы Д.И. Менделеева, включая общую характеристику металлов подгруппы, нахождение в природе и получение, свойства и применение простых тел, а также некоторых соединений, используемых в различных отраслях народного хозяйства, особенно в металлургической промышленности.

Л и т е р а т у р а : [1, с. 341-376; 2, с. 308-396; 4, с. 285-373].

### 5.2 Для специальностей направления “Инженерная механика”

#### 5.2.1. Химия металлов

Зависимость свойств металлов от их положения в периодической системе Д.И. Менделеева. Физические свойства металлов. Химические свойства метал-

лов, их восстановительная способность. Распространение и формы нахождения металлических элементов в природе. Извлечение металлов из руд. Основные методы восстановления металлов. Электролитическое рафинирование.

#### 5.2.2. Легкие конструкционные металлы

Магний, бериллий, алюминий, титан. Особенности их свойств, нахождение в природе, выделение в свободном виде и в виде соединений. Использование магния, бериллия, алюминия, титана в технике.

#### 5.2.3. Тяжелые конструкционные металлы

Ванадий, хром, марганец. Особенности их свойств и свойств их соединений. Нахождение в природе, выделение в свободном виде и в виде соединений, использование в технике. Железо, кобальт, никель, медь, цинк. Особенности их свойств; окислительно-восстановительные свойства соединений металлов. Нахождение в природе, выделение в свободном виде и использование в технике. Галлий, олово, свинец. Особенности их свойств, нахождение в природе, выделение в свободном виде и использование в технике.

Литература: [1, с. 353-381; 2, с. 309-314, 361-391; 3, с. 504-679; 4, с. 285-374].

## Модуль 1. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ ХИМИИ. СТРОЕНИЕ ВЕЩЕСТВА

**Пример 1. Вычисление относительной плотности газа по его молекулярной массе.** Вычислите плотность ацетилена  $C_2H_2$  по водороду и воздуху.

Решение. Из закона Авогадро вытекает, что относительная плотность ( $D$ ) одного газа по другому равна отношению относительных  $M_r$  молекулярных масс этих газов, т.е.  $D = M_{r(1)}/M_{r(2)}$ . Так  $M_r(C_2H_2) = 26$ ,  $M_r(H_2) = 2$ .

Средняя  $M_r$  (воздуха) = 29. Относительная плотность ацетилена по воздуху:  $D_{\text{возд.}} = 26/29 = 0,896 \approx 0,9$ . Относительная плотность ацетилена по водороду:  $D_{H_2} = 26/2 = 13,0$ , т.е. ацетилен в 13 раз тяжелее водорода, но легче воздуха.

**Пример 2. Вычисление относительной молекулярной массы газа по заданному объему и абсолютной массе молекулы.** Объем паров  $0,1 \cdot 10^{-3}$  кг



вещества при 17°C и давлении 10174,7 Па равен  $24 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3$ . Рассчитайте относительную молекулярную массу и массу одной молекулы этого вещества.

**Решение.** Вычислить относительную молекулярную массу газа можно, используя уравнение Менделеева-Клайперона:  $PV = m/M_r RT$ , где  $m$  – масса газа;  $M_r$  – молекулярная масса газа;  $R$  – универсальная газовая постоянная.

Величина газовой постоянной определяется принятыми единицами измерения. Если давление измерять в Па ( $\text{Н/м}^2$ ), а объем в  $\text{м}^3$ , то  $R = 8,3144 \cdot 10^3$  Дж/(кмоль·К). Относительная молекулярная масса вещества равна

$$M_r = \frac{mRT}{PV} = \frac{0,1 \cdot 10^{-3} \cdot 8,3144 \cdot 10^3 \cdot 290}{10174,7 \cdot 24 \cdot 10^{-6}} = 99,21$$

Поскольку число молекул в 1 моль любого газа равно постоянной Авогадро ( $6,02 \cdot 10^{23}$ ), то масса молекулы вещества равна

$$\frac{99,21}{6,02 \cdot 10^{23}} = 16,48 \cdot 10^{-23} \text{ г.}$$

**Пример 3. Определение эквивалента и молярной массы эквивалентов вещества в реакциях обмена.** Вычислить эквивалент и молярную массу эквивалентов  $\text{H}_3\text{PO}_4$  в реакциях:



**Решение.** Эквивалент и молярная масса эквивалентов сложного вещества могут иметь различные значения и зависят от того, в какую реакцию обмена вступает это вещество. Молярная масса эквивалентов кислоты равна молярной массе ( $M$ ), деленной на число атомов водорода, замещенных в данной реакции на металл.

Эквиваленты  $\text{H}_3\text{PO}_4$  в уравнениях (1), (2) и (3) соответственно равны 1, 1/2 и 1/3. В соответствии с уравнениями реакций молярная масса эквивалентов  $\text{H}_3\text{PO}_4$  в реакции (1)

$$M_{\text{Э}(\text{H}_3\text{PO}_4)} = \frac{M_{(\text{H}_3\text{PO}_4)}}{1} = 98,0 \text{ г/моль,}$$

в реакции (2)

$$M_{\text{Э}(\text{H}_3\text{PO}_4)} = \frac{M_{(\text{H}_3\text{PO}_4)}}{2} = 49,0 \text{ г/моль,}$$

в реакции (3)

$$M_{\text{Э}(\text{H}_3\text{PO}_4)} = \frac{M_{(\text{H}_3\text{PO}_4)}}{3} = 32,7 \text{ г/моль.}$$

**Пример 4.** Молярная масса эквивалентов металла равна 56 г/моль. Сколько мл кислорода (н.у.) образуется при разложении 1,28 г оксида этого металла?

**Решение.** а. Определяем молярную массу эквивалентов оксида металла. Оксид металла – это соединение металла с кислородом. Поэтому молярная масса эквивалентов оксида представляет собой сумму:

$$M_{\text{Э(оксида)}} = M_{\text{Э(металла)}} + M_{\text{Э(кислорода)}} = 56 + 8 = 64 \text{ г/моль.}$$

б. Зная, что 1 моль эквивалентов кислорода при н.у. занимает объем 5,6 л, по закону эквивалентов рассчитываем объем образовавшегося кислорода:

$$V_{\text{O}_2} = \frac{1,28 \cdot 5600}{64} = 112 \text{ мл.}$$

Следовательно образуется 112 мл  $\text{O}_2$ .

**Пример 5. Составление электронных формул атомов элементов с учетом значений квантовых чисел электронов наружного слоя.** Напишите электронную формулу атома элемента и назовите его, если значение квантовых чисел ( $n, l, m_l, m_s$ ) электронов наружного электронного слоя следующие: 4, 1, -1, +1/2; 4, 1, 0, +1/2; 4, 1, +1, +1/2.

**Решение.** Состояние каждого электрона наружного энергетического уровня определяется следующим набором квантовых чисел:

$$\text{1-й электрон: } n = 4, l = 1, m_l = -1, m_s = +1/2;$$

$$\text{2-й } \gg \quad n = 4, l = 1, m_l = 0, m_s = +1/2;$$

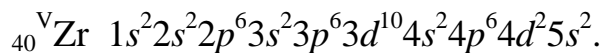
$$\text{3-й } \gg \quad n = 4, l = 1, m_l = +1, m_s = +1/2.$$

Главное квантовое число равно четырем, следовательно, электроны находятся на 4-м энергетическом уровне. Орбитальное квантовое число определяет форму орбитали. Если  $l = 1$ , то орбиталь называется  $p$ -орбиталью, следовательно, три электрона находятся на  $p$ -подуровне 4-го энергетического уровня. Магнитное квантовое число  $m_l$  (-1, 0, +1) определяет ориентацию орбитали в пространстве. На всех трех  $p$ -орбиталях ( $p_x, p_y, p_z$ ) находится по одному электрону ( $m_s = +1/2$ ). Наружный энергетический уровень атома этого элемента содержит пять электронов: ...  $4s^2 4p^3$ . Такую электронную конфигурацию наружного энергетического уровня имеет атом мышьяка As, электронная формула которого следующая:  $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^{10} 4s^2 4p^3$ .

**Пример 6. Изображение электронной структуры атомов элементов с помощью энергетических ячеек.** Пользуясь правилом Хунда, распределит-

те электроны по энергетическим ячейкам для атома элемента с порядковым номером 40.

Решение. Элемент с порядковым номером 40 – цирконий Zr, находится в V периоде, в IV В подгруппе. Цирконий это  $d$ -элемент. Электронная формула атома циркония:



Принимая во внимание правило Хунда, заполним энергетические ячейки следующим образом:

$4s^2$	$4p^6$	$4d^2$	$5s^2$
↑↓	↑↓	↑↓	↑↓
		↑	↑

**Пример 7. Изменение свойств элементов в больших периодах периодической системы.** Каков характер изменения свойств элементов в четвертом периоде периодической системы?

Решение. Четвертый период содержит 18 элементов от К ( $z = 19$ ) до Kr ( $z = 36$ ). В атомах элементов третьего периода заполнены электронами только  $s$ - и  $p$ -орбитали третьего энергетического уровня, десять  $d$ -орбиталей остаются свободными. Но у атомов элементов четвертого периода начинает заполняться электронами  $4s$ -орбиталь (при наличии свободных  $d$ -орбиталей), так как ядро экранируется плотным электронным слоем  $3s^2 3p^6$ . Заполнение  $d$ -оболочки третьего уровня начинается с Sc ( $z = 21$ ) и  $3d^1$  и заканчивается у Cu ( $z = 29$ )  $3d^{10}$ . Постепенное заполнение электронами  $d$ -орбиталей третьего уровня нарушается у атомов Cr и Cu, у которых происходит "провал" электрона в  $4s$ -состоянии (с четвертого) внешнего энергетического уровня на предпоследний (третий). Десять элементов четвертого периода (Sc – Zn), в атомах которых застраивается  $d$ -оболочка третьего предпоследнего уровня, называют переходными. После цинка до криптона продолжается заполнение  $p$ -орбиталей четвертого энергетического уровня.

В четвертом периоде между типичным металлом (К) и типичным неметаллом (Br) находятся 15 элементов (а не пять, как, например, в третьем периоде), из них 10 переходных элементов. Переходные элементы, в атомах которых заполняются  $d$ -оболочки предпоследнего уровня, меньше отличаются друг от друга по свойствам, чем элементы малых периодов. В больших периодах, в частности в четвертом, ослабление металлических свойств элементов происходит медленнее, чем в малых периодах (только в конце периода

находятся неметаллы). В больших периодах большинство элементов – металлы.

**Пример 8. Изменение свойств элементов в главных и побочных подгруппах периодической системы.** Как изменяются металлические свойства элементов в главных и побочных подгруппах периодической системы с увеличением заряда ядра атома элемента?

**Решение.** Главные подгруппы в группах периодической системы образуют *s*- и *p*-элементы, а побочные – *d*-элементы.

В главных подгруппах с увеличением заряда ядра атома элемента увеличивается радиус атома элемента, так как в этом направлении возрастает число электронных слоев в атоме элемента. Поэтому, в главной подгруппе сверху вниз нарастают металлические (восстановительные) свойства элементов.

В побочных подгруппах при переходе от первого элемента ко второму происходит увеличение радиуса атома элемента, а при переходе от второго элемента к третьему даже некоторое уменьшение. Это объясняется *f*- (лантаноидным) сжатием. Поэтому в побочных подгруппах с увеличением заряда ядра уменьшаются металлические свойства (за исключением побочной подгруппы третьей группы).

Поэтому в пределах одной группы свойства элементов главных и побочных подгрупп различны. Различия в свойствах элементов главных и побочных подгрупп значительны для первой группы, затем оно ослабевает. Так, элементы главной и побочной подгрупп третьей группы сравнительно близки по свойствам. Затем это различие в свойствах вновь усиливается и делается очень существенным в седьмой группе, где элементы подгруппы Mn сильно отличаются от галогенов.

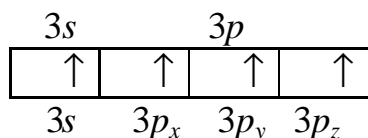
**Пример 9. Вычисление длины диполя молекулы.** Дипольный момент молекулы HCN равен  $0,97 \cdot 10^{-29}$  Кл·м. Определите длину диполя молекулы HCN.

**Решение.** Полярность связи характеризуется величиной дипольного момента  $m$ . Дипольный момент равен  $m = \bar{e} \cdot l$ , где  $\bar{e}$  - заряд электрона ( $1,602 \cdot 10^{-19}$  Кл);  $l$  – длина диполя, м. Длина диполя  $l$  равна

$$l = \frac{\mu}{e} = \frac{0,97 \cdot 10^{-29}}{1,602 \cdot 10^{-19}} = 0,61 \cdot 10^{-10} \text{ м.}$$

**Пример 10. Определение типа гибридизации электронных облаков и пространственной структуры молекулы.** Какая гибридизация электронных облаков имеет место в атоме кремния при образовании молекулы  $\text{SiF}_4$ ? Какова пространственная структура этой молекулы?

Решение. В возбужденном состоянии структура внешнего энергетического уровня атома кремния следующая:



В образовании химических связей в атоме кремния участвуют электроны третьего энергетического уровня: один электрон в  $s$ -состоянии и три электрона в  $p$ -состоянии. При образовании молекулы  $\text{SiF}_4$  возникают четыре гибридных электронных облака ( $sp^3$ -гибридизация). Молекула  $\text{SiF}_4$  имеет пространственную тетраэдрическую конфигурацию.

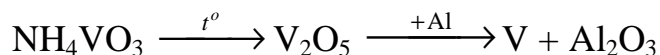
### ЗАДАНИЯ ДЛЯ КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ

1. Вычислите объем 3 кг азота при давлении  $1,030 \cdot 10^5$  Па и температуре  $50^\circ\text{C}$ .
2. Плотность газа по воздуху равна 2,562. Вычислите массу  $3,5 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$  газа при н.у.
3. Вычислите относительную молекулярную массу вещества, зная, что масса  $0,7 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$  его паров при  $91^\circ\text{C}$  и давлении  $0,97 \cdot 10^5$  Па равна  $2,68 \cdot 10^{-3}$  кг.
4. Газ, плотность которого по воздуху 0,55, содержится в сосуде емкостью  $0,02 \text{ м}^3$  под давлением  $1,038 \cdot 10^5$  Па при температуре  $20^\circ\text{C}$ . Определите массу газа в этом сосуде.
5. Какова масса  $10^{-3} \text{ м}^3$  ацетилена  $\text{C}_2\text{H}_2$  при  $-13^\circ\text{C}$  и давлении  $5,065 \cdot 10^5$  Па.
6. Рассчитайте относительную молекулярную массу газа, если  $7 \cdot 10^{-3}$  кг его при  $20^\circ\text{C}$  и  $0,253 \cdot 10^5$  Па занимают объем  $22,18 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$ .
7. Масса  $10^{-3} \text{ м}^3$  газа (н.у.) равна  $1,175 \cdot 10^{-3}$  кг. Вычислите относительную молекулярную массу газа и массу одной молекулы газа.
8. Сколько молекул  $\text{SO}_2$  получается при сгорании  $2,0 \cdot 10^{-6}$  кг серы?
9. В какой массе  $\text{CCl}_4$  четыреххлористого углерода содержится столько же молекул, сколько их в  $5,0 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$  воды?
10.  $2,14 \cdot 10^{-3}$  кг металла вытесняют из кислоты  $2 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$  водорода (н.у.). Вычислите молекулярную массу эквивалента металла.

11. Определите массу металла, вытеснившего из кислоты  $0,7 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$  водорода (н.у.), если молярная масса эквивалента металла равна 28 г/моль.
12. Оксид металла содержит 28,57% кислорода, а фторид того же металла – 48,72% фтора. Найдите молярную массу эквивалента фтора.
13. Для растворения  $8,43 \cdot 10^{-3} \text{ кг}$  металла потребовалось  $0,147 \text{ кг}$  раствора с содержанием  $\text{H}_2\text{SO}_4$  5 мас. долей (%). Рассчитайте молярную массу эквивалента металла и объем выделившегося водорода (н.у.).
14. Вычислите эквивалент и молярную массу эквивалента  $\text{H}_3\text{PO}_4$  в реакциях обмена, в случае образования средней и кислых солей.
15. На восстановление  $3,6 \cdot 10^{-3} \text{ кг}$  оксида металла израсходовано  $1,7 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$  водорода (н.у.). Рассчитайте молярную массу эквивалента металла.
16. Определите эквивалент и молярную массу эквивалента  $\text{H}_2\text{SO}_4$  и  $\text{Cu}(\text{OH})_2$  в следующих реакциях:
  - a.*  $\text{H}_2\text{SO}_4 + 2\text{KOH} \rightarrow \text{K}_2\text{SO}_4 + 2\text{H}_2\text{O}$
  - б.*  $\text{H}_2\text{SO}_4 + \text{KOH} \rightarrow \text{KHSO}_4 + \text{H}_2\text{O}$
  - в.*  $\text{Cu}(\text{OH})_2 + 2\text{HCl} \rightarrow \text{CuCl}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$
  - г.*  $\text{Cu}(\text{OH})_2 + \text{HCl} \rightarrow \text{CuOHCl} + \text{H}_2\text{O}$
17. Олово образует два оксида. Первый содержит 78,8%, второй 88,2% олова. Вычислите молярные массы эквивалентов олова в этих соединениях.
18. На нейтрализацию  $1,125 \cdot 10^{-3} \text{ кг}$  щавелевой кислоты потребовалось  $10^{-3} \text{ кг}$   $\text{NaOH}$ . Определите молярную массу эквивалента кислоты.
19. Одно и тоже количество металла соединяется с  $0,6 \cdot 10^{-3} \text{ кг}$  кислорода и  $9,534 \cdot 10^{-3} \text{ кг}$  галогена. Рассчитайте молярную массу эквивалента галогена.
20. Определите эквивалент и эквивалентную массу фосфора, кислорода и брома в соединениях  $\text{PH}_3$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{HBr}$ .
21. Эквивалентная масса трехвалентного металла равна 9 г/моль. Вычислите молярную и атомную массу металла, молярную массу эквивалента металла оксида и процентное содержание кислорода в оксиде.
22. Из 1,35 г оксида металла получается 3,15 г его нитрата. Вычислите молярную массу эквивалента металла.
23. Из 1,3 г гидроксида металла получается 2,85 г его сульфата. Вычислите молярную массу эквивалента металла.

24. Оксид трехвалентного элемента содержит 31,58% кислорода. Вычислите молярную массу эквивалента, мольную массу и атомную массу этого элемента.
25. Один оксид марганца содержит 22,56% кислорода, а другой 50,50%. Вычислите молярную массу эквивалента и стехиометрическую валентность марганца в этих оксидах. Составьте формулы оксидов.
26. Определите объем водорода при н.у. необходимый для получения 200 г железа из оксида железа (III), восстановление которого протекает по уравнению:  $\text{Fe}_2\text{O}_3 + 3\text{H}_2 \rightarrow 2\text{Fe} + 3\text{H}_2\text{O}$ .
27. Сколько карбоната кальция необходимо для получения 30 г оксида углерода (IV)? Вычислите объем оксида углерода (IV) при 373 К и 200 кПа.
28. Сколько граммов оксида серы (IV) образуется при обжиге 200 г  $\text{FeS}_2$ ? Вычислите объем оксида серы (IV) при 400 К и 120 кПа.
29. Определите объем кислорода при 600 К и 500 кПа, который необходим для сгорания 180 г кокса для образования  $\text{CO}_2$ .
30. Сколько литров ацетилена при 300 К и 202 кПа образуется при взаимодействии 230 г карбида кальция с водой?
31. Определите объем водорода при н.у. необходимый для получения 120 г железа из оксида железа (III).
32. Вычислите массу хлора, необходимую для хлорирования 50 г оксида циркония (IV):  $\text{ZrO}_2 + 2\text{C} + 2\text{Cl}_2 \rightarrow \text{ZrCl}_4 + 2\text{CO}$ . Определите объем хлора при 300 К и 200 кПа.
33. Сколько литров оксида углерода (II) при н.у. необходимо для получения 10г железа из  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , восстановление которого протекает по уравнению:  $\text{Fe}_2\text{O}_3 + 3\text{CO} \rightarrow 2\text{Fe} + 3\text{CO}_2$
34. Сколько углеродных единиц в одном грамме любого вещества? Сколько молекул содержится в 8,5 г  $\text{H}_2\text{S}$ ? Чему равна (в граммах) масса одной молекулы  $\text{H}_2\text{S}$ ?
35. Сколько молекул содержится в  $1 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$  метана, находящегося при  $4^\circ\text{C}$  и давлении  $1,01 \cdot 10^6 \text{ Па}$ ?
36. Какой объем занимают при н.у.  $10^{24}$  молекул кислорода, азота, паров воды?
37. Сколько молекул содержится в 100 мл газа, измеренного при температуре  $47^\circ\text{C}$  и давлении 64,84 кПа?

38. Определить массу водорода в баллоне емкостью  $0,025 \text{ м}^3$  при  $15^\circ\text{C}$  под давлением  $8,08 \cdot 10^5 \text{ Па}$ .
39. Смешано  $7,3 \text{ г}$  хлороводорода с  $4,0 \text{ г}$  аммиака. Сколько граммов хлорида аммония образуется? Найти массу оставшегося после реакции газа.
40. Сколько молекул содержится в  $5,8 \text{ г}$  хлорида натрия? Вычислить массу  $0,5$  молей хлорида натрия.
41. Зная атомные массы магния и хлора вычислить молекулярную, мольную массу и массу одной молекулы  $\text{MgCl}_2$  в граммах.
42. Вычислить число молей и число молекул, содержащихся в  $3,6 \text{ г}$  воды.
43. Определить мольную массу газа, если его плотность при н.у. равна  $3,17 \text{ г/л}$ . Рассчитайте плотность его по кислороду.
44. Зная атомные массы соответствующих элементов, вычислить молекулярную массу  $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$  и массу одной молекулы в граммах.
45. Зная атомные массы железа и кислорода, вычислить молекулярную массу оксида железа  $\text{FeO}$ , его мольную массу и массу одной молекулы в граммах. Сколько атомов находится в  $10 \text{ г}$   $\text{FeO}$ ?
46. Металлический ванадий можно получить из метаванадат аммония по схеме:



Вычислить массу ванадия, которая получится из  $23,4$  метаванадата аммония и массу алюминия, необходимую для восстановления  $\text{V}_2\text{O}_5$ .

47. К раствору, содержащему  $6,8 \text{ г}$  хлорида алюминия, прилили раствор, содержащий  $5,0 \text{ г}$  гидроксида калия. Найти массу образовавшегося осадка.
48. Вычислить массу одного моля и одной молекулы хлорида натрия в граммах, зная атомные массы натрия и хлора. Сколько молекул  $\text{NaCl}$  находится в  $10 \text{ г}$  паров  $\text{NaCl}$ ?
49. Сколько нужно затратить металлической ртути для получения  $100 \text{ кг}$  хлорной ртути ( $\text{HgCl}_2$ ).
50. К раствору, содержащему  $8,5 \text{ г}$   $\text{AgNO}_3$ , прибавили  $3,9 \text{ г}$   $\text{BaCl}_2$ . Какое количество  $\text{AgCl}$  образовалось? Какое вещество и в каком количестве останется в избытке?
51. Напишите электронные формулы атомов элементов с порядковыми номерами  $9$  и  $28$ . Распределите электроны этих атомов по квантовым ячейкам. К какому электронному семейству относится каждый из этих элементов?



52. Напишите электронные формулы атомов фосфора и ванадия. Распределите электроны этих атомов по квантовым ячейкам. К какому электронному семейству относится каждый из этих элементов?
53. Какое максимальное число электронов может занимать  $s$ -,  $p$ -,  $d$ - и  $f$ -орбитали данного энергетического уровня? Почему?
54. Какие орбитали атома заполняются электронами раньше:  $4s$  или  $3d$ ;  $5s$  или  $4p$ ? Почему? Составьте электронную формулу атома элемента с порядковым номером 50.
55. 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?
56. Какие орбитали атома заполняются электронами раньше:  $4d$  или  $5s$ ;  $6s$  или  $5p$ ? Почему? Составьте электронную формулу атома элемента с порядковым номером 43.
57. Сколько и какие значения может принимать магнитное квантовое число  $m$  при орбитальном квантовом числе  $l = 0; 1; 2$  и  $3$ ? Какие элементы в периодической системе носят название  $s$ -,  $p$ -,  $d$ - и  $f$ -элементов? Приведите примеры.
58. Чем отличается последовательность в заполнении атомных орбиталей у атомов  $d$ -элементов от последовательности заполнения их у атомов  $s$ - и  $p$ -элементов? Составьте электронную формулу атома элемента с порядковым номером 46, учитывая, что, находясь в пятом периоде, атомы этого элемента на пятом энергетическом уровне не содержат не одного электрона.
59. Составьте электронные формулы атомов элементов с порядковым номером 24 и 33, учитывая, что у первого происходит "провал" одного  $4s$ -электрона на  $3d$ -подуровень. К какому электронному семейству относится каждый из этих элементов?
60. В чем заключается принцип несовместимости Паули? Может ли быть на каком-нибудь подуровне атома  $p^7$  или  $d^{12}$ -электронов? Почему? Составьте электронную формулу атома элемента с порядковым номером 22 и укажите его валентные электроны?

61. Энергетическое состояние внешнего электрона атома описывается следующими значениями квантовых чисел:  $n = 4$ ,  $l = 0$ ,  $m = 0$ . Атомы каких элементов имеют такой электрон? Составьте электронные формулы атомов этих элементов.
62. Определите по правилу Клечковского порядок заполнения электронами подуровней в атомах элементов, если их суммы  $n + l$  соответственно равны 4, 5 и 6.
63. Охарактеризуйте квантовыми числами следующие состояния электронов:  
 а)  $2p$ 

$\uparrow\downarrow$	$\uparrow\downarrow$	$\uparrow$
----------------------	----------------------	------------

 б)  $3d$ 

$\uparrow\downarrow$	$\uparrow$	$\uparrow$	$\uparrow$	$\uparrow$
----------------------	------------	------------	------------	------------

 в)  $4s$ 

$\uparrow$
------------
64. Напишите электронные формулы атомов элементов и назовите их, если значения квантовых чисел ( $n, l, m, s$ ) электронов наружного (последнего) и предпоследнего электронных слоев следующие:
- |   |   |
|---|---|
| а) $6, 0, 0, +1/2$<br>$6, 0, 0, -1/2$<br>$6, 1, -1, +1/2$ | б) $3, 2, -2, +1/2$<br>$3, 2, -1, +1/2$<br>$4, 0, 0, +1/2$<br>$4, 0, 0, -1/2$ |
|---|---|
65. Что характеризует вероятность нахождения электрона в данной точке пространстве и в элементарном объеме? Что такое электронное облако и орбиталь?
66. 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?
67. Составьте электронные формулы элементов №108 и 113 и укажите, какое место они занимают в периодической системе.
68. Чему равно количество орбиталей в атоме, для которых главное квантовое число  $n = 4$ ? Укажите значения  $n, l, m$  для каждой из этих орбиталей.
69. В чем заключается правило Хунда? Разместите шесть  $d$ -электронов по квантовым ячейкам (орбиталям)  $3d$ -подуровня. Чему равно их суммарное спиновое число?
70. Какие четыре квантовых числа характеризуют состояние электронов в атоме? Какие значения может принимать каждое из них?
71. Значение, какого квантового числа определяет, сколько  $s$ -,  $p$ -,  $d$ - и  $f$ -орбиталей содержит данный энергетический уровень? Чему они равны для  $s$ -,  $p$ -,  $d$ - и  $f$ -орбиталей?

72. Составьте электронные формулы основного состояния атома брома и его ионов  $\text{Br}^+$  и  $\text{Br}^-$ .
73. Составьте электронную формулу атома элемента с порядковым номером 41, учитывая, что у него происходит "провал" одного  $5s$ -электрона на  $4d$ -подуровень. На основании электронной формулы определите период и группу периодической системы, в которых находится этот элемент.
74. Составьте электронные формулы основного состояния атома азота и его ионов  $\text{N}^+$  и  $\text{N}^-$ .
75. Какие из электронных конфигураций соответствуют основному, возбужденному или запрещенному (невозможному) состоянию:
- а)  $1s^2 2s^2 2p^2 3s^1$ ;      б)  $1s^2 2s^2 2p^6$ ;  
 в)  $1s^2 2s^2 2p^5 3s^3$ ;      г)  $1s^2 2s^1 2p^7$ ?
76. Исходя из положения германия, цезия и технеция в периодической системе, составьте формулы следующих соединений: мета- и ортогерманиевой кислот, дигидрофосфата цезия и оксида технеция, отвечающего его высшей степени окисления. Изобразите графически формулы этих соединений.
77. 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?
78. Что такое электроотрицательность? Как изменяется электроотрицательность  $p$ -элементов в периоде, в группе периодической системы с увеличением порядкового номера?
79. Исходя из положения германия, молибдена и рения в периодической системе, составьте формулы следующих соединений: водородного соединения германия, рениевой кислоты и оксида молибдена, отвечающего его высшей степени окисления. Изобразите графически формулы этих соединений.
80. Что такое сродство к электрону? В каких единицах оно выражается? Как изменяется окислительная активность неметаллов в периоде и группе периодической системы с увеличением порядкового номера? Ответ мотивируйте строением атома соответствующего элемента.
81. Составьте формулы оксидов и гидроксидов элементов третьего периода периодической системы, отвечающих их высшей степени окисления. Как

изменяется химический характер этих соединений при переходе от натрия к хлору?

82. Какой из элементов четвертого периода – ванадий или мышьяк – обладает более выраженными металлическими свойствами? Какой из элементов образует газообразное соединение с водородом? Ответ мотивируйте, из строения атомов данных элементов.
83. Какие элементы образуют газообразные соединения с водородом? В каких группах периодической системы находятся эти элементы? Составьте формулы водородных и кислородных соединений хлора, теллура и сурьмы, отвечающих их низшей и высшей степени окисления.
84. 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 хлора и селена.
85. Какую низшую степень окисления проявляют хлор, сера, азот и углерод? Почему? Составьте формулы соединений алюминия с данными элементами этой степени окисления. Как называются соответствующие соединения?
86. У какого из *p*-элементов пятой группы периодической системы – фосфора или сурьмы – сильнее выражены неметаллические свойства? Какой из водородных соединений данных элементов более сильный восстановитель? Ответ мотивируйте строением атомов этих элементов.
87. Исходя из положения металлов 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  $\text{Sr}(\text{OH})_2$ ?
88. Почему марганец проявляет металлические свойства, а хлор – неметаллические? Ответ мотивируйте строением атомов этих элементов. Напишите формулы оксидов и гидроксидов хлора и марганца.
89. Какую низшую степень окисления проявляют водород, фтор, сера и азот? Почему? Составьте формулы соединений кальция с данными элементами этой степени окисления. Как называются соответствующие соединения?

90. Какую низшую и высшую степень окисления проявляют кремний, мышьяк, селен и хлор? Почему? Составьте формулы соединений данных элементов, отвечающих этим степеням окисления.
91. К какому семейству относятся элементы, в атомах которых последний электрон поступает на  $4f$ - и  $5f$ -орбитали? Сколько элементов включает каждое из этих семейств? Как отражается на свойствах этих элементов электронное строение их атомов?
92. Какова современная формулировка периодического закона? Объясните, почему в периодической системе элементов аргон, кобальт, теллур и торий помещены соответственно перед калием, никелем, йодом и протактинием, хотя и имеют большую атомную массу?
93. Атомы каких элементов четвертого периода периодической системы образуют оксид, отвечающей их высшей степени окисления  $\text{Э}_2\text{O}_5$ ? Какой из них дает газообразное соединение с водородом? Составьте формулы кислот, отвечающих этим оксидам и изобразите их графически.
94. Атомы цезия и золота на внешнем энергетическом уровне содержат по одному электрону. Почему первая энергия ионизации у Cs меньше, чем у Au? Составьте электронную формулу атома золота.
95. Почему фтор и хлор, являясь электронными аналогами, проявляют различные степени окисления в соединениях: фтор – только -1, а хлор от -1 до +7. Приведите формулы соответствующих оксидов фтора и хлора.
96. У какого из элементов – кальция или цинка – более выражены металлические свойства? Ответ обоснуйте на основании анализа электронных формул Ca и Zn.
97. Определите положение серы и хрома в периодической системе Д.И. Менделеева (период, группа, подгруппа, электронное семейство). Хром металлический элемент, а сера относится к неметаллам. Объясните различие, исходя из электронного строения атомов.
98. Что такое электронные аналоги? Приведите пример. Почему элементы марганец и хлор находятся в одной группе (какой?), но различных подгруппах? Относятся ли Mn и Cl к электронным аналогам?
99. Как влияет повышение степени окисления элемента на свойства его гидроксидов? Исходя из этого ответьте на вопрос: какой из двух гидроксидов

более сильное основание:  $\text{CuOH}$  или  $\text{Cu}(\text{OH})_2$ ;  $\text{TlOH}$  или  $\text{Tl}(\text{OH})_3$ ;  $\text{Fe}(\text{OH})_2$  или  $\text{Fe}(\text{OH})_3$ ?

100. Как изменяются радиусы атомов и положительных ионов в периодах и подгруппах с увеличением порядкового номера? Что такое лантаноидное сжатие?
101. Какую химическую связь называют ковалентной? Чем можно объяснить направленность ковалентной связи? Как метод валентных связей объясняет строение молекулы воды?
102. Какая ковалентная связь называется  $\sigma$ -связью и какая полярной? Что служит количественной мерой полярности ковалентной связи?
103. Какая химическая связь называется водородной? Между молекулами каких веществ она образуется?
104. Какая химическая связь называется ионной? Каков механизм ее образования?
105. Какая химическая связь называется донорно-акцепторной? Разберите строение комплекса  $[\text{Zn}(\text{NH}_3)_4]^{2+}$ . Укажите донор и акцептор. Как метод валентных связей объясняет теоретическое строение этого иона?
106. Какие электроны атома бора участвуют в образовании ковалентных связей? Как метод валентных связей объясняет симметричную треугольную форму молекулы  $\text{BF}_3$ ?
107. Как изменяется величина валентного угла  $\angle \text{HЭН}$  в ряду  $\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}_2\text{S} \rightarrow \text{H}_2\text{Se} \rightarrow \text{H}_2\text{Te}$ ? Ответ дайте на основании метода валентных связей.
108. Что такое  $sp^3$ -гибридизация электронных облаков? Какую пространственную конфигурацию имеют молекулы веществ с таким типом гибридизации? Приведите примеры соответствующих соединений.
109. Каково взаимное расположение электронных облаков при  $sp^2$ -гибридизации? Приведите примеры соединений с таким типом гибридизации? Какова пространственная структура молекул этих веществ?
110. Как взаимно расположены электронные облака при  $sp$ -гибридизации? Приведите примеры молекул с таким типом гибридизации.
111. Какой тип гибридизации у молекул следующих веществ:  $\text{BeH}_2$ ;  $\text{BF}_3$ ;  $\text{ZnCl}_2$ ?
112. Изображая перекрывание электронных облаков, покажите образование  $\sigma$ -связей в молекулах  $\text{H}_2$ ,  $\text{Br}_2$  и  $\text{HBr}$ .

113. Сколько  $\sigma$ - и  $\pi$ -связей в молекулах этилена и ацетилена?
114. Сколько  $\sigma$ - и  $\pi$ -связей в молекулах  $N_2$  и  $CO$ ? Изобразите перекрывание электронных облаков в этих молекулах.
115. Какая химическая связь называется металлической? Каковы ее особенности?
116. Что такое гибридизация? Определите тип гибридизации валентных орбиталей бериллия при образовании молекулы  $BeCl_2$  и ее форму.
117. Определите связи в молекуле  $CO_2$  и ее форму. Почему дипольный момент молекулы  $CO_2$  равен нулю?
118. Определите направление связей в молекуле аммиака и ее форму.
119. Определите характер связей в молекулах  $LiF$ ,  $HF$ ,  $F_2$ . Укажите смещение электронного облака связи (поделенной пары) учетом величин электроотрицательностей.
120. Какой тип связи осуществляется в кристаллах металлов? Какие кристаллические структуры называют ионными, атомными, молекулярными и металлическими?
121. Как метод валентных связей объясняет строение молекулы  $CH_4$ .
122. Какая химическая связь в методе валентных связей называется локализованной и какая нелокализованной? Разберите на примере строение молекулы бензола.
123. Как метод валентных связей объясняет тетраэдрическое строение молекулы  $CCl_4$  и октаэдрическое  $SF_6$ .
124. Какой тип гибридизации орбиталей атома фосфора, осуществляется в молекуле  $PF_5$ ? Какова пространственная конфигурация этой молекулы?
125. Исходя из значений электроотрицательности, определите, какой характер чисто ионный, чисто ковалентный или ковалентно-полярный имеет связь в соединениях: а)  $CaO$ ; б)  $HI$ ; в)  $Br_2$ ; г)  $ICl$ .

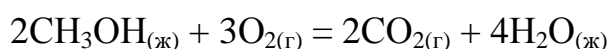
## Модуль 2. ОСНОВНЫЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ ХИМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

**Пример 1. Вычисление стандартной теплоты образования вещества.** Определите стандартную теплоту образования метилового спирта  $\text{CH}_3\text{OH}$ , если его стандартная теплота сгорания равна  $-725,64$  кДж/моль,

$$\Delta H_{\text{CO}_2(\text{г})}^0 = -393,51 \text{ кДж/моль},$$

$$\Delta H_{\text{H}_2\text{O}(\text{ж})}^0 = -285,84 \text{ кДж/моль}$$

**Решение.** Горение метилового спирта протекает в соответствии с уравнением



Согласно первому следствию из закона Гесса тепловой эффект химической реакции равен разности между суммой теплот образования продуктов реакции и суммой теплот образования исходных веществ с учетом стехиометрических коэффициентов:

$$\Delta H_{298}^0 = 2\Delta H_{\text{CO}_2(\text{г})}^0 + 4\Delta H_{\text{H}_2\text{O}(\text{ж})}^0 - 2\Delta H_{\text{CH}_3\text{OH}(\text{ж})}^0$$

С другой стороны,  $\Delta H_{298}^0 = 2\Delta H_{\text{C},298}^0 \text{CH}_3\text{OH}(\text{ж})$

Таким образом,

$$\begin{aligned} \Delta H_{\text{CH}_3\text{OH}(\text{ж})}^0 &= \left( 2\Delta H_{\text{CO}_2(\text{г})}^0 + 4\Delta H_{\text{H}_2\text{O}(\text{ж})}^0 - 2\Delta H_{\text{C},298}^0 \text{CH}_3\text{OH}(\text{ж}) \right) / 2 = \Delta H_{\text{CO}_2(\text{г})}^0 + \\ &+ \Delta H_{\text{H}_2\text{O}(\text{ж})}^0 - \Delta H_{\text{C},298}^0 \text{CH}_3\text{OH}(\text{ж}) = -393,51 + 2(-285,84) - (-725,64) = \\ &= -238,55 \text{ кДж/моль}. \end{aligned}$$

Стандартная теплота образования метилового спирта

$$\Delta H_{\text{CH}_3\text{OH}(\text{ж})}^0 = -238,55 \text{ кДж/моль}.$$

**Пример 2. Определение возможности протекания химической реакции по величине изменения энергии Гиббса.** Вычислите  $\Delta G_{298}^0$  для химической реакции  $2\text{SO}_{2(\text{г})} + \text{O}_{2(\text{г})} \rightarrow 2\text{SO}_{3(\text{г})}$ . В каком направлении может протекать эта реакция в стандартных условиях?

$$\Delta G_{\text{SO}_2(\text{г})}^0 = -300,37 \text{ кДж/моль},$$

$$\Delta G_{\text{SO}_3(\text{г})}^0 = -370,37 \text{ кДж/моль},$$

**Решения.** Изменение энергии Гиббса в химической реакции

$$\Delta G_{298}^0 = 2\Delta G_{\text{SO}_3(\text{г})}^0 - 2\Delta G_{\text{SO}_2(\text{г})}^0 = 2(-370,37) - 2(-300,37) = -140 \text{ кДж}.$$



$\Delta G_{298}^0 < 0$ , поэтому в стандартных условиях данная реакция может протекать в сторону образования  $\text{SO}_3$ .

**Пример 3. Вычисление изменения энергии Гиббса в химической реакции по значениям теплот образования и энтропий реагирующих веществ и продуктов реакции.** Вычислите  $\Delta G_{298}^0$  для химической реакции  $\text{Fe}_2\text{O}_3(\text{к}) + 3\text{CO}(\text{г}) = 2\text{Fe}(\text{к}) + 3\text{CO}_2(\text{г})$ . Возможно ли протекание этой реакции в стандартных условиях?

$$\Delta H_{\text{Fe}_2\text{O}_3(\text{к})}^0 = -821,32 \text{ кДж/моль};$$

$$\Delta H_{\text{CO}(\text{г})}^0 = -110,5 \text{ кДж/моль};$$

$$\Delta H_{\text{CO}_2(\text{г})}^0 = -393,51 \text{ кДж/моль};$$

$$S_{298, \text{Fe}_2\text{O}_3(\text{к})}^0 = 89,96 \text{ Дж/(моль}\cdot\text{К)};$$

$$S_{298, \text{CO}(\text{г})}^0 = 197,4 \text{ Дж/(моль}\cdot\text{К)};$$

$$S_{298, \text{Fe}(\text{к})}^0 = 27,15 \text{ Дж/(моль}\cdot\text{К)};$$

$$S_{298, \text{CO}_2(\text{г})}^0 = 213,6 \text{ Дж/(моль}\cdot\text{К)}.$$

**Решение.** Изменение энергии Гиббса в химической реакции при температуре  $T$  можно вычислить по уравнению:  $\Delta G = \Delta H - T\Delta S$ . Согласно 1-му следствию из закона Гесса тепловой эффект химической реакции равен разности между суммой теплот образования продуктов реакции и суммой теплот образования реагирующих веществ с учетом стехиометрических коэффициентов.

Тепловой эффект химической реакции:

$$\begin{aligned} \Delta H_{298}^0 &= 3\Delta H_{\text{CO}_2(\text{г})}^0 - \Delta H_{\text{Fe}_2\text{O}_3(\text{к})}^0 - 3\Delta H_{\text{CO}(\text{г})}^0 = 3 \cdot (-393,51) - (-821,32) - 3 \cdot (-110,5) = \\ &= -27,71 \text{ кДж}. \end{aligned}$$

Изменение энтропии в химической реакции равно разности между суммой энтропий продуктов реакции и суммой энтропий реагирующих веществ с учетом стехиометрических коэффициентов.

Изменение энтропии в химической реакции:

$$\begin{aligned} \Delta S_{298}^0 &= 2S_{298, \text{Fe}(\text{к})}^0 + 3S_{298, \text{CO}_2(\text{г})}^0 - S_{298, \text{Fe}_2\text{O}_3(\text{к})}^0 - 3S_{298, \text{CO}(\text{г})}^0 = 2 \cdot 27,15 + 3 \cdot 213,6 - \\ &- 89,96 - 3 \cdot 197,4 = 12,94 \text{ Дж/моль}\cdot\text{К}. \end{aligned}$$

Изменение энергии Гиббса в химической реакции:

$$\Delta G_{298}^0 = \Delta H_{298}^0 - 298\Delta S_{298}^0 = -27,71 - 298 \cdot 12,94 \cdot 10^{-3} = -31,57 \text{ кДж}.$$

$\Delta G_{298}^0 < 0$ , следовательно, в стандартных условиях протекание химической реакции возможно.

**Пример 4. Вычисление скорости реакции по концентрациям реагирующих веществ.** Реакция между веществами А и В протекает по уравнению  $A + 2B = C$ , начальные концентрации равны:  $c_A = 8$  моль/л;  $c_B = 10$  моль/л. Константа скорости реакции равна  $0,3 \text{ л}^2 \cdot \text{моль}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$ . Вычислите скорость химической реакции в начальный момент и в тот момент, когда в реакционной смеси останется 30% вещества В.

**Решение.** Согласно закону действующих масс скорость реакции данной химической реакции равна  $u = k \cdot c_A \cdot c_B^2$ . Начальная скорость реакции равна  $u_1 = 0,3 \cdot 8 \cdot 10^2 = 240$  моль/(л·с).

По истечении некоторого времени в реакционной смеси останется 30% вещества В, т.е. концентрация вещества В станет равной  $10 \cdot 0,3 = 3$  моль/л. Значит, концентрация вещества В уменьшилась на  $10 - 3 = 7$  моль/л. Так как вещества А и В взаимодействуют между собой в соотношении 1:2, то концентрация вещества А уменьшилась на 3,5 моль/л (7:2) и стала равной 4,5 моль/л ( $8 - 3,5$ ). Следовательно,  $u_2 = 0,3 \cdot 4,5 \cdot 3^2 = 12,15$  моль/(л·с).

**Пример 5. Влияние давления на скорость реакции.** Определите, как изменится скорость реакции  $2NO + O_2 \rightarrow 2NO_2$ , если общее давление в системе уменьшилось в 5 раз.

**Решение.** Уменьшение давления в системе в 5 раз вызовет увеличение объема системы в 5 раз, а концентрация реагирующих веществ уменьшится в 5 раз. Начальная скорость реакции равна

$$u_1 = k \cdot c_{NO}^2 \cdot c_{O_2}$$

После уменьшения давления в 5 раз

$$u_2 = k \left( \frac{c_{NO}}{5} \right)^2 \frac{c_{O_2}}{5} = k \frac{c_{NO}^2 \cdot c_{O_2}}{125}$$

Скорость реакции уменьшилась в 125 раз.

**Пример 6. Определение времени протекания реакции в зависимости от температуры.** При 393К реакция заканчивается за 10 мин. Сколько времени будет продолжаться реакция при 363 К, если температурный коэффициент этой реакции равен 3?

Решение. Зависимость скорости химической реакции от температуры выражается соотношением:

$$u_{T_2} = u_{T_1} \cdot \gamma^{\frac{T_2 - T_1}{10}}$$

где  $\gamma$  - температурный коэффициент. Между скоростью протекания химических реакций и их продолжительностью существует обратно пропорциональная зависимость

$$\frac{u_{T_2}}{u_{T_1}} = \frac{t_1}{t_2},$$

где  $t_1$  и  $t_2$  – время протекания реакции при температурах  $T_1$  и  $T_2$ .

Следовательно, соотношение (1) в данном случае можно записать:

$$\frac{t_1}{t_2} = \gamma^{\frac{T_2 - T_1}{10}},$$

откуда

$$t_1 = t_2 \gamma^{\frac{T_2 - T_1}{10}} = 10 \cdot 3^{\frac{393 - 363}{10}} = 10 \cdot 3^3 = 10 \cdot 27 = 270 \text{ мин} = 4,5 \text{ ч.}$$

При температуре 363 К эта реакция заканчивается за 4,5 ч.

**Пример 7. Вычисление константы равновесия реакции и исходных концентраций реагирующих веществ.** При синтезе аммиака  $N_2 + 3H_2 \rightleftharpoons 2NH_3$  равновесие установилось при следующих концентрациях реагирующих веществ:  $c_{N_2} = 4$  моль/л;  $c_{H_2} = 2$  моль/л;  $c_{NH_3} = 6$  моль/л. Рассчитайте константу равновесия этой реакции и исходные концентрации азота и водорода.

Решение. Константа равновесия этой реакции равна

$$K = \frac{c_{NH_3}^2}{c_{N_2} \cdot c_{H_2}^3} = \frac{6^2}{4 \cdot 2^3} = \frac{36}{4 \cdot 8} = 1,1.$$

Исходные концентрации азота и водорода находим на основе уравнения реакции. На образование двух молей  $NH_3$  расходуется один моль азота, а на образование шести молей аммиака потребовалось:  $6/2 = 3$  моль азота. Учитывая равновесную концентрацию азота, находим его первоначальную концентрацию:  $c_{исх} N_2 = 4 + 3 = 7$  моль/л.

На образование двух молей  $NH_3$  необходимо израсходовать 3 моль водорода, а для получения шести молей  $NH_3$  требуется водорода:  $3 \cdot 6/2 = 9$  моль.

$$c_{исх} H_2 = 2 + 9 = 11 \text{ моль/л.}$$

Таким образом, реакция начиналась при концентрациях  $c_{N_2} = 7$  моль/л;  
 $c_{H_2} = 11$  моль/л.

**Пример 8. Вычисление равновесных концентраций реагирующих веществ.** Реакция протекает по уравнению  $A + B \rightleftharpoons 2C$ . Определите равновесные концентрации реагирующих веществ, если исходные концентрации веществ А и В соответственно равны: 4 и 6 моль/л, константа равновесия  $K = 1$ .

**Решение.** К моменту равновесия концентрации веществ А и В понизятся, а концентрация вещества С увеличится. На каждый моль вещества А и В образуется два моля вещества С. Поэтому если понижение концентрации вещества А и В обозначить через  $x$  моль, то увеличение концентрации вещества С будет  $2x$  моль.

Равновесные концентрации реагирующих веществ:

$$c_A = (4 - x) \text{ моль/л}; c_C = 2x \text{ моль/л}; c_B = (6 - x) \text{ моль/л};$$

$$K = \frac{c_C^2}{c_A c_B} = \frac{4x^2}{(4-x)(6-x)} = \frac{4x^2}{24-10x+x^2};$$

$$1 = \frac{4x^2}{24-10x+x^2};$$

$$3x^2 + 10x - 24 = 0; x = 1,9.$$

Отсюда равновесные концентрации реагирующих веществ равны:

$$c_A = 4 - 1,9 = 2,1 \text{ моль/л}; c_C = 3,8 \text{ моль/л}; c_B = 6 - 1,9 = 4,1 \text{ моль/л}.$$

**Пример 9. Влияние изменения концентрации реагирующих веществ на смещение равновесия.** Реакция протекает по уравнению:



В сторону какой реакции сместится химическое равновесие, если концентрации всех реагирующих веществ увеличить в 3 раза?

**Решение.** Начальные скорости прямой и обратной реакции были следующие:

$$u_{\text{прям}} = k_1 \cdot c_{HCl}^4 \cdot c_{O_2}$$

$$u_{\text{обр}} = k_2 \cdot c_{H_2O}^2 \cdot c_{Cl_2}^2$$

После увеличения концентраций скорость прямой реакции станет

$$u_{\text{прям}} = k_1 \cdot (3c_{HCl})^4 \cdot (3c_{O_2}) = 3^5 k_1 \cdot 3c_{HCl}^4 \cdot 3c_{O_2} = 243k_1 \cdot 3c_{HCl}^4 \cdot 3c_{O_2},$$

т.е. возрастет в 243 раза.

Скорость обратной реакции

$$u_{\text{обр}} = k_2 \cdot (3c_{\text{H}_2\text{O}})^2 \cdot (3c_{\text{Cl}_2})^2 = 3^4 k_2 \cdot c_{\text{H}_2\text{O}}^2 \cdot c_{\text{Cl}_2}^2 = 81k_2 \cdot c_{\text{H}_2\text{O}}^2 \cdot c_{\text{Cl}_2}^2,$$

т.е. возрастет в 81 раз. Следовательно, равновесие реакции сместится в сторону прямой реакции.

**Пример 10. Влияние изменения температуры на смещение равновесия.** В каком направлении сместится равновесие реакции:  $\text{AB} \rightleftharpoons \text{A} + \text{B}$ , если повысить температуру на  $20^\circ\text{C}$ , температурный коэффициент прямой реакции равен 2, а обратной 3?

**Решение.** Повышение температуры по-разному скажется на изменении скоростей прямой и обратной реакций. При повышении температуры на  $20^\circ\text{C}$  скорость прямой реакции:

$$u_{T_2}^{\text{прям}} = u_{T_1}^{\text{прям}} \gamma_{10}^{\frac{T_2-T_1}{10}} = u_{T_1}^{\text{прям}} \cdot 2^2 = 4u_{T_1}^{\text{прям}};$$

скорость обратной реакции

$$u_{T_1}^{\text{обр}} = u_{T_1}^{\text{обр}} \cdot 3^2 = 9u_{T_1}^{\text{обр}}.$$

Таким образом, при повышении температуры скорость прямой реакции возрастет в 4 раза, а обратной – в 9 раз. Следовательно, равновесие сместится в направлении обратной реакции, т.е. в сторону образования вещества АВ.

## ЗАДАНИЯ ДЛЯ КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ

126. Тепловой эффект реакции  $\text{C} + 2\text{N}_2\text{O} \rightarrow \text{CO}_2 + 2\text{N}_2$  равен  $-560,0$  кДж. Вычислите стандартную теплоту образования  $\text{N}_2\text{O}$ .
127. Рассчитайте  $\Delta H_{298}^0$   $\text{Cu}_2\text{O}$ , если известно, что  $2\text{Cu}_2\text{O} + \text{Cu}_2\text{S} \rightarrow 6\text{Cu} + \text{SO}_2 + 115,90$  кДж.
128. Подсчитав  $\Delta G^0$  реакции  $\text{N}_2 + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{NH}_4\text{NO}_2$ , определите возможна ли она.  $\Delta G_{\text{NH}_4\text{NO}_2}^0 = 115,94$  кДж/моль.
129. Пользуясь значениями  $\Delta G_{298}^0$  реагирующих веществ, вычислите  $\Delta G_{298}^0$  реакции и определите возможность ее протекания:  
 $\text{PbO}_{(\text{к})} + \text{C}_{(\text{к})} \rightarrow \text{CO}_{(\text{г})} + \text{Pb}_{(\text{к})}$ .
130. Пользуясь значениями  $\Delta G_{298}^0$  реагирующих веществ, вычислите  $\Delta G_{298}^0$  реакции  $\text{SO}_{2(\text{г})} + 2\text{H}_2\text{S}_{(\text{г})} \rightarrow 3\text{S}_{(\text{к})} + 2\text{H}_2\text{O}_{(\text{ж})}$  и определите, может ли она осуществляться при стандартных условиях.

131. Можно ли использовать при стандартных условиях приведенную реакцию для получения аммиака:  $\text{NH}_4\text{Cl}_{(к)} + \text{NaOH}_{(к)} \rightarrow \text{NaCl}_{(к)} + \text{H}_2\text{O}_{(г)} + \text{NH}_3_{(г)}$ ? Ответ обоснуйте подсчетом  $\Delta G_{298}^0$  реакции.
132. Подсчитав  $\Delta G_{298}^0$  реакции на основании  $\Delta H_{298}^0$  и  $\Delta S_{298}^0$  реагирующих веществ, определите возможность протекания реакции  $\text{P}_2\text{O}_{5(к)} + 3\text{H}_2\text{O}_{(ж)} \rightarrow 2\text{PH}_3_{(г)} + 4\text{O}_{2(г)}$  при стандартных условиях:  $\Delta H_{\text{P}_2\text{O}_5(к)}^0 = -1549,19$  кДж/моль;  $S_{\text{P}_2\text{O}_5(к)}^0 = 136,08$  Дж/моль·К;  $\Delta H_{\text{PH}_3(г)}^0 = 16,17$  кДж/моль;  $S_{\text{PH}_3(г)}^0 = 211,02$  Дж/моль·К.
133. Определите возможность превращения при стандартных условиях ацетилена в бензол. Ответ дайте подсчитав  $\Delta G_{298}^0$  процесса на основе  $\Delta H_{298}^0$  и  $\Delta S_{298}^0$   $\text{C}_2\text{H}_{2(г)}$  и  $\text{C}_6\text{H}_{6(ж)}$ .
134. Вычислите тепловой эффект реакции восстановления 1 моль  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  металлическим алюминием.
135. Тепловой эффект реакции сгорания  $\text{C}_6\text{H}_{6(ж)}$  с образованием паров воды и диоксида углерода равен  $-3135,58$  кДж. Составьте термохимическое уравнение этой реакции и вычислите теплоту образования  $\text{C}_6\text{H}_{6(ж)}$ .
136. При взаимодействии трех молей  $\text{N}_2\text{O}$  с аммиаком образуются азот и пары воды. Тепловой эффект реакции равен  $-877,76$  кДж. Напишите термохимическое уравнение этой реакции и вычислите теплоту образования  $\text{N}_2\text{O}_{(г)}$ .
137. При сгорании газообразного аммиака образуются пары воды и оксид азота  $\text{NO}_{(г)}$ . Напишите термохимическое уравнение этой реакции, вычислив ее тепловой эффект в расчете на 1 моль  $\text{NH}_3_{(г)}$ .
138. Реакция горения аммиака выражается термохимическим уравнением:  $4\text{NH}_3_{(г)} + 3\text{O}_{2(г)} \rightarrow 2\text{N}_{2(г)} + 6\text{H}_2\text{O}_{(ж)}$ ,  $\Delta H = -1530,28$  кДж. Вычислите теплоту образования  $\text{NH}_3_{(г)}$ .
139. При сгорании газообразного этана образуются  $\text{CO}_{2(г)}$  и  $\text{H}_2\text{O}_{(ж)}$ . Напишите термохимическое уравнение этой реакции, вычислив ее тепловой эффект.
140. При взаимодействии  $\text{CH}_4_{(г)}$  и  $\text{H}_2\text{S}_{(г)}$  образуются сероуглерод  $\text{CS}_2$  и водород. Напишите термохимическое уравнение этой реакции, вычислив ее тепловой эффект.

141. Кристаллический хлорид аммония образуется при взаимодействии  $\text{NH}_3(\text{г})$  и  $\text{HCl}(\text{г})$ . Приведите термохимическое уравнение этой реакции, вычислив ее тепловой эффект.

142. На основании стандартных теплот образования и абсолютных стандартных энтропий соответствующих веществ вычислите  $\Delta G_{298}^0$  реакции:

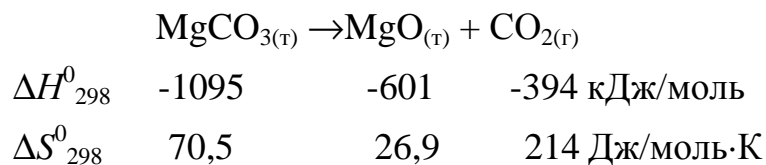
$\text{CO}_2(\text{г}) + \text{H}_2\text{O}(\text{ж}) \rightarrow \text{CO}_2(\text{г}) + \text{H}_2(\text{г})$ . Возможна ли эта реакция при стандартных условиях?

143. На основании стандартных теплот образования и абсолютных стандартных энтропий соответствующих веществ вычислите  $\Delta G_{298}^0$  реакции:

$\text{CO}_2(\text{г}) + 4\text{H}_2(\text{г}) \rightarrow \text{CH}_4(\text{г}) + 2\text{H}_2\text{O}(\text{ж})$ . Возможна ли эта реакция при стандартных условиях?

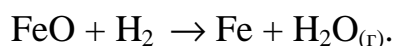
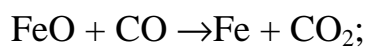
144. Образование  $\text{H}_2\text{S}(\text{г})$  из простых веществ протекает по уравнению:  $\text{H}_2(\text{г}) + \text{S}(\text{ромб}) \rightarrow \text{H}_2\text{S}(\text{г})$ ,  $\Delta H = -20,15$  кДж. Исходя из значений  $S_{298}^0$  соответствующих веществ, вычислите  $\Delta S_{298}^0$  и  $\Delta G_{298}^0$  для этой реакции. Возможно ли образование  $\text{H}_2\text{S}$  из простых веществ при стандартных условиях?

145. Вычислите энергию Гиббса и определите возможность протекания реакции разложения карбоната магния при  $1000^\circ\text{C}$ .



146. Определите  $\Delta S^0$  системы  $\text{CaCO}_3(\text{к}) \rightarrow \text{CaO}(\text{к}) + \text{CO}_2(\text{г})$ .

147. Подсчитав  $\Delta S^0$  реакций, определите, какая из двух термодинамически возможна:



148. Тепловой эффект и изменение энергии Гиббса при  $25^\circ\text{C}$  для реакции  $\text{CO}_2(\text{г}) + 4\text{H}_2(\text{г}) \rightarrow \text{CH}_4(\text{г}) + 2\text{H}_2\text{O}(\text{ж})$  соответственно равны  $-253,02$  кДж/моль и  $-130,1$  кДж/моль. Определите  $\Delta S^0$  для этой реакции.

149. Какие из карбонатов:  $\text{BeCO}_3$ ,  $\text{CaCO}_3$ ,  $\text{BaCO}_3$  – можно получить по реакции взаимодействия соответствующих оксидов с  $\text{CO}_2$ ? Какая реакция идет наиболее энергично? Вывод сделайте, вычислив  $\Delta G_{298}^0$  реакций.

150. Определите при какой температуре начнется реакция восстановления  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ , протекающая по уравнению:  $\text{Fe}_3\text{O}_{4(\text{к})} + \text{CO}_{(\text{г})} \rightarrow 3\text{FeO}_{(\text{к})} + \text{CO}_{2(\text{г})}$ ,  $\Delta H = +34,55$  кДж.
151. Окисление серы и ее диоксида протекает по уравнениям:  
 а)  $\text{S}_{(\text{к})} + \text{O}_{2(\text{г})} = \text{SO}_{2(\text{г})}$ ; б)  $2\text{SO}_{2(\text{г})} + \text{O}_{2(\text{г})} = 2\text{SO}_{3(\text{г})}$ . Как измениться скорость этих реакций, если объемы каждой из систем уменьшить в четыре раза?
152. Напишите выражение для константы равновесия гомогенной системы  $\text{N}_2 + 3\text{H}_2 \rightleftharpoons 2\text{NH}_3$ . Как измениться скорость прямой реакции – образования аммиака, если увеличить концентрацию водорода в три раза?
153. Реакция идет по уравнению  $\text{N}_2 + \text{O}_2 \rightleftharpoons 2\text{NO}$ . Концентрации исходных веществ до начала реакции были:  $[\text{N}_2] = 0,049$  моль/л;  $[\text{O}_2] = 0,01$  моль/л. Вычислите концентрацию этих веществ в момент, когда  $[\text{NO}] = 0,005$  моль/л.
154. Реакция идет по уравнению  $\text{N}_2 + 3\text{H}_2 \rightleftharpoons 2\text{NH}_3$ . Концентрации участвующих в ней веществ были:  $[\text{N}_2] = 0,80$  моль/л;  $[\text{H}_2] = 1,5$  моль/л;  $[\text{NH}_3] = 0,10$  моль/л. Вычислите концентрацию водорода и аммиака, когда  $[\text{N}_2] = 0,5$  моль/л.
155. Как изменится скорость реакции, протекающей в газовой фазе, при повышении температуры на  $60^\circ\text{C}$ , если температурный коэффициент скорости данной реакции 2?
156. Напишите выражение для константы равновесия гомогенной системы  $2\text{SO}_2 + \text{O}_2 \rightleftharpoons 2\text{SO}_3$ . Как изменится скорость прямой реакции – образования  $\text{SO}_3$ , если увеличить концентрацию  $\text{SO}_2$  в три раза?
157. Напишите выражение для константы равновесия гомогенной системы  $\text{CH}_4 + \text{CO}_2 \rightleftharpoons 2\text{CO} + 2\text{H}_2$ . Как следует изменить температуру и давление, чтобы повысить выход водорода? Реакция образования водорода эндотермическая.
158. Реакция идет по уравнению  $2\text{NO} + \text{O}_2 \rightleftharpoons 2\text{NO}_2$ . Концентрации исходных веществ:  $[\text{NO}] = 0,03$  моль/л;  $[\text{O}_2] = 0,05$  моль/л. Как измениться скорость реакции, если увеличить концентрацию кислорода до  $0,10$  моль/л и концентрацию  $\text{NO}$  до  $0,06$  моль/л?
159. Напишите выражение для константы равновесия гетерогенной системы  $\text{CO}_2 + \text{C} \rightleftharpoons 2\text{CO}$ . Как измениться скорость прямой реакции – образования



- CO, если концентрацию CO<sub>2</sub> уменьшить в четыре раза? Как следует изменить давление, чтобы повысить выход CO?
160. Напишите выражение для константы равновесия гетерогенной системы  $C + H_2O \rightleftharpoons CO + H_2$ . Как следует изменить концентрацию и давление, чтобы сместить равновесие в сторону обратной реакции – образования водяных паров?
161. Равновесие гомогенной системы  $4HCl_{(г)} + O_{2(г)} \rightleftharpoons 2H_2O_{(г)} + 2Cl_{2(г)}$ , установилось при следующих концентрациях реагирующих веществ:  
 $[H_2O] = 0,14$  моль/л;  $[Cl_2] = 0,14$  моль/л;  $[HCl] = 0,20$  моль/л;  $[O_2] = 0,32$  моль/л. Вычислите исходные концентрации хлороводорода и кислорода.
162. Вычислите константу равновесия для гомогенной системы  $CO_{(г)} + H_2O_{(г)} \rightleftharpoons CO_{2(г)} + H_{2(г)}$ , если равновесные концентрации реагирующих веществ:  $[CO] = 0,004$  моль/л;  $[H_2O] = 0,064$  моль/л;  $[CO_2] = 0,016$  моль/л;  $[H_2] = 0,016$  моль/л.
163. При некоторой температуре равновесие гомогенной системы  $2NO + O_2 \rightleftharpoons 2NO_2$  установилось при следующих концентрациях реагирующих веществ:  $[NO] = 0,2$  моль/л;  $[O_2] = 0,1$  моль/л;  $[NO_2] = 0,01$  моль/л. Вычислите константу равновесия и исходную концентрацию NO и O<sub>2</sub>.
164. Почему при изменении давления смещается равновесие системы  $N_2 + 3H_2 \rightleftharpoons 2NH_3$  и не смещается равновесие системы  $N_2 + O_2 \rightleftharpoons 2NO$ ? Напишите выражение для констант равновесия каждой из данных систем.
165. Исходные концентрации NO и Cl<sub>2</sub> в гомогенной системе  $2NO + Cl_2 \rightleftharpoons 2NOCl$  составляют соответственно 0,5 и 0,2 моль/л. Вычислите константу равновесия, если к моменту наступления равновесия прореагировало 20% NO.
166. Реакция при температуре 40°C протекает за 180 с. Температурный коэффициент реакции равен 3. За сколько времени завершится эта реакция при 60°C?
167. Во сколько раз надо увеличить концентрацию CO<sub>2</sub>, чтобы скорость реакции  $CO_{2(г)} + C_{(т)} \rightleftharpoons 2CO_{(г)}$  увеличилась в 4 раза?
168. Во сколько раз надо увеличить давление, чтобы скорость реакции  $CaO_{(т)} + CO_{2(г)} \rightleftharpoons CaCO_{3(т)}$  увеличилась в 12 раз?

169. Во сколько раз изменится скорость химической реакции  $N_{2(g)} + 3H_{2(g)} \rightleftharpoons 2NH_{3(g)}$ , если: а) увеличить давление в 2 раза; б) увеличить концентрацию  $N_2$  в 3 раза; в) понизить температуру на  $40^\circ\text{C}$  ( $\gamma = 3$ )?
170. Константа равновесия гомогенной системы  $N_2 + 3H_2 \rightleftharpoons 2NH_3$  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.
171. Разложение  $N_2O$  протекает по уравнению  $2NO_2 \rightleftharpoons 2N_2 + O_2$ . Константа скорости данной реакции равна  $5 \cdot 10^{-4} \text{ л} \cdot \text{мин}^{-1} \cdot \text{моль}^{-1}$ . Начальная концентрация  $N_2O$  6,0 моль/л. Определите скорость реакции в начальный момент и в тот момент, когда разложится 50%  $N_2O$ .
172. Объем системы  $CO_{(г)} + Cl_{2(г)} \rightleftharpoons COCl_{2(г)}$  увеличили в три раза и одновременно понизили температуру на  $20^\circ\text{C}$ . Как измениться скорость прямой реакции? Температурный коэффициент равен 2.
173. Исходная смесь состоит из 0,3 моль/л  $H_2$  и 0,2 моль/л  $N_2$ . Равновесие наступит, когда прореагирует 0,24 моль/л  $H_2$ . Вычислите константу равновесия.
174. Реакция идет по уравнению  $H_2 + I_2 \rightleftharpoons 2HI$ , константа скорости этой реакции при некоторой температуре равна 0,16. Исходные концентрации реагирующих веществ, моль/л:  $c_{H_2} = 0,04$ ;  $c_{I_2} = 0,05$ . Вычислите начальную скорость реакции и ее скорость, если  $c_{H_2}$  составляет 0,03 моль/л.
175. При некоторой температуре константа равновесия гетерогенной системы  $FeO + CO \rightleftharpoons Fe + CO_2$  равна 0,5. Вычислите равновесные концентрации  $CO$  и  $CO_2$ , если начальные концентрации  $[CO] = 0,05$  моль/л;  $[CO_2] = 0,01$  моль/л.

### М о д у л ь 3 . РАСТВОРЫ. КОМПЛЕКСНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ.

#### ОКИСЛИТЕЛЬНО-ВОССТАНОВИТЕЛЬНЫЕ РЕАКЦИИ

##### Пример 1. Способы выражения концентрации веществ в растворах.

Содержание сульфата железа (II) в растворе ( $\rho = 1,122 \text{ г/см}^3$ ) составляет 12 мас.

долей, %. Вычислите молярную концентрацию и молярную концентрацию эквивалента сульфата железа (II) в растворе.

Решение. Массовая доля  $w$  - это отношение массы растворенного вещества к массе раствора. Массовая доля может быть выражена в процентах

$$w = \frac{m_2}{m} \cdot 100\% ,$$

здесь  $m_2$  – масса растворенного вещества;  $m$  – масса раствора;

$m = m_1 + m_2$ , где  $m_1$  – масса растворителя.

Молярная концентрация  $c_M$  – это количество растворенного вещества в единице объема раствора

$$c_M = \frac{n}{V} = \frac{m}{MV} ,$$

где  $n$  – количество растворенного вещества;  $m$  – масса растворенного вещества;  $M$  – молярная масса растворенного вещества;  $V$  – объем раствора.

Молярную концентрацию вещества в растворе обычно выражают в моль/л.

Молярная концентрация эквивалентов (нормальная концентрация)  $c_N$  – это отношение массы растворенного вещества, содержащегося в единице объема раствора, к молярной массе эквивалентов растворенного вещества. Таким образом,

$$c_N = \frac{m}{M_{\text{ЭКВ}} V} ,$$

где  $M_{\text{ЭКВ}}$  – молярная масса эквивалентов растворенного вещества.

Молярную концентрацию эквивалентов (нормальную концентрацию) обычно выражают в моль/л.

Масса 1 л раствора  $\text{FeSO}_4$ :  $m = V \cdot \rho = 1000 \cdot 1,122 = 1122$  г.

Масса  $\text{FeSO}_4$  в 1 л раствора:

$$m(\text{FeSO}_4) = \frac{\omega\%(\text{FeSO}_4)}{100} m = \frac{12 \cdot 1122}{100} = 134,6 \text{ г};$$

$$M_r(\text{FeSO}_4) = 152; \quad M(\text{FeSO}_4) = 152 \text{ г/моль}.$$

Количество вещества  $\text{FeSO}_4$  в 1 л раствора:

$$n(\text{FeSO}_4) = \frac{m(\text{FeSO}_4)}{M(\text{FeSO}_4)} = 134,6/152 = 0,886 \text{ моль}.$$

Молярная концентрация  $\text{FeSO}_4$  в растворе:  $c_M(\text{FeSO}_4) = 0,886$  моль/л.

$$\text{Эквивалент FeSO}_4: \mathcal{E}_{\text{FeSO}_4} = \frac{1}{2}.$$

Молярная концентрация эквивалента (нормальная концентрация)  $\text{FeSO}_4$  в растворе:

$$c_{\text{H}}(\text{FeSO}_4) = \frac{c_{\text{M}}(\text{FeSO}_4)}{\mathcal{E}(\text{FeSO}_4)} = \frac{0,886}{1/2} = 1,772 \text{ моль/л.}$$

**Пример 2. Определение константы диссоциации слабого электролита.** Рассчитайте константу диссоциации 0,1 М сероводородной кислоты, если степень диссоциации ее по первой ступени  $a_1 = 1,05 \cdot 10^{-3}$ .

Решение. Константа диссоциации и степень диссоциации слабого бинарного электролита связаны между собой соотношением (закон разбавления Освальда)

$$K_{\text{Д}} = \frac{a^2 c}{(1-a)},$$

где  $K_{\text{Д}}$  – константа диссоциации;  $a$  – степень диссоциации;  $c$  – концентрация электролита, моль/л.

В случаях слабых электролитов ( $a \ll 1$ ) выражение закона Освальда упрощается:

$$K_{\text{Д}} = a^2 \cdot c.$$

Сероводородная кислота слабая и диссоциирует по уравнению:

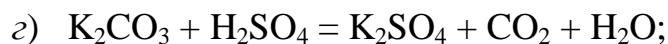
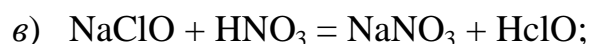


Поэтому можно пользоваться этой упрощенной формулой, отсюда

$$K_{\text{Д}} = (1,05 \cdot 10^{-3})^2 \cdot 0,1 = 1,1 \cdot 10^{-7}.$$

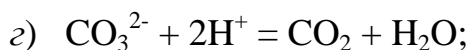
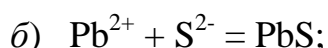
**Пример 3. Ионно-молекулярные реакции обмена.** Написать ионно-молекулярные уравнения реакций взаимодействия между водными растворами следующих веществ: а)  $\text{HCl}$  и  $\text{NaOH}$ ; б)  $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$  и  $\text{Na}_2\text{S}$ ; в)  $\text{NaClO}$  и  $\text{HNO}_3$ ; г)  $\text{K}_2\text{CO}_3$  и  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ; д)  $\text{CH}_3\text{COOH}$  и  $\text{NaOH}$ .

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 ( $\text{PbS}$ ) и газа ( $\text{CO}_2$ ).

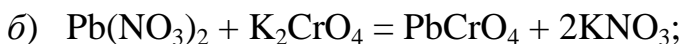
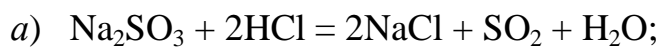
В реакции (д) два слабых электролита, но так как реакции идут в сторону большего связывания ионов и вода более слабый электролит, чем уксусная кислота, то равновесие реакции смещено в сторону образования воды. Исключив одинаковые ионы из обеих частей равенства а)  $\text{Na}^+$  и  $\text{Cl}^-$ ; б)  $\text{Na}^+$  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 соответствующих реакций:



**Пример 4.** 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:



**Пример 5. Гидролиз солей.** Составьте ионно-молекулярные и молекулярные уравнения гидролиза солей: а)  $\text{KCN}$ , б)  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ , в)  $\text{ZnSO}_4$ . Определить реакцию среды растворов этих солей.

**Решение.** а) Цианид калия  $\text{KCN}$  – соль слабой одноосновной кислоты  $\text{HCN}$  и сильного основания  $\text{KOH}$ . При растворении в воде молекулы  $\text{KCN}$  полностью диссоциируют на катионы  $\text{K}^+$  и анионы  $\text{CN}^-$ . Катионы  $\text{K}^+$  не могут связывать ионы  $\text{OH}^-$  воды, так как  $\text{KOH}$  сильный электролит. Анионы же  $\text{CN}^-$  свя-

зывают ионы  $\text{H}^+$  воды, образуя молекулы слабого электролита  $\text{HCN}$ . Соль гидролизуется по аниону. Ионно-молекулярное уравнение гидролиза:



или в молекулярной форме



В результате гидролиза в растворе появляется некоторый избыток ионов  $\text{OH}^-$ , поэтому раствор  $\text{KCN}$  имеет щелочную реакцию ( $\text{pH} > 7$ ).

б) Карбонат натрия  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  – соль слабой многоосновной кислоты и сильного основания. В этом случае анионы соли  $\text{CO}_3^{2-}$ , связывая водородные ионы воды, образуют анионы кислой соли  $\text{HCO}_3^-$ , а не молекулы  $\text{H}_2\text{CO}_3$ , так как ионы  $\text{HCO}_3^-$  диссоциируют гораздо труднее, чем молекулы  $\text{H}_2\text{CO}_3$ . В обычных условиях гидролиз идет по первой ступени. Соль гидролизуется по аниону. Ионно-молекулярное уравнение гидролиза:



или в молекулярной форме

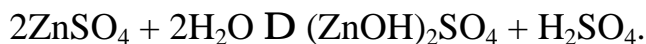


В растворе появляется избыток ионов  $\text{OH}^-$ , поэтому раствор  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  имеет щелочную среду ( $\text{pH} > 7$ ).

в) Сульфат цинка  $\text{ZnSO}_4$  – соль слабого многокислотного основания  $\text{Zn}(\text{OH})_2$  и сильной кислоты  $\text{H}_2\text{SO}_4$ . В этом случае катионы  $\text{Zn}^{2+}$  связывают гидроксильные ионы воды, образуя катионы основной соли  $\text{ZnOH}^+$ . Образование молекул не происходит, так как ионы  $\text{ZnOH}^+$  диссоциируют гораздо труднее, чем молекулы  $\text{Zn}(\text{OH})_2$ . В обычных условиях гидролиз идет по первой ступени. Соль гидролизуется по катиону. Ионно-молекулярное уравнение гидролиза:



или в молекулярной форме



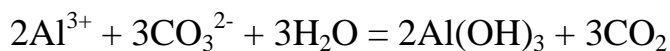
В растворе появляется избыток ионов водорода, поэтому раствор  $\text{ZnSO}_4$  имеет кислую реакцию ( $\text{pH} < 7$ ).

**Пример 6. Какие продукты образуются при смешивании растворов  $\text{Al}(\text{NO}_3)_3$  и  $\text{K}_2\text{CO}_3$ ? Составьте ионно-молекулярное и молекулярное уравнение реакции.**

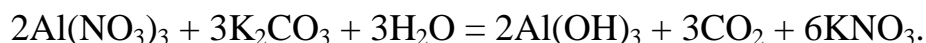
**Решение.** Соль  $\text{Al}(\text{NO}_3)_3$  гидролизуется по катиону, а  $\text{K}_2\text{CO}_3$  по аниону:



Если растворы солей находятся в одном сосуде, то идет взаимное усиление гидролиза каждой из них, ибо ионы  $\text{H}^+$  и  $\text{OH}^-$  образуют молекулу слабого электролита  $\text{H}_2\text{O}$ . При этом гидролитическое равновесие сдвигается вправо и гидролиз каждой из взятых солей идет до конца с образованием  $\text{Al}(\text{OH})_3$  и  $\text{CO}_2$  ( $\text{H}_2\text{CO}_3$ ). Ионно-молекулярное уравнение:



молекулярное уравнение

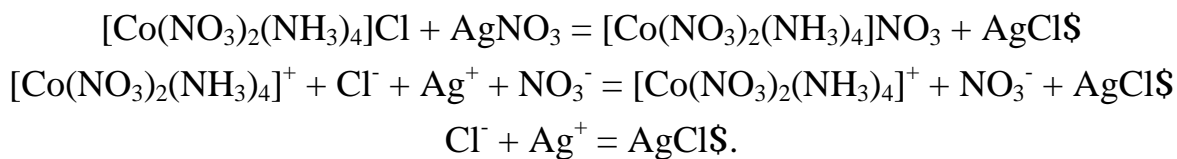


**Пример 7. Строение комплексного иона.** В растворе комплексной соли состава  $\text{Co}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{NH}_3 \cdot \text{Cl}$  аналитическими методами не обнаружены ионы кобальта,  $\text{NO}_3^-$  и аммиак. Хлор, содержащийся в этой соли, образует осадок хлорида серебра при взаимодействии раствора комплексной соли с нитратом серебра  $\text{AgNO}_3$ . Изменение электрической проводимости раствора показывает, что молекула соли распадается на два иона. Определите координационное строение молекулы данной соли. Определите заряд иона-комплексобразователя, напишите реакцию комплексной соли с нитратом серебра в молекулярном и ионном виде.

**Решение.** Ионы кобальта, нитрат-ионы и аммиак не обнаружены в растворе, значит они образуют внутреннюю сферу комплексного соединения, а хлор находится во внешней сфере. Кроме того, эта комплексная соль диссоциирует на два иона. Этими ионами являются: комплексный ион (внутренняя сфера) и ион хлора. На основании этого формулу комплексной соли можно записать:  $[\text{Co}(\text{NO}_3)_2 4\text{NH}_3]^+ \text{Cl}^-$ .

Лигандами являются полярные молекулы аммиака, координационное число кобальта равно 6. Степень окисления иона-комплексобразователя (в данном случае иона кобальта) определяют следующим образом. Заряд комплексного иона определяется по заряду внешней сферы. Заряд иона хлора равен 1-, значит заряд комплексного иона равен 1+, т.е.  $[\text{Co}(\text{NO}_3)_2 4\text{NH}_3]^+$ . Алгебраическая сумма зарядов, входящих в состав комплексного иона, равна заряду комплексного иона. Заряд молекулы  $\text{NH}_3$  равен 0. Заряд иона  $(\text{NO}_3)^- = -1$ . Заряд иона кобальта равен  $x$  (степень окисления), отсюда  $x + (-1) \cdot 2 + 4 \cdot 0 = +1$ ,  $x = 3$ . Значит, степень окисления кобальта +3. Комплексные соли в водных растворах

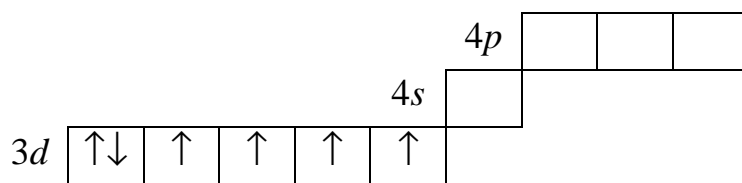
диссоциируют по ионному типу связи на комплексный ион (внутреннюю сферу) и ионы внешней сферы. Уравнение реакции:



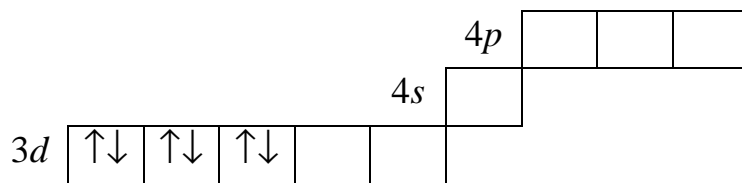
**Пример 8. Комплексные соединения по методу валентных связей.** С помощью метода валентных связей предскажите магнитные свойства и реакционную способность комплексных ионов  $[\text{Co}(\text{NH}_3)_6]^{3+}$  и  $[\text{CoF}_6]^{3-}$ . Какой тип гибридизации атомных орбиталей имеет место при образовании этих ионов? Каково пространственное строение ионов  $[\text{Co}(\text{NH}_3)_6]^{3+}$  и  $[\text{CoF}_6]^{3-}$ .

**Решение.** С точки зрения валентных связей образование комплексных ионов объясняется донорно-акцепторным взаимодействием неподеленных электронных пар лигандов и свободных орбиталей комплексообразователя. Ион  $\text{Co}^{3+}$  - ион-комплексообразователь в этих комплексных ионах имеет конфигурацию  $3d^6$ . В соответствии с правилом Хунда эти шесть  $3d$ -электронов иона  $\text{Co}^{3+}$  располагаются по энергетическим ячейкам следующим образом:

$\text{Co}^{3+}$

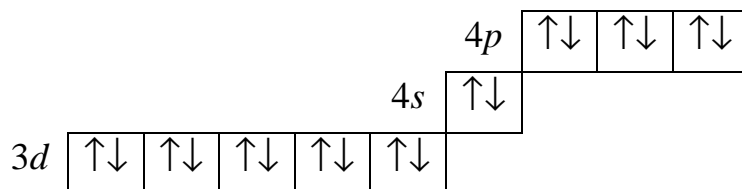


Лигандами в этих комплексных ионах являются полярные молекулы  $\text{NH}_3$  и  $\text{F}^-$ . Координационное число  $\text{Co}^{3+}$  в этих ионах равно 6, т.е. ион-комплексообразователь присоединяет шесть лигандов. Каждый из лигандов ( $\text{NH}_3$  или  $\text{F}^-$ ) имеет неподеленную электронную пару, являясь донором электронов. Для размещения шести электронных пар шести лигандов акцептор электронов – ион-комплексообразователь  $\text{Co}^{3+}$  должен предоставить шесть свободных орбиталей. При образовании комплексного иона  $[\text{Co}(\text{NH}_3)_6]^{3+}$  четыре  $3d$ -электрона иона  $\text{Co}^{3+}$  сначала спариваются, освобождая две энергетические ячейки  $3d$ -орбитали:

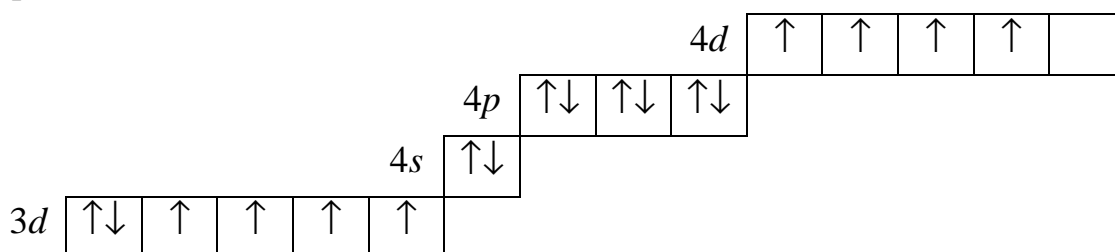


Затем образуется ион  $[\text{Co}(\text{NH}_3)_6]^{3+}$ , имеющий строение:





При образовании этого комплексного иона имеет место "внутренняя"  $d^2sp^3$ -гибридизация, так как она осуществляется при участии "внутренних" ( $3d$ -орбиталей) иона  $Co^{3+}$ . В случае иона  $[CoF_6]^{3-}$  ионы F располагаются на свободных  $s$ -,  $p$ -,  $d$ -орбиталях 4-го энергетического уровня. Комплексный ион  $[CoF_6]^{3-}$  имеет строение:



При возникновении этого иона имеет место "внешняя"  $3s^1p^3d^2$ -гибридизация, так как образование этого иона происходит за счет "внешних" ( $4d$ -орбиталей) иона  $Co^{3+}$ ; эти ионы имеют пространственную октаэдрическую структуру. Наличие неспаренных электронов в комплексах дает возможность определить их магнитные свойства в комплексном ионе  $[Co(NH_3)_6]^{3+}$ , нет неспаренных электронов, он диамагнитен, комплексный ион  $[CoF_6]^{3-}$ , содержащий четыре неспаренных электрона, парамагнитен.

С помощью метода валентных связей можно показать реакционную способность комплексных соединений. Комплексный ион с "внешней" гибридизацией более реакционноспособен, чем ион  $[Co(NH_3)_6]^{3+}$ , так как в ионе  $[CoF_6]^{3-}$  лиганды слабее связаны с ионом  $Co^{3+}$ , чем в ионе  $[Co(NH_3)_6]^{3+}$ , и могут легче отделяться от комплексообразователя.

**Пример 9. Номенклатура комплексных соединений.** Дайте названия, пользуясь номенклатурой ИЮПАК, следующим комплексным соединениям:  $K_4[Fe(CN)_6]$ ;  $Na[Co(NH_3)_2(NO_3)_4]$ ;  $[Cr(H_2O)_5Cl]Cl_2$ ;  $[Pt(NH_3)_2(H_2O)(OH)]NO_3$ .

**Решение.** При составлении названия комплексного соединения нужно пользоваться следующими правилами: 1) к названиям лигандов-анионов прибавляется суффикс "о" ( $Cl^-$  - "хлоро",  $(CN)^-$  - "циано"). Названия нейтральных лигандов, за исключением молекул воды - "акво", суффикса "о" не имеют; комплексы, содержащие в качестве лигандов молекулы  $NH_3$ , называются аминокомплексами, 2) число лигандов, присоединенных к комплексо-

образователю, указывается приставками: моно-, ди-, три-, тетра- и т.д. (образованных от греческих числительных). Приставку "моно" в названии комплексного соединения часто опускают; 3) при составлении названия комплексного соединения сначала перечисляют лиганды-анионы, лиганды-молекулы и лиганды-катионы, а затем указывают центральный атом. Степень окисления центрального атома обозначают римской цифрой в скобках после названия комплексного иона. Внутри каждой из групп лиганды перечисляют в порядке увеличения их сложности. Если комплексный ион является анионом, то его название оканчивается суффиксом "ат". Так, по номенклатуре ИЮПАК эти соли имеют следующие названия:  $K_4[Fe(CN)_6]$  - гексацианоферрат (II) калия;  $Na[Co(NH_3)_2(NO_3)_4]$  - тетранитродиааммин кобальт (II) натрия;  $[Cr(H_2O)_5Cl]Cl_2$  – хлорид хлоропентааквохрома (III);  $[Pt(NH_3)_2(H_2O)OH]NO_3$  – нитрат гидроксодиаминоакво платины (II).

**Пример 10. Определение возможности диссоциации комплексного иона по величине энергии Гиббса процесса диссоциации.** Константа нестойкости комплексного иона равна  $7,66 \cdot 10^{-18}$  при  $t = 25^\circ C$ . Вычислите  $\Delta G_{298}^0$  процесса  $[Cd(CN)_4]^{2-} \rightleftharpoons Cd^{2+} + 4CN^-$  и сделайте вывод о возможности диссоциации этого комплексного иона в зависимости от температуры.

**Решение.** Изменение энергии Гиббса связано с константой процесса (в данном случае с константой нестойкости  $K_H$ )  $\Delta G_{298}^0 = -2,303RT \lg K$ . Вычисление  $\Delta G_{298}^0$  для процесса диссоциации комплексного иона  $[Cd(CN)_4]^{2-}$

$$\Delta G_{298}^0 = 2,303 \cdot 8,3144 \cdot 298 \lg 7,66 \cdot 10^{-18} = 97,7 \text{ кДж/моль.}$$

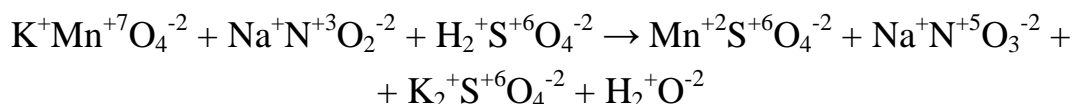
Положительное значение  $\Delta G_{298}^0$  показывает на ничтожно малую диссоциацию иона в растворе. С повышением температуры диссоциация комплексного иона еще уменьшается, а с понижением температуры увеличивается.

**Пример 11. Составление уравнений окислительно-восстановительных реакций.** Составьте уравнение реакции окисления нитрита натрия перманганатом калия в кислой среде.

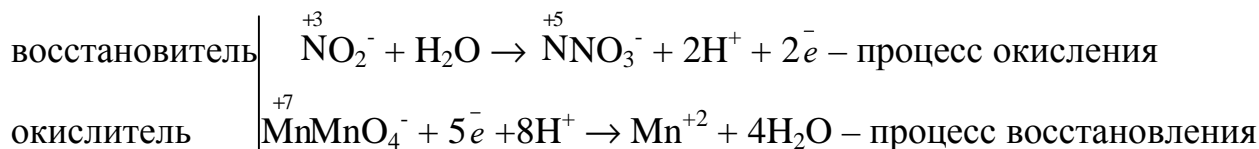
**Решение.** В молекулярной форме схему реакции записывают следующим образом:



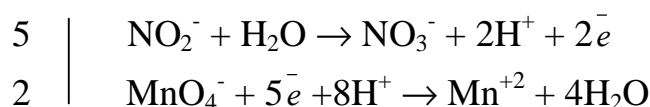
Для написания окислительно-восстановительных реакций необходимо определить степени окисления всех элементов:



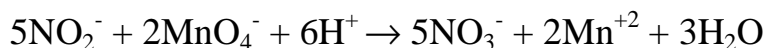
Составляем ионно-электронную схему реакции, определяем окислитель и восстановитель:



Подберем коэффициенты у окислителя и восстановителя:



После соответствующих преобразований получается



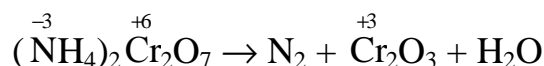
Окончательный вид уравнения реакции



**Пример 12. Составление уравнений внутримолекулярного окисления-восстановления дихромата аммония.**

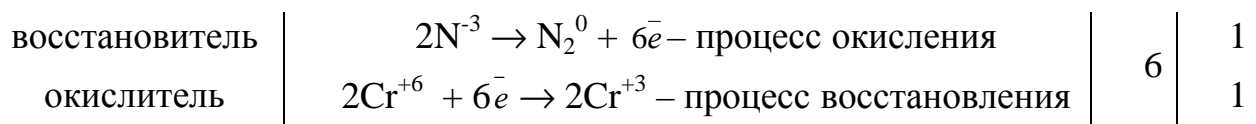
Решение. К этому виду реакций относят такие реакции, в которых окислитель и восстановитель находятся в составе одной и той же молекулы.

Схема реакции внутримолекулярного окисления-восстановления



Для составления реакций окисления-восстановления, идущих при нагревании, прокаливании и вообще в отсутствие воды, применяется метод электронного баланса, неприемлемый в случае реакций, протекающих в водных растворах.

Схема электронного баланса:

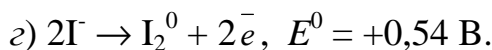
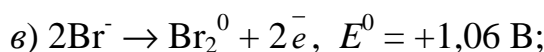
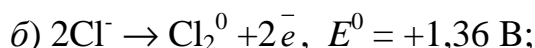
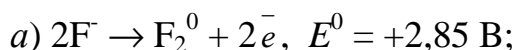


В окончательном виде уравнение реакции может быть представлено



**Пример 13. Определение направления окислительно-восстановительной реакции по величине окислительно-восстановительных потен-**

**циалов.** Возможно ли в качестве окислителя в кислой среде использовать  $K_2Cr_2O_7$  в следующих процессах при стандартных условиях:



Стандартный окислительно-восстановительный потенциал системы

$$E_{Cr_2O_7^{2-}/2Cr^{3+}}^0 = 1,33 \text{ В}.$$

Решение. Для определения направления окислительно-восстановительной реакции необходимо определить  $E_{x.p.}$

$$E_{x.p.} = E_{\text{окисл}}^0 - E_{\text{восстан}}^0,$$

где  $E_{\text{окисл}}^0$  – потенциал окислителя;  $E_{\text{восстан}}^0$  – потенциал восстановителя.

Реакция возможна, если  $E_{x.p.} > 0$ .

Для выяснения возможности протекания окислительно-восстановительных реакций определяем  $E_{x.p.}$  следующих систем:

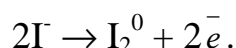
$$a) E_{x.p.} = 1,33 - 2,85 = -1,52 \text{ В};$$

$$б) E_{x.p.} = 1,33 - 1,36 = -0,03 \text{ В};$$

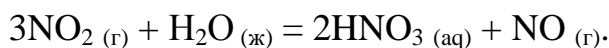
$$в) E_{x.p.} = 1,33 - 1,06 = +0,27 \text{ В};$$

$$г) E_{x.p.} = 1,33 - 0,54 = +0,79 \text{ В}.$$

Таким образом, дихромат калия  $K_2Cr_2O_7$  может быть использован в качестве окислителя только для процессов:



**Пример 14. Определение возможности протекания окислительно-восстановительной реакции по величине измерения энергии Гиббса (изобарно-изотермического потенциала).**

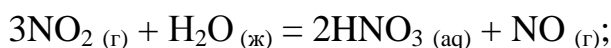


Если стандартные значения энергии Гиббса равны:

$$\Delta G_{298, NO_2(г)}^0 = 51,84 \text{ кДж/моль}; \quad \Delta G_{298, H_2O(ж)}^0 = -237,5 \text{ кДж/моль};$$

$$\Delta G_{298, HNO_3(aq)}^0 = -79,91 \text{ кДж/моль}; \quad \Delta G_{298, NO(г)}^0 = 86,69 \text{ кДж/моль}.$$

Решение. Определяем  $\Delta G_{298}^0$  процесса



$$\Delta G_{298}^0 = 2\Delta G_{298, \text{HNO}_3(\text{aq})}^0 + \Delta G_{298, \text{NO}(\text{r})}^0 - 3\Delta G_{298, \text{NO}_2(\text{r})}^0 - \Delta G_{298, \text{H}_2\text{O}(\text{ж})}^0 =$$

$$= 2 \cdot (-79,91) + 86,69 - 3 \cdot (51,84) - (-237,5) = 8,65 \text{ кДж.}$$

Протекание данной реакции возможно только в обратном направлении, т.е. справа налево.

### ЗАДАНИЯ ДЛЯ КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ

176. Составьте уравнения реакций, протекающих в растворах при взаимодействии следующих веществ. Уравнения реакций напишите в молекулярной и ионной формах: а)  $\text{Na}_2\text{S} + \text{FeSO}_4 \rightarrow$  ; б)  $\text{K}_2\text{S} + \text{HCl} \rightarrow$  ; в)  $\text{Pb}^{2+} + \text{HCl} \rightarrow$  .
177. Составьте уравнения реакций в молекулярной и ионной формах, протекающих в растворах при взаимодействии следующих веществ: а)  $\text{Na}_2\text{CO}_3 + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow$  ; б)  $\text{CuSO}_4 + \text{NaOH} \rightarrow$  ; в)  $\text{Ba}(\text{NO}_3)_2 + \text{K}_3\text{PO}_4 \rightarrow$  .
178. В молекулярной и ионной форме напишите уравнения реакций, протекающих в растворах следующих веществ: а)  $\text{CH}_3\text{COOH} + \text{NaOH} \rightarrow$  ; б)  $\text{Zn}(\text{OH})_2 + \text{NaOH} \rightarrow$  ; в)  $\text{Fe}^{2+} + \text{S}^{2-} \rightarrow$  .
179. Составьте молекулярные уравнения реакций, которые выражаются следующими краткими ионными уравнениями: а)  $\text{Cr}(\text{OH})_3 + \text{OH}^- \rightarrow$  ; б)  $\text{Ni}^{2+} + \text{S}^{2-} \rightarrow$  ; в)  $\text{NH}_4\text{OH} + 2\text{H}^+ \rightarrow$  .
180. Составьте молекулярные и ионные уравнения реакций, протекающих при смешивании растворов следующих веществ: а)  $\text{AgNO}_3 + \text{FeCl}_3 \rightarrow$  ; б)  $\text{CaCO}_3 + \text{HCl} \rightarrow$  ; в)  $\text{Na}_3\text{PO}_4 + \text{Ba}(\text{NO}_3)_2 \rightarrow$  .
181. Напишите молекулярные и ионные уравнения реакций, протекающих при взаимодействии: а)  $\text{BaCl}_2 + \text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \rightarrow$  ; б)  $\text{KCH}_3\text{COO} + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow$  ; в)  $\text{NH}_4\text{Cl} + \text{KOH} \rightarrow$  .
182. Смешивают попарно растворы: а)  $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 + \text{Na}_2\text{SO}_4 \rightarrow$  ; б)  $\text{BaCl}_2 + \text{K}_2\text{SO}_4 \rightarrow$  ; в)  $\text{Ca}(\text{OH})_2 + \text{HCl} \rightarrow$  ; г)  $\text{NaNO}_3 + \text{K}_2\text{SO}_4 \rightarrow$  ; д)  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 + \text{CaCl}_2 \rightarrow$  . В каких из приведенных случаев реакции пойдут до конца? Составьте для них молекулярные и ионные уравнения.
183. Составьте молекулярные и ионные уравнения реакций, протекающих в растворах между следующими веществами: а)  $\text{NaH}_2\text{PO}_4 + \text{NaOH} \rightarrow$  ; б)  $\text{CaCO}_3 + \text{HCl} \rightarrow$  ; в)  $\text{Sn}(\text{OH})_2 + \text{NaOH} \rightarrow$  .

184. Составьте по два молекулярных уравнения реакций для каждого ионного уравнения: а)  $\text{Pb}^{2+} + 2\text{I}^- \rightarrow$  ; б)  $\text{Ba}^{2+} + \text{SO}_4^{2-} \rightarrow$  ; в)  $\text{CH}_3\text{COO}^- + 2\text{H}^+ \rightarrow$  .
185. Составьте молекулярные и ионные уравнения, протекающие в растворах следующих веществ: а)  $\text{MgCl}_2 + \text{Na}_2\text{CO}_3 \rightarrow$  ; б)  $\text{CH}_3\text{COOK} + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow$  ; в)  $\text{MgCO}_3 + \text{HCl} \rightarrow$  .
186. Какую величину называют степенью гидролиза соли? Какая из солей имеет большую степень гидролиза  $\text{FeCl}_2$  или  $\text{FeCl}_3$ . Ответ мотивируйте, составьте уравнение гидролиза солей в молекулярном и ионном виде.
187. Почему изменение температуры раствора влияет на степень гидролиза соли. Составьте уравнение гидролиза по первой ступени для следующих солей  $\text{CuSO}_4$  и  $\text{Na}_3\text{PO}_4$ , укажите pH раствора.
188. При смешивании растворов  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$  и  $\text{K}_2\text{S}$  в осадок выпадает гидроксид и выделяется газ. Укажите причину этого процесса и составьте соответствующие молекулярные и ионные уравнения.
189. Какую реакцию имеют растворы следующих солей:  $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2$ ;  $\text{K}_2\text{CO}_3$ . Ответ подтвердите, составив уравнение гидролиза в молекулярном и ионном виде.
190. Какую реакцию имеют следующие растворы солей:  $\text{KNO}_2$ ;  $\text{NaCN}$ ? Ответ подтвердите, составив уравнения гидролиза в молекулярном и ионном виде.
191. В какую сторону сместиться равновесие гидролиза  $\text{KCN}$ , если к раствору прибавить: а) щелочь; б) кислоту? Напишите уравнение гидролиза в молекулярном и ионном виде.
192. Почему растворы  $\text{K}_2\text{CO}_3$  и  $\text{NaCN}$  имеют щелочную реакцию, а растворы  $\text{NH}_4\text{Cl}$  и  $\text{ZnCl}_2$  – кислую? Ответ подтвердите, составив уравнение гидролиза в молекулярном и ионном виде.
193. Подберите по два уравнения в молекулярном виде к каждому из кратких ионных уравнений: а)  $\text{Fe}^{3+} + 2\text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{Fe}(\text{OH})_2^+ + 2\text{H}^+$ ;  
б)  $\text{CO}_3^{2-} + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{HCO}_3^- + \text{OH}^-$ .
194. Подберите по два уравнения в молекулярном виде к каждому из кратких ионных уравнений: а)  $\text{Al}^{3+} + 2\text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{Al}(\text{OH})_2^+ + 2\text{H}^+$ ; б)  $\text{NH}_4^+ + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{NH}_4\text{OH} + \text{H}^+$ .

195. При смешивании растворов  $\text{CrCl}_3$  и  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  образуется осадок  $\text{Cr}(\text{OH})_3$ . Объясните причину этого процесса и напишите соответствующие уравнения в молекулярном и ионном виде.
196. Составьте молекулярные и ионные уравнения реакций гидролиза  $\text{NH}_4\text{Cl}$ ,  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  и определите реакцию среды раствора.
- 197.\*  $\text{KCN}$ ,  $\text{NaCH}_3\text{COO}$ .
- 198.\*  $\text{FeCl}_2$ ,  $\text{NH}_4\text{CH}_3\text{COO}$ .
- 199.\*  $\text{Na}_3\text{PO}_4$ ,  $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ .
- 200.\*  $\text{Ca}(\text{CN})_2$ ,  $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ .
201. Какую связь называют донорно-акцепторной? Какой атом или ион является донором, а какой акцептором в комплексных ионах:  $[\text{BF}_4]^-$ ;  $[\text{PtF}_6]^{2-}$ ;  $[\text{Cu}(\text{CN})_4]^{2+}$ .
202. Определите степень окисления комплексного иона и координационное число комплексообразователя в соединениях:  $\text{K}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]$ ;  $[\text{Zn}(\text{NH}_3)_4]\text{Cl}_2$ ;  $\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]$ ;  $\text{K}_4[\text{TiCl}_8]$ .
203. Какие ионы являются комплексообразователями в следующих комплексных соединениях:  $\text{K}[\text{Pt}(\text{NH}_3)\text{Cl}_5]$ ;  $[\text{Cr}(\text{H}_2\text{O})_5\text{Cl}]\text{Cl}_2$ ;  $\text{K}_2[\text{Cu}(\text{CN})_4]$ ? Определите степень окисления комплексообразователя и координационное число.
204. 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 (+4) равно шести. Напишите уравнения диссоциации этих соединений в водных растворах. Какое из них является комплексным неэлектролитом?
205. 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 (+3) равно шести. Напишите уравнение диссоциации этих соединений в водных растворах.
206. Определите, чему равны 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?
207. 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

---

\* См. условие задачи 196

число серебра (+1) равно двум. Напишите уравнение диссоциации этих соединений в водных растворах.

208. 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  $[\text{Co}(\text{NH}_3)_6](\text{NO}_2)_3$ . Составьте формулы других шести соединений и напишите уравнения их диссоциации в водных растворах.
209. Напишите выражение для констант нестойкости комплексных ионов  $[\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]^+$ ,  $[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{4-}$ ,  $[\text{PtCl}_6]^{2-}$ . Чему равна степень окисления и координационное число комплексообразователей в этих ионах?
210. 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? Напишите выражения для констант нестойкости указанных комплексных ионов.
211. 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), больше ионов  $\text{Ag}^+$ .
212. 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 тригидроксида железа? Напишите молекулярное и ионное уравнение реакции.
213. Составьте координационные формулы следующих комплексных соединений платины (II), координационное число которой равно четырем:  $\text{PtCl}_2 \cdot 3\text{NH}_3$ ,  $\text{PtCl}_2 \cdot \text{NH}_3 \cdot \text{KCl}$ ,  $\text{PtCl}_2 \cdot 2\text{NH}_3$ . Напишите уравнение диссоциации этих соединений в водных растворах. Какое из них является комплексным неэлектролитом?
214. Какие 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, если к каждой из них прилить раствор щелочи? Напишите молекулярное и ионно-молекулярное уравнение реакции.
215. 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  $6,2 \cdot 10^{-36}$ ,  $1,0 \cdot 10^{-37}$ ,  $1,0 \cdot 10^{-44}$ . Какой из этих



ионов является более прочным? Напишите выражения для констант нестойкости указанных комплексных ионов и формулы соединений, содержащих эти ионы.

216. При добавлении азотной кислоты к раствору хлорида диаминосеребра (I)  $[\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]\text{Cl}$  образуется осадок хлорида серебра. Напишите молекулярное и ионное уравнения реакций, объясните причину разрушения комплексного иона.
217. Координационное число  $\text{Os}^{4+}$  и  $\text{Ir}^{4+}$  равно 6. Составьте координационные формулы и напишите уравнения диссоциации в растворе следующих комплексных соединений этих металлов:  $2\text{NaNO}_2 \cdot \text{OsCl}_4$ ,  $\text{Ir}(\text{SO}_4)_2 \cdot 2\text{KCl}$ ,  $\text{OsBr}_4 \cdot \text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ ,  $2\text{RbCl} \cdot \text{IrCl}_4$ ,  $2\text{KCl} \cdot \text{Ir}(\text{C}_2\text{O}_4)_2$ .
218. На комплексные соединения  $\text{PtCl}_4 \cdot 4\text{NH}_3$  и  $\text{PtCl}_4 \cdot 3\text{NH}_3$  подействовали раствором  $\text{AgNO}_3$ . На 1 моль одного соединения для осаждения хлора израсходовано 2 моля  $\text{AgNO}_3$ , а на 1 моль второго соединения – 1 моль  $\text{AgNO}_3$ . Напишите координационные формулы этих соединений, если координационное число  $\text{Pt}^{4+}$  равно 6. Составьте уравнения реакций взаимодействия этих солей с раствором нитрата серебра в молекулярном и ионно-молекулярном виде.
219. Определите заряд комплексного иона, степень окисления и координационное число комплексообразователя. Укажите из каких молекул первого порядка образованы данные комплексные соединения:  $[\text{Cr}(\text{H}_2\text{O})_6]\text{Cl}_3$ ;  $\text{K}_2[\text{SnF}_6]$ ;  $\text{Cs}[\text{BiI}_4]$ ;  $\text{K}[\text{Sc}(\text{SO}_4)_2]$ .
220. Напишите координационные формулы следующих комплексных соединений. Укажите лиганды, донор и акцептор в комплексных соединениях:  $\text{Cr}(\text{OH})_3 \cdot \text{KOH} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ;  $\text{NH}_4\text{Cl} \cdot \text{BiCl}_3$ ;  $\text{Ba}(\text{OH})_2 \cdot \text{Zn}(\text{OH})_2$ ;  $\text{PtCl}_4 \cdot 2\text{NH}_3$ .
221. Какова координационная формула соединения  $\text{PtCl}_4 \cdot \text{NH}_3 \cdot \text{KCl}$ , если при сливании водных растворов соединения и  $\text{AgNO}_3$  хлорид серебра не образуется?
222. К растворам солей состава  $\text{K}_2\text{SO}_4 \cdot \text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 24\text{H}_2\text{O}$  и  $3\text{KCN} \cdot \text{Fe}(\text{CN})_3$  добавили раствор щелочи. Осадок гидроксида железа (III) выпал только в одном случае. Объясните наблюдаемое и составьте уравнения реакции.
223. Константы диссоциации комплексных ионов  $[\text{Co}(\text{CN})_4]^{2-}$ ,  $[\text{Zn}(\text{CN})_4]^{2-}$  и  $[\text{Cd}(\text{CN})_4]^{2-}$  равны соответственно  $8 \cdot 10^{-20}$ ;  $1 \cdot 10^{-16}$  и  $2 \cdot 10^{-17}$ . Приготовлены растворы калиевых солей с этими анионами, имеющие одинаковые моляр-

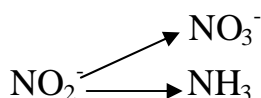
ные концентрации. В каком растворе концентрация  $\text{CN}^-$  - ионов наибольшая, а в каком – наименьшая?

224. Определите возможность взаимодействия между следующими веществами в растворе: а)  $\text{K}_2[\text{HgI}_4] + \text{KCl} =$  ; б)  $\text{K}_2[\text{HgI}_4] + \text{KBr} =$  ;

в)  $\text{K}_2[\text{HgI}_4] + \text{KSCN} =$  ; г)  $\text{K}_2[\text{HgI}_4] + \text{KCN} =$  . Константы диссоциации комплексов ртути (II) равны:  $[\text{HgI}_4]^{2-} - 1,5 \cdot 10^{-30}$ ;  $[\text{HgCl}_4]^{2-} - 6,0 \cdot 10^{-16}$ ;  $[\text{HgBr}_4]^{2-} - 1,0 \cdot 10^{-21}$ ;  $[\text{Hg}(\text{SCN})_4]^{2-} - 1,3 \cdot 10^{-22}$ ;  $[\text{Hg}(\text{CN})_4]^{2-} - 4,0 \cdot 10^{-42}$ .

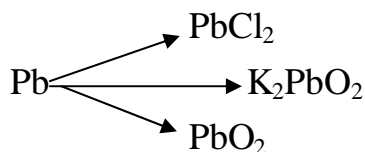
225. Объясните, почему раствор комплексной соли  $\text{K}_2[\text{Cd}(\text{CN})_4]$  с сероводородом образует осадок, а со щелочью не образует.

226. Как изменяется степень окисления азота в следующих превращениях?



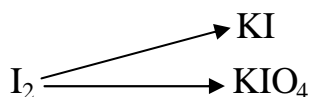
Указать количество электронов, которые принимают участие в процессах окисления и восстановления.

227. Как изменяется степень окисления свинца в следующих превращениях?



Указать молярную массу соединения, которое может выполнять роль окислителя и число электронов, участвующих в процессах окисления.

228. Как изменяется степень окисления йода в следующих превращениях?



Указать молярную массу вещества, которое может выполнить роль как окислителя, так и восстановителя. Ответ мотивировать.

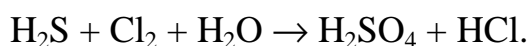
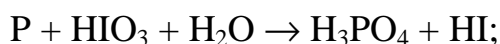
229. Исходя из степени окисления атомов в приведенных соединениях, определить возможность протекания окислительно-восстановительной реакции между веществами:  $\text{NH}_3$  и  $\text{H}_2\text{S}$ ;  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$  и  $\text{HBr}$ ;  $\text{H}_3\text{PO}_4$  и  $\text{KMnO}_4$ . Составьте уравнение возможной реакции. Коэффициенты подберите методом электронного баланса.

230. Исходя из степени окисления атомов в приведенных соединениях, определите возможность протекания окислительно-восстановительной реакции между веществами:  $\text{KNO}_3$  и  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ;  $\text{KNO}_2$  и  $\text{HClO}_4$ ;  $\text{K}_2\text{S}$  и  $\text{HCl}$ . Составьте

уравнение возможной реакции. Коэффициенты подберите методом электронного баланса.

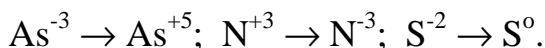
231. Исходя из степени окисления атомов в приведенных соединениях, определите возможность протекания окислительно-восстановительной реакции между веществами:  $\text{Ba}(\text{OH})_2$  и  $\text{H}_2\text{S}$ ;  $\text{SO}_2$  и  $\text{NaOH}$ ;  $\text{P}$  и  $\text{HNO}_3$ . Составьте уравнение возможной реакции. Коэффициенты подберите методом электронного баланса.

232. Реакции выражаются схемами:



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

233. Составьте электронные уравнения и укажите, какой процесс – окисления или восстановления – происходит при следующих превращениях:

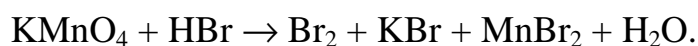
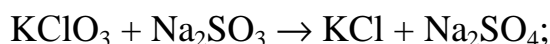


234. Исходя из степени окисления фосфора в соединениях  $\text{PH}_3$ ,  $\text{H}_3\text{PO}_4$ ,  $\text{H}_3\text{PO}_3$ , определите, какое из них является только окислителем, только восстановителем и какое может проявлять как окислительные, так и восстановительные свойства? Почему?

235. Составьте электронные уравнения и укажите, какой процесс – окисления или восстановления – происходит при следующих превращениях:  $\text{Mn}^{+6} \rightarrow \text{Mn}^{+2}$ ;  $\text{Cl}^{+5} \rightarrow \text{Cl}^-$ ;  $\text{N}^{-3} \rightarrow \text{N}^{+5}$ .

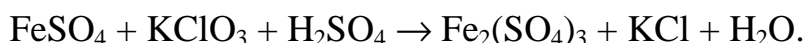
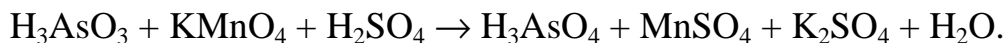
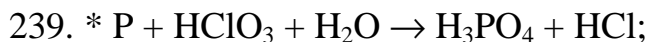
236. Исходя из степени окисления хрома, йода и серы в соединениях  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ ,  $\text{KI}$  и  $\text{H}_2\text{SO}_3$ , определите, какое из них является только окислителем, только восстановителем и какое может проявлять как окислительные, так и восстановительные свойства. Почему?

237. Реакции выражаются схемами:



Составьте электронные уравнения. Расставьте коэффициенты в уравнениях реакций. Для каждой реакции укажите, какое вещество является окислите-

лем, а какое – восстановителем; какое вещество окисляется, какое – восстанавливается.

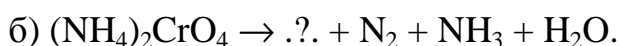


242. Могут ли происходить окислительно-восстановительные реакции между веществами: а)  $\text{NH}_3$  и  $\text{KMnO}_4$ ; б)  $\text{HNO}_2$  и  $\text{HI}$ ; в)  $\text{HCl}$  и  $\text{H}_2\text{Se}$ ? Почему? На основании электронных уравнений расставьте коэффициенты в уравнении реакции, идущей по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

243. 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:  $\text{AsH}_3 + \text{HNO}_3 \rightarrow \text{H}_3\text{AsO}_4 + \text{NO}_2 + \text{H}_2\text{O}$ .

244. На основе электронного строения атомов указать, могут ли быть окислителями: атомы натрия, катионы натрия, кислород в степени окисления  $-2$ , йод в степени окисления  $0$ , фторид-ионы, катионы водорода, нитрит-ионы, гидрид-ионы. На основании электронных уравнений расставьте коэффициенты в уравнении реакции, идущей по схеме:  $\text{I}_2 + \text{KOH} \rightarrow \text{KIO}_3 + \text{KI} + \text{H}_2\text{O}$ .

245. Предскажите продукты следующих окислительно-восстановительных реакций и подберите коэффициенты: а)  $\text{NH}_4\text{NO}_2 \rightarrow \text{N}_2 + \text{.?.}$ ;

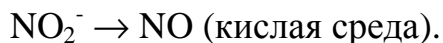
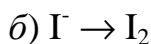
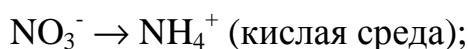
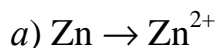


246. Составьте уравнения полуреакций, соответствующие следующим превращениям: а)  $\text{SO}_3^{2-} \rightarrow \text{SO}_4^{2-}$  (нейтральная среда); б)  $\text{I}_2 \rightarrow \text{IO}_3^-$  (щелочная среда); в)  $\text{H}_2\text{S} \rightarrow \text{SO}_4^{2-}$  (кислая среда).

---

\* См. условие задачи 237.

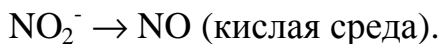
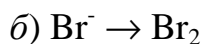
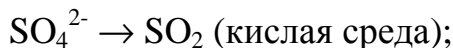
247. Составьте уравнения окислительно-восстановительных реакций в ионной и молекулярной формах, соответствующие следующим процессам окисления и восстановления:



248. \*а)  $\text{Si} \rightarrow \text{SiO}_3^{2-}$



249. \*а)  $\text{Cu} \rightarrow \text{Cu}^{2+}$



250. Мышьяк, сурьма и висмут находятся в одной подгруппе, однако продукты их окисления азотной кислотой различны: а)  $\text{As} + \text{HNO}_3_{\text{конц.}} \rightarrow \text{H}_3\text{AsO}_4 + \text{NO}_2 + \text{H}_2\text{O}$ ; б)  $\text{Sb} + \text{HNO}_3_{\text{конц.}} \rightarrow \text{HSbO}_3 + \text{NO} + \text{H}_2\text{O}$ ; в)  $\text{Bi} + \text{HNO}_3_{\text{конц.}} \rightarrow \text{Bi}(\text{NO}_3)_3 + \text{NO} + \text{H}_2\text{O}$ . Подберите коэффициенты в уравнениях приведенных реакций. Какой из элементов проявляет металлические свойства?

251. Водный раствор  $\text{H}_2\text{S}$  обладает восстановительными свойствами. Какие из перечисленных ионов можно восстановить этим раствором: а)  $\text{Fe}^{3+}$  до  $\text{Fe}^{2+}$ ; б)  $\text{Cu}^{2+}$  до  $\text{Cu}^+$ ; в)  $\text{Sn}^{4+}$  до  $\text{Sn}^{2+}$ ? Ответ обосновать, пользуясь величинами стандартных окислительно-восстановительных потенциалов.

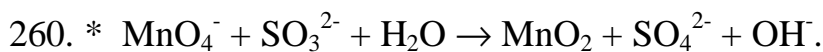
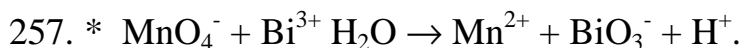
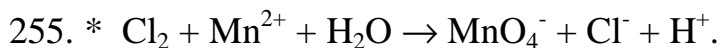
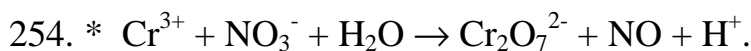
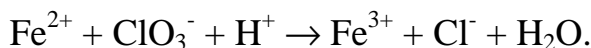
252. Бромная вода (раствор брома в воде) – часто используемый в лабораторной практике окислитель. Какие из перечисленных ионов можно окислить бромной водой: а)  $\text{Fe}^{2+}$  до  $\text{Fe}^{3+}$ ; б)  $\text{Cu}^+$  до  $\text{Cu}^{2+}$ ; в)  $\text{Mn}^{2+}$  до  $\text{MnO}_4^-$ ; г)  $\text{Sn}^{2+}$  до  $\text{Sn}^{4+}$ ? Ответы обосновать, пользуясь величинами стандартных окислительно-восстановительных потенциалов.

253. Исходя из значений стандартных окислительно-восстановительных потенциалов, определите, прямая или обратная реакция будет протекать в этой

---

\* См. условие задачи 247.

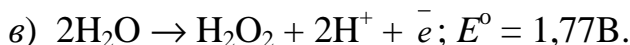
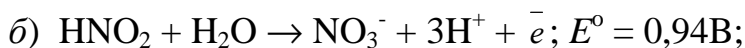
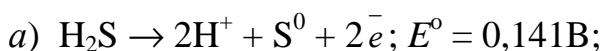
системе при стандартных условиях. Составьте уравнение окислительно-восстановительной реакции на основании ионно-электронного баланса, подберите коэффициенты, рассчитайте  $E_{\text{х.р.}}$ .



263. Возможна ли реакция между  $\text{KClO}_3$  и  $\text{MnO}_2$  в кислой среде, если

$$E_{\text{ClO}_3^-/\text{Cl}_2}^0 = 1,47\text{В}, E_{\text{MnO}_4^-/\text{MnO}_2}^0 = 1,69\text{В}. \text{ Составьте уравнение реакции.}$$

264. Можно ли использовать перманганат калия  $\text{KMnO}_4$  в качестве окислителя в следующих процессах при стандартных условиях, если  $E_{\text{MnO}_4^-/\text{Mn}^{2+}}^0 = 1,51\text{В}$ ;



Составьте уравнения реакций.

265. Можно ли при стандартных условиях окислить в щелочной среде  $\text{Fe}^{2+}$  в  $\text{Fe}^{3+}$  с помощью хромата калия  $\text{K}_2\text{CrO}_4$ , если  $E_{\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+}}^0 = 0,77\text{В}$ ,

$$E_{\text{CrO}_4^{2-}/\text{CrO}_2^-}^0 = -0,21\text{В}.$$

266. Какой из окислителей  $\text{KMnO}_4$ ,  $\text{PbO}_2$  или  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$  лучше всего использовать для получения хлора из  $\text{HCl}$ ? Стандартные окислительно-восстановительные потенциалы равны:  $E_{\text{MnO}_4^-/\text{Mn}^{2+}}^0 = 1,51\text{В}$ ,  $E_{\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}/2\text{Cr}^{3+}}^0 = 1,33\text{В}$ ,

$$E_{\text{PbO}_2/\text{Pb}^{2+}}^0 = 1,456\text{В}, E_{\text{Cl}_2/2\text{Cl}^-}^0 = 1,36\text{В}.$$

\* См. условие задачи 253.

267. Может ли  $\text{KMnO}_4$  окислить  $\text{RbI}$  в кислой среде,  $E_{\text{MnO}_4^-/\text{Mn}^{2+}}^0 = 1,51\text{В}$ ,

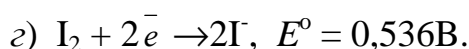
$E_{\text{I}_2/2\text{I}^-}^0 = 0,536\text{В}$ . Составьте уравнение реакции.

268. Пользуясь таблицей стандартных окислительно-восстановительных потенциалов, объясните, будет ли  $\text{FeBr}_2$  окисляться перманганатом калия в кислой среде. Напишите уравнение реакции, рассчитайте  $E_{\text{x.p.}}$ .

269. Пользуясь таблицей стандартных окислительно-восстановительных потенциалов, докажите возможность окисления  $\text{Mn}(\text{NO}_3)_2$  диоксидом свинца в кислой среде. Напишите уравнение реакции, рассчитайте  $E_{\text{x.p.}}$ .

270. Может ли перманганат калия  $\text{KMnO}_4$  окислить в кислой среде  $\text{SnCl}_2$ , если концентрация их растворов равна 1 моль/л? Напишите уравнение реакции, рассчитайте  $E_{\text{x.p.}}$ .

271. Докажите возможность использования в кислой среде  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$  в качестве окислителя в следующих процессах при стандартных условиях:



Стандартный окислительно-восстановительный потенциал системы

$$E_{\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}/2\text{Cr}^{3+}}^0 = 1,33\text{В}.$$

272. Какой из окислителей –  $\text{MnO}_2$ ,  $\text{PbO}_2$ ,  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$  – является наиболее эффективным по отношению к  $\text{HCl}$  при получении  $\text{Cl}_2$ ? Составьте уравнения протекающих реакций.

273. В какой из двух систем –  $\text{CuSO}_4 + \text{NaBr}$  или  $\text{CuSO}_4 + \text{NaI}$  – изменится степень окисления меди с образованием малорастворимого галогенида меди(I)? Составьте уравнение реакции.

274. Можно ли восстановить сульфат железа (III) в сульфат железа (II): а) раствором  $\text{H}_2\text{SO}_3$ , б) железными опилками. Напишите уравнения протекающих реакций.

275. Вычислите при стандартных условиях потенциал окислительно-восстановительной системы ( $E_{\text{x.p.}}$ ),  $\text{S}^0/\text{H}_2\text{S}$  и  $\text{NO}_3^-/\text{NO}$ . Напишите уравнения протекающих реакций.

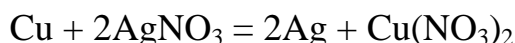
## Модуль 4. ОБЩИЕ СВОЙСТВА МЕТАЛЛОВ. ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ

**Пример 1. Ряд активности металлов.** Медная пластинка массой 10,0 г была погружена в раствор нитрата серебра, затем промыта водой и высушена. Масса ее оказалась равной 11,0 г. Сколько серебра из раствора выделилось на пластинке?

**Решение.** Для решения этой задачи необходимо знать стандартные электродные потенциалы металлов, т.е. место их в ряду напряжений.

$$j_{\text{Cu}^{2+}/\text{Cu}^0}^0 = +0,34 \text{ В}; \quad j_{\text{Ag}^+/\text{Ag}^0}^0 = +0,80 \text{ В}.$$

Из этих положительных потенциалов стандартный электродный потенциал меди менее положителен, следовательно, пойдет реакция вытеснения



Для того чтобы вычислить количество серебра, выделившегося на медной пластинке, надо помнить, что медная пластинка в этой реакции и сама растворяется, теряя в массе.

Обозначим количество растворившейся меди через  $x$  г, тогда масса медной пластинки с учетом ее растворения будет  $(10 - x)$  г, масса выделившегося серебра:  $11 - (10 - x) = (1 + x)$  г. Находим массу выделившегося серебра на основе реакции:

$$\begin{array}{r} 64,0 \text{ г Cu} \quad - \quad 2 \cdot 108 \text{ г Ag} \\ x \quad - \quad (1 + x) \\ \hline 216x = 64 + 64x, \quad 152x = 64, \quad x = 0,42 \text{ г}, \end{array}$$

т.е. в течение реакции растворилось 0,42 г меди и выделилось  $1,0 + 0,42 = +1,42$  г серебра.

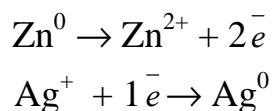
**Пример 2. Работа гальванического элемента и расчет ЭДС.** Напишите уравнения реакций, происходящих при работе гальванического элемента, состоящего из цинковой и серебряной пластин, опущенных в растворы своих солей с концентрацией катионов, равной 1 моль/л.

**Решение.** Стандартные электродные потенциалы цинкового и серебряного электродов соответственно равны:

$$j_{\text{Zn}^{2+}/\text{Zn}^0}^0 = -0,76 \text{ В}; \quad j_{\text{Ag}^+/\text{Ag}^0}^0 = +0,80 \text{ В}.$$



Металл, имеющий более отрицательное значение электродного потенциала при работе гальванического элемента, является анодом. В данном случае протекают реакции:



т.е. цинк, являясь анодом, растворяется при работе гальванического элемента, а серебро осаждается в виде металла на катоде

$$\text{ЭДС} = j_{\text{катода}}^0 - j_{\text{анода}}^0 = j_{\text{Ag}^+/\text{Ag}^0}^0 - j_{\text{Zn}^{2+}/\text{Zn}^0}^0 = +0,80 - (-0,76) = 1,56 \text{ В.}$$

**Пример 3. Зависимость электродных потенциалов от концентрации.** Рассчитайте, чему равна ЭДС элемента, составленного из медной и магниевой пластин, опущенных в растворы своих солей, если концентрация катиона у анода 0,1 моль/л, а у катода 0,001 моль/л.

**Решение.** Стандартные электродные потенциалы магниевого и медного электродов соответственно равны:

$$j_{\text{Mg}^{2+}/\text{Mg}^0}^0 = -2,38 \text{ В; } j_{\text{Cu}^{2+}/\text{Cu}^0}^0 = 0,34 \text{ В.}$$

Следовательно, анодом будет магниевый электрод, катодом – медный. Электродный потенциал металла, опущенный в раствор с любой концентрацией катиона в растворе, определяют по формуле Нернста:

$$j = j^0 + \frac{0,058}{n} \lg c,$$

где  $c$  – концентрация катиона, моль/л;  $n$  – заряд катиона. Отсюда потенциал магниевого электрода

$$j = j^0 + \frac{0,058}{n} \lg 10^{-1} = -2,38 + \frac{0,058}{2} \lg 10^{-1} = -2,38 + 0,029 \cdot (-1) = -2,409 \text{ В.}$$

Потенциал медного электрода равен

$$j = +0,34 + \frac{0,058}{2} \lg 10^{-3} = +0,34 + 0,029 \cdot (-3) = +0,253 \text{ В.}$$

Тогда для гальванического элемента

$$\text{ЭДС} = j_{\text{окисл}} - j_{\text{восст}} = j_{\text{Cu}^{2+}/\text{Cu}^0} - j_{\text{Mg}^{2+}/\text{Mg}^0} = +0,253 - (-2,409) = 2,662 \text{ В.}$$

**Пример 4. Составление схемы гальванического элемента, работающего при коррозии металла.** Хром находится в контакте с медью. Какой из металлов будет окисляться при коррозии, если пара металлов нахо-

дится в кислой среде (в HCl). Приведите схему образующегося при этом гальванического элемента.

Решение. Исходя из положения металлов в ряду напряжений, т.е. сравнивая величины стандартных электродных потенциалов, видим, что хром является более активным металлом ( $j_{\text{Cr}^{3+}/\text{Cr}^0}^0 = -0,744 \text{ В}$ ) и в образующейся гальванической паре хром будет анодом. Медь является катодом ( $j_{\text{Cu}^{2+}/\text{Cu}^0}^0 = +0,337 \text{ В}$ ). Хромовый анод растворяется, а на медном катоде выделяется водород.

Схема работающего при коррозии гальванического элемента



Следовательно, окисляется хром.

**Пример 5. Расчет количества вещества, выделившегося при электролизе.** Какая масса меди осаждается на катоде при прохождении тока силой 2А через раствор медного купороса в течение 15 мин?

Решение. Сначала нужно узнать количество электричества, прошедшее через раствор, выразив его в кулонах ( $1\text{К} = \text{А}\cdot\text{с}$ ). Количество электричества  $Q = It = 2 \cdot 15 \cdot 60 = 1800 \text{ Кл}$ . Молярная масса эквивалента меди (II) равна  $64,0/2 = 32\text{г/моль}$ . Следовательно, из следствия закона Фарадея

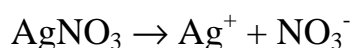
$$96500 \text{ Кл} \text{ — } 32 \text{ г}$$

$$1800 \text{ Кл} \text{ — } x$$

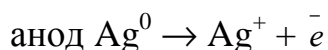
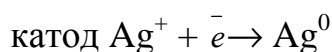
$$x = \frac{1800 \cdot 32}{96500} = 0,60 \text{ г Cu}$$

**Пример 6. Определение электрохимического эквивалента и выхода по току.** При электролизе водного раствора  $\text{AgNO}_3$  в течение 50 мин при силе тока 3А на катоде выделилось 9,6 г серебра. Электролиз проводился с растворимым анодом. Напишите уравнение реакций катодного и анодного процессов и определите электрохимический эквивалент серебра в г/Кл и г/А·ч и выход по току.

Решение. Нитрат серебра диссоциирует:



Процессы, протекающие на электродах:



Молярная масса эквивалента  $\text{Ag}^0 = 108,0$  г/моль.

Определяем массу серебра, которая выделилась бы теоретически при прохождении через раствор данного количества электричества:

$$m = \frac{Mit}{F} = \frac{108 \cdot 3 \cdot 50 \cdot 60}{96500} = 10,1 \text{ г}$$

$$F = 96500 \text{ Кл, или } 26,8 \text{ А}\cdot\text{ч}$$

Выход по току

$$h = \frac{m_{\text{факт}}}{m_{\text{теорет}}}} \cdot 100\% = \frac{9,6}{10,1} \cdot 100 = 95,35\%$$

Электрохимический эквивалент:

$$k = \frac{M_{\text{э}}}{F}$$

$$k = \frac{108}{96500} = 0,00112 \text{ г/Кл}; \quad k = \frac{108}{26,8} = 4,03 \text{ г/(А}\cdot\text{ч)}$$

## ЗАДАНИЯ ДЛЯ КОНТРОЛЬНЫХ РАБОТ

276. 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.
277. 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.
278. При какой концентрации ионов  $\text{Zn}^{2+}$  (в моль/л) потенциал цинкового электрода будет на 0,015В меньше его стандартного электродного потенциала?
279. Увеличится, уменьшится или останется без изменения масса кадмиевой пластины 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.

280. Марганцевый электрод в растворе его соли имеет потенциал  $-1,23$  В. Вычислите концентрацию ионов  $Mn^{2+}$  (в моль/л).
281. Цинковую и железную пластинки опустили в раствор сульфата меди. Составьте уравнения реакций, происходящих на каждой из этих пластин в молекулярной и ионно-молекулярной формах.
282. Определите, какой из металлов – барий или никель – будет более интенсивно взаимодействовать с разбавленной соляной кислотой.
283. Установите, что произойдет, если раствор нитрата железа (III) перемешивать алюминиевой ложкой? Дать обоснованный ответ.
284. Можно ли 1 М раствор сульфата железа (III) хранить в никелевом сосуде? Дать обоснованный ответ.
285. Сравните восстановительную способность Mg, Al, Cu по отношению к  $Cl_2$ . Дать обоснованный ответ.
286. Какой процесс произойдет, если в железный сосуд налить раствор сульфата меди? Написать уравнение реакции.
287. Чем объяснить, что хлорид железа (III) нельзя держать в цинковой посуде, а можно держать в медной?
288. Как строится ряд напряжения металлов? Увеличится, уменьшится или останется без изменения масса цинковой пластинки при взаимодействии ее с растворами: а)  $SnSO_4$ , б)  $Ca(NO_3)_2$ , в)  $Ni(NO_3)_2$ ? Почему? Составьте электронные и молекулярные уравнения соответствующих реакций.
289. Какие реакции из ниже перечисленных осуществимы и какие – неосуществимы: а)  $Pb + FeCl_2$ ; б)  $Zn + AgNO_3$ ; в)  $Cu + FeSO_4$ ; г)  $Al + CuSO_4$ ? Ответ обоснуйте с учетом стандартных электродных потенциалов металлов.
290. Будет ли цинк взаимодействовать с водными растворами: а) 1М HCl; б) 1М  $NiSO_4$ ; в) 1М  $Mg(NO_3)_2$ ? Ответ обоснуйте с учетом стандартных электродных потенциалов металлов.
291. Между какими из попарно взятых веществ произойдет химическая реакция: а) Cu и HCl; б) Cu и  $Hg(NO_3)_2$ ; в) Zn и  $Pb(NO_3)_2$ ? Составьте уравнения реакций.
292. При пропускании водорода через раствор соли меди изменений не наблюдается, но если в раствор опустить пластинку платины, она покроется красным налетом, а раствор обесцвечивается. Объясните это явление, свя-

- зав его с электрохимическим рядом напряжений и напишите уравнения реакций. Платина при этом не изменяется. Какую же она играет роль?
293. В соответствии с положением металлов в электрохимическом ряду напряжений, укажите, что будет наблюдаться при добавлении цинка к раствору, содержащему сульфат алюминия и сульфат меди. Приведите уравнения реакций.
294. Можно ли сохранять раствор медного купороса: а) в оцинкованных; б) в луженых (покрытых слоем олова) ведрах? Почему? Дайте обоснованный ответ.
295. Имеется раствор железного купороса с примесью медного купороса. Каким простым способом можно получить из него раствор железного купороса без примеси медного купороса? Дайте обоснованный ответ.
296. Найдите в электрохимическом ряду напряжений металл по следующим признакам: а) он не вытесняет водород из растворов кислот; б) он вытесняет ртуть из растворов ее солей. Дайте обоснованный ответ.
297. Будут ли выделяться пузырьки водорода, если кусочек кадмия опустить в 1 М раствор кислоты? Будет ли это происходить, если опустить в такой раствор кусочек серебра? Дайте обоснованный ответ.
298. Пластина из меди погружена в раствор нитрата серебра, содержащий 21,6 г серебра в составе соли. Как изменится масса пластины, если все серебро вступило в реакцию? Составьте уравнение реакции.
299. Пластина из цинка погружена в раствор сульфата меди, содержащий 3,2 г меди в составе соли. Как изменится масса пластины, если вся медь будет вытеснена из раствора? Составьте уравнение реакции.
300. Изделие из марганца поместили в раствор сульфата олова (II). Через некоторое время масса изделия увеличилась на 2,56 г. Какая масса олова выделилась на изделии?
301. Как происходит атмосферная коррозия луженого железа и луженой меди, при нарушении покрытия? Составьте уравнения анодного и катодного процессов.
302. 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 уравнения анодного и катодного процессов. Напишите уравнение протекающей химической реакции.

303. В чем сущность протекторной защиты металлов от коррозии? Приведите пример протекторной защиты железа в электролите, содержащем растворенный кислород. Составьте уравнения анодного и катодного процессов.
304. Железное изделие покрыли никелем. Какое это покрытие – анодное или катодное? Почему? Составьте 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?
305. Какое покрытие металла называется анодным и какое – катодным? Назовите несколько металлов, которые могут служить для анодного и катодного покрытия железа. Составьте уравнения анодного и катодного процессов, происходящих при коррозии железа, покрытого медью, во влажном воздухе и в кислой среде.
306. Какой металл целесообразней выбрать для протекторной защиты от коррозии свинцовой оболочки кабеля: цинк, магний или хром? Почему? Составьте уравнения анодного и катодного процессов атмосферной коррозии. Каков состав продуктов коррозии?
307. Две железные пластинки, частично покрытые – одна оловом, другая медью, находятся во влажном воздухе. На какой из этих пластин быстрее образуется ржавчина? Почему? Составьте уравнения анодного и катодного процессов коррозии этих пластин. Каков состав продуктов коррозии железа?
308. Составьте 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?
309. Цинковую и никелевую пластинки опустили в раствор сульфата меди. Составьте электронные и ионно-молекулярные уравнения реакций, происходящих на каждой из этих пластинок. Какие процессы будут происходить на пластинках, если наружные их концы соединить проводником?
310. В чем сущность электрохимической коррозии металлов? Как происходит коррозия оцинкованного и луженого железа: а) во влажном воздухе; б) в

кислоте? Ответ обоснуйте и составьте электронно-ионные уравнения реакций, происходящих на аноде и катоде.

311. Какой из металлов является катодом и какой анодом в паре Al-Fe. Составьте уравнения электродных процессов, протекающих при коррозии в случае кислородной и водородной деполяризации.
312. В контакте с каким из металлов – медью или алюминием – будет корродировать железо в морской воде? Составьте уравнения анодного и катодного процессов.
313. Какой из двух металлов будет подвергаться коррозии в морской воде, если оловянная пластинка соединена с медной? Дайте объяснение. Составьте уравнения анодного и катодного процессов.
314. В чем отличие электрохимической коррозии от химической? Алюминий склепан с медью. Какой из металлов будет подвергаться коррозии, если эти металлы попадут в кислую среду? Составьте схему гальванического элемента, образующегося при этом. Составьте уравнения процессов, протекающих на аноде и катоде.
315. В контакте с цинком или с железом коррозия магния будет происходить сильнее. Приведите схему процесса коррозии в кислой среде. Составьте уравнения анодного и катодного процессов коррозии.
316. В раствор электролита, содержащего растворенный кислород, опустили цинковую пластинку и цинковую пластинку, частично покрытую медью. В каком случае процесс коррозии цинка происходит интенсивнее? Составьте электронные уравнения анодного и катодного процессов.
317. 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?
318. Никелевое изделие покрыто серебром. Какой из металлов будет окисляться при коррозии в случае разрушения поверхности покрытия? Коррозия протекает во влажном воздухе.
319. 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 соляной кислоте. Какие продукты коррозии образуются в первом и во втором случаях?

320. Как протекает атмосферная коррозия железа, покрытого слоем никеля, если покрытие нарушено? Составьте электронные уравнения анодного и катодного процессов. Каков состав продуктов коррозии?
321. Два металла Cu и Ag, находящиеся в контакте между собой, помещены в агрессивную среду. Составьте уравнения электродных реакций, протекающих при коррозии этих металлов: а) в кислой среде; б) в атмосфере влажного воздуха.
322. Два металла Bi и Cd, находящиеся в контакте между собой, помещены в агрессивную среду. Составьте уравнения электродных реакций, протекающих при коррозии этих металлов: а) в кислой среде; б) в атмосфере влажного воздуха.
323. Два металла Zn и Mg, находящиеся в контакте между собой, помещены в агрессивную среду. Составьте уравнения электродных реакций, протекающих при коррозии этих металлов: а) в кислой среде; б) в атмосфере влажного воздуха.
324. Составьте электродные уравнения анодного и катодного процессов при коррозии железа с кислородной деполяризацией. Приведите уравнения реакций образования вторичных продуктов коррозии на железе с учетом окисления гидроксида железа (II) до гидроксида железа (III).
325. Составьте уравнения электродных реакций, протекающих при коррозии с кислородной и водородной деполяризацией олова. Каков состав продуктов коррозии?
326. Напишите уравнения реакций, протекающих при работе гальванического элемента, составленного из медной и магниевой пластин, опущенных в растворы своих солей с концентрацией катионов 1 моль/л. Определите ЭДС этого элемента.
327. Какие процессы происходят на электродах гальванического элемента, образованного железом, погруженным в раствор его соли с концентрацией  $\text{Fe}^{2+} 10^{-3}$  моль/л, и серебром, погруженным в раствор его соли? Определите концентрацию ионов  $\text{Ag}^+$  в растворе его соли, если ЭДС этого элемента 1,152 В.
328. 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

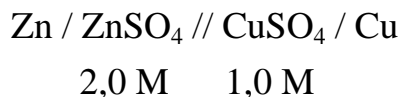


$[\text{Pb}^{2+}] = [\text{Mg}^{2+}] = 0,01$  моль/л. Изменится ли ЭДС этого элемента, если концентрацию каждого из ионов увеличить в одинаковое число раз?

329. 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 катоде.
330. Составьте схему гальванического элемента, в основе которого лежит реакция, протекающая по уравнению:  $\text{Ni} + \text{Pb}(\text{NO}_3)_2 = \text{Ni}(\text{NO}_3)_2 + \text{Pb}$ . Напишите электронные уравнения анодного и катодного процессов. Вычислите ЭДС этого элемента, если  $[\text{Ni}^{2+}] = 0,01$  моль/л,  $[\text{Pb}^{2+}] = 0,0001$  моль/л.
331. 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.
332. 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 0,001М растворе, а другой такой же электрод – в 0,01 М растворе сульфата никеля.
333. 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.
334. 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  $[\text{Mg}^{2+}] = [\text{Cd}^{2+}] = 1$  моль/л. Изменится ли значение ЭДС, если концентрацию каждого из ионов понизить до 0,01 моль/л?
335. Составьте схему гальванического элемента, состоящего из цинка и олова, погруженных в растворы их солей. Напишите электронные уравнения процессов, протекающих на аноде и катоде. Какой должна быть концентрация – ионов олова, чтобы ЭДС элемента стало равной нулю, если  $[\text{Zn}^{2+}] = 0,001$  моль/л.

336. Какие процессы происходят у электродов магниевового концентрационного гальванического элемента, если у одного из электродов концентрация ионов  $Mg^{2+}$  равна 1 моль/л, а у другого –  $10^{-3}$  моль/л. По какому направлению движутся электроны во внешней цепи? Какова ЭДС этого элемента?

337. Вычислите электродные потенциалы положительного и отрицательного электродов и ЭДС гальванического элемента.



Составьте уравнения реакций, протекающих на электродах при работе гальванического элемента, приведите суммарное уравнение реакций. Укажите направление тока.

338. \*  $Cd / CdSO_4 // SnSO_4 / Sn$   
0,1 M    1,0 M

339. \*  $Ni / NiSO_4 // AgNO_3 / Ag$   
0,1 н.    1,0 н.

340. \*  $Mg / Mg^{2+} // Zn^{2+} / Zn$   
0,01 M    0,001 M

341. Хром находится в контакте с медью. Какой из металлов будет окисляться при коррозии, если пара металлов находится в кислой среде (HCl). Приведите схему образующегося при этом гальванического элемента.

342. В какой паре элементов Al – Zn или Al – Fe, следует ожидать наибольшей ЭДС и почему? Определите знаки электродов.

343. Составить схему элемента Zn / Al, указать катод и анод и направление тока. Напишите уравнения электродных процессов.

344. Составить схему элемента Ag / Zn, указать катод и анод и направление тока.

Напишите уравнения электродных процессов.

345. Гальванический элемент, состоит из серебряного электрода, погруженного в 1 M раствор  $AgNO_3$ , и стандартного водородного электрода. Напишите уравнения электродных процессов и суммарной реакции, происходящей при работе элемента? Рассчитайте ЭДС гальванического элемента.

346. Из четырех металлов Ag, Cu, Al и Sn выберите те пары, которые дают наи-

---

\* См. условие задачи 337

меньшую и наибольшую ЭДС составленного из них гальванического элемента. Напишите уравнения электродных процессов.

347. Составьте гальваническую цепь, имея в распоряжении Sn, Ag, SnCl<sub>2</sub> и AgNO<sub>3</sub>. Какой из электродов будет восстановителем? Напишите уравнения электродных процессов.
348. Пользуясь рядом стандартных электродных потенциалов, выберите металлы и составьте из них гальванические элементы, которые дадут ЭДС = 0,468 В и ЭДС = 3,18 В.
349. Как должны быть составлены гальванические элементы, чтобы в них протекали реакции:
- a)  $\text{Cd} + \text{CuSO}_4 = \text{CdSO}_4 + \text{Cu}$ ;
  - б)  $2\text{Au}^{3+} + 3\text{H}_2 = 2\text{Au} + 6\text{H}^+$ ;
  - в)  $\text{Zn} + 2\text{Fe}^{3+} = \text{Zn}^{2+} + 2\text{Fe}^{2+}$ .
350. Гальванический элемент состоит из свинцового электрода, погруженного в 1 М раствор Pb(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> и стандартного водородного электрода. Напишите уравнения электродных процессов и суммарной реакции, происходящей при работе элемента. Рассчитайте ЭДС гальванического элемента.
351. Электролиз раствора K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> проводили при силе тока 5 А в течении 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?
352. При электролизе раствора CuSO<sub>4</sub> на аноде выделилось 168 мл газа (н.у.). Составьте электронные уравнения процессов, происходящих на электродах, и вычислите массу меди, выделившуюся на катоде.
353. Составьте электронные уравнения процессов, происходящих на угольных электродах при электролизе раствора AgNO<sub>3</sub>. Если электролиз проводить с серебряным анодом, то его масса уменьшится на 5,4 г. Определите расход электричества при этом.
354. Составьте электронные уравнения процессов, происходящих на графитовых электродах при электролизе расплавов и водных растворов NaCl и 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?

355. Через раствор сульфата магния пропускают ток силой 5,2 А в течение 18 мин. Какие вещества выделяются на электродах и каков их объем (н.у.)? Приведите полную схему процесса гидролиза.
356. Какие процессы происходят на электродах при электролизе раствора хлорида никеля (II), если оба электрода сделаны из никеля? Как изменится масса анода после пропускания тока силой 3,2 А в течение 30 мин?
357. Напишите схему процесса электролиза водного раствора сульфата меди и рассчитайте объем кислорода (н.у.), выделившегося на аноде, если на катоде за то же время выделилось 0,318 г меди.
358. При электролизе соли некоторого металла за 2 ч 24 мин 45 с при силе тока 8 А на катоде выделилось 6,48 г этого металла. Вычислите молярную массу эквивалента этого металла.
359. Сколько граммов меди выделится на катоде при пропускании через раствор  $\text{CuSO}_4$  тока силой 8 А в течение 10 мин. Выход по току 90%. Напишите уравнения реакций, происходящих на электродах, если электролиз проводится с нерастворимым угольным анодом.
360. Составьте электронные уравнения процессов, происходящих на угольных электродах при электролизе раствора  $\text{KBr}$ . Какая масса вещества выделяется на катоде и аноде, если электролиз проводить в течение 1 ч 35 мин при силе тока 15 А?
361. При электролизе соли трехвалентного металла при силе тока 1,5 А в течение 30 мин на катоде выделилось 1,071 г металла. Вычислите мольную массу атома металла и напишите уравнения реакций, происходящих на электродах при электролизе раствора соли нитрата серебра.
362. При электролизе растворов  $\text{MgSO}_4$  и  $\text{ZnCl}_2$ , соединенных последовательно с источником тока, на одном из катодов выделилось 0,25 г водорода. Какая масса вещества выделится на другом катоде; на аноде?
363. Составьте электронные уравнения процессов, происходящих на электродах при электролизе раствора  $\text{KOH}$ . Чему равна сила тока, если в течение 1 ч 15 мин 20 с на аноде выделилось 6,4 г газа? Сколько литров газа выделилось при этом на катоде?
364. В растворе находится смесь нитратов никеля, серебра, меди и свинца одинаковой концентрации. В какой последовательности будут выделяться эти металлы при электролизе. Составьте уравнения электродных процессов.

365. Цинк, никель, железо и некоторые другие металлы в ряду напряжений стоят до водорода. Объясните, почему возможно их электролитическое выделение из водных растворов солей этих металлов.
366. При электролизе водного раствора  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  на аноде выделилось 2,8 л кислорода (н.у.). Сколько литров водорода при этом выделилось на катоде? Составьте уравнения электродных процессов.
367. В течение некоторого времени проводили электролиз растворов  $\text{NaCl}$  и  $\text{Na}_3\text{PO}_4$ . Изменилось ли от этого количество соли в том и другом случае? Ответ мотивируйте, составьте электронные уравнения реакций, идущих на катоде и аноде.
368. При электролизе водного раствора соли значение рН в приэлектродном пространстве одного из электродов возросло. Раствор какой соли подвергался электролизу: а)  $\text{KCl}$ ; б)  $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ ; в)  $\text{ZnSO}_4$ ? Составьте электронные уравнения электродных процессов, происходящих при электролизе указанных солей.
369. При электролизе током силой 4 А в течение 40 мин выделилось на катоде 9,084 г металла. Вычислите электрохимический эквивалент этого металла в г/А·ч.
370. Анодное окисление сульфата хрома (III) протекает по уравнению:  $\text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3 + 4\text{H}_2\text{O} + 3/2\text{O}_2 = \text{H}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 + 3\text{H}_2\text{SO}_4$ . Сколько ампер-часов электричества потребуется для получения таким путем 1 кг дихромовой кислоты при выходе по току 45%?
371. Раствор содержит ионы  $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{Ag}^+$ ,  $\text{Bi}^{3+}$  и  $\text{Pb}^{2+}$  в одинаковой концентрации. В какой последовательности эти ионы будут выделяться при электролизе, если напряжения достаточно для выделения любого металла?
372. Сколько граммов воды разложилось при электролизе раствора  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  при силе тока 7 А в течение 5 часов?
373. Сколько времени проводят электролиз раствора электролита при силе тока 5 А, если на катоде выделяется 0,1 моль эквивалентной массы вещества? Сколько вещества выделится на аноде?
374. Составьте уравнение электродных процессов, протекающих при электролизе раствора фосфата калия с инертными электродами.
375. Ток силой 10 А проходит через электролизер, в котором находится 0,5 л 4,5%-ного раствора  $\text{NaOH}$  ( $\rho = 1,05 \text{ кг/м}^3$ ). Через сколько часов концентра-

ция NaOH в растворе достигнет 10%? Напишите полную схему электролиза раствора NaOH, если электролиз идет на платиновых электродах.

## Модуль 5. ХИМИЯ ЭЛЕМЕНТОВ

### ЗАДАНИЯ ДЛЯ КОНТРОЛЬНЫХ РАБОТ

376. Составьте уравнения реакций, которые нужно провести для осуществления следующих превращений:  $B \rightarrow H_3BO_3 \rightarrow Na_2B_4O_7 \rightarrow H_3BO_3$ .
377. Какие соединения называются карбидами и силицидами? Напишите уравнения реакций взаимодействия: а) карбида аммония с водой; б) силицида магния с соляной кислотой. Являются ли эти реакции окислительно-восстановительными? Почему?
378. Составьте уравнения реакций взаимодействия фосфора с азотной кислотой, учитывая, что фосфор окисляется максимально, а азот восстанавливается до NO.
379. Почему атомы большинства неметаллов способны к реакциям диспропорционирования (самоокисление – самовосстановление)? Напишите уравнение реакции растворения серы в концентрированном растворе щелочи. Один из продуктов реакции содержит серу со степенью окисления +4.
380. Почему сернистая кислота может проявлять как окислительные, так и восстановительные свойства? Составьте уравнения реакций взаимодействия  $H_2SO_3$ : а) с сероводородом; б) с хлором.
381. Как проявляет себя сероводород в окислительно-восстановительных реакциях? Составьте уравнения реакций взаимодействия раствора сероводорода: а) с хлором; б) с кислородом.
382. Почему азотистая кислота может проявлять как окислительные, так и восстановительные свойства? Составьте уравнения реакций взаимодействия  $HNO_2$ : а) с бромной водой; б) с HI.
383. Какие свойства в окислительно-восстановительных реакциях проявляет серная кислота? Напишите уравнения реакций взаимодействия разбавленной серной кислоты с магнием и концентрированной – с медью.

384. 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.
385. Почему фосфористая кислота способна к реакциям самоокисления - самовосстановления (диспропорционирования)? Составьте уравнение процесса разложения  $\text{H}_3\text{PO}_3$ , учитывая, что при этом фосфор приобретает минимальную и максимальную степень окисления.
386. В каком газообразном соединении фосфор проявляет свою низшую степень окисления? Напишите уравнения реакций: а) получения этого соединения при взаимодействии фосфида кальция с соляной кислотой; б) горения его в кислороде.
387. Какие степени окисления проявляет мышьяк? Какая степень окисления является более характерной? Составьте уравнения реакций взаимодействия мышьяка с концентрированной азотной кислотой.
388. Как изменяются окислительные свойства галогенов при переходе от фтора к йоду и восстановительные свойства их отрицательных ионов? Составьте уравнения реакций: а)  $\text{Cl}_2 + \text{I}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow$ ; б)  $\text{KI} + \text{Br}_2 \rightarrow$ .
389. Составьте уравнение реакции, происходящей при пропускании хлора через горячий раствор гидроксида калия. К какому типу окислительно-восстановительных процессов относится данная реакция?
390. Какие реакции нужно провести для осуществления следующих превращений:  $\text{NaCl} \rightarrow \text{HCl} \rightarrow \text{Cl}_2 \rightarrow \text{KClO}_3$ ?
391. Напишите и назовите кислородосодержащие кислоты хлора, укажите степень окисления хлора в каждой из них. Какая из этих кислот более сильный окислитель? Закончите уравнение реакции:  $\text{KI} + \text{NaOCl} + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \rightarrow \text{I}_2 + \dots$  Хлор приобретает минимальную степень окисления.
392. Какую степень окисления может проявлять кремний в своих соединениях? Составьте уравнения реакций, которые необходимо провести для осуществления следующих превращений:  $\text{Mg}_2\text{Si} \rightarrow \text{SiH}_4 \rightarrow \text{SiO}_2 \rightarrow \text{K}_2\text{SiO}_3$ .
393. Какое применение находит кремний. Составьте уравнения реакций, которые необходимо провести для осуществления следующих превращений:  $\text{SiO}_2 \rightarrow \text{Si} \rightarrow \text{K}_2\text{SiO}_3 \rightarrow \text{H}_2\text{SiO}_3$ .

394. Как получают диоксид углерода в лаборатории? Напишите уравнение соответствующей реакции и реакций при помощи которых можно осуществить следующие превращения:  $\text{NaHCO}_3 \rightarrow \text{CO}_2 \rightarrow \text{CaCO}_3 \rightarrow \text{Ca(HCO}_3)_2$ .
395. Составьте уравнения реакций, с помощью которых можно осуществить превращения:  $\text{FeS} \rightarrow \text{H}_2\text{S} \rightarrow \text{SO}_2 \rightarrow \text{Na}_2\text{SO}_3 \rightarrow \text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \rightarrow \text{Na}_2\text{SO}_4$ .
396. Составьте уравнения реакций, с помощью которых можно осуществить превращения:  $\text{B} \rightarrow \text{B}_2\text{O}_3 \rightarrow \text{BCl}_3 \rightarrow \text{H}_3\text{BO}_3 \rightarrow \text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ .
397. Карбид кремния (карборунд) – химически очень стойкое вещество. Однако в присутствии кислорода он взаимодействует с расплавленными щелочами. Составьте уравнение этого процесса, учитывая, что углерод приобретает максимальную степень окисления.
398. Составьте уравнения реакций получения хлорида и нитрида кремния и укажите условия их протекания.
399. Составьте уравнения реакций: а) кремния с раствором щелочи; б) окисления силана кислородом.
400. Как получают оксид углерода (II)? На каком свойстве основано его применение в металлургии? Составьте уравнения реакций монооксида углерода: а) с хлором; б) с аммиаком при  $500^\circ\text{C}$ .
401. Как получают металлический натрий? Составьте электронные уравнения процессов, проходящих на электродах при электролизе расплава NaOH.
402. Как можно получить гидрид и нитрид кальция? Напишите уравнения реакций взаимодействия этих соединений с водой.
403. Гидроксид какого из s-элементов проявляет амфотерные свойства? Составьте уравнения реакций взаимодействия этого гидроксида: а) с кислотой; б) со щелочью.
404. Составьте уравнения реакций взаимодействия: а) Be с раствором щелочи; б) магния с концентрированной серной кислотой, имея в виду максимальное восстановление последней.
405. При сплавлении оксид бериллия взаимодействует с диоксидом кремния и с оксидом натрия. Напишите уравнения соответствующих реакций. Какие свойства BeO подтверждают эти реакции?
406. Как можно получить карбид кальция? Напишите уравнение реакции взаимодействия карбида кальция с водой.



407. Как можно получить гидроксиды щелочных металлов? Составьте уравнения реакций, происходящих при насыщении гидроксида натрия: а) хлором; б) диоксидом серы; в) сероводородом.
408. Чем можно объяснить большую восстановительную способность щелочных металлов? Составьте уравнения реакций взаимодействия натрия: а) с водой; б) с хлором
409. Какое свойство кальция позволяет применять его в металлургии для получения некоторых металлов из их соединений? Составьте уравнение реакции взаимодействия кальция с  $V_2O_5$ .
410. Какие соединения называются негашеной и гашеной известью? Составьте уравнения реакций их получения.
411. Составьте уравнения реакций взаимодействия: а) кальция с водой; б) магния с азотной кислотой, учитывая максимальное восстановление последней.
412. Составьте уравнения реакций, которые нужно провести для осуществления следующих превращений:  $Ca \rightarrow CaH_2 \rightarrow Ca(OH)_2 \rightarrow CaCO_3 \rightarrow Ca(HCO_3)_2$ .
413. Какие соли обуславливают жесткость природной воды? Какую жесткость называют карбонатной, некарбонатной? Как можно устранить карбонатную, некарбонатную жесткость? Напишите уравнения соответствующих реакций.
414. Составьте уравнения реакций, которые нужно провести для осуществления следующих превращений:  $Al \rightarrow Al_2(SO_4)_3 \rightarrow Na[Al(OH)_4] \rightarrow Al(NO_3)_3$ .
415. Составьте уравнения реакций взаимодействия: а) алюминия с раствором щелочи; б) алюминия с  $H_2SO_4$ .
416. Какая степень окисления наиболее характерна для олова и какая для свинца? Составьте уравнения реакций взаимодействия олова и свинца с концентрированной азотной кислотой.
417. Чем можно объяснить восстановительные свойства соединений олова (+2), окислительные свойства свинца (+4)? Составьте уравнения реакций взаимодействия: а)  $SnCl_2 + KMnO_4 + HCl \rightarrow$ ; б)  $PbO_2 + HCl_{конц} \rightarrow$ .
418. Какие оксиды и гидроксиды образуют олово и свинец? Как изменяются их кислотно-основные и окислительно-восстановительные свойства в зависимости от степени окисления элементов? Составьте уравнения реакций взаимодействия: а)  $Sn + NaOH \rightarrow$ ; б)  $NaOH + Pb(OH)_2 \rightarrow$ .

419. Какую степень окисления проявляют сурьма и висмут? Какая степень окисления является более характерной для каждого из них? Составьте уравнения реакции взаимодействия висмута с концентрированной серной кислотой.
420. К раствору содержащему  $\text{SbCl}_3$  и  $\text{BiCl}_3$ , добавили избыток раствора гидроксида калия. Напишите молекулярные и ионные уравнения, происходящих реакций. Какое вещество находится в осадке?
421. Составьте уравнения реакций: а) получения гидроксида калия; б) взаимодействия гидроксида с водой. Какой газ и в каком объеме получится при взаимодействии 5,3 г гидроксида калия с водой?
422. Сколько граммов белильной извести  $\text{Ca(OCl)}_2$  может быть получено, если через раствор, содержащий 1,7 г гашеной извести, пропустить 5,6 л хлора?
423. Составьте уравнения химических реакций, с помощью которых можно осуществить превращения:  $\text{Bi}_2\text{O}_3 \rightarrow \text{Bi} \rightarrow \text{Bi(NO}_3)_3 \rightarrow \text{Bi(OH)}_3 \rightarrow \text{BiCl}_3 \rightarrow \rightarrow \text{KBiO}_3 \rightarrow \text{Bi(NO}_3)_3 \rightarrow \text{Bi}_2\text{S}_3$ .
424. Какая масса висмутата натрия получится при действии на  $\text{Bi(NO}_3)_3$  0,250 л 0,3н раствора  $\text{Na}_2[\text{Sn(OH)}_4]$  в щелочной среде?
425. С помощью каких химических реакций можно осуществить превращения:  $\text{PbS} \rightarrow \text{PbO} \rightarrow \text{Pb}_3\text{O}_4 \rightarrow \text{PbO}_2 \rightarrow \text{Pb(NO}_3)_2 \rightarrow \text{Pb(OH)}_2 \rightarrow \text{Na}_2[\text{Pb(OH)}_4]$ ?
426. С помощью каких химических реакций можно осуществить превращения:  $\text{Ga} \rightarrow \text{Ga}_2\text{O}_3 \rightarrow \text{GaCl}_3 \rightarrow \text{Ga(OH)}_3 \rightarrow \text{K}_3[\text{Ga(OH)}_6]$ ?
427. Напишите уравнения реакций, в результате которых можно осуществить превращения:  $\text{NaCl} \rightarrow \text{Na} \rightarrow \text{NaOH} \rightarrow \text{NaHCO}_3 \rightarrow \text{Na}_2\text{CO}_3 \rightarrow \text{NaCH}_3\text{COO}$ .
428. Составьте в молекулярном и ионно-молекулярном виде уравнения реакции взаимодействия гидроксида бериллия с гидроксидом натрия. Какие соли называются бериллатами? а)  $\text{Be} + \text{NaOH} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow$ ; б)  $\text{Be(OH)}_2 + \text{NaOH} \rightarrow$ .
429. Составьте уравнения реакций, которые нужно провести для осуществления превращений:  $\text{Be} \rightarrow \text{BeCl}_2 \rightarrow \text{Be(OH)}_2 \rightarrow \text{Na}_2[\text{Be(OH)}_4]$ .
430. Какая степень окисления характерна для соединений таллия? Закончите уравнения реакций: а)  $\text{Tl} + \text{HNO}_3_{\text{конц}} \rightarrow$ ; б)  $\text{Tl}_2\text{SO}_4 + \text{KMnO}_4 + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow$ .
431. При взаимодействии галлия и его гидроксида с растворами щелочей образуются гидроксокомплексы галлия (III). Закончите уравнения реакций: а)  $\text{Ga} + \text{NaOH} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow$ ; б)  $\text{Ga(OH)}_3 + \text{Ba(OH)}_2 \rightarrow$ .

432. К какому классу соединений относится  $\text{PbO}_2$  и  $\text{Pb}_3\text{O}_4$ ? Напишите их графические формулы. Составьте уравнения реакции  $\text{Pb}_3\text{O}_4$  с разбавленной азотной кислотой.
433. Чем можно объяснить окислительные свойства диоксида свинца? Закончите уравнения реакций: а)  $\text{PbO}_2 + \text{Mn}(\text{NO}_3)_2 + \text{HNO}_3 \rightarrow \text{HMnO}_4 + \dots$ ;  
б)  $\text{PbO}_2 + \text{SO}_2 \rightarrow$ .
434. Чем можно объяснить восстановительные свойства соединений германия (II) и олова (II)? Закончите уравнения реакций:  
а)  $\text{SnCl}_2 + \text{Na}_3\text{AsO}_4 + \text{HCl} \rightarrow$ ; б)  $\text{SnCl}_2 + \text{NaBiO}_3 + \text{HCl} \rightarrow$ .
435. Составьте уравнения реакций растворения: а) свинца в концентрированном растворе  $\text{NaOH}$ ; б) олова в концентрированной азотной кислоте.
436. Ортоплюмбат свинца (сурик) образуется при сплавлении его оксидов (II) и (IV). Какие свойства проявляют эти оксиды в данной реакции? Закончите уравнения реакций: а)  $\text{PbO} + \text{PbO}_2 \rightarrow$ ; б)  $\text{PbO}_2 + \text{CaO} \rightarrow$ .
437. Какими кислотно-основными свойствами обладают монооксид свинца и дигидроксид свинца? Закончите уравнения реакций: а)  $\text{PbO} + \text{NaOH} \rightarrow$ ;  
б)  $\text{Pb}(\text{OH})_2 + \text{HCl} \rightarrow$ ; в)  $\text{Na}_2\text{PbO}_2 + \text{HCl} \rightarrow$ .
438. Чем отличается взаимодействие германия и свинца с концентрированной азотной кислотой? Составьте уравнения реакций: а)  $\text{Ge} + \text{HNO}_{3\text{конц}} \rightarrow$ ;  
б)  $\text{Pb} + \text{HNO}_{3\text{конц}} \rightarrow$ .
439. Закончите уравнения реакций: а)  $\text{SnCl}_2 + \text{HNO}_3 + \text{HCl} \rightarrow$ ;  
б)  $\text{Ge} + \text{KClO}_3 + \text{KOH} \rightarrow$ .
440. Составьте уравнения реакций, с помощью которых можно осуществить превращения:  $\text{SnO}_2 \rightarrow \text{Sn} \rightarrow \text{SnCl}_2 \rightarrow \text{SnCl}_4 \rightarrow \text{Sn}(\text{OH})_4 \rightarrow \text{Na}_2[\text{Sn}(\text{OH})_6]$ .
441. Составьте уравнения реакций, с помощью которых можно осуществить превращения:  $\text{Ge} \rightarrow \text{GeO}_2 \rightarrow \text{Ge} \rightarrow \text{GeCl}_4 \rightarrow \text{GeS}_2$ .
442. Составьте уравнения реакций: а)  $\text{PbO}_2 + \text{Cr}(\text{NO}_3)_3 + \text{NaOH} \rightarrow$ ;  
б)  $\text{SnCl}_2 + \text{KBrO}_3 + \text{HCl} \rightarrow$ .
443. Какая степень окисления наиболее характерна для висмута? Составьте уравнения реакций: а)  $\text{KBiO}_3 + \text{MnSO}_4 + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow$ ; б)  $\text{NaBiO}_3 + \text{HCl}_{\text{конц}} \rightarrow$ ;  
в)  $\text{NaBiO}_3 + \text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3 + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow$ .

444. Составьте уравнения реакций, с помощью которых можно осуществить следующие превращения:  $\text{Bi} \rightarrow \text{Bi}(\text{NO}_3)_3 \rightarrow \text{Bi}(\text{OH})_3 \rightarrow \text{NaBiO}_3 \rightarrow \text{BiCl}_3 \rightarrow \text{BiCl}_2 \rightarrow \text{BiOCl}_2$ .
445. Как получить нитриды натрия и калия? Какой характер связи в нитридах щелочных металлов? Составьте уравнения реакций взаимодействия их с водой и реакции получения нитридов.
446. Рубидий получают восстановлением хлорида рубидия кальцием. Вычислите, сколько необходимо хлорида рубидия для получения 1 кг металлического рубидия?
447. В виде каких соединений находятся в природе щелочные металлы? Какими методами получают щелочные металлы? Напишите уравнения реакций, протекающих при их получении.
448. Какие оксиды образуются при взаимодействии щелочных металлов с кислородом воздуха? Напишите уравнения реакций образования оксидов и их взаимодействия с водой и диоксидом углерода.
449. Составьте уравнения реакций взаимодействия щелочных металлов с водородом. Укажите степень окисления водорода и характер связи в гидридах. Напишите уравнения реакции взаимодействия гидроксида натрия с водой.
450. Вычислите, сколько граммов 20%-ного раствора  $\text{HCl}$  необходимо для взаимодействия с 4,5 г  $\text{NaOH}$ ?
451. Серебро не взаимодействует с разбавленной серной кислотой, тогда как в концентрированной оно растворяется. Чем это можно объяснить? Составьте молекулярное уравнение соответствующей реакции.
452. Составьте уравнение реакций, которые надо провести для осуществления следующих превращений:  $\text{Cu} \rightarrow \text{Cu}(\text{NO}_3)_2 \rightarrow \text{Cu}(\text{OH})_2 \rightarrow \text{CuCl}_2 \rightarrow [\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]\text{Cl}_2$ .
453. Составьте молекулярные уравнения реакций взаимодействия цинка: а) с раствором гидроксида натрия, б) с концентрированной серной кислотой, учитывая восстановление серы до нулевой степени окисления.
454. Составьте уравнения реакций, которые надо провести для осуществления следующих превращений:  $\text{Ag} \rightarrow \text{AgNO}_3 \rightarrow \text{AgCl} \rightarrow [\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]\text{Cl} \rightarrow \text{AgCl}$ .
455. При постепенном прибавлении раствора  $\text{KI}$  к раствору  $\text{Hg}(\text{NO}_3)_2$  образующийся вначале осадок растворяется. Какое комплексное соединение при

этом получается? Составьте молекулярные и ионные уравнения соответствующих реакций.

456. При постепенном прибавлении раствора аммиака к раствору сульфата кадмия образующийся вначале осадок основной соли растворяется. Составьте молекулярные и ионные уравнения соответствующих реакций.
457. 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 ионные уравнения соответствующих реакций.
458. К какому классу соединений, относятся вещества, образующиеся при действии избытка гидроксида натрия на растворы  $ZnCl_2$ ,  $CdCl_2$ ,  $HgCl_2$ ? Составьте молекулярные и ионные уравнения соответствующих реакций.
459. При действии на титан концентрированной соляной кислоты образуется трихлорид титана, а при действии азотной – осадок метатитановой кислоты. Составьте молекулярные уравнения соответствующих реакций.
460. При растворении титана в концентрированной серной кислоте последняя восстанавливается минимально, а титан переходит в катион с максимальной степенью окисления. Составьте молекулярное уравнение реакции.
461. Какую степень окисления проявляют медь, серебро и золото в соединениях? Какая степень окисления наиболее характерна для каждого из них? Йодид калия восстанавливает ионы меди (+2) в соединениях меди до степени окисления +1. Составьте молекулярное уравнение взаимодействия KI с сульфатом меди.
462. Диоксиды титана и циркония при сплавлении взаимодействуют со щелочами. О каких свойствах оксидов говорят эти реакции? Напишите уравнения реакций между: а)  $TiO_2$  и BaO, б)  $ZrO_2$  и NaOH. В первой реакции образуется метатитанат, а во второй – ортоцирконат соответствующих металлов.
463. На гидроксиды цинка и кадмия подействовали избытком растворов серной кислоты, гидроксида натрия и аммиака. Какие соединения цинка и кадмия образуются в каждом из этих случаев? Составьте молекулярные и ионные уравнения реакций.

464. Золото растворяется в царской водке и в селеновой кислоте, приобретая при этом максимальную степень окисления. Составьте молекулярные уравнения соответствующих реакций.
465. В присутствии влаги и диоксида углерода медь окисляется и покрывается зеленым налетом. Как называется и каков состав образующегося соединения? Что произойдет, если на него подействовать соляной кислотой? Напишите уравнения соответствующих реакций.
466. Кусок латуни обработали азотной кислотой. Раствор разделили на две части. К одной из них прибавили избыток аммиака, к другой – избыток раствора щелочи. Какие соединения цинка и меди образуются при этом? Составьте уравнения соответствующих реакций.
467. Ванадий получают алюмотермически или кальцийтермически восстановлением ванадиевого ангидрида  $V_2O_5$ . Последний легко растворяется в щелочах с образованием метаванадатов. Напишите уравнения соответствующих реакций.
468. Азотная кислота окисляет ванадий до метаванадиевой кислоты. Составьте молекулярное уравнение реакции.
469. Какую степень окисления проявляет ванадий в соединениях? Составьте 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 взаимодействия: а)  $V_2O_3$  с  $H_2SO_4$ , б)  $V_2O_5$  с  $NaOH$ .
470. При внесении цинка в подкисленный серной кислотой раствор метаванадата аммония  $NH_4VO_3$  желтая окраска постепенно переходит в фиолетовую за счет образования сульфата ванадия (+2). Составьте молекулярное уравнение реакции.
471. Хромит калия окисляется бромом в щелочной среде. Зеленая окраска раствора переходит в желтую. Составьте молекулярное уравнение реакции. Какие ионы обуславливают начальную и конечную окраску раствора?
472. Составьте молекулярные уравнения реакций: а) растворения молибдена в азотной кислоте; б) растворения вольфрама в щелочи в присутствии кислорода. Учтите, что молибден и вольфрам приобретают высшую степень окисления.

473. При сплавлении хромита железа (+2) с карбонатом натрия в присутствии кислорода, хром (+3) окисляется и приобретает степень окисления (+6). Составьте молекулярное уравнение реакции.
474. К подкисленному серной кислотой раствору дихромата калия прибавили порошок алюминия. Через некоторое время оранжевая окраска раствора стала зеленой. Составьте молекулярные уравнения происходящей реакции.
475. Хром получают алюмотермически из его оксида (+3), а вольфрам восстановлением вольфрамового ангидрида водородом. Составьте молекулярные уравнения соответствующих реакций.
476. Составьте уравнения реакций, которые надо провести для осуществления следующих превращений:  $\text{Na}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 \rightarrow \text{Na}_2\text{CrO}_4 \rightarrow \text{Na}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 \rightarrow \text{CrCl}_3$ . Уравнение окислительно-восстановительной реакции напишите на основании метода полуреакций.
477. Марганец азотной кислотой окисляется минимально, а рений максимально. Какие соединения при этом получаются? Составьте молекулярные уравнения соответствующих реакций.
478. Хлор окисляет марганат калия. Какое соединение при этом получается? Как меняется окраска раствора в результате этой реакции? Составьте молекулярное уравнение.
479. Как меняется степень окисления марганца при восстановлении  $\text{KMnO}_4$  в кислой, нейтральной и щелочной средах? Составьте молекулярное уравнение реакции взаимодействия  $\text{KMnO}_4$  с  $\text{KNO}_2$  в нейтральной среде.
480. На основании метода полуреакций составьте уравнение реакции получения марганата калия сплавлением диоксида марганца с хлоратом калия в присутствии гидроксида натрия. Хлорат восстанавливается максимально.
481. Почему диоксид марганца может проявлять и окислительные, и восстановительные свойства? Составьте уравнения реакций:  
 а)  $\text{MnO}_2 + \text{KI} + \text{H}_2\text{SO}_4 =$  ; б)  $\text{MnO}_2 + \text{KNO}_3 + \text{KOH} =$  .
482. Для получения хлора в лаборатории смешивают диоксид марганца с хлоридом натрия в присутствии концентрированной серной кислоты. Составьте молекулярное уравнение реакции.
483. Составьте уравнение реакций, которые надо провести для осуществления следующих превращений:  $\text{Fe} \rightarrow \text{FeSO}_4 \rightarrow \text{Fe}(\text{OH})_2 \rightarrow \text{Fe}(\text{OH})_3$ . Уравнения

окислительно-восстановительных реакций напишите на основании метода полуреакций.

484. Какую степень окисления проявляет железо в соединениях? Как можно обнаружить ионы  $\text{Fe}^{2+}$  и  $\text{Fe}^{3+}$  в растворе? Составьте молекулярные и ионные уравнения соответствующих реакций.
485. Чем отличается взаимодействие тригидроксидов кобальта и никеля с кислотами от взаимодействия тригидроксида железа с кислотами? Почему? Составьте молекулярные уравнения соответствующих реакций.
486. Могут ли в растворе существовать совместно следующие вещества:  
а)  $\text{FeCl}_3$  и  $\text{SnCl}_2$ ; б)  $\text{FeSO}_4$  и  $\text{NaOH}$ ; в)  $\text{FeCl}_3$  и  $\text{K}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]$ ? Ответ подтвердите, составив уравнения соответствующих реакций.
487. Составьте уравнения реакций, которые надо провести для осуществления следующих превращений:  $\text{Ni} \rightarrow \text{Ni}(\text{NO}_3)_2 \rightarrow \text{Ni}(\text{OH})_2 \rightarrow \text{Ni}(\text{OH})_3$ . Уравнения окислительно-восстановительных реакций напишите на основании метода полуреакций.
488. 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.
489. Составьте молекулярные и ионные уравнения реакций, которые надо провести для осуществления следующих превращений:  
 $\text{Fe} \rightarrow \text{FeCl}_2 \rightarrow \text{Fe}(\text{CN})_2 \rightarrow \text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]$ .
490. Феррат калия  $\text{K}_2\text{FeO}_4$  образуется при сплавлении  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  с  $\text{KNO}_2$  в присутствии гидроксида калия. Составьте молекулярное уравнение реакции.
491. Составьте уравнения реакций, протекающих при осуществлении следующих превращений:  $\text{Fe} \rightarrow \text{FeCl}_2 \rightarrow \text{Fe}(\text{OH})_2 \rightarrow \text{Fe}(\text{OH})_3 \rightarrow \text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 \rightarrow \rightarrow \text{Fe}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]_3$ . К окислительно-восстановительным реакциям напишите ионно-электронный баланс.
492. Напишите уравнения реакций, дайте характеристику свойств гидроксидов, укажите цвет соединений: а)  $\text{Fe}(\text{OH})_2 + \text{O}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow$ ; б)  $\text{Co}(\text{OH})_2 + \text{H}_2\text{O}_2 \rightarrow$ ; в)  $\text{Ni}(\text{OH})_2 + \text{Br}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow$ .
493. Составьте уравнения реакций, протекающих в превращениях:  
 $\text{Co} \rightarrow \text{Co}(\text{NO}_3)_2 \rightarrow \text{Co}(\text{OH})_2 \rightarrow \text{Co}(\text{OH})_3 \rightarrow \text{CoCl}_2$ .
494. Составьте уравнения реакций, происходящих в превращениях:



$\text{Ni} \rightarrow \text{Ni}(\text{NO}_3)_2 \rightarrow \text{Ni}(\text{OH})_2 \rightarrow \text{Ni}(\text{OH})_3 \rightarrow \text{NiCl}_2 \rightarrow \text{K}_2[\text{Ni}(\text{CN})_4]$ . Для окислительно-восстановительных реакций составьте ионно-электронный баланс.

495. Почему сульфиды никеля и кобальта нерастворимы в разбавленной соляной кислоте, но растворяются при нагревании в азотной? Напишите уравнения происходящих реакций.
496. Оксид лантана (III) получается разложением нитрата при нагревании. Реакция разложения идет по схеме  $\text{La}(\text{NO}_3)_3 \rightarrow \text{La}_2\text{O}_3 + \text{NO}_2 + \text{O}_2$ . Какая масса нитрата лантана разложилась и сколько образовалось оксида лантана, если выделилось 5,6 л диоксида азота (н.у.)?
497. Какой объем (н.у.) занимает водород, выделившийся при разложении 70,96 г гидрида лантана? Напишите уравнения реакции.
498. Восстановление нитрата церия (III) перманганатом калия легче всего протекает в щелочной среде. Реакция идет по схеме  $\text{Ce}(\text{NO}_3)_2 + \text{KMnO}_4 + \text{KOH} \rightarrow \text{CeO}_3 + \text{K}_2\text{MnO}_4 + \text{KNO}_3 + \text{H}_2\text{O}$ . Какая масса диоксида церия образовалась, если в реакцию вступило 0,05 л 0,1н. раствора  $\text{KMnO}_4$ ?
499. Реакция взаимодействия гидроксида церия (IV) с соляной кислотой идет по схеме  $\text{Ce}(\text{OH})_4 + \text{HCl} \rightarrow \text{CeCl}_3 + \text{Cl}_2 + \text{H}_2\text{O}$ . Определите, массу гидроксида церия, вступившего в реакцию, если при этом выделилось 0,3584 л хлора (н.у.).
500. Треххлористый уран разлагает воду, процесс разложения идет по реакции  $\text{UCl}_3 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{U}(\text{OH})_2\text{Cl}_2 + \text{H}_2 + \text{HCl}$ . Какая масса хлорида урана (III) вступила в реакцию, если на титрование получившейся соляной кислоты пошло 0,02 л 0,2н.  $\text{NaOH}$ ?

## ВАРИАНТЫ КОНТРОЛЬНЫХ ЗАДАНИЙ

Для специальностей направления “Металлургия” (0904)

Номер варианта	Номера контрольного задания	Номера задач									
		1	26	51	76	101	126	151	176	201	226
01	I	1	26	51	76	101	126	151	176	201	226
	II	263	276	301	326	351	376	401	426	451	476
02	I	2	27	52	77	102	127	152	177	202	227
	II	264	277	302	327	352	377	402	427	452	477
03	I	3	28	53	78	103	128	153	178	203	228
	II	265	278	303	328	353	378	403	428	453	478
04	I	4	29	54	79	104	129	154	179	204	229
	II	266	279	304	329	354	379	404	429	454	479
05	I	5	30	55	80	105	130	155	180	205	230
	II	267	280	305	330	355	380	405	430	455	480
06	I	6	31	56	81	106	131	156	181	206	231
	II	268	281	306	331	356	381	406	431	456	481
07	I	7	32	57	82	107	132	157	182	207	232
	II	269	282	307	332	357	382	407	432	457	482
08	I	8	33	58	83	108	133	158	183	208	233
	II	270	283	308	333	358	383	408	433	458	483
09	I	9	34	59	84	109	134	159	184	209	234
	II	271	284	309	334	359	384	409	434	459	484
10	I	10	35	60	85	110	135	160	185	210	235
	II	272	285	310	335	360	385	410	435	460	485
11	I	11	36	61	86	111	136	161	186	211	236
	II	273	286	311	336	361	386	411	436	461	486
12	I	12	37	62	87	112	137	162	187	212	237
	II	274	287	312	337	362	387	412	437	462	487
13	I	13	38	63	88	123	138	163	188	213	238
	II	275	288	313	338	363	388	413	438	463	488

14	I	14	39	64	89	124	139	164	189	214	239
	II	251	289	314	339	364	389	414	439	464	489
15	I	15	40	65	90	125	140	165	190	215	240
	II	252	290	315	340	365	390	415	440	465	490
16	I	16	41	66	91	126	141	166	191	216	241
	II	253	291	316	341	366	391	416	441	466	491
17	I	17	42	67	92	127	142	167	192	217	242
	II	254	292	317	342	367	392	417	442	467	492
18	I	18	43	68	93	128	143	168	193	218	243
	II	255	293	318	343	368	393	418	443	468	493
19	I	19	44	69	94	129	144	169	194	219	244
	II	256	294	319	344	369	394	419	444	469	494
20	I	20	45	70	95	130	145	170	195	220	245
	II	257	295	320	345	370	395	420	445	470	495
21	I	21	46	71	96	131	146	171	196	221	246
	II	258	296	321	346	371	396	421	446	471	496
22	I	22	47	72	97	132	147	172	197	222	247
	II	259	297	322	347	372	397	422	447	472	497
23	I	23	48	73	98	133	148	173	198	223	248
	II	260	298	323	348	373	398	423	448	473	498
24	I	24	49	74	99	134	149	174	199	224	249
	II	261	299	324	349	374	399	424	449	474	499
25	I	25	50	75	100	135	150	175	200	225	250
	II	262	300	325	350	375	400	425	450	475	500
26	I	1	28	55	82	109	136	163	190	217	244
	II	263	288	312	336	360	384	408	432	456	480
27	I	2	29	56	83	110	137	164	191	218	245
	II	264	289	313	337	361	385	409	433	457	481
28	I	3	30	57	84	111	138	165	192	219	246
	II	265	290	314	338	362	386	410	434	458	482
29	I	4	31	58	85	112	139	166	193	220	247
	II	266	291	315	339	363	387	411	435	459	483

30	I	5	32	59	86	113	140	167	194	221	248
	II	267	292	316	340	364	388	412	436	460	484
31	I	6	33	60	87	114	141	168	195	222	249
	II	268	293	317	341	365	389	413	437	461	485
32	I	7	34	61	88	115	142	169	196	223	250
	II	269	294	318	342	366	390	414	438	462	486
33	I	8	35	62	89	116	143	170	197	224	226
	II	270	295	319	343	367	391	415	439	463	487
34	I	9	36	63	90	117	144	171	198	225	227
	II	271	296	320	344	368	392	416	440	464	488
35	I	10	37	64	91	118	145	172	199	201	228
	II	272	297	321	345	369	393	417	441	465	489
36	I	11	38	65	92	119	146	173	200	202	229
	II	273	298	322	346	370	394	418	442	466	490
37	I	12	39	66	93	120	147	174	176	203	230
	II	274	299	323	347	371	395	419	443	467	491
38	I	13	40	67	94	121	148	175	177	204	231
	II	275	300	324	348	372	396	420	444	468	492
39	I	14	41	68	95	122	149	151	178	205	232
	II	251	276	325	349	373	397	421	445	469	493
40	I	15	42	69	96	123	150	152	179	206	233
	II	252	277	301	350	374	398	422	446	470	494
41	I	16	43	70	97	124	126	153	180	207	234
	II	253	278	302	326	375	399	423	447	471	495
42	I	17	44	71	98	125	127	154	181	208	235
	II	254	279	303	327	351	400	424	448	472	496
43	I	18	45	72	99	101	128	155	182	209	236
	II	255	280	304	328	352	376	425	449	473	497
44	I	19	46	73	100	102	129	156	183	210	237
	II	256	281	305	329	353	377	401	450	474	498
45	I	20	47	74	76	103	130	157	184	211	238
	II	257	282	306	330	354	378	402	426	475	499

46	I	21	48	75	77	104	131	158	185	212	239
	II	258	283	307	331	355	379	403	427	451	500
47	I	22	49	51	78	105	132	159	186	213	240
	II	259	284	308	332	356	380	404	428	452	476
48	I	23	50	52	79	106	133	160	187	214	241
	II	260	285	309	333	357	381	405	429	453	477
49	I	24	26	53	80	107	134	161	188	215	242
	II	261	286	310	334	358	382	406	430	454	478
50	I	25	27	54	81	108	135	162	189	216	243
	II	262	287	311	335	359	383	407	431	455	479
51	I	1	48	72	96	120	144	168	192	216	240
	II	263	298	322	346	370	394	418	442	466	490
52	I	2	49	73	97	121	145	169	193	217	241
	II	264	299	323	347	371	395	419	443	467	491
53	I	3	50	74	98	122	146	170	194	218	242
	II	265	300	324	348	372	396	420	444	468	492
54	I	4	26	75	99	123	147	171	195	219	243
	II	266	276	325	349	373	397	421	445	469	493
55	I	5	27	51	100	124	148	172	196	220	244
	II	267	277	301	350	374	398	422	446	470	494
56	I	6	28	52	76	125	149	173	197	221	245
	II	268	278	302	326	375	399	423	447	471	495
57	I	7	29	53	77	101	150	174	198	222	246
	II	269	279	303	327	351	400	424	448	472	496
58	I	8	30	54	78	102	126	175	199	223	247
	II	270	280	304	328	352	376	425	449	473	497
59	I	9	31	55	79	103	127	151	200	224	248
	II	271	281	305	329	353	377	401	450	474	498
60	I	10	32	56	80	104	128	152	176	225	249
	II	272	282	306	330	354	378	402	426	475	499
61	I	11	33	57	81	105	129	153	177	201	250
	II	273	283	307	331	355	379	403	427	451	500

62	I	12	34	58	82	106	130	154	178	202	226
	II	274	284	308	332	356	380	404	428	452	476
63	I	13	35	59	83	107	131	155	179	203	227
	II	275	285	309	333	357	381	405	429	453	477
64	I	14	36	60	84	108	132	156	180	204	228
	II	251	286	310	334	358	382	406	430	454	478
65	I	15	37	61	85	109	133	157	181	205	229
	II	252	287	311	335	359	383	407	431	455	479
66	I	16	38	62	86	110	134	158	182	206	230
	II	253	288	312	336	360	384	408	432	456	480
67	I	17	39	63	87	111	135	159	183	207	231
	II	254	289	313	337	361	385	409	433	457	481
68	I	18	40	64	88	112	136	160	184	208	232
	II	255	290	314	338	362	386	410	434	458	482
69	I	19	41	65	89	113	137	161	185	209	233
	II	256	291	315	339	363	387	411	435	459	483
70	I	20	42	66	90	114	138	162	186	210	234
	II	257	292	316	340	364	388	412	436	460	484
71	I	21	43	67	91	115	139	163	187	211	235
	II	258	293	317	341	365	389	413	437	461	485
72	I	22	44	68	92	116	140	164	188	212	236
	II	259	294	318	342	366	390	414	438	462	486
73	I	23	45	69	93	117	141	165	189	213	237
	II	260	295	319	343	367	391	415	439	463	487
74	I	24	46	70	94	118	142	166	190	214	238
	II	261	296	320	344	368	392	416	440	464	488
75	I	25	47	71	95	119	143	167	191	215	239
	II	262	297	321	345	369	393	417	441	465	489
76	I	1	39	63	87	111	135	159	183	207	231
	II	263	279	305	331	357	383	409	435	461	487
77	I	2	40	64	88	112	136	160	184	208	232
	II	264	280	306	332	358	384	410	436	462	488

78	I	3	41	65	89	113	137	161	185	209	233
	II	265	281	307	333	359	385	411	437	463	489
79	I	4	42	66	90	114	138	162	186	210	234
	II	266	282	308	334	360	386	412	438	464	490
80	I	5	43	67	91	115	139	163	187	211	235
	II	267	283	309	335	361	387	413	439	465	491
81	I	6	44	68	92	116	140	164	188	212	236
	II	268	284	310	336	362	388	414	440	466	492
82	I	7	45	69	93	117	141	165	189	213	237
	II	269	285	311	337	363	389	415	441	467	493
83	I	8	46	70	94	118	142	166	190	214	238
	II	270	286	312	338	364	390	416	442	468	494
84	I	9	47	71	95	119	143	167	191	215	239
	II	271	287	313	339	365	391	417	443	469	495
85	I	10	48	72	96	120	144	168	192	216	240
	II	272	288	314	340	366	392	418	444	470	496
86	I	11	49	73	97	121	145	169	193	217	241
	II	273	289	315	341	367	393	419	445	471	497
87	I	12	50	74	98	122	146	170	194	218	242
	II	274	290	316	342	368	394	420	446	472	498
88	I	13	26	75	99	123	147	171	195	219	243
	II	275	291	317	343	369	395	421	447	473	499
89	I	14	27	51	100	124	148	172	196	220	244
	II	251	292	318	344	370	396	422	448	474	500
90	I	15	28	52	76	125	149	173	197	221	245
	II	252	293	319	345	371	397	423	449	475	476
91	I	16	29	53	77	101	150	174	198	222	246
	II	253	294	320	346	372	398	424	450	451	477
92	I	17	30	54	78	102	126	175	199	223	247
	II	254	295	321	347	373	399	425	426	452	478
93	I	18	31	55	79	103	127	151	200	224	248
	II	255	296	322	348	374	400	401	427	453	479

94	I	19	32	56	80	104	128	152	176	225	249
	II	256	297	323	349	375	376	402	428	454	480
95	I	20	33	57	81	105	129	153	177	201	250
	II	257	298	324	350	351	377	403	429	455	481
96	I	21	34	58	82	106	130	154	178	202	226
	II	258	299	325	326	352	378	404	430	456	482
97	I	22	35	59	83	107	131	155	179	203	227
	II	259	300	301	327	353	379	405	431	457	483
98	I	23	36	60	84	108	132	156	180	204	228
	II	260	276	302	328	354	380	406	432	458	484
99	I	24	37	61	85	109	133	157	181	205	229
	II	261	277	303	329	355	381	407	433	459	485
00	I	25	38	62	86	110	134	158	182	206	230
	II	262	278	304	330	356	382	408	434	460	486

Для специальностей направления “Инженерная механика” (0902)

Номер варианта	Номера задач									
1	1	51	176	226	263	276	326	425	451	483
2	2	52	177	227	264	277	327	426	452	484
3	3	53	178	228	265	278	328	427	453	485
4	4	54	179	229	266	279	329	428	454	486
5	5	55	180	230	267	280	330	429	455	487
6	6	56	181	231	268	281	331	430	456	488
7	7	57	182	232	269	282	332	431	457	489
8	8	58	183	233	270	283	333	432	458	490
9	9	59	184	234	271	284	334	433	459	491
10	10	60	185	235	272	285	335	434	460	492
11	11	61	186	236	273	286	336	435	461	493
12	12	62	187	237	274	287	337	436	462	494
13	13	63	188	238	275	288	338	437	463	495



14	14	64	189	239	250	289	339	438	464	496
15	12	65	190	240	251	290	340	439	465	497
16	16	66	191	241	252	291	341	440	466	498
17	17	67	192	242	253	292	342	441	467	499
18	18	68	193	243	270	293	343	442	468	500
19	19	69	194	244	271	294	344	443	469	483
20	20	70	195	245	272	295	345	444	470	484
21	21	71	196	246	273	296	346	445	471	485
22	22	72	197	247	274	297	347	446	472	486
23	23	73	198	248	275	298	348	447	473	487
24	24	74	199	249	250	299	349	448	474	488
25	25	75	200	254	251	300	350	449	475	489
26	26	76	176	255	252	301	351	450	476	490
27	27	77	177	256	253	302	352	425	477	491
28	28	78	178	257	263	303	353	426	478	492
29	29	79	179	258	264	304	354	427	479	493
30	30	80	180	259	265	305	355	428	480	494
31	31	81	181	260	266	306	356	429	481	495
32	32	82	182	261	267	307	357	430	482	496
33	33	83	183	262	268	308	358	431	451	497
34	34	84	184	226	269	309	359	432	452	498
35	35	85	185	227	270	310	360	433	453	499
36	36	86	186	228	271	311	361	434	454	500
37	37	87	187	229	272	312	362	435	455	483
38	38	88	188	230	273	313	363	436	456	484
39	39	89	189	231	274	314	364	437	457	485
40	40	90	190	232	275	315	365	438	458	486
41	41	91	191	233	250	316	366	439	459	487
42	42	92	192	234	251	317	367	440	460	488
43	43	3	193	235	252	318	368	441	461	489
44	44	94	194	236	253	319	369	442	462	490
45	45	95	195	237	263	320	370	443	463	491
46	46	96	196	238	264	321	371	444	464	492

47	47	97	197	239	265	322	372	445	465	493
48	48	98	198	240	266	323	373	446	466	494
49	49	99	199	241	267	324	374	447	467	495
50	50	100	200	242	268	325	375	448	468	496
51	1	101	176	243	269	276	326	449	469	497
52	2	102	177	244	270	277	327	450	470	498
53	3	103	178	245	271	278	328	425	471	499
54	4	104	179	246	272	279	329	426	472	500
55	5	105	180	247	273	280	330	427	473	483
56	6	106	181	248	274	281	331	428	474	484
57	7	107	182	249	275	282	332	429	475	485
58	8	108	183	254	250	283	333	430	476	486
59	9	109	184	255	251	284	334	431	477	487
60	10	110	185	256	252	285	335	432	478	488
61	11	111	186	257	253	286	336	433	479	489
62	12	112	187	258	263	287	337	434	480	490
63	13	113	188	259	264	288	338	435	481	491
64	14	114	189	260	265	289	339	436	482	492
65	15	115	190	261	266	290	340	437	451	493
66	16	116	191	262	267	291	341	438	452	494
67	17	117	192	226	268	292	342	439	453	495
68	18	118	193	227	269	293	343	440	454	496
69	19	119	194	228	270	294	344	441	455	497
70	20	120	195	229	271	295	345	442	456	498
71	21	121	196	230	272	296	346	443	457	499
72	22	122	197	231	273	297	347	445	458	500
73	23	123	198	232	274	298	348	446	459	483
74	24	124	199	233	275	299	349	447	460	484
75	25	125	200	234	250	300	350	448	461	485
76	26	51	176	235	251	301	351	449	462	486
77	27	52	177	236	252	302	352	450	463	487
78	28	53	178	237	253	303	353	425	464	488
79	29	54	179	238	263	304	354	426	465	489

80	30	55	180	239	264	305	355	427	466	490
81	31	56	181	240	265	306	356	428	467	491
82	32	57	182	241	266	307	357	429	468	492
83	33	58	183	242	267	308	358	430	469	493
84	34	59	184	243	268	309	359	431	470	494
85	35	60	185	244	269	310	360	432	471	495
86	36	61	186	245	270	311	361	433	472	496
87	37	62	187	246	271	312	362	434	473	497
88	38	63	188	247	272	313	363	435	474	498
89	39	64	189	248	273	314	364	436	475	499
90	40	65	190	249	274	315	365	437	476	500
91	41	66	191	254	275	316	366	438	477	483
92	42	67	192	255	250	317	367	439	478	484
93	43	68	193	256	251	318	368	440	479	485
94	44	69	194	257	252	319	369	441	480	486
95	45	70	195	258	253	320	370	442	481	487
96	46	71	196	259	263	321	371	443	482	488
97	47	72	197	260	264	322	372	444	451	489
98	48	73	198	261	265	323	373	445	460	490
99	49	74	199	262	266	324	374	446	470	491
00	50	75	200	254	267	325	375	447	480	492

## ЛИТЕРАТУРА

1. Коровин Н.В. Общая химия. – М. Высшая школа. 1998. – 541 с.
2. Фролов В.В. Химия. – М. Высшая школа. 1986. – 542 с.
3. Глинка Н.Л. Общая химия. – Л. Химия. 1988. – 702 с.
4. Корчинський Г.А. Хімія. – Вінниця. 2002. – 525 с.

## ПРИЛОЖЕНИЕ

Таблица 1

Термодинамические константы некоторых веществ

Вещество	$\Delta H^{\circ}_{298}$ , кДж/моль	$\Delta G^{\circ}_{298}$ , кДж/моль	$S^{\circ}_{298}$ , Дж/(моль·К)
Ag (к)	0	0	42,69
AgBr (к)	-99,16	-95,94	107,1
AgCl (к)	-126,8	-109,7	96,07
AgI (к)	-64,2	-66,3	114,2
AgF (к)	-202,9	-174,9	83,7
AgNO <sub>3</sub> (к)	-120,7	-32,2	140,9
Ag <sub>2</sub> O (к)	-30,56	-10,82	121,7
Ag <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> (к)	-506,1	-437,1	167,4
Al (к)	0	0	28,31
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (к)	-1675,0	-1576,4	50,94
Al(OH) <sub>3</sub> (к)	-1275,7	-1139,72	71,1
AlCl <sub>3</sub> (к)	-697,4	-636,8	167,0
Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> (к)	-3434,0	-3091,9	239,2
As (к)	0	0	35,1
As <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (к)	-656,8	-575,0	107,1
As <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (к)	-918,0	-772,4	105,4
Au (к)	0	0	47,65
AuF (к)	-74,3	-58,6	96,4
AuF <sub>3</sub> (к)	-348,53	-297,48	114,2
Au(OH) <sub>3</sub> (к)	-418,4	-289,95	121,3
AuCl <sub>3</sub> (к)	-118,4	-48,53	146,4
B (к)	0	0	5,87
B <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (к)	-1264,0	-1184,0	53,85
B <sub>2</sub> H <sub>6</sub> (г)	31,4	-82,8	232,9
Ba (к)	0	0	64,9
BaO (к)	-556,6	-528,4	70,3
BaCO <sub>3</sub> (к)	-1202,0	-1138,8	112,1
Be (к)	0	0	9,54
BeO (к)	-598,7	-581,6	14,10
BeCO <sub>3</sub> (к)	-981,57	-944,75	199,4
Bi (к)	0	0	56,9
BiCl <sub>3</sub> (г)	-270,7	-260,2	356,9
BiCl <sub>3</sub> (к)	-379,1	-318,9	189,5
Br <sub>2</sub> (г)	30,92	3,14	245,35
HBr (г)	-36,23	-53,22	198,48
C (алмаз)	1,897	2,866	2,38

Продолжение табл. 1

Вещество	$\Delta H^{\circ}_{298}$ , кДж/моль	$\Delta G^{\circ}_{298}$ , кДж/моль	$S^{\circ}_{298}$ , Дж/(моль·К)
С (графит)	0	0	5,74
СО (г)	-110,5	-137,27	197,4
СО <sub>2</sub> (г)	-393,51	-394,38	213,6
СОСl <sub>2</sub> (г)	-223,0	-210,5	289,2
СS <sub>2</sub> (г)	115,3	65,1	237,8
СS <sub>2</sub> (ж)	87,8	63,6	151,0
С <sub>2</sub> Н <sub>2</sub> (г)	226,75	209,2	200,8
С <sub>2</sub> Н <sub>4</sub> (г)	52,28	68,12	219,4
СН <sub>4</sub> (г)	-74,85	-50,79	186,19
С <sub>2</sub> Н <sub>6</sub> (г)	-84,67	-32,89	229,5
С <sub>6</sub> Н <sub>6</sub> (ж)	49,04	124,50	173,2
СН <sub>3</sub> ОН (ж)	-238,7	-166,31	126,7
С <sub>2</sub> Н <sub>5</sub> ОН (ж)	-227,6	-174,77	160,7
СН <sub>3</sub> СООН (ж)	-484,9	-392,46	159,8
Са (к)	0	0	41,62
СаО (к)	-635,1	-604,2	39,7
СаF <sub>2</sub> (к)	-1214,0	-1161,9	68,87
СаСl <sub>2</sub> (к)	-785,8	-750,2	113,8
СаС <sub>2</sub> (к)	-62,7	-67,8	70,3
Са <sub>3</sub> Н <sub>2</sub> (к)	-431,8	-368,6	104,6
Са(ОН) <sub>2</sub> (к)	-986,2	-896,76	83,4
СаSO <sub>4</sub> (к)	-1424,0	-1320,3	106,7
СаSiO <sub>3</sub> (к)	-1579,0	-1495,4	87,45
Са <sub>3</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> (к)	-4125,0	-3899,5	240,9
СаСО <sub>3</sub> (к)	-1206,0	-1128,8	92,9
Сl <sub>2</sub> (г)	0	0	223,0
НСl (г)	-92,30	-95,27	186,7
НСl (ж)	-167,5	-131,2	55,2
НСlО (ж)	-116,4	-80,0	129,7
Сr (к)	0	0	23,76
Сr <sub>2</sub> О <sub>3</sub> (к)	-1141,0	-1046,84	81,1
Сr(СО) <sub>6</sub> (к)	-1075,62	-982,0	359,4
Сs <sub>2</sub> О (к)	0	0	84,35
Сs (к)	-317,6	-274,5	123,8
СsОН (к)	-406,5	-355,2	77,8
Сu (к)	0	0	33,3
Сu <sub>2</sub> О (к)	-167,36	-146,36	93,93
СuО (к)	-165,3	-127,19	42,64
Сu(ОН) <sub>2</sub> (к)	-443,9	-356,90	79,50

Продолжение табл. 1

Вещество	$\Delta H^{\circ}_{298}$ , кДж/моль	$\Delta G^{\circ}_{298}$ , кДж/моль	$S^{\circ}_{298}$ , Дж/(моль·К)
CuF <sub>2</sub> (к)	-530,9	-485,3	84,5
CuCl <sub>2</sub> (к)	-205,9	-166,1	113,0
CuBr <sub>2</sub> (к)	-141,42	-126,78	142,34
CuI <sub>2</sub> (к)	-21,34	-23,85	159,0
Cu <sub>2</sub> S (к)	-82,01	-86,19	119,24
CuS (к)	-48,5	-48,95	66,5
CuSO <sub>4</sub> (к)	-771,1	-661,91	113,3
CuCO <sub>3</sub> (к)	-594,96	-517,98	87,9
Cu(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> (к)	-307,11	-114,22	193,3
Fe (к)	0	0	27,15
FeO (к)	-263,68	-244,35	58,79
FeCl <sub>2</sub> (к)	-341,0	-302,08	119,66
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (к)	-821,32	-740,99	89,96
Fe(OH) <sub>3</sub> (к)	-824,25	-694,54	96,23
FeCl <sub>3</sub> (к)	-405,0	-336,39	130,1
FeSO <sub>4</sub> (к)	-922,57	-829,69	107,51
FeCO <sub>3</sub> (к)	-744,75	-637,88	92,9
GeO (к)	-305,4	-276,1	50,2
GeO <sub>2</sub> (к)	-539,74	-531,4	52,30
H <sub>2</sub> (г)	0	0	130,6
H <sub>2</sub> O (г)	-241,84	-228,8	188,74
H <sub>2</sub> O (ж)	-285,84	-237,5	69,96
H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> (ж)	-187,36	-117,57	105,86
Hg (к)	0	0	76,1
HgCl <sub>2</sub> (к)	-230,12	-185,77	144,35
Hg <sub>2</sub> Cl <sub>2</sub> (к)	-264,85	-210,66	195,81
I <sub>2</sub> (к)	0	0	116,73
I <sub>2</sub> (г)	62,24	19,4	260,58
HI (г)	25,94	1,30	206,33
HIO (ж)	-158,9	-98,7	24,32
K (к)	0	0	64,35
K <sub>2</sub> O (к)	-361,5	-193,3	87,0
KOH (к)	-425,93	-374,47	59,41
KNO <sub>3</sub> (к)	-492,71	-393,13	132,93
KNO <sub>2</sub> (к)	-370,28	-281,58	117,15
K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (к)	-1433,44	-1361,37	175,73
KHSO <sub>4</sub> (ж)	-1158,1	-1043,49	187,89

Продолжение табл. 1

Вещество	$\Delta H^{\circ}_{298}$ , кДж/моль	$\Delta G^{\circ}_{298}$ , кДж/моль	$S^{\circ}_{298}$ , Дж/(моль·К)
KH (к)	-56,9	-38,49	67,95
Li (к)	0	0	28,03
Li <sub>2</sub> O (к)	-595,8	-560,2	37,9
LiOH (к)	-487,8	-443,1	42,81
Mg (к)	0	0	32,55
MgO (к)	-601,24	-569,6	26,94
Mg(OH) <sub>2</sub> (к)	-924,66	-833,7	63,14
MgCO <sub>3</sub> (к)	-1096,21	-1029,3	65,69
MnSO <sub>4</sub> (к)	-1063,74	-955,96	112,13
N <sub>2</sub> (г)	0	0	191,5
N <sub>2</sub> O (г)	81,55	103,6	220,0
NO (г)	90,37	86,69	210,62
NO <sub>2</sub> (г)	33,89	51,84	240,45
N <sub>2</sub> O <sub>4</sub> (г)	9,37	98,29	304,3
NH <sub>3</sub> (г)	-46,19	-16,64	192,5
HNO <sub>3</sub> (ж)	-173,0	-79,91	156,16
NH <sub>4</sub> Cl (к)	-315,39	-343,64	94,56
NH <sub>4</sub> OH (ж)	-366,69	-263,8	179,9
Na (к)	0	0	51,42
Na <sub>2</sub> O (к)	-430,6	-376,6	71,1
NaOH (к)	-426,6	-377,0	64,18
NaCl (к)	-410,9	-384,0	72,36
Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> (к)	-1129,0	-1047,7	136,0
Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (к)	-1384,0	-1266,8	149,4
Na <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub> (к)	-1518,0	-1426,7	113,8
O <sub>2</sub> (г)	0	0	205,03
P (красный)	-18,41	-13,81	22,8
PCl <sub>3</sub> (г)	-277,0	-286,27	311,7
PCl <sub>5</sub> (г)	-369,45	-324,55	362,9
HPO <sub>3</sub> (ж)	-982,4	-902,91	150,6
H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> (ж)	-1271,94	-1147,25	200,83
Pb (к)	0	0	64,9
PbO (к)	-217,86	-188,49	67,4
PbO <sub>2</sub> (к)	-276,6	-218,99	76,44
PbCl <sub>2</sub> (к)	-359,2	-313,97	136,4
PbSO <sub>4</sub> (к)	-918,1	-811,24	147,28
PbS (к)	-94,28	-92,68	91,20
Rb (к)	0	0	76,2
Rb <sub>2</sub> O (к)	-330,12	-290,79	109,6
RbOH (к)	-413,8	-364,43	70,7

Продолжение табл. 1

Вещество	$\Delta H^{\circ}_{298}$ , кДж/моль	$\Delta G^{\circ}_{298}$ , кДж/моль	$S^{\circ}_{298}$ , Дж/(моль·К)
S (ромб)	0	0	31,88
SO <sub>2</sub> (г)	-296,9	-300,37	248,1
SO <sub>3</sub> (г)	-395,2	-370,37	256,23
H <sub>2</sub> S (г)	-20,15	-33,02	205,64
H <sub>2</sub> S (ж)	-39,33	-27,36	122,2
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (ж)	-811,3	-742,0	156,9
H <sub>2</sub> Se (г)	85,77	71,13	221,3
SiO <sub>2</sub> (к)	-859,3	-803,75	42,09
SnO (к)	-286,0	-257,32	56,74
SnO <sub>2</sub> (к)	-580,8	-519,65	52,34
SrO (к)	-590,4	-559,8	54,4
SrCO <sub>3</sub> (к)	-1221,3	-1137,6	97,1
H <sub>2</sub> Te (г)	154,39	138,48	234,3
Zn (к)	0	0	41,59
ZnO (к)	-349,0	-318,19	43,5
ZnS (к)	-201,0	-198,32	57,7
ZnSO <sub>4</sub> (к)	-378,2	-871,57	124,6

Условные обозначения: к – кристаллический; г – газообразный; ж – жидкий; ромб – ромбический.

Таблица 2

## Относительная электроотрицательность элементов

I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
H 2,1							
Li 1,0	Be 1,5	B 2,0	C 2,5	N 3,0	O 3,5	F 4,0	
Na 0,9	Mg 1,2	Al 1,5	Si 1,8	P 2,1	S 2,5	Cl 3,0	
K 0,8	Ca 1,0	Sc 1,3	Ti 1,5	V 1,6	Cr 1,6	Mn 1,5	Co Ni 1,9 1,9



Продолжение табл. 2

I	II	III	IV	V	VI	VII	VII
	Zn 1,6	Ga 1,6	Ge 1,8	As 2,0	Se 2,4	Br 2,8	
Rb 0,8	Sr 1,0	Y 1,2	Zr 1,5	Nb 1,6	Mo 1,8	Tc 1,9	Ru Rh 2,2 2,2 Rd 2,2
	Cd 1,7	In 1,7	Sn 1,8	Sb 1,9	Te 2,1	I 2,5	
Cs 0,7	Ba 0,9	La – Lu 1,0 – 1,2	Hf 1,3	Ta 1,5	W 1,7	Re 1,9	Os Ir 2,2 2,2 Pt 2,2
	Hg 1,9		Pb 1,9	Bi 1,9	Po 2,0	At 2,2	
Fr 0,7	Ra 0,9						

Таблица 3

Произведение растворимости малорастворимых веществ в воде при 25°C

Вещество	ПР
AgBr	$6,3 \cdot 10^{-13}$
Ag <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	$6,15 \cdot 10^{-12}$
AgCl	$1,56 \cdot 10^{-10}$
AgI	$1,5 \cdot 10^{-16}$
Ag <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> (20°C)	$1,8 \cdot 10^{-18}$
Ag <sub>2</sub> S	$5,7 \cdot 10^{-51}$
Ag <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	$7,7 \cdot 10^{-5}$
Al(OH) <sub>3</sub>	$1,9 \cdot 10^{-33}$
BaCO <sub>3</sub>	$7 \cdot 10^{-9}$

Продолжение табл. 3

Вещество	ПР
BaCrO <sub>4</sub>	$2,3 \cdot 10^{-10}$
BaSO <sub>4</sub>	$1,08 \cdot 10^{-10}$
CaCO <sub>3</sub>	$4,8 \cdot 10^{-9}$
Ca <sub>3</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub>	$1 \cdot 10^{-25}$
CaSO <sub>4</sub>	$6,10 \cdot 10^{-5}$
CdCO <sub>3</sub>	$2,5 \cdot 10^{-14}$
CuCO <sub>3</sub>	$2,36 \cdot 10^{-10}$
Cu(OH) <sub>2</sub>	$5,6 \cdot 10^{-20}$
CuS	$4 \cdot 10^{-38}$
Fe(OH) <sub>3</sub> (18 <sup>0</sup> C)	$3,8 \cdot 10^{-38}$
FeS	$3,7 \cdot 10^{-19}$
Mg(OH) <sub>2</sub>	$5,5 \cdot 10^{-12}$
MgS	$2,0 \cdot 10^{-15}$
MnCO <sub>3</sub>	$5,05 \cdot 10^{-10}$
MnS (18 <sup>0</sup> C)	$5,6 \cdot 10^{-16}$
PbCO <sub>3</sub>	$1,5 \cdot 10^{-13}$
PbCl <sub>2</sub>	$1,7 \cdot 10^{-5}$
PbS (18 <sup>0</sup> C)	$1,1 \cdot 10^{-29}$
PbSO <sub>4</sub>	$1,8 \cdot 10^{-8}$
SrCO <sub>3</sub>	$9,42 \cdot 10^{-10}$
SrSO <sub>4</sub>	$2,8 \cdot 10^{-7}$
ZnCO <sub>3</sub>	$6 \cdot 10^{-11}$
Zn(OH) <sub>2</sub> (20 <sup>0</sup> C)	$4 \cdot 10^{-16}$

Таблица 4

## Константы нестойкости некоторых комплексных ионов

Уравнение диссоциации комплексного иона	Константа нестойкости, K <sub>H</sub>
$[\text{Ag}(\text{CN})_2]^- \rightleftharpoons \text{Ag}^+ + 2\text{CN}^-$	$1,0 \cdot 10^{-21}$
$[\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]^+ \rightleftharpoons \text{Ag}^+ + 2\text{NH}_3$	$5,89 \cdot 10^{-8}$
$[\text{Ag}(\text{S}_2\text{O}_3)_2]^{3-} \rightleftharpoons \text{Ag}^+ + 2\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$	$1,00 \cdot 10^{-18}$
$[\text{AlF}_6]^{3-} \rightleftharpoons \text{Al}^{3+} + 6\text{F}^-$	$1,45 \cdot 10^{-25}$
$[\text{Au}(\text{CN})_2]^- \rightleftharpoons \text{Au}^+ + 2\text{CN}^-$	$5,01 \cdot 10^{-39}$

Уравнение диссоциации комплексного иона	Константа нестойкости, $K_H$
$[\text{Cd}(\text{CN})_4]^{2-} \rightleftharpoons \text{Cd}^{2+} + 4\text{CN}^-$	$7,66 \cdot 10^{-18}$
$[\text{CdI}_4]^{2-} \rightleftharpoons \text{Cd}^{2+} + 4\text{I}^-$	$7,94 \cdot 10^{-7}$
$[\text{Cd}(\text{NH}_3)_4]^{2+} \rightleftharpoons \text{Cd}^{2+} + 4\text{NH}_3$	$2,75 \cdot 10^{-7}$
$[\text{Co}(\text{CNS})_4]^{2-} \rightleftharpoons \text{Co}^{2+} + 4\text{CNS}^-$	$5,50 \cdot 10^{-3}$
$[\text{Co}(\text{NH}_3)_6]^{2+} \rightleftharpoons \text{Co}^{2+} + 4\text{NH}_3$	$4,07 \cdot 10^{-5}$
$[\text{Cu}(\text{CN})_2] \rightleftharpoons \text{Cu}^+ + 2\text{CN}^-$	$1,00 \cdot 10^{-24}$
$[\text{Cu}(\text{CN})_4]^{3-} \rightleftharpoons \text{Cu}^+ + 4\text{CN}^-$	$5,13 \cdot 10^{-31}$
$[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]^{2+} \rightleftharpoons \text{Cu}^+ + 4\text{NH}_3$	$9,33 \cdot 10^{-13}$
$[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{4-} \rightleftharpoons \text{Fe}^{2+} + 6\text{CN}^-$	$1,00 \cdot 10^{-24}$
$[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{3-} \rightleftharpoons \text{Fe}^{3+} + 6\text{CN}^-$	$1,00 \cdot 10^{-31}$
$[\text{HgCl}_4]^{2-} \rightleftharpoons \text{Hg}^{2+} + 4\text{Cl}^-$	$6,03 \cdot 10^{-16}$
$[\text{Hg}(\text{CN})_4]^{2-} \rightleftharpoons \text{Hg}^{2+} + 4\text{CN}^-$	$3,02 \cdot 10^{-42}$
$[\text{Hg}(\text{CNS})_4]^{2-} \rightleftharpoons \text{Hg}^{2+} + 4\text{CN}^-$	$1,29 \cdot 10^{-22}$
$[\text{HgI}_4]^{2-} \rightleftharpoons \text{Hg}^{2+} + 4\text{I}^-$	$1,38 \cdot 10^{-30}$
$[\text{Ni}(\text{CN})_4]^{2-} \rightleftharpoons \text{Ni}^{2+} + 4\text{CN}^-$	$1,00 \cdot 10^{-22}$
$[\text{Ni}(\text{NH}_3)_6]^{2+} \rightleftharpoons \text{Ni}^{2+} + 6\text{NH}_3$	$9,77 \cdot 10^{-9}$
$[\text{Zn}(\text{CN})_4]^{2-} \rightleftharpoons \text{Zn}^{2+} + 4\text{CN}^-$	$1,00 \cdot 10^{-16}$
$[\text{Zn}(\text{CNS})_4]^{2-} \rightleftharpoons \text{Zn}^{2+} + 4\text{CNS}^-$	$5,00 \cdot 10^{-2}$
$[\text{Zn}(\text{NH}_3)_4]^{2+} \rightleftharpoons \text{Zn}^{2+} + 4\text{NH}_3$	$2,00 \cdot 10^{-9}$
$[\text{Zn}(\text{OH})_4]^{2-} \rightleftharpoons \text{Zn}^{2+} + 4\text{OH}^-$	$7,08 \cdot 10^{-16}$

Таблица 5

**Стандартные, окислительно-восстановительные потенциалы (по отношению к потенциалу стандартного водородного электрода при 25°C)**

Окисленная форма / Восстановленная форма	Уравнения полуреакций	$j^\circ$ , В
$\text{Li}^+/\text{Li}$	$\text{Li}^+ + 1e^- = \text{Li}$	-3,045
$\text{Rb}^+/\text{Rb}$	$\text{Rb}^+ + 1e^- = \text{Rb}$	-2,925
$\text{K}^+/\text{K}$	$\text{K}^+ + 1e^- = \text{K}$	-2,925
$\text{Cs}^+/\text{Cs}$	$\text{Cs}^+ + 1e^- = \text{Cs}$	-2,923
$\text{Ba}^{2+}/\text{Ba}$	$\text{Ba}^{2+} + 2e^- = \text{Ba}$	-2,900
$\text{Sr}^{2+}/\text{Sr}$	$\text{Sr}^{2+} + 2e^- = \text{Sr}$	-2,890
$\text{Ca}^{2+}/\text{Ca}$	$\text{Ca}^{2+} + 2e^- = \text{Ca}$	-2,870
$\text{Na}^+/\text{Na}$	$\text{Na}^+ + 1e^- = \text{Na}$	-2,714
$\text{La}^{3+}/\text{La}$	$\text{La}^{3+} + 3e^- = \text{La}$	-2,522
$\text{Mg}^{2+}/\text{Mg}$	$\text{Mg}^{2+} + 2e^- = \text{Mg}$	-2,370
$\text{AlO}_2^-/\text{Al}$	$\text{AlO}_2^- + 3e^- + 2\text{H}_2\text{O} = \text{Al} + 4\text{OH}^-$	-2,350
$\text{Be}^{2+}/\text{Be}$	$\text{Be}^{2+} + 2e^- = \text{Be}$	-1,847
$\text{Al}^{3+}/\text{Al}$	$\text{Al}^{3+} + 3e^- = \text{Al}$	-1,662
$\text{ZnO}_2^{2-}/\text{Zn}$	$\text{ZnO}_2^{2-} + 2e^- + 2\text{H}_2\text{O} = \text{Zn} + 4\text{OH}^-$	-1,216

Окисленная форма / Восстановленная форма	Уравнения полуреакций	$j^\circ$ , В
Mn <sup>2+</sup> /Mn	$\text{Mn}^{2+} + 2\bar{e} = \text{Mn}$	-1,180
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> /SO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	$\text{SO}_4^{2-} + 2\bar{e} + \text{H}_2\text{O} = \text{SO}_3^{2-} + 2\text{OH}^-$	-0,930
H <sub>2</sub> O/H <sub>2</sub>	$2\text{H}_2\text{O} + 2\bar{e} = \text{H}_2 + 2\text{OH}^-$	-0,828
Zn <sup>2+</sup> /Zn	$\text{Zn}^{2+} + 2\bar{e} = \text{Zn}$	-0,763
Cr <sup>3+</sup> /Cr	$\text{Cr}^{3+} + 3\bar{e} = \text{Cr}$	-0,744
Fe <sup>2+</sup> /Fe	$\text{Fe}^{2+} + 2\bar{e} = \text{Fe}$	-0,440
Cd <sup>2+</sup> /Cd	$\text{Cd}^{2+} + 2\bar{e} = \text{Cd}$	-0,403
Ti <sup>3+</sup> /Ti <sup>2+</sup>	$\text{Ti}^{3+} + 1\bar{e} = \text{Ti}^{2+}$	-0,370
PbSO <sub>4</sub> /Pb	$\text{PbSO}_4 + 2\bar{e} = \text{Pb} + \text{SO}_4^{2-}$	-0,356
In <sup>3+</sup> /In	$\text{In}^{3+} + 3\bar{e} = \text{In}$	-0,343
Tl <sup>+</sup> /Tl	$\text{Tl}^+ + 1\bar{e} = \text{Tl}$	-0,336
Co <sup>2+</sup> /Co	$\text{Co}^{2+} + 2\bar{e} = \text{Co}$	-0,277
Ni <sup>2+</sup> /Ni	$\text{Ni}^{2+} + 2\bar{e} = \text{Ni}$	-0,250
Sn <sup>2+</sup> /Sn	$\text{Sn}^{2+} + 2\bar{e} = \text{Sn}$	-0,136
CrO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> /Cr(OH) <sub>3</sub>	$(\text{CrO}_4)^{2-} + 3\bar{e} + 4\text{H}_2\text{O} = \text{Cr(OH)}_3 + 5\text{OH}^-$	-0,130
Pb <sup>2+</sup> /Pb	$\text{Pb}^{2+} + 2\bar{e} = \text{Pb}$	-0,126
Fe <sup>3+</sup> /Fe	$\text{Fe}^{3+} + 3\bar{e} = \text{Fe}$	-0,036
2H <sup>+</sup> /H <sub>2</sub>	$2\text{H}^+ + 2\bar{e} = \text{H}_2$	0,000
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> /NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	$\text{NO}_3^- + 2\bar{e} + \text{H}_2\text{O} = \text{NO}_2^- + 2\text{OH}^-$	+0,010
S/H <sub>2</sub> S	$\text{S} + 2\bar{e} + 2\text{H}^+ = \text{H}_2\text{S}$	+0,141
Sn <sup>4+</sup> /Sn <sup>2+</sup>	$\text{Sn}^{4+} + 2\bar{e} = \text{Sn}^{2+}$	+0,150
Cu <sup>2+</sup> /Cu <sup>+</sup>	$\text{Cu}^{2+} + 1\bar{e} = \text{Cu}^+$	+0,153
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> /H <sub>2</sub> SO <sub>3</sub>	$\text{SO}_4^{2-} + 2\bar{e} + 4\text{H}^+ = \text{H}_2\text{SO}_3 + \text{H}_2\text{O}$	+0,170
AgCl/Ag	$\text{AgCl} + 1\bar{e} = \text{Ag} + \text{Cl}^-$	+0,222
2SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> /S <sub>2</sub> O <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	$2\text{SO}_4^{2-} + 8\bar{e} + 10\text{H}^+ = \text{S}_2\text{O}_3^{2-} + 5\text{H}_2\text{O}$	+0,290
ClO <sub>3</sub> <sup>-</sup> /ClO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	$\text{ClO}_3^- + 2\bar{e} + \text{H}_2\text{O} = \text{ClO}_2^- + 2\text{OH}^-$	+0,330
Cu <sup>2+</sup> /Cu	$\text{Cu}^{2+} + 2\bar{e} = \text{Cu}$	+0,337
[Fe(CN) <sub>6</sub> ] <sup>3-</sup> /[Fe(CN) <sub>6</sub> ] <sup>4-</sup>	$[\text{Fe(CN)}_6]^{3-} + 1\bar{e} = [\text{Fe(CN)}_6]^{4-}$	+0,360
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> /S	$\text{SO}_4^{2-} + 6\bar{e} + 8\text{H}^+ = \text{S} + 4\text{H}_2\text{O}$	+0,360
ClO <sub>4</sub> <sup>-</sup> /ClO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	$\text{ClO}_4^- + 2\bar{e} + \text{H}_2\text{O} = \text{ClO}_3^- + 2\text{OH}^-$	+0,360
O <sub>2</sub> /OH <sup>-</sup>	$\text{O}_2 + 4\bar{e} + 2\text{H}_2\text{O} = 4\text{OH}^-$	+0,401
H <sub>2</sub> SO <sub>3</sub> /S	$\text{H}_2\text{SO}_3 + 4\bar{e} + 4\text{H}^+ = \text{S} + 3\text{H}_2\text{O}$	+0,450
Cu <sup>+</sup> /Cu	$\text{Cu}^+ + 1\bar{e} = \text{Cu}$	+0,521
I <sub>2</sub> /2I <sup>-</sup>	$\text{I}_2 + 2\bar{e} = 2\text{I}^-$	+0,536
H <sub>3</sub> AsO <sub>4</sub> /HAsO <sub>2</sub>	$\text{H}_3\text{AsO}_4 + 2\bar{e} + 2\text{H}^+ = \text{HAsO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$	+0,559
MnO <sub>4</sub> <sup>-</sup> /MnO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	$\text{MnO}_4^- + 1\bar{e} = \text{MnO}_4^{2-}$	+0,564
MnO <sub>4</sub> <sup>-</sup> /MnO <sub>2</sub>	$\text{MnO}_4^- + 3\bar{e} + 2\text{H}_2\text{O} = \text{MnO}_2 + 4\text{OH}^-$	+0,588
MnO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> /MnO <sub>2</sub>	$\text{MnO}_4^{2-} + 2\bar{e} + 2\text{H}_2\text{O} = \text{MnO}_2 + 4\text{OH}^-$	+0,600

Окисленная форма / Восстановленная форма	Уравнения полуреакций	$j^\circ$ , В
$\text{ClO}_2^-/\text{ClO}^-$	$\text{ClO}_2^- + 2e^- + \text{H}_2\text{O} = \text{ClO}^- + 2\text{OH}^-$	+0,660
$\text{O}_2/\text{H}_2\text{O}_2$	$\text{O}_2 + 2e^- + 2\text{H}^+ = \text{H}_2\text{O}_2$	+0,682
$\text{BrO}^-/\text{Br}^-$	$\text{BrO}^- + 2e^- + \text{H}_2\text{O} = \text{Br}^- + 2\text{OH}^-$	+0,760
$\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+}$	$\text{Fe}^{3+} + 1e^- = \text{Fe}^{2+}$	+0,771
$\text{NO}_3^-/\text{NO}_2$	$\text{NO}_3^- + 1e^- + 2\text{H}^+ = \text{NO}_2 + \text{H}_2\text{O}$	+0,790
$\text{Hg}_2^{2+}/2\text{Hg}$	$\text{Hg}_2^{2+} + 2e^- = 2\text{Hg}$	+0,798
$\text{Ag}^+/\text{Ag}$	$\text{Ag}^+ + 1e^- = \text{Ag}$	+0,799
$\text{O}_2/\text{H}_2\text{O}$ ( $10^{-7}$ M)	$\text{O}_2 + 4e^- + 4\text{H}^+ = 2\text{H}_2\text{O}$	+0,815
$\text{Hg}^{2+}/\text{Hg}$	$\text{Hg}^{2+} + 2e^- = \text{Hg}$	+0,854
$\text{ClO}^-/\text{Cl}^-$	$\text{ClO}^- + 2e^- + \text{H}_2\text{O} = \text{Cl}^- + 2\text{OH}^-$	+0,890
$\text{NO}_3^-/\text{HNO}_2$	$\text{NO}_3^- + 2e^- + 3\text{H}^+ = \text{HNO}_2 + \text{H}_2\text{O}$	+0,940
$\text{NO}_3^-/\text{NO}$	$\text{NO}_3^- + 3e^- + 4\text{H}^+ = \text{NO} + 2\text{H}_2\text{O}$	+0,960
$\text{HNO}_2/\text{NO}$	$\text{HNO}_2 + 1e^- + \text{H}^+ = \text{NO} + \text{H}_2\text{O}$	+1,000
$\text{Br}_2/2\text{Br}^-$	$\text{Br}_2 + 2e^- = 2\text{Br}^-$	+1,065
$\text{IO}_3^-/\text{I}^-$	$\text{IO}_3^- + 6e^- + 6\text{H}^+ = \text{I}^- + 3\text{H}_2\text{O}$	+1,090
$2\text{IO}_3^-/\text{I}_2$	$2\text{IO}_3^- + 10e^- + 12\text{H}^+ = \text{I}_2 + 6\text{H}_2\text{O}$	+1,195
$\text{ClO}_4^-/\text{ClO}_3^-$	$\text{ClO}_4^- + 2e^- + 2\text{H}^+ = \text{ClO}_3^- + \text{H}_2\text{O}$	+1,190
$\text{O}_2/\text{H}_2\text{O}$	$\text{O}_2 + 4e^- + 4\text{H}^+ = 2\text{H}_2\text{O}$	+1,229
$\text{MnO}_2/\text{Mn}^{2+}$	$\text{MnO}_2 + 2e^- + 4\text{H}^+ = \text{Mn}^{2+} + 2\text{H}_2\text{O}$	+1,230
$\text{Tl}^{3+}/\text{Tl}$	$\text{Tl}^{3+} + 3e^- = \text{Tl}$	+1,250
$\text{HBrO}/\text{Br}^-$	$\text{HBrO} + 2e^- + \text{H}^+ = \text{Br}^- + \text{H}_2\text{O}$	+1,330
$\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}/2\text{Cr}^{3+}$	$\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-} + 6e^- + 14\text{H}^+ = 2\text{Cr}^{3+} + 7\text{H}_2\text{O}$	+1,330
$\text{Cl}_2/2\text{Cl}^-$	$\text{Cl}_2 + 2e^- = 2\text{Cl}^-$	+1,359
$\text{BrO}_3^-/\text{Br}^-$	$\text{BrO}_3^- + 6e^- + 6\text{H}^+ = \text{Br}^- + 3\text{H}_2\text{O}$	+1,440
$\text{ClO}_3^-/\text{Cl}^-$	$\text{ClO}_3^- + 6e^- + 6\text{H}^+ = \text{Cl}^- + 3\text{H}_2\text{O}$	+1,450
$\text{PbO}_2/\text{Pb}^{2+}$	$\text{PbO}_2 + 2e^- + 4\text{H}^+ = \text{Pb}^{2+} + 2\text{H}_2\text{O}$	+1,456
$2\text{ClO}_3^-/\text{Cl}_2$	$2\text{ClO}_3^- + 10e^- + 12\text{H}^+ = \text{Cl}_2 + 6\text{H}_2\text{O}$	+1,470
$\text{Au}^{3+}/\text{Au}$	$\text{Au}^{3+} + 3e^- = \text{Au}$	+1,500
$\text{MnO}_4^-/\text{Mn}^{2+}$	$\text{MnO}_4^- + 5e^- + 8\text{H}^+ = \text{Mn}^{2+} + 4\text{H}_2\text{O}$	+1,510
$2\text{BrO}_3^-/\text{Br}_2$	$2\text{BrO}_3^- + 10e^- + 12\text{H}^+ = \text{Br}_2 + 6\text{H}_2\text{O}$	+1,520
$\text{PbO}_2/\text{PbSO}_4$	$\text{PbO}_2 + 2e^- + 4\text{H}^+ + \text{SO}_4^{2-} = \text{PbSO}_4 + 2\text{H}_2\text{O}$	+1,685
$\text{MnO}_4^-/\text{MnO}_2$	$\text{MnO}_4^- + 3e^- + 4\text{H}^+ = \text{MnO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$	+1,695
$\text{H}_2\text{O}_2/2\text{H}_2\text{O}$	$\text{H}_2\text{O}_2 + 2e^- + 2\text{H}^+ = 2\text{H}_2\text{O}$	+1,776
$\text{Co}^{3+}/\text{Co}^{2+}$	$\text{Co}^{3+} + 1e^- = \text{Co}^{2+}$	+1,810
$\text{F}_2/2\text{F}^-$	$\text{F}_2 + 2e^- = 2\text{F}^-$	+2,870

## СОДЕРЖАНИЕ

<b>ВВЕДЕНИЕ .....</b>	<b>3</b>
<b>1. РАБОЧАЯ ПРОГРАММА .....</b>	<b>4</b>
<b>2. Модуль 1. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ ХИМИИ. СТРОЕНИЕ ВЕЩЕСТВА .....</b>	<b>8</b>
<b>2. Модуль 2. ОСНОВНЫЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ ХИМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ .....</b>	<b>24</b>
<b>3. Модуль 3. РАСТВОРЫ. КОМПЛЕКСНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ. ОКИСЛИТЕЛЬНО-ВОССТАНОВИТЕЛЬНЫЕ РЕАКЦИИ</b>	<b>34</b>
<b>4. Модуль 4. ОБЩИЕ СВОЙСТВА МЕТАЛЛОВ. ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ .....</b>	<b>56</b>
<b>5. Модуль 5. ХИМИЯ ЭЛЕМЕНТНОВ .....</b>	<b>70</b>
<b>6. ВАРИАНТЫ КОНТРОЛЬНЫХ ЗАДАНИЙ .....</b>	<b>82</b>
<b>ЛИТЕРАТУРА .....</b>	<b>91</b>
<b>ПРИЛОЖЕНИЕ .....</b>	<b>92</b>