

Московский государственный технический университет
имени Н.Э. Баумана

**Методические указания
к выполнению домашнего задания
по курсу общей химии**

Второе издание, исправленное и дополненное

Под редакцией *В. И. Ермолаевой*



Москва
ИЗДАТЕЛЬСТВО
МГТУ им. Н. Э. Баумана

2 0 1 5

УДК 541
ББК 24
М54

Издание доступно в электронном виде на портале *ebooks.bmstu.ru*
по адресу: <http://ebooks.bmstu.ru/catalog/111/book969.html>

Факультет «Фундаментальные науки»
Кафедра «Химия»

*Рекомендовано Редакционно-издательским советом
МГТУ им. Н. Э. Баумана в качестве методических указаний*

Авторы:

А. М. Голубев, В. М. Горшкова, В. Н. Горячева,
Н. Н. Двulichанская, В. И. Ермолаева, О. И. Романко,
Л. Е. Слынько, М. Б. Степанов, Г. Н. Фадеев

Рецензенты:

канд. хим. наук, доцент *Е. В. Смирнов*,
канд. хим. наук, доцент *П. В. Слитиков*

М54 Методические указания к выполнению домашнего задания по курсу общей химии. 2-е изд., испр. и доп. / А. М. Голубев, В. М. Горшкова, В. Н. Горячева и др. ; под ред. В. И. Ермолаевой. — Москва : Издательство МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2015. — 85, [5] с. : ил.

ISBN 978-5-7038-4124-2

Методические указания содержат примеры решения типовых задач по основным разделам курса общей химии в соответствии с программой для бакалавров и специалистов технических специальностей, а также условия задач, включаемых в домашние задания.

Для студентов всех факультетов МГТУ им. Н.Э. Баумана, изучающих базовый курс химии в объеме 144 ч.

УДК 541
ББК 24

© МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2015
© Оформление. Издательство
МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2015

ISBN 978-5-7038-4124-2

ПРЕДИСЛОВИЕ

Представленные методические указания являются исправленным и дополненным изданием ранее опубликованных (2003 г.) методических указаний и соответствуют учебным программам подготовки бакалавров и специалистов технических специальностей.

Методические указания содержат задачи по следующим разделам курса общей химии: «Строение вещества», «Окислительно-восстановительные реакции», «Химическая термодинамика», «Химическая кинетика», «Растворы», «Электрохимические процессы». В начале указаний рассмотрены примеры решения задач по представленным разделам курса, отражающие их основные особенности.

В разделе «Строение вещества» предложены задачи на составление электронных конфигураций атомов и ионов, которые позволяют объяснить периодический характер изменения свойств атомов элементов. Посредством методов валентных связей и молекулярных орбиталей предлагается описать структуру молекул и объяснить значения энергии, длины и полярности связи; для кристаллов предлагается вычислить некоторые параметры решеток кубической сингонии.

Закономерности протекания процессов отражены в задачах на расчеты по первому и второму законам термодинамики, определению равновесного состава гомогенных и гетерогенных систем, а также в заданиях на определение скорости химической реакции и зависимости ее от концентрации и температуры.

В раздел, посвященный свойствам растворов, включены задачи на расчеты количественного состава раствора, определение растворимости вещества, коллигативных свойств растворов неэлектролитов и электролитов, равновесия в электролитах.

Для усвоения электрохимических процессов в сборнике приведены задачи по определению направления окислительно-восстановительных реакций, по выявлению особенностей протекания процессов в гальваническом элементе, электролизе и электрохимической коррозии.

При выполнении домашних заданий студент получает от преподавателя индивидуальный набор задач, охватывающих указанные темы курса общей химии.

Необходимость получения количественных характеристик химических процессов позволяет выработать навыки проведения студентами типичных для инженеров расчетов.

В пособие помещены задачи различного уровня сложности, что дает возможность преподавателям осуществлять подбор заданий дифференцированно для групп или отдельных студентов. Уровень сложности задач предполагает знание студентами теоретических основ курса общей химии. Авторы рекомендуют при необходимости обращаться к учебной литературе, список которой приведен в конце пособия.

Предлагаемые задачи достаточно разнообразны по тематике, что позволяет формировать общекультурные компетенции при обучении химии студентов технических направлений и специальностей.

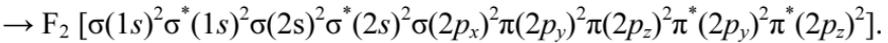
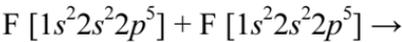
ПРИМЕРЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ

К разделу 1 «Строение вещества»

Пример 1.1. Используя метод молекулярных орбиталей, объясните различные значения энергии и длины связи в частицах F_2 и F_2^+ .

Частица	$E_{св}$, кДж/моль	$d_{св} \cdot 10^{12}$, м
F_2	159	141
F_2^+	323	133

Решение. Процесс образования частицы F_2 можно представить записью



Перекрытие $1s$ -атомных орбиталей приводит к заполнению $\sigma(1s)$ -связывающей и $\sigma^*(1s)$ -разрыхляющей молекулярных орбиталей двумя электронами с антипараллельными спинами и не изменяет энергию связывающихся атомов, поэтому в дальнейшем его можно не учитывать. В молекуле F_2 имеется избыток двух электронов на связывающих орбиталях, что соответствует одинарной связи или порядку связи n , равному единице, который для двухатомной частицы рассчитывается по следующей формуле:

$$n = \frac{N - N^*}{2} = \frac{10 - 8}{2} = 1,$$

где N , N^* — число электронов на связывающих и разрыхляющих орбиталях соответственно.

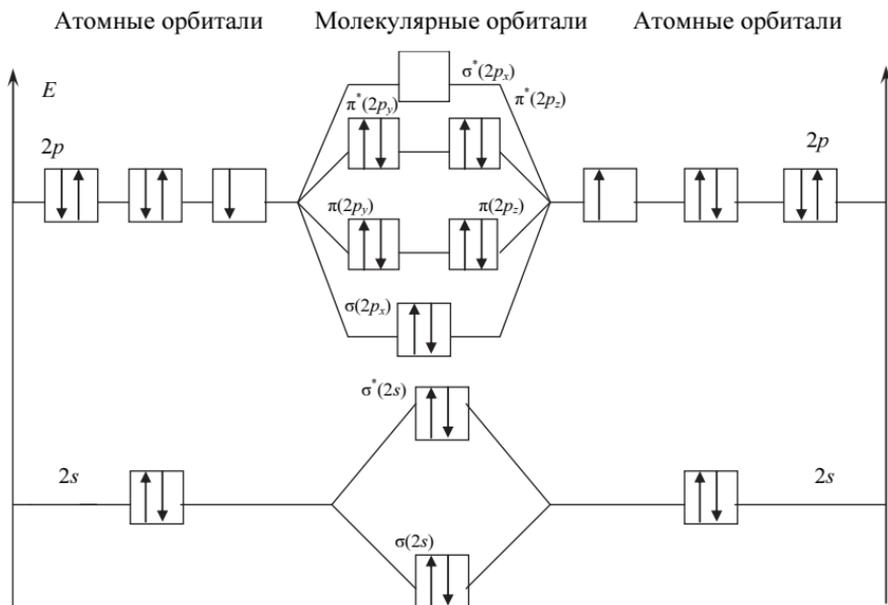
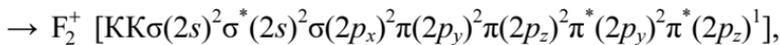


Рис. 1. Энергетическая диаграмма молекулы F_2

Все электроны в молекуле F_2 спарены (спины электронов на отдельных молекулярных орбиталях параллельны) и частица не обладает магнитными свойствами (диамагнитна).

На рис. 1 представлена энергетическая диаграмма образования молекулы F_2 .

Процесс образования частицы F_2^+ можно представить так:



где уровень $1s$ обозначен K .

В молекулярном ионе F_2^+ имеется избыток трех электронов на связывающих орбиталях, что соответствует полуторной связи или порядку связи, равному 1,5:

$$n = \frac{N - N^*}{2} = \frac{8 - 5}{2} = 1,5.$$

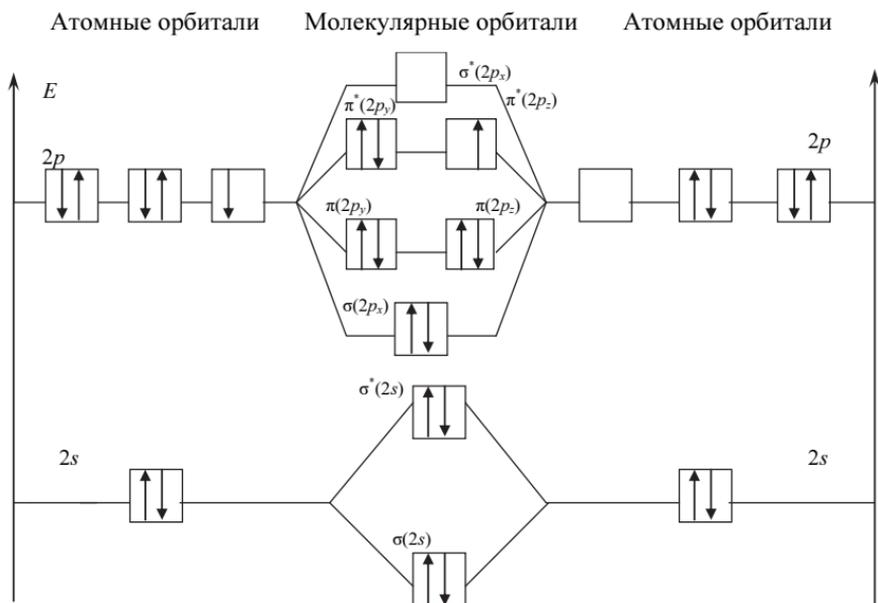


Рис. 2. Энергетическая диаграмма молекулярного иона F_2^+

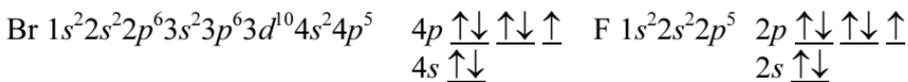
Уменьшение числа электронов на разрыхляющих орбиталях приводит к упрочнению связи и уменьшению межъядерного расстояния (длины связи), порядок связи при этом возрастает. В молекулярном ионе F_2^+ имеется один неспаренный электрон, и частица обладает магнитными свойствами (парамагнитна).

На рис. 2 представлена энергетическая диаграмма образования молекулярного иона F_2^+ .

Пример 1.2. Известно, что ион $[BrF_4]^+$ имеет форму искаженного тетраэдра. Объясните, используя метод валентных связей, как образуется эта частица, полярна ли она?

Решение. Согласно методу валентных связей пространственная конфигурация частицы определяется пространственным распределением гибридных орбиталей вокруг центрального атома.

В ионе $[BrF_4]^+$ центральный атом брома образует четыре связи с концевыми атомами фтора. Число электронов, участвующих в образовании связей, можно определить из электронного строения атомов:



Атом Br предоставляет в общее пользование все электроны внешнего уровня ($4s^2 4p^5$), каждый атом фтора — по одному непарному электрону с $4p$ -подуровня. Общее число электронов, расположенных вокруг центрального атома, равно сумме валентных электронов брома и четырех электронов атомов фтора за вычетом одного электрона, так как ион имеет положительный заряд. Итого в сумме 10 электронов ($7 + 4 - 1 = 10$). Суммарное число электронов соответствует пяти электронным парам ($10/2$), которые, согласно принципу наименьшего отталкивания, будут располагаться в вершинах тригональной бипирамиды, что соответствует sp^3d -гибридизации орбиталей атома брома. Из пяти электронных пар брома четыре являются связывающими, а пятая — несвязывающей, или неподеленной, принадлежащей только бромю. Наличие неподеленной электронной пары у центрального атома брома, расположенной в экваториальной плоскости, приводит к искажению бипирамидальной структуры иона $[\text{BrF}_4]^+$, который приобретает форму искаженного тетраэдра (или бисфеноида) (рис. 3). Согласно модели отталкивания валентных электронных пар (метод Гиллеспи) ион $[\text{BrF}_4]^+$ относится к типу молекул AB_4E , где E — несвязывающая электронная пара. Каждая связь Br–F полярна, векторная сумма электрических моментов отдельных связей вследствие несимметричности их расположения в пространстве не равна нулю, т. е. частица $[\text{BrF}_4]^+$ является полярной и обладает электрическим моментом.

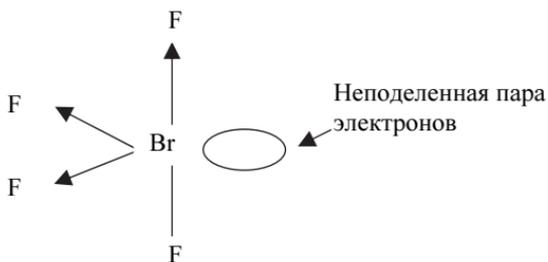


Рис. 3. Схема образования связей в частице $[\text{BrF}_4]^+$

Пример 1.3. Определите, к какому структурному типу кристаллической решетки кубической системы (тип CsCl, NaCl или ZnS) относится оксид бария BaO, если известны радиусы ионов и плотность вещества: $R_{\text{кат}} = 1,36 \cdot 10^{-10}$ м, $R_{\text{анион}} = 1,40 \cdot 10^{-10}$ м, $\rho = 6,022$ г/см³. Укажите координационное число катиона и аниона.

Решение. Перечисленные структурные типы различаются числом формульных единиц в элементарной кубической ячейке (соответственно 1, 4, 4) и соотношением параметра элементарной ячейки (ребра куба) a и межионного расстояния (кратчайшего расстояния) d .

По исходным данным можно определить межионное расстояние d и затем рассчитать параметр элементарной ячейки a для всех трех вариантов. По вычисленному значению a рассчитываем плотность вещества и сравниваем ее с приведенным в условии задачи значением плотности. Определяем структурный тип по совпадению рассчитанного и заданного значений плотности.

Находим межионное расстояние:

$$d = R_{\text{кат}} + R_{\text{анион}} = (1,36 + 1,40) \cdot 10^{-10} = 2,76 \cdot 10^{-10} \text{ м.}$$

Рассчитываем параметр элементарной ячейки a :

для структурного типа CsCl (объемно-центрированный куб)

$$a = \frac{2d}{\sqrt{3}} = \frac{2 \cdot 2,76 \cdot 10^{-10}}{1,732} = 3,187 \cdot 10^{-10} \text{ м;}$$

для структурного типа NaCl (примитивный куб)

$$a = 2d = 2 \cdot 2,76 \cdot 10^{-10} = 5,52 \cdot 10^{-10} \text{ м;}$$

для структурного типа ZnS (алмазоподобная решетка)

$$a = \frac{4d}{\sqrt{3}} = \frac{4 \cdot 2,76 \cdot 10^{-10}}{1,732} = 6,374 \cdot 10^{-10} \text{ м.}$$

Определяем плотность вещества по формуле

$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{ZM}{N_A a^3},$$

где Z — число формульных единиц; M — молярная масса вещества; N_A — число Авогадро; a^3 — объем кубической элементарной ячейки.

для структурного типа CsCl

$$\rho = \frac{1 \cdot 153,34 \cdot 10^{-3}}{6,02 \cdot 10^{23} \cdot (3,187 \cdot 10^{-10})^3} = 7864 \text{ кг/м}^3 = 7,864 \text{ г/см}^3;$$

для структурного типа NaCl

$$\rho = \frac{4 \cdot 153,34 \cdot 10^{-3}}{6,02 \cdot 10^{23} \cdot (5,52 \cdot 10^{-10})^3} = 6053 \text{ кг/м}^3 = 6,053 \text{ г/см}^3;$$

для структурного типа ZnS

$$\rho = \frac{4 \cdot 153,34 \cdot 10^{-3}}{6,02 \cdot 10^{23} \cdot (6,374 \cdot 10^{-10})^3} = 2369 \text{ кг/м}^3 = 2,369 \text{ г/см}^3.$$

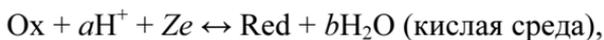
Рассчитанное значение плотности совпадает с известным только в случае структурного типа NaCl, для которого координационные числа катиона и аниона одинаковы и равны 6.

К разделу 2 «Окислительно-восстановительные реакции»

Одним из методов подбора коэффициентов к окислительно-восстановительной реакции является метод ионно-электронных уравнений (или метод полуреакций), в котором уравнения процессов восстановления и окисления (т. е. отдельные полуреакции) записывают с учетом реально существующих в растворе частиц — ионов сильных электролитов, молекул слабых электролитов, газов или труднорастворимых соединений с указанием среды: нейтральной H_2O , кислотной H^+ , щелочной OH^- .

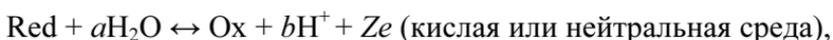
В водных растворах связывание или присоединение избыточных атомов кислорода окислителем и восстановителем происходит по-разному в разных средах.

В кислой среде избыток кислорода у окислителя в левой части полуреакции связывается ионами водорода с образованием молекулы воды в правой части, в нейтральной и щелочной средах избыток кислорода связывается молекулами воды с образованием гидроксид-иона по уравнениям

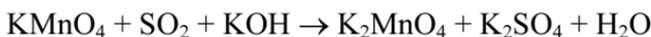


где Ox — окислитель (например, MnO_4^-); Red — восстановленная форма окислителя (например, Mn^{2+}); Ze — число электронов, принятое окислителем; a, b, c, d — стехиометрические коэффициенты.

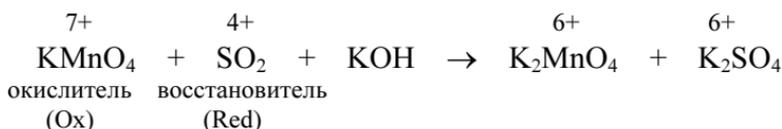
Присоединение избыточного кислорода восстановителем в кислой и нейтральной среде осуществляется молекулами воды с образованием ионов водорода, в щелочной среде — гидроксид-ионами с образованием молекул воды по уравнениям



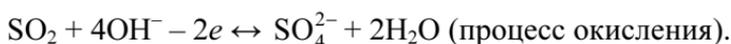
Пример 2.1. Подберите коэффициенты к окислительно-восстановительной реакции, используя метод ионно-электронных уравнений (метод полуреакций):



Расставляем степени окисления атомов и находим окислитель и восстановитель в левой части уравнения

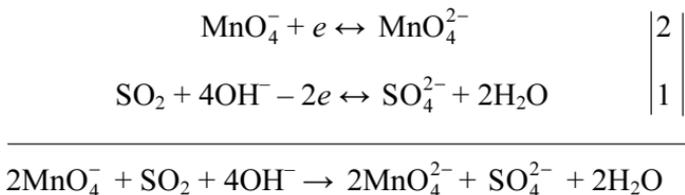


Записываем уравнения процессов окисления и восстановления, составляя для каждой полуреакции электронно-ионный и материальный баланс (число одинаковых атомов и сумма зарядов в левой и правой частях полуреакции должны быть равными):

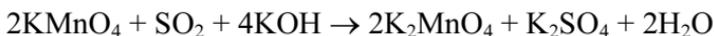


В полуреакции окисления молекула SO_2 присоединяет два атома кислорода, которые в щелочной среде могут образовывать молекулы воды или OH^- -ионы.

Исходя из электронейтральности веществ в растворе, находим дополнительные множители к наименьшему общему кратному числа участвующих в реакции электронов и суммируем уравнения процессов окисления и восстановления:



или в молекулярной форме



Проверяем подобранные коэффициенты по материальному балансу атомов элементов в левой и правой частях уравнения.

К разделу 3 «Химическая термодинамика»

Пример 3.1. Определите стандартный тепловой эффект реакции $\text{NH}_{3(\text{r})} + \text{HCl}_{(\text{r})} = \text{NH}_4\text{Cl}_{(\text{r})}$ при: а) изобарном проведении — $\Delta_r H_{298}^0$; б) изохорном проведении — $\Delta_r U_{298}^0$.

Решение. Стандартный тепловой эффект реакции изобарного процесса в соответствии с законом Гесса определяется по уравнению

$$\Delta_r H_{298}^0 = \Delta_f H_{298}^0 (\text{NH}_4\text{Cl}_{(\text{r})}) - \Delta_f H_{298}^0 (\text{NH}_{3(\text{r})}) - \Delta_f H_{298}^0 (\text{HCl}_{(\text{r})}),$$

где $\Delta_f H_{298}^0$ — стандартная энтальпия образования компонента, приведенная в приложении.

Подставим данные и получим

$$\Delta_r H_{298}^0 = (-315,39) - (-46,19) - (-92,30) = -176,90 \text{ кДж};$$

реакция экзотермическая, так как $\Delta_r H_{298}^0 < 0$.

Стандартный тепловой эффект изохорного процесса $\Delta_r U_{298}^0$ можно вычислить через стандартный тепловой эффект изобарного процесса согласно уравнению

$$\Delta_r U_{298}^0 = \Delta_r H_{298}^0 - \Delta \nu RT,$$

где $\Delta \nu$ — изменение количества молей газов в реакции.

Для данной реакции

$$\Delta \nu = -n(\text{NH}_{3(\text{r})}) - n(\text{HCl}_{(\text{r})}) = -1 - 1 = -2.$$

Подставим данные и получим

$$\Delta_r U_{298}^0 = -176,90 \cdot 10^3 - (-2)8,314 \cdot 298 = -171944,86 \text{ Дж} \cong -172 \text{ кДж}.$$

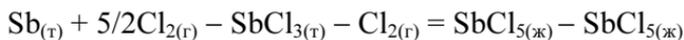
Пример 3.2. Рассчитайте значение стандартной энтальпии образования хлорида сурьмы (III) по следующим термохимическим уравнениям:



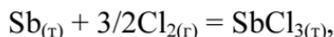
Решение. Уравнение образования SbCl_3 из простых веществ



можно получить, если из уравнения (3.1) вычесть уравнение (3.2):



или



откуда следует, что

$$\Delta H_3 = \Delta H_1 - \Delta H_2 = (-440) - (-57) = -383 \text{ кДж}.$$

Стандартная энтальпия образования 1 моль хлорида сурьмы (III)

$$\Delta_f H_{298}^0 = -383 \text{ кДж/моль}.$$

Пример 3.3. Рассчитайте энтропию 1 моль кремния в растворе меди, в котором его массовая доля ω составляет 1,2 %, полагая, что раствор является идеальным.

Решение. Энтропия 1 моль i -го компонента в растворе определяется согласно уравнению

$$S'_i = S_i^0 - R \ln X_i, \quad (3.3)$$

где S'_i — энтропия компонента в смеси; S_i^0 — энтропия чистого компонента; X_i — молярная доля компонента, равная для двухкомпонентного раствора отношению количества молей растворенного вещества n_1 к сумме количества молей растворенного вещества n_1 и растворителя n_2 :

$$X_i = \frac{n_1}{n_1 + n_2}. \quad (3.4)$$

По условию $n_1 = 1$, а n_2 определим из массовой доли ω :

$$\omega = \frac{m_1}{m_1 + m_2} = \frac{n_1 M_1}{n_1 M_1 + n_2 M_2}, \quad (3.5)$$

где m_1 и m_2 — масса растворенного вещества и растворителя, а M_1 и M_2 — их молярные массы.

Из уравнения (3.5) имеем

$$n_2 = \frac{n_1 M_1 (1 - \omega)}{\omega M_2}. \quad (3.6)$$

Подставив выражение (3.6) в уравнение (3.4), получим формулу для молярной доли X_1 :

$$X_1 = \frac{n_1}{n_1 + \frac{n_1 M_1 (1 - \omega)}{\omega M_2}} = \frac{1}{1 + \frac{M_1}{M_2 \omega} (1 - \omega)} \quad (3.7)$$

Подставим в уравнение (3.7) данные и найдем числовое значение X_1 :

$$X_1 = \frac{1}{1 + \frac{28,085}{63,54 \cdot 0,012} (1 - 0,012)} = 0,0267.$$

Энтропия 1 моль кремния $S^0 = 18,33$ Дж/(моль·К), в растворе энтропия 1 моль кремния станет равной $S' = 18,33 - 8,314 \ln 0,0267 = 48,45$ Дж/(моль·К).

Пример 3.4. Для гетерогенной реакции $\text{NH}_{3(\text{г})} + \text{HCl}_{(\text{г})} = \text{NH}_4\text{Cl}_{(\text{т})}$ рассчитайте стандартные энергию Гиббса $\Delta_r G_T^0$ и константу равновесия K^0 при температуре $T = 500$ К. Укажите, в

каком направлении протекает реакция при данной температуре. Обоснуйте направление смещения равновесия при увеличении температуры, используя уравнение изобары химической реакции.

Решение. Стандартная энергия Гиббса $\Delta_r G_T^0$ может быть вычислена по уравнению

$$\Delta_r G_T^0 = \Delta_r H_{298}^0 - T \Delta_r S_{298}^0,$$

где $\Delta_r H_{298}^0$ — изменение энтальпии реакции (тепловой эффект реакции) при стандартном давлении и температуре 298 К; $\Delta_r S_{298}^0$ — изменение энтропии реакции при стандартном давлении и температуре 298 К.

Расчет $\Delta_r H_{298}^0$ для данной реакции приведен в примере 3.1, согласно которому $\Delta_r H_{298}^0 = -176,9$ кДж. Изменение энтропии в реакции $\Delta_r S_{298}^0$ рассчитаем по уравнению

$$\Delta_r S_{298}^0 = S^0(\text{NH}_4\text{Cl}_{(r)}) - S^0(\text{NH}_3_{(r)}) - S^0(\text{HCl}_{(r)}).$$

Подставив термодинамические данные из приложения, получим

$$\Delta_r S_{298}^0 = 94,56 - 192,5 - 186,7 = -284,64 \text{ Дж/К}.$$

Стандартная энергия Гиббса $\Delta_r G_T^0$ при температуре $T = 500$ К

$$\Delta_r G_T^0 = -176,9 - 500 \cdot (-284,64) \cdot 10^{-3} = -34,58 \text{ кДж}.$$

Поскольку $\Delta_r G_T^0 < 0$, реакция самопроизвольно протекает в прямом направлении.

Для расчета стандартной константы равновесия K^0 используем уравнение

$$\Delta_r G_T^0 = -RT \ln K^0,$$

откуда

$$K^0 = \exp\left(-\frac{\Delta_r G_T^0}{RT}\right) = \exp\left(-\frac{(-34580)}{8,314 \cdot 500}\right) = \exp 8,318 = 4099.$$

Так как константа равновесия $K^0 \gg 1$, реакция при температуре $T = 500$ К протекает в прямом направлении практически необратимо.

Для обоснования направления смещения равновесия при изменении температуры используем уравнение изобары химической реакции:

$$\frac{d \ln K^0}{dT} = \frac{\Delta_r H_{298}^0}{RT^2}.$$

Рассматриваемая реакция является экзотермической ($\Delta_r H_{298}^0 < 0$), поэтому правая часть уравнения $\Delta_r H_{298}^0 / (RT^2) < 0$ и с увеличением температуры T , которая всегда положительна, уменьшается, откуда следует, что и производная $d \ln K^0 / dT$, получившая отрицательное значение, с увеличением температуры уменьшается, а значит, уменьшается и константа равновесия K^0 . Уменьшение константы равновесия означает смещение равновесия реакции влево в сторону образования исходных веществ, так как она представляет собой отношение произведения относительных (отнесенных к стандартному давлению) равновесных парциальных давлений продуктов реакции к произведению относительных равновесных парциальных давлений исходных веществ:

$$K^0 = \frac{\left(\prod_i \tilde{p}^{v_i} \right)_{\text{прод.}}}{\left(\prod_i \tilde{p}^{v_i} \right)_{\text{исх.}}}$$

Для данной реакции $K^0 = 1 / (\tilde{p}_{\text{NH}_3} \tilde{p}_{\text{HCl}})$ (парциальное давление твердого вещества NH_4Cl незначительно, мало зависит от давления и может быть внесено в константу равновесия), и ее уменьшение означает увеличение знаменателя, т. е. смещение равновесия влево в сторону исходных веществ.

Пример 3.5. Для гомогенной реакции $A + B = D + F$ рассчитайте при температуре $T = 700$ К константу равновесия и

равновесные концентрации веществ в системе, если известна энергия Гиббса $\Delta_r G_{700}^0 = -8,0$ кДж и начальные концентрации веществ $C_{0,A} = 2$ моль/л, $C_{0,B} = 3$ моль/л. Продукты реакции D и F в исходной смеси отсутствуют.

Решение. Стандартную константу равновесия K^0 определим из уравнения

$$\Delta_r G_T^0 = -RT \ln K^0, \quad \ln K^0 = -\frac{\Delta_r G_T^0}{RT} = -\frac{-8000}{8,314 \cdot 700} = 1,375;$$

$$K^0 = e^{1,375} = 3,96.$$

Стандартная константа равновесия выражается через относительные равновесные парциальные давления участников реакции (см. пример 3.4), поэтому для расчета равновесных концентраций ее необходимо преобразовать в концентрационную константу равновесия K_C , выраженную через равновесные концентрации $K_C = \frac{[D][F]}{[A][B]}$, где квадратными скобками обозначены равновесные концентрации соответствующих веществ.

Константы равновесия K^0 и K_C связаны между собой соотношением

$$K^0 = K_C \left(\frac{RT}{p^0} \right)^{\Delta\nu},$$

где $\Delta\nu$ — изменение числа молей газообразных участников реакции. Для данной реакции $\Delta\nu = n_D + n_F - n_A - n_B = 1 + 1 - 1 - 1 = 0$. Следовательно, $K^0 = K_C$.

Теперь проведем расчет равновесных концентраций участников реакции. Предположим, что к моменту равновесия прореагировало x моль вещества А, тогда из уравнения реакции следует, что в реакцию вступило x моль вещества В и образовалось x моль вещества D и x моль вещества F. Выражаем через x равновесные концентрации веществ.

Вещество	Начальная концентрация, моль/л	Равновесная концентрация, моль/л
A	2	$2 - x$
B	3	$3 - x$
D	0	x
F	0	x

Подставим равновесные концентрации в выражение для константы равновесия K_C и получим $K_C = \frac{x \cdot x}{(2-x)(3-x)} = 3,96$.

Решим это уравнение относительно x . Преобразуем его к следующему квадратному уравнению: $2,96x^2 - 19,80x + 23,76 = 0$.

По известным формулам для квадратного уравнения находим, что это уравнение имеет два корня: $x_1 = 5,12$ и $x_2 = 1,57$. Корень x_1 не удовлетворяет условию задачи, так как начальные количества исходных веществ меньше. Условию задачи удовлетворяет корень $x_2 = 1,57$. Следовательно, равновесные концентрации веществ $[A] = 2 - 1,57 = 0,43$ моль/л; $[B] = 3 - 1,57 = 1,43$ моль/л; $[D] = [F] = 1,57$ моль/л.

К разделу 4 «Химическая кинетика»

Пример 4.1. Определите время, за которое прореагирует 90 % вещества A, разлагающегося по реакции первого порядка $A \rightarrow B + D$, если известно время полупревращения $t_{0,5} = 40$ мин.

Решение. Текущая концентрация исходного вещества для реакции первого порядка определяется уравнением

$$C = C_0 \exp(-kt). \quad (4.1)$$

Количество распавшегося вещества A к моменту времени t $x = C_0 - C$.

Подставим в уравнение (4.1) текущую концентрацию $C = C_0 - x$ и получим

$$C_0 - x = C_0 \exp(-kt); \quad x = C_0(1 - e^{-kt}).$$

Доля распавшегося вещества

$$\alpha = \frac{x}{C_0} = 1 - e^{-kt}.$$

Из этого уравнения выразим экспоненту $e^{-kt} = 1 - \alpha$. Прологарифмируем это выражение и найдем время:

$$\ln e^{-kt} = \ln(1 - \alpha); \quad -kt = \ln(1 - \alpha);$$

$$t = \frac{\ln(1 - \alpha)}{k}. \quad (4.2)$$

Время полупревращения $t_{0,5}$ выражается уравнением $t_{0,5} = \ln 2 / k$, откуда $k = \ln 2 / t_{0,5}$.

Подставляем выражение для k в уравнение (4.2) и получаем окончательное уравнение

$$t = -\frac{t_{0,5} \ln(1 - \alpha)}{\ln 2}.$$

Подставляя данные, находим

$$t_{0,9} = -\frac{40 \ln(1 - 0,9)}{\ln 2} = -\frac{40(-2,3)}{0,693} = 132,76 \text{ мин.}$$

Пример 4.2. Для элементарной реакции $A + B = D + F$ при начальных концентрациях реагентов $C_{0,A} = C_{0,B} = 0,6$ моль/л через 20 мин после начала реакции концентрация вещества А уменьшилась до значения $C_{1,A} = 0,4$ моль/л. Определите концентрацию вещества А через 60 мин после начала реакции.

Решение. Поскольку данная реакция элементарная, то это реакция второго порядка. При равных начальных концентрациях реагентов для реакции второго порядка решение дифференциального уравнения

$$-\frac{dC}{dt} = kC^2$$

приводит к следующему результату:

$$\frac{1}{C} - \frac{1}{C_0} = kt.$$

Выразим из этого уравнения константу скорости и текущую концентрацию:

$$k = \frac{1}{t} \frac{C_0 - C}{C_0 C}; \quad C = \frac{C_0}{1 + C_0 k t}.$$

Вычислим константу скорости по заданным условиям:

$$k = \frac{1}{20} \frac{(0,6 - 0,4)}{0,6 \cdot 0,4} = 0,0417 \text{ л/(моль} \cdot \text{мин)}.$$

Далее найдем концентрацию вещества А через 60 мин после начала реакции:

$$C_2 = \frac{0,6}{1 + 0,6 \cdot 0,0417 \cdot 60} = 0,24 \text{ моль/л}.$$

Пример 4.3. Скорость образования NO в реакции



равна $1,6 \cdot 10^{-4}$ моль/(л · с). Определите скорость реакции, скорость расходования NOBr и скорость образования Br₂.

Решение. Из уравнения следует, что из 1 моль NOBr₂ образуется 1 моль NO и 1/2 моль Br₂, тогда скорость реакции можно выразить через изменение концентрации любого компонента:

$$r = -\frac{d[\text{NOBr}]}{dt} = \frac{d[\text{NO}]}{dt} = \frac{1}{2} \frac{d[\text{Br}_2]}{dt}.$$

Скорость расходования NOBr равна скорости образования NO с обратным знаком, а скорость образования Br₂ в 2 раза меньше скорости образования NO:

$$-\frac{d[\text{NOBr}]}{dt} = \frac{d[\text{NO}]}{dt} = 1,6 \cdot 10^{-4} \text{ моль/(л} \cdot \text{с)};$$

$$\frac{d[\text{Br}_2]}{dt} = \frac{1}{2} \frac{d[\text{NO}]}{dt} = \frac{1}{2} \cdot 1,6 \cdot 10^{-4} = 0,8 \cdot 10^{-4} = 8 \cdot 10^{-5} \text{ моль/(л} \cdot \text{с)}.$$

Пример 4.4. В реакции $A + B \rightarrow D$ начальные концентрации веществ А и В равны соответственно 2,0 и 3,0 моль/л. В некоторый момент времени концентрация вещества А уменьшилась до 1,5 моль/л, а скорость реакции стала равной $r = 1,2 \cdot 10^{-3}$ моль/(л · с).

Рассчитайте константу скорости и скорость реакции в момент времени, когда концентрация вещества В стала равной 1,5 моль/л.

Решение. Согласно закону действующих масс, скорость реакции составляет

$$r = k C_A C_B, \quad (4.3),$$

где k — константа скорости реакции; C_A и C_B — текущие концентрации веществ.

К моменту времени, когда $C_{1,A} = 1,5$ моль/л, прореагировало по 0,5 моль/л веществ А и В, поэтому концентрация вещества В стала равной $C_{1,B} = C_{0,B} - 0,5 = 3 - 0,5 = 2,5$ моль/л.

Константу скорости определим из уравнения (4.3):

$$k = r_1 / C_{1,A} C_{1,B} = 1,2 \cdot 10^{-3} / (1,5 \cdot 2,5) = 3,2 \cdot 10^{-4} \text{ л}/(\text{моль} \cdot \text{с}).$$

К моменту времени, когда концентрация вещества В уменьшилась до $C_{2,B} = 1,5$ моль/л, прореагировало по 1,5 моль/л веществ А и В, поэтому $C_{2,A} = 2 - 1,5 = 0,5$ моль/л. Скорость реакции

$$r_2 = k C_{2,A} C_{2,B} = 3,2 \cdot 10^{-4} \cdot 0,5 \cdot 1,5 = 2,4 \cdot 10^{-4} \text{ моль}/(\text{л} \cdot \text{с}).$$

Пример 4.5. Энергия активации первой реакции E_1 в 3 раза больше энергии активации второй реакции E_2 . При нагревании от температуры $T_1 = 400$ К до $T_2 = 500$ К константа скорости первой реакции увеличилась в 7 раз. Во сколько раз увеличилась константа скорости второй реакции при нагревании в этом же температурном интервале?

Решение. Расчет отношения констант скоростей реакции проводим на основании уравнения Аррениуса, устанавливающего зависимость константы скорости реакции от температуры:

$$k = k_0 \exp\left(-\frac{E}{RT}\right).$$

Для первой реакции при двух различных температурах справедливо соотношение

$$\ln \frac{k_2}{k_1} = \frac{E_1(T_2 - T_1)}{RT_1 T_2} = \ln 7.$$

Из этого соотношения можно выразить энергию активации:

$$E_1 = \frac{RT_1 T_2 \ln 7}{T_2 - T_1}.$$

Аналогично из уравнения Аррениуса для второй реакции

$$\ln \frac{k'_2}{k'_1} = \frac{E_2(T_2 - T_1)}{RT_1 T_2}.$$

По условию задачи $E_2 = E_1/3$ и, следовательно,

$$\ln \frac{k'_2}{k'_1} = \frac{\ln 7 \cdot RT_2 T_1 (T_2 - T_1)}{(T_2 - T_1) RT_2 T_1 \cdot 3} = \frac{\ln 7}{3};$$

$$3 \ln \frac{k'_2}{k'_1} = \ln 7; \quad \frac{k'_2}{k'_1} = 7^{1/3} = 1,91.$$

К разделу 5 «Закономерности протекания реакций в растворах»

Пример 5.1. Определите молярную концентрацию, молярную концентрацию эквивалентов и мольные доли компонентов в 1 л водного раствора карбоната калия с массовой долей $\omega = 10\%$ и плотностью 1090,4 г/л.

Решение. Молярная концентрация раствора определяется количеством вещества n , содержащимся в объеме раствора V .

Молярную концентрацию C раствора находим, используя формулы для расчета массы раствора m_p и массы вещества m_b :

$$m_p = V\rho, \quad m_b = m_p \omega = \omega V\rho;$$

$$C = \frac{n}{V} = \frac{m}{MV} = \frac{\omega V\rho}{MV} = \frac{\omega\rho}{M} = \frac{0,1 \cdot 1090,4}{138,2} = 0,79 \text{ моль/л.}$$

Молярная концентрация эквивалентов определяется количеством эквивалентов вещества $n_{\text{эКВ}}$, содержащимся в объеме раствора V . Молярную концентрацию эквивалентов $C_{\text{эКВ}}$ можно рассчитать по аналогичной формуле, подставляя вместо молярной массы молярную массу эквивалентов вещества:

$$M_{\text{экв}} = \frac{M}{Z},$$

где Z — число эквивалентности. Для K_2CO_3 число эквивалентности $Z = 2$:

$$C_{\text{экв}} = \frac{\omega \rho Z}{M} = \frac{0,1 \cdot 1090,4 \cdot 2}{138,2} = 1,58 \text{ моль/л.}$$

Молярная доля компонента — это отношение количества данного вещества n_i к сумме количеств всех веществ $\sum n_i$:

$$X_i = \frac{n_i}{\sum n_i}.$$

Количество растворенного вещества K_2CO_3

$$n_1 = \frac{m_1}{M_1} = \frac{\omega V \rho}{M_1} = \frac{0,1 \cdot 1 \cdot 1090,4}{138,2} = 0,79 \text{ моль/л.}$$

Количество вещества растворителя H_2O

$$n_2 = \frac{m_2}{M_2} = \frac{V \rho - \omega V \rho}{M_2} = \frac{1 \cdot 1090,4 - 0,1 \cdot 1 \cdot 1090,4}{18} = \frac{981,36}{18} = 54,52 \text{ моль/л.}$$

Молярная доля K_2CO_3

$$X_1 = \frac{n_1}{\sum n} = \frac{0,79}{0,79 + 54,52} = 0,014.$$

Молярная доля H_2O

$$X_2 = 1 - 0,014 = 0,986.$$

Пример 5.2. Вычислите, сколько теплоты поглощается при растворении 0,1 моль хлорида калия в 1 кг воды, если температура раствора понизилась на 5,25 °С. Удельную теплоемкость раствора примите равной удельной теплоемкости воды 4,187 Дж/(г·К).

Решение. Теплота растворения рассчитывается по уравнению

$$\Delta H = m_p c \Delta T,$$

где m_p — масса раствора; c — теплоемкость раствора; ΔT — изменение температуры.

Масса растворенного вещества

$$m_b = nM = 0,1 \cdot 74,55 = 7,455 \text{ г.}$$

Масса раствора

$$m_p = 7,455 + 1000 = 1007,455 \text{ г.}$$

Теплота растворения

$$\Delta H = 1007,455 \cdot 4,187 \cdot 5,25 = 22145,6 \text{ Дж} \approx 22,15 \text{ кДж.}$$

Пример 5.3. Вычислите коэффициент активности и значение рН 0,005М водного раствора серной кислоты.

Решение. Серная кислота диссоциирует по уравнению



Молярные концентрации кислоты и сульфат-иона равны 0,005 моль/л, концентрация ионов водорода в 2 раза больше — 0,01 моль/л.

Водородный показатель рН раствора определяется активностью ионов H^+ :

$$\text{pH} = -\lg a_{\text{H}^+},$$

которая пропорциональна концентрации ионов

$$a_{\text{H}^+} = \gamma C_{\text{H}^+},$$

где γ — коэффициент активности.

Коэффициент активности можно вычислить, используя понятие ионной силы, которая учитывает межионные взаимодействия в сильном электролите.

Ионная сила рассчитывается по уравнению

$$I = 0,5 \sum C_i Z_i^2, \quad (5.1)$$

где C_i — молярные концентрации ионов; Z_i — заряды ионов.

При разных значениях ионной силы коэффициент активности вычисляется по различным уравнениям:

$$\text{при } I < 0,01 \quad \lg \gamma = -0,5Z^2\sqrt{I}; \quad (5.2)$$

$$\text{при } 0,01 < I < 0,1 \quad \lg \gamma = -\frac{0,5Z^2\sqrt{I}}{1+\sqrt{I}}; \quad (5.3)$$

$$\text{при } 0,1 < I < 1 \quad \lg \gamma = -\frac{0,5Z^2\sqrt{I}}{1+\sqrt{I}} + 0,1Z^2I. \quad (5.4)$$

Для 0,005 М Н₂SO₄ ионная сила

$$I = 0,5\sum C_i Z_i^2 = 0,5(0,01 \cdot 1^2 + 0,005 \cdot 2^2) = 0,015.$$

Коэффициент активности иона водорода γ вычисляем по уравнению (5.3):

$$\lg \gamma = -\frac{0,5Z^2\sqrt{I}}{1+\sqrt{I}} = -\frac{0,5 \cdot 1^2 \sqrt{0,015}}{1+\sqrt{0,015}} = -0,0545, \quad \gamma = 0,88.$$

Активность ионов водорода и pH раствора

$$a_{\text{H}^+} = \gamma C_{\text{H}^+} = 2 \cdot 0,005 \cdot 0,88 = 0,0088, \quad \text{pH} = -\lg 0,0088 = 2,055.$$

Пример 5.4. Вычислите осмотическое давление водного раствора нитрата бария, в 1 л которого при температуре 25 °С содержится 26,13 г соли. Кажущуюся степень диссоциации электролита примите равной 91 %.

Решение. Осмотическое давление π для электролита рассчитывается по уравнению

$$\pi = CRTi,$$

где i — изотонический коэффициент, или коэффициент диссоциации.

Изотонический коэффициент характеризует увеличение количества частиц в растворе:

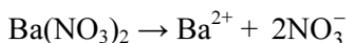
$$i = 1 + \alpha [(n_+ + n_-) - 1],$$

где α — степень диссоциации; n_+ и n_- — количество катионов и анионов, образующихся при диссоциации.

Молярная концентрация раствора

$$C = \frac{m}{MV} = \frac{26,13}{261,33 \cdot 1} = 0,1 \text{ моль/л} = 100 \text{ моль/м}^3.$$

Нитрат бария диссоциирует на один катион и два аниона:



Изотонический коэффициент

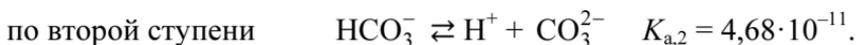
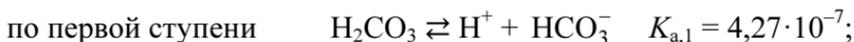
$$i = 1 + 0,91(3 - 1) = 2,82.$$

Осмотическое давление

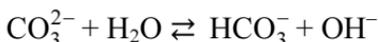
$$\pi = 100 \cdot 8,31(273+25)2,82 = 698\,339 \text{ Па} \approx 698 \text{ кПа}.$$

Пример 5.5. Вычислите константу и степень гидролиза карбоната натрия, протекающего по первой ступени, в 0,1 М растворе Na_2CO_3 .

Константы диссоциации угольной кислоты:



Решение. Запишем уравнение гидролиза Na_2CO_3 , протекающего по первой ступени, в молекулярной и молекулярно-ионной формах:



Константа гидролиза K_r может быть выражена через ионное произведение воды K_w и константу диссоциации угольной кислоты по второй ступени $K_{a,2}$:

$$K_r = \frac{[\text{HCO}_3^-][\text{OH}^-]}{[\text{CO}_3^{2-}]} = \frac{[\text{HCO}_3^-][\text{OH}^-][\text{H}^+]}{[\text{CO}_3^{2-}][\text{H}^+]} = \frac{K_w}{K_{a,2}}.$$

Вычисляем константу гидролиза:

$$K_r = \frac{1,0 \cdot 10^{-14}}{4,68 \cdot 10^{-11}} = 2,1 \cdot 10^{-4}.$$

Степень гидролиза h определяется из уравнения

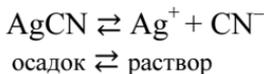
$$K_r = \frac{h^2}{1-h} \approx h^2 C,$$

откуда

$$h = \sqrt{\frac{K_r}{C}} = \sqrt{\frac{2,1 \cdot 10^{-4}}{0,1}} = 4,58 \cdot 10^{-2} = 4,58 \%$$

Пример 5.6. Произведение растворимости AgCN при температуре $T = 298$ К равно $IP = 1,6 \cdot 10^{-14}$. Каковы концентрации ионов Ag^+ и CN^- в насыщенном растворе цианида серебра при этой температуре?

Решение. В насыщенном растворе AgCN устанавливается равновесие

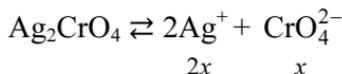


Концентрации ионов Ag^+ и CN^- одинаковы и равны:

$$C_{Ag^+} = C_{CN^-} = \sqrt{IP_{AgCN}} = \sqrt{1,6 \cdot 10^{-14}} = 1,26 \cdot 10^{-7} \text{ моль/л.}$$

Пример 5.7. Вычислите объем воды, который потребуется для растворения 0,01 г Ag_2CrO_4 при $25^\circ C$ (объем воды принять равным объему раствора). Произведение растворимости Ag_2CrO_4 $IP = 4,7 \cdot 10^{-12}$.

Решение. Из произведения растворимости определяем концентрацию ионов Ag^+ в насыщенном растворе Ag_2CrO_4 , обозначив ее $2x$:



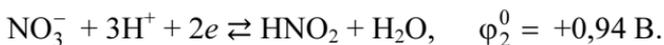
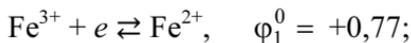
$$IP = [Ag^+]^2 [CrO_4^{2-}] = (2x)^2 (x) = 4x^3 = 4,7 \cdot 10^{-12}, x = 1,05 \cdot 10^{-4} \text{ моль/л.}$$

Требуется растворить количество вещества $n = \frac{m}{M} = \frac{0,01}{331,74} = 3 \cdot 10^{-5}$ моль.

В 1 л воды растворяется $1,05 \cdot 10^{-4}$ моль Ag_2CrO_4 , для растворения $3 \cdot 10^{-5}$ моль потребуется $V = \frac{3 \cdot 10^{-5}}{1,05 \cdot 10^{-4}} = 0,285$ л.

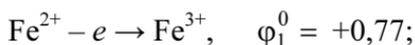
К разделу 6 «Электрохимические процессы»

Пример 6.1. По приведенным уравнениям полуреакций и значениям стандартных потенциалов составьте полное ионно-молекулярное уравнение окислительно-восстановительной реакции, самопроизвольно протекающей в редокс-элементе, рассчитайте ЭДС элемента и стандартную энергию Гиббса $\Delta_r G_{298}^0$ реакции

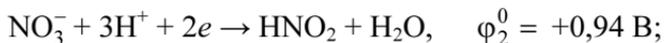


Решение. Уравнение окислительно-восстановительной реакции можно составить, исходя из условия самопроизвольного перехода электронов от восстановителя к окислителю. Восстановитель, отдавая электроны, имеет меньшее значение электродного потенциала, окислитель, принимая электроны, имеет большее значение потенциала. На основании этого запишем уравнения процессов окисления и восстановления, а также общее ионно-молекулярное уравнение в направлении его самопроизвольного протекания:

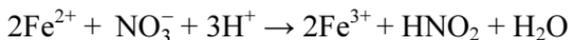
окисление восстановителя



восстановление окислителя



общее уравнение реакции в ионно-молекулярной форме



Определяем электродвижущую силу (ЭДС) данной окислительно-восстановительной реакции как разность между стандартными электродными потенциалами окислителя и восстановителя:

$$E = \varphi_{\text{ок}}^0 - \varphi_{\text{вос}}^0 = 0,94 - 0,77 = 0,17 \text{ В.}$$

Самопроизвольное протекание окислительно-восстановительной реакции возможно при понижении энергии Гиббса, которое связано с ЭДС реакции уравнением

$$\Delta_r G^0 = -ZFE,$$

где Z — общее число электронов, участвующих в окислительно-восстановительной реакции; F — число Фарадея, $F = 96\,500$ Кл/моль (экв.); E — ЭДС окислительно-восстановительной реакции.

Определяем изменение энергии Гиббса в реакции:

$$\Delta_r G^0 = -2 \cdot 96\,500 \cdot 0,17 = -32810 \text{ Дж} = -32,81 \text{ кДж}.$$

Положительное значение ЭДС реакции и отрицательное значение изменения энергии Гиббса подтверждают ее самопроизвольное протекание.

Пример 6.2. Приведите схему гальванического элемента, образованного алюминиевой и медной пластинами, погруженными в растворы их хлоридов с относительными активностями ионов $a_{\text{Al}^{3+}} = 10^{-3}$, $a_{\text{Cu}^{2+}} = 10^{-1}$, напишите уравнения электродных процессов и токообразующей реакции. Рассчитайте ЭДС, работу, совершаемую при протекании реакции в гальваническом элементе, стандартную энергию Гиббса и константу равновесия реакции при температуре 298 К.

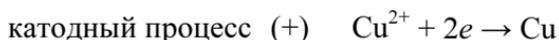
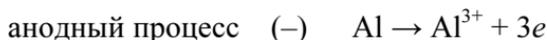
Стандартные электродные потенциалы $\varphi_{\text{Al}^{3+}/\text{Al}}^0 = -1,662 \text{ В}$;
 $\varphi_{\text{Cu}^{2+}/\text{Cu}}^0 = 0,337 \text{ В}$.

Решение. Анодом в данном гальваническом элементе является алюминиевая пластина, катодом — медная, поскольку $\varphi_{\text{Al}^{3+}/\text{Al}}^0 < \varphi_{\text{Cu}^{2+}/\text{Cu}}^0$.

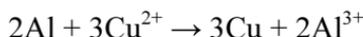
Схема гальванического элемента:



Электродные процессы описываются уравнениями?



Уравнение токообразующей реакции является суммой уравнений электродных процессов:



Максимальное значение электрической работы, совершаемой при протекании реакции в гальваническом элементе,

$$W = ZFE.$$

ЭДС гальванического элемента

$$E = \varphi_{\text{ок}} - \varphi_{\text{вос}} = \varphi_{\text{Cu}^{2+}/\text{Cu}}^0 - \varphi_{\text{Al}^{3+}/\text{Al}}^0.$$

Потенциалы металлических электродов рассчитываем по уравнению Нернста:

$$\varphi = \varphi^0 + \frac{0,059}{Z} \log a_i,$$

где φ^0 — стандартный электродный потенциал; Z — число электронов, участвующих в электродном процессе; a_i — активность ионов металла в растворе.

Вычисляем потенциалы анода и катода:

$$\varphi_{\text{анод}} = \varphi_{\text{Al}^{3+}/\text{Al}} = \varphi_{\text{Al}^{3+}/\text{Al}}^0 + \frac{0,059}{3} \log 10^{-3} = -1,662 - 0,059 = -1,721 \text{ В};$$

$$\varphi_{\text{катод}} = \varphi_{\text{Cu}^{2+}/\text{Cu}} = \varphi_{\text{Cu}^{2+}/\text{Cu}}^0 + \frac{0,059}{2} \log 10^{-1} = 0,337 - 0,029 = 0,307 \text{ В}.$$

Рассчитываем работу:

$$W = 6 \cdot 96\,500 (0,307 + 1,721) \cdot 10^{-3} = 1174,5 \text{ кДж}.$$

Работа, совершаемая в реакции при постоянной температуре и давлении, равна убыли энергии Гиббса реакции, т. е. $W = -\Delta_r G$, откуда

$$\Delta_r G = -W = -ZFE = -1174,5 \text{ кДж}.$$

Стандартная энергия Гиббса связана с константой равновесия K_a^0 уравнением

$$\ln K_a^0 = -\frac{\Delta_r G^0}{RT}.$$

При равновесии

$$\Delta_r G_{298}^0 = -ZFE^0 = -ZF\left(\varphi_{\text{Cu}^{2+}/\text{Cu}}^0 - \varphi_{\text{Al}^{3+}/\text{Al}}^0\right) =$$

$$= -6 \cdot 96500(0,337 + 1,662) \cdot 10^{-3} = -1157,4 \text{ кДж},$$

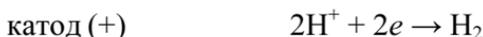
откуда

$$K_a^0 = e^{\frac{1157421}{8,31 \cdot 298}} = e^{474}.$$

Токообразующая реакция в гальваническом элементе протекает необратимо.

Пример 6.3. Гальванический элемент состоит из двух водородных электродов, погруженных в растворы с разными значениями рН: $\text{pH}_1 = 3$ и $\text{pH}_2 = 10$. Приведите уравнения электродных реакций, рассчитайте ЭДС гальванического элемента. Укажите, в каком электролите водородный электрод является анодом, в каком — катодом. К какому типу относится данный гальванический элемент?

Решение. Так как на аноде происходит процесс окисления, а на катоде — восстановление, в гальваническом элементе будут протекать следующие электродные реакции:



Данный элемент относится к *концентрационным гальваническим элементам*, поскольку состоит из двух одинаковых по своей природе электродов, на которых протекает одна и та же электродная реакция в разных направлениях. Направление переноса электронов во внешней цепи определяется активностью электролита у каждого электрода.

Потенциал водородного электрода зависит от рН раствора и относительного парциального давления водорода:

$$\varphi_{2\text{H}^+/\text{H}_2} = 0,059 \log a_{\text{H}^+} - \frac{0,059}{2} \log \tilde{p}_{\text{H}_2}.$$

Принимая парциальное давление водорода равным стандартному и заменяя активность ионов водорода величиной рН, рассчитываем потенциал водородного электрода по уравнению

$$\varphi_{2\text{H}^+/\text{H}_2} = -0,059\text{pH}.$$

Потенциалы водородных электродов

$$\text{при } \text{pH}_1 = 3 \quad \varphi_1 = -0,059 \cdot 3 = -0,177 \text{ В};$$

$$\text{при } \text{pH}_2 = 10 \quad \varphi_2 = -0,059 \cdot 10 = -0,59 \text{ В}.$$

Поскольку $\varphi_1 > \varphi_2$, электрод, погруженный в раствор с $\text{pH}_1 = 3$, будет катодом, а электрод, погруженный в раствор с $\text{pH}_2 = 10$, — анодом.

ЭДС гальванического элемента

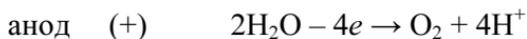
$$E = \varphi_1 - \varphi_2 = -0,177 - (-0,59) = 0,413 \text{ В}.$$

Пример 6.4. Определите массу образовавшейся на катоде меди, если при электролизе водного раствора сульфата меди CuSO_4 на аноде выделилось 700 мл кислорода, измеренного при нормальных условиях. Составьте уравнения электродных реакций и суммарного процесса.

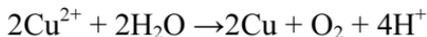
Решение. В водных растворах сульфата меди содержатся ионы Cu^{2+} и SO_4^{2-} , образующиеся в результате диссоциации CuSO_4 , и молекулы воды. При электролизе на аноде окисляются молекулы воды, на катоде восстанавливаются ионы меди, так как

$$\varphi_{\text{Cu}^{2+}/\text{Cu}}^0 > \varphi_{2\text{H}^+/\text{H}_2}^0.$$

Схема всего процесса может быть представлена следующим образом:



Суммарное уравнение процесса электролиза имеет вид



Согласно закону эквивалентов количества вещества эквивалентов кислорода и меди одинаковы. Определим, сколько эквивалентов кислорода выделилось при электролизе. При нормальных условиях (н.у. — температура 273 К, давление 101,3 кПа) 1 моль кислорода, имеющий молярную массу 32 г/моль, согласно закону Авогадро,

занимает объем 22,4 л. Один моль эквивалентов кислорода, имея молярную массу 8 г/моль, занимает при н.у. объем 5,6 л.

Следовательно, количество эквивалентов кислорода, содержащихся в 700 мл,

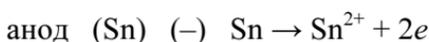
$$n_{\text{эКВ}} = \frac{0,700}{5,6} = 0,125 \text{ моль.}$$

Столько же образовалось эквивалентов меди, откуда масса меди

$$m = M_{\text{эКВ}} n_{\text{эКВ}} = \frac{Mn_{\text{эКВ}}}{Z} = \frac{63,54 \cdot 0,125}{2} = 3,97 \text{ г.}$$

Пример 6.5. Образец меди с нанесенным на него слоем олова находится в природной воде ($\text{pH} = 8,1$) при температуре 298 К и стандартном давлении. Какой металл будет подвергаться коррозии? С какой деполаризацией — кислородной или водородной — может протекать процесс? К какому типу металлических покрытий относится оловянное покрытие на меди? При расчете активность ионов корродирующего металла примите равной 10^{-6} . Стандартные электродные потенциалы $\varphi_{\text{Cu}^{2+}/\text{Cu}}^0 = 0,337 \text{ В}$, $\varphi_{\text{Sn}^{2+}/\text{Sn}}^0 = -0,136 \text{ В}$.

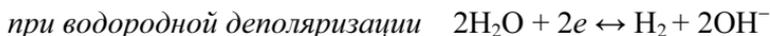
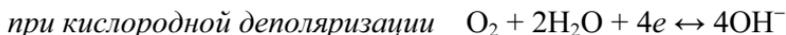
Решение. Из значений стандартных электродных потенциалов меди и олова следует, что подвергаться коррозии будет металл покрытия — олово, являющееся в гальванической паре Cu–Sn анодом:



Вычисляем потенциал анода по уравнению Нернста:

$$\varphi_{\text{Sn}^{2+}/\text{Sn}} = \varphi_{\text{Sn}^{2+}/\text{Sn}}^0 + \frac{0,059}{2} \log a_{\text{Sn}^{2+}} = -0,136 + \frac{0,059}{2} \log 10^{-6} = -0,313 \text{ В.}$$

На медном катоде в слабощелочной среде могут протекать катодные реакции:



Вычисляем потенциалы
кислородного электрода

$$\varphi_{\text{O}_2/\text{OH}^-} = 1,229 - 0,059\text{pH} = 1,229 - 0,059 \cdot 8,1 = +0,751 \text{ В};$$

водородного электрода

$$\varphi_{\text{H}_2\text{O}/\text{H}_2} = -0,059\text{pH} = -0,059 \cdot 8,1 = -0,478 \text{ В.}$$

Записываем схемы коррозионных элементов и вычисляем ЭДС элементов:

при кислородной деполяризации

(анод) (Sn) (-) Sn | H₂O, O₂, pH = 8,1 | O₂ / OH⁻ (+) (Cu) (катод)

$$E_1 = \varphi_{\text{O}_2/\text{OH}^-} - \varphi_{\text{Sn}^{2+}/\text{Sn}} = 0,751 - (-0,313) = 1,064 \text{ В};$$

при водородной деполяризации

(анод) (Sn) (-) Sn | H₂O, pH = 8,1 | H₂O / H₂ (+) (Cu) (катод)

$$E_2 = \varphi_{\text{H}_2\text{O}/\text{H}_2} - \varphi_{\text{Sn}^{2+}/\text{Sn}} = -0,478 - (-0,313) = -0,165 \text{ В.}$$

Коррозия меди с оловянным покрытием (луженой меди) в природной воде может протекать только с кислородной деполяризацией, поскольку для водородной деполяризации $E_2 < 0$, что определяет знак $\Delta_r G_{298,2}^0 > 0$. При коррозии разрушается металл покрытия — олово, которое, являясь покрытием анодного типа для меди, защищает ее от коррозии механически и электрохимически.

Пример 6.6. Определите толщину медного покрытия, наносимого на железо электрохимическим способом из раствора CuSO₄ в течение 20 минут при плотности тока 2,0 А/дм² и выходе по току 90 %. Плотность меди 8960 кг/м³.

Решение. Согласно первому закону Фарадея масса выделившегося на электроде вещества пропорциональна количеству прошедшего электричества:

$$m = \frac{MIt}{ZF} \text{ В,}$$

где M — молярная масса меди, г/моль; I — сила тока, А; t — время, с; Z — количество электронов, участвующих в катодном процессе; F — постоянная Фарадея; B — выход по току.

Толщину покрытия δ определим, исходя из объема покрытия:

$$V = S\delta = \frac{m}{\rho},$$

откуда

$$\delta = \frac{MitB}{ZF\rho S} = \frac{MjtB}{ZF\rho},$$

где $j = I/S$ — плотность тока, А/м²; ρ — плотность меди, г/см³.

Подставив числовые данные, получим

$$\delta = \frac{63,55 \cdot 10^{-3} \cdot 2 \cdot 100 \cdot 20 \cdot 60 \cdot 0,9}{2 \cdot 96484 \cdot 8960} = 7,94 \cdot 10^{-6} \text{ м} = 7,94 \text{ мкм.}$$

Таким образом, толщина слоя олова на меди составляет 7,94 мкм.

1. СТРОЕНИЕ ВЕЩЕСТВА

1.1. Атом

В задачах 1–15 по заданным координатам (период, группа) найдите элемент в Периодической системе, составьте полную электронную формулу атома, изобразите распределение электронов по энергетическим ячейкам, укажите, диамагнитными или парамагнитными свойствами обладают нейтральные атомы данного элемента.

№ п/п	Период	Группа	№ п/п	Период	Группа	№ п/п	Период	Группа
1	4	9 (VIIIВ)	6	4	11 (IB)	11	4	5 (VB)
2	5	15 (VA)	7	4	17 (VIIA)	12	4	14 (IVA)
3	3	16 (VIA)	8	5	1 (IA)	13	4	4 (IVB)
4	4	5 (VB)	9	4	12 (IIB)	14	3	18 (VIIIA)
5	5	2 (IIA)	10	4	7 (VIIВ)	15	5	6 (VIB)

В задачах 16–30 укажите значения квантовых чисел n , l и m_l для электронов внешнего энергетического уровня в атомах элементов с порядковыми номерами Z . Составьте полную электронную формулу атома элемента, покажите распределение электронов по энергетическим ячейкам.

№ п/п	Z								
16	11	19	23	22	17	25	30	28	31
17	14	20	33	23	12	26	25	29	37
18	20	21	15	24	7	27	35	30	24

В задачах 31–44 объясните изменение первой энергии ионизации в ряду атомов элементов. Составьте полные электронные формулы атомов элементов, покажите распределение электронов по энергетическим ячейкам.

№ п/п	Элемент			№ п/п	Элемент		
	Первая энергия ионизации, эВ				Первая энергия ионизации, эВ		
31	Li 5,39	Na 5,14	K 4,34	38	Li 5,39	Be 9,32	B 8,296
32	Be 9,32	Mg 7,64	Ca 6,11	39	C 11,26	N 14,54	O 13,61
33	B 8,29	Al 5,98	Ga 6,00	40	K 4,34	Ca 6,11	Sc 6,56
34	C 11,26	Si 8,15	Ge 7,88	41	Na 5,14	Mg 7,64	Al 5,98
35	Cu 7,72	Ag 7,57	Au 9,22	42	B 8,29	C 11,26	N 14,54
36	Zn 9,39	Cd 8,99	Hg 10,34	43	O 13,61	F 17,42	Ne 21,56
37	N 14,54	P 10,55	As 9,81	44	Al 5,98	Si 8,15	P 10,55

В задачах 45–58 объясните изменение радиуса в ряду атомов элементов. Составьте полные электронные формулы атомов элементов, покажите распределение электронов по энергетическим ячейкам.

№ п/п	Элемент			№ п/п	Элемент		
	Атомный радиус $R \cdot 10^{10}$, м				Атомный радиус $R \cdot 10^{10}$, м		
45	Li 1,55	Na 1,89	K 2,36	50	Fe 1,26	Co 1,25	Ni 1,24
46	Be 1,13	Mg 1,60	Ca 1,97	51	N 0,71	P 1,30	As 1,48
47	B 0,91	Al 1,42	Ga 1,39	52	Li 1,55	Be 1,13	B 0,91
48	C 0,77	Si 1,34	Ge 1,39	53	C 0,77	N 0,75	O 0,73
49	Sc 1,64	Ti 1,46	V 1,34	54	K 2,36	Ca 1,97	Sc 1,64

№ п/п	Элемент			№ п/п	Элемент		
	Атомный радиус $R \cdot 10^{10}$, м				Атомный радиус $R \cdot 10^{10}$, м		
55	Na	Mg	Al	57	O	F	Ne
	1,89	1,60	1,43		0,73	0,72	0,70
56	B	C	N	58	Al	Si	P
	0,81	0,77	0,75		1,43	1,34	1,30

В задачах 59–82 составьте полную электронную формулу атома элемента в основном и возбужденном состояниях, покажите распределение электронов по квантовым ячейкам, объясните, диамагнитными или парамагнитными свойствами обладают нейтральные атомы данного элемента в основном состоянии. Изобразите орбитали внешнего энергетического уровня атома в основном состоянии.

№ п/п	Элемент						
59	Mg	65	Al	71	Ge	77	Fe
60	Ga	66	Sc	72	S	78	Co
61	Ti	67	V	73	Mn	79	Cu
62	P	68	Sn	74	Zr	80	Br
63	Cl	69	Se	75	Ca	81	As
64	Si	70	Zn	76	Cr	82	Ni

1.2. Молекула

В задачах 83–88, используя метод молекулярных орбиталей, объясните различную длину связи в молекулах и молекулярных ионах.

№ п/п	Молекула	Длина связи $d \cdot 10^{12}$, м	Ион	Длина связи $d \cdot 10^{12}$, м	№ п/п	Молекула	Длина связи, $d \cdot 10^{12}$ м	Ион	Длина связи $d \cdot 10^{12}$, м
83	Cl ₂	199	Cl ₂ ⁺	189	86	C ₂	124	C ₂ ⁺	146
84	P ₂	189	P ₂ ⁺	199	87	O ₂	121	O ₂ ⁻	134
85	C ₂	124	C ₂ ⁻	127	88	H ₂	74	H ₂ ⁺	108

В задачах 89–94, используя метод молекулярных орбиталей, объясните различные значения энергии связи E в частицах.

№ п/п	Частица	E , кДж/моль	Частица	E , кДж/моль
89	P_2	489	P_2^+	430
90	S_2^+	522	S_2	426
91	O_2^-	397	O_2^+	646
92	N_2^+	846	N_2	945
93	Cl_2^-	124	Cl_2^+	392
94	I_2	153	I_2^+	254

В задачах 95–100, используя метод молекулярных орбиталей, изобразите энергетические диаграммы молекулы и молекулярного иона, определите порядок связи, сравните прочность связи, укажите характер магнитных свойств частиц.

№ п/п	Молекула	Ион	№ п/п	Молекула	Ион
95	O_2	O_2^+	98	N_2	N_2^{2-}
96	C_2	C_2^-	99	F_2	F_2^+
97	P_2	P_2^+	100	Be_2	Be_2^-

В задачах 101–109, используя метод молекулярных орбиталей, изобразите энергетические диаграммы молекул, определите порядок связи, сравните прочность связи, укажите характер магнитных свойств частиц.

№ п/п	Молекулы		№ п/п	Молекулы		№ п/п	Молекулы	
101	Al_2	F_2	104	C_2	Cl_2	107	N_2	Mg_2
102	B_2	Na_2	105	Be_2	S_2	108	O_2	Na_2
103	Li_2	P_2	106	Mg_2	Si_2	109	F_2	Al_2

В задачах 110–161 объясните экспериментально установленное строение молекулы или иона, используя метод валентных связей. Укажите тип гибридизации орбиталей центрального атома, изобразите перекрывание орбиталей и определите, полярна ли эта частица.

Внимание! Тип молекулы в общем виде записывается как AB_mE_n , где А — центральный атом, В — концевые атомы, Е — неподеленные пары электронов. Наличие неподеленной пары электронов в молекуле обозначено как V^* . В случае тригональной бипирамиды (sp^3d -гибридизация) неподеленные пары электронов располагаются в экваториальной плоскости, у октаэдра (sp^3d^2 -гибридизация) — в аксиальных положениях.

№ п/п	Частица	Геометрическая форма частицы	Валентные углы, град
110	$BeCl_2$	Линейная	Cl-Be-Cl 180
111	COS	»	O-C-S 180
112	CNF	»	N-C-F 180
113	HCN	»	H-C-N 180
114	NCS^-	»	N-C-S 180
115	OCN^-	»	O-C-N 180
116	SnO_2	»	O-Sn-O 180
117	$AlBr_3$	Плоский треугольник	Br-Al-Br 120
118	$COCl_2$	»	Cl-C-Cl 111 Cl-C-O 124
119	BCl_3	»	Cl-B-Cl 120
120	$GaCl_3$	»	Cl-Ga-Cl 120
121	NOF	Угловая	O-N-F 110
122	SiF_2	»	F-Si-F 101
123	$GeCl_2$	»	Cl-Ge-Cl 107
124	PbF_2	»	F-Pb-F 90
125	$[BeF_4]^{2-}$	Тетраэдр	F-Be-F 109,5
126	$[AlH_4]^-$	»	H-Al-H 109,5
127	$[GaH_4]^-$	»	H-Ga-H 109,5
128	GeF_4	»	F-Ge-F 109,5
129	PH_4^+	»	H-P-H 109,5
130	$SiBr_4$	»	Br-Si-Br 109,5
131	H_3O^+	Тригональная пирамида	H-O-H 109
132	H_3S^+	То же	H-S-H 96
133	NHF_2	»	H-N-F 100 F-N-F 103
134	$AsCl_3$	»	Cl-As-Cl 99
135	PCl_2F	»	Cl-P-Cl 104 Cl-P-F 102
136	$SbCl_3$	»	Cl-Sb-Cl 97
137	$[ClF_2]^+$	Угловая	F-Cl-F 100

№ п/п	Частица	Геометрическая форма частицы	Валентные углы, град
138	HO _F	Угловая	H–O–F 97
139	OF ₂	»	F–O–F 103
140	NH ₂ ⁻	»	H–N–H 104
141	SCl ₂	»	Cl–S–Cl 103
142	PCl ₅	Тригональная бипирамида	Cl–P–Cl 120 Cl–P–Cl* 90
143	AsF ₅	То же	F–As–F 120 F–As–F* 90
144	SF ₄	Искаженный тетраэдр	F–S–F 104 F–S–F* 89
145	TeCl ₄	То же	Cl–Te–Cl 120 Cl–Te–Cl* 93
146	BrF ₃	T-конфигурация	F–Br–F* 86 F*–Br–F* 188
147	[XeF ₃] ⁺	»	F–Xe–F* 80–82 F*–Xe–F* 162
148	XeF ₂	Линейная	F*–X–F* 180
149	[IBrCl] ⁻	»	Br*–I–Cl* 180
150	SClF ₅	Октаэдр	F–S–F 90 Cl–S–F 90
151	SeF ₆	»	F–Se–F 90
152	[AlF ₆] ³⁻	»	F–Al–F 90
153	[SiF ₆] ²⁻	»	F–Si–F 90
154	[GeCl ₆] ²⁻	»	Cl–Ge–Cl 90
155	[AsF ₆] ⁻	»	F–As–F 90
156	ClF ₅	Квадратная пирамида	F–Cl–F 90 F–Cl–F* 86
157	BrF ₅	То же	F–Br–F 90 F–Br–F* 85
158	[SbF ₅] ²⁻	»	F–Sb–F 90 F–Sb–F* 90
159	[BrF ₄] ⁻	Плоский квадрат	F–Br–F 90
160	[ICl ₄] ⁻	»	Cl–I–Cl 90
161	XeF ₄	»	F–Xe–F 90

В задачах 162–179 приведены частицы, имеющие одинаковую геометрическую форму. Используя метод валентных связей (см. примечание к задачам 110–161), объясните, одинаковый ли тип гибридизации орбиталей имеют центральные атомы частиц, имеются ли неподеленные электронные пары, оказывающие влияние на форму частицы. Приведите схему перекрывания атомных орбиталей.

№ п/п	Частица 1	Валентные углы, град	Частица 2	Валентные углы, град	Форма частиц
162	BeF ₂	F–Be–F 180	KrF ₂	F*–Kr–F* 180	Линейная
163	CO ₂	O–C–O 180	XeF ₂	F*–Xe–F* 180	»
164	CNCl	N–C–Cl 180	[ICl ₂] ⁻	Cl–I–Cl* 180	»
165	NCS ⁻	N–C–S 180	[IBr ₂] ⁻	Br–I–Br* 180	»
166	NOF	O–N–F 110	[ClF ₂] ⁺	F–Cl–F 100	Угловая
167	GeCl ₂	Cl–Ge–Cl 107	H ₂ O	H–O–H 105	»
168	SnF ₂	F–Sn–F 94	NH ₂ ⁻	H–N–H 104	»
169	PbBr ₂	Br–Pb–Br 95	HO ⁻	H–O–F 97	»
170	NOCl	O–N–Cl 113	SCl ₂	Cl–S–Cl 103	»
171	PbF ₂	F–Pb–F 90	[BrF ₂] ⁺	F–Br–F 94	»
172	NOBr	O–N–Br 115	H ₂ S	H–S–H 92	»
173	SiF ₂	F–Si–F 101	OF ₂	F–O–F 103	»
174	SnF ₂	F–Sn–F 94	H ₂ Se	H–Se–H 91	»
175	PbCl ₂	Cl–Pb–Cl 96	H ₂ Te	H–Te–H 90	»
176	[BH ₄] ⁻	H–B–H 109,5	SF ₄	F–S–F 104 F–S–F* 89	Тетраэдр
177	Cl ₄	I–C–I 109,5	TeCl ₄	Cl–Te–Cl 120 Cl–Te–Cl* 93	»
178	SiF ₄	F–Si–F 109,5	SF ₄	F–S–F 104 F–S–F* 89	»
179	SnH ₄	H–Sn–H 109,5	TeCl ₄	Cl–Te–Cl 120 Cl–Te–Cl* 93	»

В задачах 180–205 приведены частицы, состоящие из одного и того же количества атомов. Используя метод валентных связей, укажите тип гибридизации орбиталей центрального атома, изобразите геометрическое строение указанных частиц (см. примечание к задачам 110–161).

№ п/п	Частица 1	Валентные углы, град		Частица 2	Валентные углы, град	
180	BeCl ₂	Cl–Be–Cl	180	NOBr	O–N–Br	115
181	CS ₂	S–C–S	180	GeCl ₂	Cl–Ge–Cl	107
182	HCN	H–C–N	180	SnI ₂	I–Sn–I	95
183	CNBr	N–C–Br	180	PbF ₂	F–Pb–F	90
184	SnO ₂	O–Sn–O	180	[ClF ₂] ⁺	F–Cl–F	100
185	OCN ⁻	O–C–N	180	OF ₂	F–O–F	103
186	BeBr ₂	Br–Be–Br	180	SCl ₂	Cl–S–Cl	103
187	COS	O–C–S	180	KrF ₂	F*–Kr–F*	180
188	CNCl	N–C–Cl	180	XeF ₂	F*–Xe–F*	180
189	CNI	N–C–I	180	[IBr ₂] ⁻	Br*–I–Br*	180
190	BeF ₂	F–Be–F	180	[IBrCl] ⁻	Br*–I–Cl*	180
191	BeI ₂	I–Be–I	180	KrF ₂	F*–Kr–F*	180
192	AlCl ₃	Cl–Al–Cl	120	H ₃ O ⁺	H–O–H	109
193	COF ₂	F–C–F	108	NHF ₂	H–N–F	100
		F–C–O	126		F–N–F	103
194	BBr ₃	Br–B–Br	120	AsF ₃	F–As–F	96
195	GaCl ₃	Cl–Ga–Cl	120	PCl ₃	Cl–P–Cl	100
196	CSCl ₂	Cl–C–Cl	111	SbF ₃	F–Sb–F	95
		Cl–C–S	124			
197	GaBr ₃	Br–Ga–Br	120	BrF ₃	F–Br–F*	86
					F*–Br–F*	188
198	AlF ₃	F–Al–F	120	[XeF ₃] ⁺	F–Xe–F*	80–82
					F*–Xe–F*	162
199	[BeF ₄] ²⁻	F–Be–F	109,5	SF ₄	F–S–F	104
					F–S–F*	89
200	[AlCl ₄] ⁻	Cl–Al–Cl	109,5	[BrF ₄] ⁻	F–Br–F	90
201	SiCl ₄	Cl–Si–Cl	109,5	[ICl ₄] ⁻	Cl–I–Cl	90
202	SnF ₄	F–Sn–F	109,5	XeF ₄	F–Xe–F	90
203	PF ₅	F–P–F	120	ClF ₅	F–Cl–F	90
		F–P–F*	90		F–Cl–F*	86
204	AsF ₅	F–As–F	120	[XeF ₅] ⁺	F–Xe–F	≈90
		F–As–F*	90		F–Xe–F*	79–83
205	PCl ₅	Cl–P–Cl	120	[SbF ₅] ²⁻	F–Sb–F	90
		Cl–P–Cl*	90		F–Sb–F*	90

1.3. Кристалл

В задачах 206–225 определите, используя приведенные ниже экспериментальные данные, структурный тип кристаллической решетки, в которой кристаллизуется данный металл (гранцентрированная кубическая, объемно-центрированная кубическая или типа алмаза), рассчитайте эффективный радиус атома металла, изобразите элементарную ячейку, укажите координационное число.

№ п/п	Металл	Плотность, г/см ³	Ребро куба $a \cdot 10^{10}$, м	№ п/п	Металл	Плотность, г/см ³	Ребро куба $a \cdot 10^{10}$, м
206	Cr	7,19	2,885	216	Cu	8,90	3,6153
207	V	6,11	3,039	217	Sn	5,75	6,46
208	W	19,3	3,164	218	Nb	8,57	3,296
209	Rb	1,53	5,60	219	Ta	16,65	3,296
210	Pb	11,35	4,949	220	α -Fe	7,87	2,8665
211	Au	19,32	4,0786	221	Mo	10,22	3,1473
212	Na	0,97	4,20	222	Cs	1,87	6,0
213	Ge	5,32	5,65	223	Ba	3,59	5,02
214	Li	0,53	3,50	224	γ -Fe	8,14	3,64
215	Pt	21,45	3,93	225	Al	2,70	4,0495

В задачах 226–245 определите, используя приведенные ниже экспериментальные данные, структурный тип кристаллической решетки, в которой кристаллизуется данное вещество (структурный тип NaCl или CsCl), рассчитайте ионный радиус катиона, изобразите элементарную ячейку, укажите координационное число катиона и аниона.

№ п/п	Соединение	Радиус аниона $R \cdot 10^{10}$, м	Плотность, г/см ³	Ребро куба $a \cdot 10^{10}$, м	№ п/п	Соединение	Радиус аниона $R \cdot 10^{10}$, м	Плотность, г/см ³	Ребро куба $a \cdot 10^{10}$, м
226	AgCl	1,81	5,56	5,55	233	RbF	1,33	3,87	5,64
227	KF	1,33	249	5,34	234	CsI	2,19	4,51	4,57
228	PbS	1,85	7,50	5,92	235	RbCl	1,81	2,76	6,55
229	KCl	1,81	1,98	629	236	LiF	1,33	2,63	4,03
230	AgF	1,33	5,85	524	237	TlCl	1,81	7,00	3,86
231	CsBr	1,96	4,44	4,3	238	CaS	1,85	2,61	5,68
232	LiCl	1,81	2,07	5,14	239	MnO	1,40	544	4,44

№ п/п	Соединение	Радиус аниона $R \cdot 10^{10}$, м	Плотность, г/см^3	Ребро куба $a \cdot 10^{10}$, м	№ п/п	Соединение	Радиус аниона $R \cdot 10^{10}$, м	Плотность, г/см^3	Ребро куба $a \cdot 10^{10}$, м
240	CdO	1,40	8,15	4,70	243	TiO	1,40	5,52	4,25
241	CsH	1,36	3,42	6,39	244	MgS	1,85	2,66	5,20
242	TH	2,19	7,29	4,21	245	TIBr	1,95	7,56	3,98

В задачах 246–265 определите структурный тип соединения (CsCl, NaCl или ZnS) по приведенным ниже экспериментальным данным, изобразите элементарную ячейку, укажите координационные числа для катиона и аниона.

№ п/п	Соединение	$R_{\text{кат}} \times 10^{10}$, м	$R_{\text{анион}} \times 10^{10}$, м	Плотность, г/см^3	№ п/п	Соединение	$R_{\text{кат}} \times 10^{10}$, м	$R_{\text{анион}} \times 10^{10}$, м	Плотность, г/см^3
246	CuBr	0,60	1,95	5,83	256	NiAl	1,35	1,25	6,05
247	AuZn	1,42	1,32	13,81	257	RbBr	1,47	1,95	3,40
248	MnS	0,80	1,85	3,99	258	CdTe	0,78	2,20	6,36
249	AlP	1,30	1,0	2,40	259	NaF	0,97	1,33	2,56
250	SnSb	1,90	1,50	6,90	260	CuBe	1,24	1,07	6,09
251	CoAl	1,35	1,25	6,12	261	CdS	0,78	1,85	4,82
252	SiC	1,10	0,70	3,27	262	CoO	0,72	1,40	6,43
253	CuPd	1,24	1,34	10,80	263	ZnTe	1,32	2,20	6,34
254	SrTe	1,12	2,20	4,84	264	NbN	0,72	1,46	8,40
255	CuCl	0,60	1,81	5,82	265	MgO	0,66	1,40	3,58

В задачах 266–285 определите формулу соединения, состоящего из указанных элементов, кристаллизующегося в кубической сингонии с известным числом формульных единиц Z в элементарной ячейке. Число атомов в формуле целое.

№ п/п	Элементы	Плотность, г/см^3	Ребро куба $a \cdot 10^{10}$, м	Z	№ п/п	Элементы	Плотность, г/см^3	Ребро куба $a \cdot 10^{10}$, м	Z
266	K, Ta, O	7,01	3,99	1	269	Fe, O	5,17	8,41	8
267	Al, Au	7,65	6,01	4	270	La, O	5,82	11,42	16
268	C, Si	3,22	4,37	4	271	Ce, B	4,73	4,16	1

№ п/п	Элементы	Плотность, г/см ³	Ребро куба $a \cdot 10^{10}$, м	Z	№ п/п	Элементы	Плотность, г/см ³	Ребро куба $a \cdot 10^{10}$, м	Z
272	K, Pd, Cl	2,74	9,88	4	279	Mg, Ce	3,05	7,74	4
273	Mg, Sn	3,57	6,78	4	280	Mg, N	2,71	9,97	16
274	Al, Sb	4,33	6,11	4	281	Ni, S	4,70	9,48	8
275	Me, Hg	9,09	3,45	1	282	Te, Ru	9,15	6,37	4
276	Fe, Mn, O	4,80	8,61	8	283	Mn, Cr, S	3,72	10,08	8
277	K, Cl, O	2,52	7,14	4	284	Fe, Al	6,59	5,95	4
278	Ti, Br	3,41	11,27	8	285	N, V	6,13	4,14	4

2. ОКИСЛИТЕЛЬНО-ВОССТАНОВИТЕЛЬНЫЕ РЕАКЦИИ

В задачах **286–369** подберите коэффициенты к уравнениям окислительно-восстановительных реакций, используя метод электронно-ионного баланса (метод полуреакций), укажите окислитель и восстановитель.

№ п/п	Уравнение окислительно-восстановительной реакции
286	$\text{KMnO}_4 + \text{HCl} \rightarrow \text{Cl}_2 + \text{MnCl}_2 + \text{KCl} + \text{H}_2\text{O}$
287	$\text{MnO}_2 + \text{HCl} \rightarrow \text{Cl}_2 + \text{MnCl}_2 + \text{H}_2\text{O}$
288	$\text{KMnO}_4 + \text{KNO}_2 + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{MnSO}_4 + \text{KNO}_3 + \text{K}_2\text{SO}_4 + \text{H}_2\text{O}$
289	$\text{Au} + \text{HNO}_3 + \text{HCl} \rightarrow \text{H}[\text{AuCl}_4] + \text{NO} + \text{H}_2\text{O}$
290	$\text{Si} + \text{HNO}_3 + \text{HF} \rightarrow \text{H}_2[\text{SiF}_6] + \text{NO} + \text{H}_2\text{O}$
291	$\text{K}_2\text{MnO}_4 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{KMnO}_4 + \text{MnO}_2 + \text{KOH}$
292	$\text{KClO}_3 + \text{KI} + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{KCl} + \text{I}_2 + \text{K}_2\text{SO}_4 + \text{H}_2\text{O}$
293	$\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 + \text{KNO}_2 + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3 + \text{KNO}_3 + \text{K}_2\text{SO}_4 + \text{H}_2\text{O}$
294	$\text{KClO}_3 \rightarrow \text{KCl} + \text{O}_2$
295	$\text{KMnO}_4 + \text{H}_2\text{S} + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{MnSO}_4 + \text{S} + \text{K}_2\text{SO}_4 + \text{H}_2\text{O}$
296	$\text{KMnO}_4 + \text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{MnSO}_4 + \text{CO}_2 + \text{K}_2\text{SO}_4 + \text{H}_2\text{O}$
297	$\text{H}_2\text{O}_2 + \text{FeSO}_4 + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 + \text{H}_2\text{O}$
298	$\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 + \text{H}_2\text{O}_2 + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3 + \text{O}_2 + \text{K}_2\text{SO}_4 + \text{H}_2\text{O}$

№ п/п	Уравнение окислительно-восстановительной реакции
299	$\text{Br}_2 + \text{K}_3[\text{Cr}(\text{OH})_6] + \text{KOH} \rightarrow \text{KBr} + \text{K}_2\text{CrO}_4 + \text{H}_2\text{O}$
300	$\text{Cl}_2 + \text{NaOH} \rightarrow \text{NaClO}_3 + \text{NaCl} + \text{H}_2\text{O}$
301	$\text{Cu} + \text{HNO}_3 \rightarrow \text{Cu}(\text{NO}_3)_2 + \text{NO} + \text{H}_2\text{O}$
302	$\text{Fe} + \text{HNO}_3 \rightarrow \text{Fe}(\text{NO}_3)_3 + \text{NO}_2 + \text{H}_2\text{O}$
303	$\text{KMnO}_4 + \text{K}_2\text{HPO}_3 + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{MnSO}_4 + \text{H}_3\text{PO}_4 + \text{K}_2\text{SO}_4 + \text{H}_2\text{O}$
304	$\text{Zn} + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{ZnSO}_4 + \text{H}_2\text{S} + \text{H}_2\text{O}$
305	$\text{KBrO}_3 + \text{KBr} + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{Br}_2 + \text{K}_2\text{SO}_4 + \text{H}_2\text{O}$
306	$\text{HIO}_3 + \text{P} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{HI} + \text{H}_3\text{PO}_4$
307	$\text{Cl}_2 + \text{H}_2\text{S} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{HCl} + \text{H}_2\text{SO}_4$
308	$\text{KMnO}_4 + \text{Na}_2\text{SO}_3 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{MnO}_2 + \text{Na}_2\text{SO}_4 + \text{KOH}$
309	$\text{HNO}_3 + \text{PbS} \downarrow + \rightarrow \text{NO} + \text{S} + \text{Pb}(\text{NO}_3)_2 + \text{H}_2\text{O}$
310	$\text{HNO}_3 + \text{P} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{NO} + \text{H}_3\text{PO}_4$
311	$\text{KMnO}_4 + \text{K}_2\text{SO}_3 + \text{KOH} \rightarrow \text{K}_2\text{MnO}_4 + \text{K}_2\text{SO}_4 + \text{H}_2\text{O}$
312	$\text{HNO}_3 + \text{Cu}_2\text{O} \rightarrow \text{NO} + \text{Cu}(\text{NO}_3)_2 + \text{H}_2\text{O}$
313	$\text{HNO}_3 + \text{Ca} \rightarrow \text{NH}_4\text{NO}_3 + \text{Ca}(\text{NO}_3)_2 + \text{H}_2\text{O}$
314	$\text{NaMnO}_4 + \text{Na}_2\text{S} + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{MnSO}_4 + \text{S} + \text{Na}_2\text{SO}_4 + \text{H}_2\text{O}$
315	$\text{KMnO}_4 + \text{HBr} \rightarrow \text{MnBr}_2 + \text{Br}_2 + \text{KBr} + \text{H}_2\text{O}$
316	$\text{HClO}_3 + \text{P} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{HCl} + \text{H}_3\text{PO}_4$
317	$\text{KMnO}_4 + \text{H}_3\text{AsO}_3 + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{MnSO}_4 + \text{H}_3\text{AsO}_4 + \text{K}_2\text{SO}_4 + \text{H}_2\text{O}$
318	$\text{Br}_2 + \text{NaCrO}_2 + \text{NaOH} \rightarrow \text{NaBr} + \text{Na}_2\text{CrO}_4 + \text{H}_2\text{O}$
319	$\text{Zn} + \text{HNO}_3 \rightarrow \text{Zn}(\text{NO}_3)_2 + \text{N}_2\text{O} + \text{H}_2\text{O}$
320	$\text{KClO}_3 + \text{FeSO}_4 + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{KCl} + \text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 + \text{H}_2\text{O}$
321	$\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 + \text{HCl} \rightarrow \text{CrCl}_3 + \text{Cl}_2 + \text{KCl} + \text{H}_2\text{O}$
322	$\text{CrO}_3 + \text{HCl} \rightarrow \text{CrCl}_3 + \text{Cl}_2 + \text{H}_2\text{O}$
323	$\text{KMnO}_4 + \text{Cd} + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{MnSO}_4 + \text{CdSO}_4 + \text{K}_2\text{SO}_4 + \text{H}_2\text{O}$
324	$\text{Cr}_2\text{O}_3 + \text{KClO}_3 + \text{KOH} \rightarrow \text{K}_2\text{CrO}_4 + \text{KCl} + \text{H}_2\text{O}$
325	$\text{PbO}_2 + \text{MnSO}_4 + \text{HNO}_3 \rightarrow \text{Pb}(\text{NO}_3)_2 + \text{HMnO}_4 + \text{PbSO}_4 \downarrow + \text{H}_2\text{O}$
326	$\text{Na}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 + \text{FeSO}_4 + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3 + \text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 + \text{Na}_2\text{SO}_4 + \text{H}_2\text{O}$
327	$\text{KMnO}_4 + \text{FeSO}_4 + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{MnSO}_4 + \text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 + \text{K}_2\text{SO}_4 + \text{H}_2\text{O}$
328	$\text{KMnO}_4 + \text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4 + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{MnSO}_4 + \text{CO}_2 + \text{K}_2\text{SO}_4 + \text{H}_2\text{O}$
329	$\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 + \text{H}_2[\text{HPO}_3] + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3 + \text{H}_3\text{PO}_4 + \text{K}_2\text{SO}_4 + \text{H}_2\text{O}$
330	$\text{PbO}_2 \downarrow + \text{HNO}_2 + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{PbSO}_4 \downarrow + \text{HNO}_3 + \text{H}_2\text{O}$
331	$\text{HBrO}_3 + \text{SO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Br}_2 + \text{H}_2\text{SO}_4$
332	$\text{KMnO}_4 + \text{SO}_2 + \text{KOH} \rightarrow \text{MnO}_2 + \text{K}_2\text{SO}_4 + \text{H}_2\text{O}$
333	$\text{KMnO}_4 + \text{NaNO}_2 + \text{KOH} \rightarrow \text{K}_2\text{MnO}_4 + \text{NaNO}_3 + \text{H}_2\text{O}$

№ п/п	Уравнение окислительно-восстановительной реакции
334	$\text{Mg} + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{MgSO}_4 + \text{H}_2\text{S} + \text{H}_2\text{O}$
335	$\text{KClO}_3 + \text{HCl} \rightarrow \text{Cl}_2 + \text{KCl} + \text{H}_2\text{O}$
336	$\text{HClO} + \text{I}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{HCl} + \text{HIO}_3$
337	$\text{NaBrO}_3 + \text{NaBr} + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{Br}_2 + \text{Na}_2\text{SO}_4 + \text{H}_2\text{O}$
338	$\text{Al} + \text{H}_2\text{O} + \text{NaOH} \rightarrow \text{Na}[\text{Al}(\text{OH})_4] + \text{H}_2$
339	$\text{KNO}_2 + \text{KI} + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{NO} + \text{I}_2 + \text{K}_2\text{SO}_4 + \text{H}_2\text{O}$
340	$\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 + \text{SnCl}_2 + \text{HCl} \rightarrow \text{CrCl}_3 + \text{SnCl}_4 + \text{KCl} + \text{H}_2\text{O}$
341	$\text{KMnO}_4 + \text{K}_2\text{SO}_3 + \text{NaOH} \rightarrow \text{K}_2\text{MnO}_4 + \text{Na}_2\text{MnO}_4 + \text{K}_2\text{SO}_4 + \text{H}_2\text{O}$
342	$\text{KMnO}_4 + \text{H}_2\text{O}_2 \rightarrow \text{MnO}_2 + \text{O}_2 + \text{KOH} + \text{H}_2\text{O}$
343	$\text{H}_2\text{O}_2 + \text{CrCl}_3 + \text{NaOH} \rightarrow \text{Na}_2\text{CrO}_4 + \text{NaCl} + \text{H}_2\text{O}$
344	$\text{H}_2\text{O}_2 + \text{Hg}(\text{NO}_3)_2 + \text{NaOH} \rightarrow \text{O}_2 + \text{Hg} + \text{NaNO}_3 + \text{H}_2\text{O}$
345	$\text{HIO}_3 + \text{H}_2\text{O}_2 \rightarrow \text{I}_2 + \text{O}_2 + \text{H}_2\text{O}$
346	$\text{KMnO}_4 + \text{Zn} + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{MnSO}_4 + \text{ZnSO}_4 + \text{K}_2\text{SO}_4 + \text{H}_2\text{O}$
347	$\text{NaClO} + \text{KI} + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{NaCl} + \text{I}_2 + \text{K}_2\text{SO}_4 + \text{H}_2\text{O}$
348	$\text{MnO}_2 \downarrow + \text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4 + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{MnSO}_4 + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$
349	$\text{PbO}_2 \downarrow + \text{Mn}(\text{NO}_3)_2 + \text{HNO}_3 \rightarrow \text{Pb}(\text{NO}_3)_2 + \text{HMnO}_4 + \text{H}_2\text{O}$
350	$\text{Na}_2\text{WO}_4 + \text{SnCl}_2 + \text{HCl} \rightarrow \text{W}_2\text{O}_5 + \text{SnCl}_4 + \text{NaCl} + \text{H}_2\text{O}$
351	$\text{KClO}_3 + \text{MnSO}_4 + \text{KOH} \rightarrow \text{K}_2\text{MnO}_4 + \text{KCl} + \text{K}_2\text{SO}_4 + \text{H}_2\text{O}$
352	$\text{Na}_2\text{SeO}_3 + \text{Cl}_2 + \text{NaOH} \rightarrow \text{Na}_2\text{SeO}_4 + \text{NaCl} + \text{H}_2\text{O}$
353	$\text{HNO}_3 + \text{FeCl}_2 + \text{HCl} \rightarrow \text{NO} + \text{FeCl}_3 + \text{H}_2\text{O}$
354	$\text{KMnO}_4 + \text{PH}_3 + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{MnSO}_4 + \text{H}_3\text{PO}_4 + \text{K}_2\text{SO}_4 + \text{H}_2\text{O}$
355	$\text{MnSO}_4 + \text{H}_2\text{O}_2 + \text{KOH} \rightarrow \text{MnO}_2 + \text{K}_2\text{SO}_4 + \text{H}_2\text{O}$
356	$\text{KClO}_3 + \text{K}_2\text{S} + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{KCl} + \text{S} + \text{K}_2\text{SO}_4 + \text{H}_2\text{O}$
357	$\text{KNO}_3 + \text{KI} + \text{HCl} \rightarrow \text{NO} + \text{I}_2 + \text{KCl} + \text{H}_2\text{O}$
358	$\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 + \text{Al} + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3 + \text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 + \text{K}_2\text{SO}_4 + \text{H}_2\text{O}$
359	$\text{Bi}(\text{NO}_3)_3 + \text{K}_2\text{SnO}_2 + \text{KOH} \rightarrow \text{Bi} + \text{K}_2\text{SnO}_3 + \text{KNO}_3 + \text{H}_2\text{O}$
360	$\text{NaNO}_3 + \text{Al} + \text{NaOH} \rightarrow \text{NH}_3 + \text{Na}[\text{Al}(\text{OH})_4]$
361	$\text{HNO}_3 + \text{Ti} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{NO} + \text{H}_2\text{TiO}_3 \downarrow$
362	$\text{Cl}_2 + \text{K}_2\text{S} + \text{KOH} \rightarrow \text{KCl} + \text{K}_2\text{SO}_4 + \text{H}_2\text{O}$
363	$\text{KNO}_3 + \text{Cr}_2\text{O}_3 + \text{KOH} \rightarrow \text{KNO}_2 + \text{K}_2\text{CrO}_4 + \text{H}_2\text{O}$
364	$\text{Cl}_2 + \text{CrCl}_3 + \text{NaOH} \rightarrow \text{NaCl} + \text{Na}_2\text{CrO}_4 + \text{H}_2\text{O}$
365	$\text{S} + \text{KOH} \rightarrow \text{K}_2\text{SO}_3 + \text{K}_2\text{S} + \text{H}_2\text{O}$
366	$\text{KMnO}_4 + \text{MnSO}_4 + \text{KOH} \rightarrow \text{MnO}_2 + \text{K}_2\text{SO}_4 + \text{H}_2\text{O}$
367	$\text{AgNO}_3 + \text{H}_2\text{O}_2 + \text{KOH} \rightarrow \text{Ag} + \text{KNO}_3 + \text{O}_2 + \text{H}_2\text{O}$
368	$\text{KBrO} + \text{MnCl}_2 + \text{KOH} \rightarrow \text{KBr} + \text{MnO}_2 + \text{KCl} + \text{H}_2\text{O}$
369	$\text{K}_2\text{MnO}_4 + \text{K}_2\text{S} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{MnO}_2 + \text{S} + \text{KOH}$

3. ХИМИЧЕСКАЯ ТЕРМОДИНАМИКА

3.1. Первый закон термодинамики

В задачах 370–394 определите стандартный тепловой эффект реакции: а) при изобарном проведении $\Delta_r H_{298}^0$; б) при изохорном проведении $\Delta_r U_{298}^0$. Стандартные значения термодинамических функций приведены в приложении.

№ п/п	Уравнение реакции
370	$4\text{HCl}_{(г)} + \text{O}_{2(г)} = 2\text{H}_2\text{O}_{(г)} + 2\text{Cl}_{2(г)}$
371	$\text{CH}_{4(г)} + 2\text{O}_{2(г)} = \text{CO}_{2(г)} + 2\text{H}_2\text{O}_{(ж)}$
372	$\text{Fe}_3\text{O}_{4(к)} + 4\text{CO}_{(г)} = 3\text{Fe}_{(к)} + 4\text{CO}_{2(г)}$
373	$3\text{Fe}_3\text{O}_{4(к)} + 8\text{Al}_{(к)} = 4\text{Al}_2\text{O}_{3(к)} + 9\text{Fe}_{(к)}$
374	$3\text{H}_2\text{O}_{(г)} + 2\text{Al}_{(к)} = \text{Al}_2\text{O}_{3(к)} + 3\text{H}_{2(г)}$
375	$\text{Fe}_3\text{O}_{4(к)} + 4\text{H}_{2(г)} = 3\text{Fe}_{(к)} + 4\text{H}_2\text{O}_{(г)}$
376	$\text{S}_{(к)} + 2\text{N}_2\text{O}_{(г)} = \text{SO}_{2(г)} + 2\text{N}_{2(г)}$
377	$\text{H}_2\text{S}_{(г)} + \text{Cl}_{2(г)} = 2\text{HCl}_{(г)} + \text{S}_{(к)}$
378	$\text{CO}_{(г)} + \text{H}_2\text{O}_{(г)} = \text{CO}_{2(г)} + \text{H}_{2(г)}$
379	$\text{Fe}_2\text{O}_{3(к)} + 3\text{CO}_{(г)} = 2\text{Fe}_{(к)} + 3\text{CO}_{2(г)}$
380	$2\text{PbS}_{(к)} + 3\text{O}_{2(г)} = 2\text{PbO}_{(к)} + 2\text{SO}_{2(г)}$
381	$\text{CaCO}_{3(к)} = \text{CaO}_{(к)} + \text{CO}_{2(г)}$
382	$\text{Fe}_{(к)} + \text{H}_2\text{O}_{(г)} = \text{FeO}_{(к)} + \text{H}_{2(г)}$
383	$2\text{CO}_{2(г)} = 2\text{CO}_{(г)} + \text{O}_{2(г)}$
384	$\text{Fe}_2\text{O}_{3(к)} + \text{CO}_{(г)} = 2\text{FeO}_{(к)} + \text{CO}_{2(г)}$
385	$\text{PbO}_{(к)} + \text{CO}_{(г)} = \text{Pb}_{(к)} + \text{CO}_{2(г)}$
386	$\text{C}_2\text{H}_{4(г)} + \text{H}_2\text{O}_{(г)} = \text{C}_2\text{H}_6\text{O}_{(г)}$
387	$\text{FeO}_{(к)} + \text{Mn}_{(к)} = \text{MnO}_{(к)} + \text{Fe}_{(к)}$
388	$2\text{FeO}_{(к)} + \text{Si}_{(к)} = 2\text{Fe}_{(к)} + \text{SiO}_{2(к)}$
389	$\text{FeO} + \text{C} = \text{Fe} + \text{CO}$
390	$3\text{Fe}_2\text{O}_{3(к)} + \text{H}_{2(г)} = 2\text{Fe}_3\text{O}_{4(к)} + \text{H}_2\text{O}_{(г)}$
391	$\text{GeO}_{2(к)} + 2\text{Cl}_{2(г)} + 2\text{C}_{(к)} = \text{GeCl}_{4(г)} + 2\text{CO}_{(г)}$
392	$\text{CH}_{4(г)} + \text{H}_2\text{O}_{(г)} = \text{CO}_{(г)} + 3\text{H}_{2(г)}$
393	$\text{WO}_{3(г)} + 3\text{H}_{2(г)} = \text{W}_{(к)} + 3\text{H}_2\text{O}_{(г)}$
394	$2\text{MoO}_{2(к)} + 6\text{CO}_{(г)} = \text{Mo}_2\text{C}_{(к)} + 5\text{CO}_{2(г)}$

В задачах 395–414 вычислите, сколько теплоты выделится при полном сгорании указанного количества вещества при стандартном давлении и температуре 298 К. Учтите, что в продуктах

сгорания углерод находится в виде углекислого газа, водород — водяного пара, сера — сернистого газа, азот выделяется в свободном состоянии.

№ п/п	Вещество	Количество вещества, моль	№ п/п	Вещество	Количество вещества, моль
395	$\text{CH}_{4(\text{r})}$	3	405	$\text{C}_6\text{H}_5\text{NO}_{2(\text{ж})}$	2
396	$\text{C}_2\text{H}_{4(\text{r})}$	20	406	$\text{C}_3\text{H}_5\text{N}_{(\text{ж})}$	10
397	$\text{C}_2\text{H}_{2(\text{r})}$	5	407	$\text{CH}_4\text{N}_2\text{O}_{(\text{к})}$	3
398	$\text{C}_2\text{H}_{6(\text{r})}$	20	408	$\text{C}_{10}\text{H}_{8(\text{к})}$	50
399	$\text{C}_3\text{H}_{8(\text{r})}$	5	409	$\text{CH}_4\text{O}_{(\text{ж})}$	4
400	$\text{H}_2\text{S}_{(\text{r})}$	8	410	$\text{C}_3\text{H}_6\text{O}_{(\text{r})}$	6
401	$\text{CS}_{2(\text{r})}$	40	411	$\text{C}_4\text{H}_{10(\text{r})}$	9
402	$\text{C}_3\text{H}_{6(\text{r})}$	7	412	$\text{CH}_3\text{COOH}_{(\text{r})}$	40
403	$\text{C}_4\text{H}_{8(\text{r})}$	6	413	$\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}_{(\text{ж})}$	5
404	$\text{CH}_2\text{O}_{(\text{r})}$	25	414	$\text{CH}_4\text{O}_{(\text{r})}$	80

В задачах 415–427 по заданным термохимическим уравнениям рассчитайте стандартную энтальпию образования указанного вещества.

№ п/п	Термохимические уравнения реакций	$\Delta_r H^0$, кДж	Вещество
415	(I) $4\text{As}_{(\text{r})} + 3\text{O}_{2(\text{r})} = 2\text{As}_2\text{O}_{3(\text{r})}$ (II) $\text{As}_2\text{O}_{3(\text{r})} + \text{O}_{2(\text{r})} = \text{As}_2\text{O}_{5(\text{r})}$	$\Delta_r H_{\text{I}}^0 = -1328$ $\Delta_r H_{\text{II}}^0 = -261$	As_2O_5
416	(I) $2\text{As}_{(\text{r})} + 3\text{F}_{2(\text{r})} = 2\text{AsF}_{3(\text{r})}$ (II) $\text{AsF}_{5(\text{r})} = \text{AsF}_{3(\text{r})} + \text{F}_{2(\text{r})}$	$\Delta_r H_{\text{I}}^0 = -1842$ $\Delta_r H_{\text{II}}^0 = +317$	AsF_5
417	(I) $2\text{C}_{(\text{r})} + \text{O}_{2(\text{r})} = 2\text{CO}_{2(\text{r})}$ (II) $\text{CO}_{(\text{r})} + \text{F}_{2(\text{r})} = \text{COF}_{2(\text{r})}$	$\Delta_r H_{\text{I}}^0 = -220$ $\Delta_r H_{\text{II}}^0 = -698$	COF_2
418	(I) $2\text{Cr}_{(\text{r})} + 3\text{F}_{2(\text{r})} = 2\text{CrF}_{3(\text{r})}$ (II) $2\text{CrF}_{3(\text{r})} + \text{Cr}_{(\text{r})} = 2\text{CrF}_{2(\text{r})}$	$\Delta_r H_{\text{I}}^0 = -2224$ $\Delta_r H_{\text{II}}^0 = -38$	CrF_2
419	(I) $2\text{P}_{(\text{r})} + 3\text{Cl}_{2(\text{r})} = 2\text{PCl}_{3(\text{r})}$ (II) $\text{PCl}_{5(\text{r})} = \text{PCl}_{3(\text{r})} + \text{Cl}_{2(\text{r})}$	$\Delta_r H_{\text{I}}^0 = -574$ $\Delta_r H_{\text{II}}^0 = +88$	PCl_5

№ п/п	Термохимические уравнения реакций	$\Delta_r H^0$, кДж	Вещество
420	(I) $2\text{Pb}_{(т)} + \text{O}_{2(г)} = 2\text{PbO}_{(т)}$ (II) $2\text{PbO}_{2(т)} = 2\text{PbO}_{(т)} + \text{O}_{2(г)}$	$\Delta_r H_{\text{I}}^0 = -438$ $\Delta_r H_{\text{II}}^0 = +116$	PbO_2
421	(I) $\text{Zr}_{(т)} + \text{ZrCl}_{4(г)} = 2\text{ZrCl}_{2(г)}$ (II) $\text{Zr}_{(т)} + 2\text{Cl}_{2(г)} = \text{ZrCl}_{4(г)}$	$\Delta_r H_{\text{I}}^0 = -242$ $\Delta_r H_{\text{II}}^0 = -862$	ZrCl_2
422	(I) $2\text{ClF}_{5(г)} = \text{Cl}_2\text{F}_{6(г)} + 2\text{F}_{2(г)}$ (II) $\text{Cl}_{2(г)} + 5\text{F}_{2(г)} = 2\text{ClF}_{5(г)}$	$\Delta_r H_{\text{I}}^0 = +152$ $\Delta_r H_{\text{II}}^0 = -478$	Cl_2F_6
423	(I) $\text{Ce}_{(т)} + \text{O}_{2(г)} = \text{CeO}_{(т)}$ (II) $3\text{CeO}_{2(г)} + \text{Ce}_{(т)} = 2\text{Ce}_2\text{O}_{3(г)}$	$\Delta_r H_{\text{I}}^0 = -1090$ $\Delta_r H_{\text{II}}^0 = -332$	Ce_2O_3
424	(I) $\text{CuCl}_{2(г)} + \text{Cu}_{(т)} = 2\text{CuCl}_{(г)}$ (II) $\text{Cu}_{(т)} + \text{Cl}_{2(г)} = \text{CuCl}_{2(г)}$	$\Delta_r H_{\text{I}}^0 = -56$ $\Delta_r H_{\text{II}}^0 = -216$	CuCl
425	(I) $\text{HgBr}_{2(г)} + \text{Hg}_{(ж)} = \text{Hg}_2\text{Br}_{2(г)}$ (II) $\text{HgBr}_{2(г)} = \text{Hg}_{(ж)} + \text{Br}_{2(ж)}$	$\Delta_r H_{\text{I}}^0 = -38$ $\Delta_r H_{\text{II}}^0 = +169$	Hg_2Br_2
426	(I) $\text{Ir}_{(т)} + 2\text{S}_{(г)} = \text{IrS}_{2(г)}$ (II) $2\text{IrS}_{2(г)} = \text{Ir}_2\text{S}_{3(г)} + \text{S}_{(г)}$	$\Delta_r H_{\text{I}}^0 = -144$ $\Delta_r H_{\text{II}}^0 = +43$	Ir_2S_3
427	(I) $2\text{Fe}_{(т)} + \text{O}_{2(г)} = 2\text{FeO}_{(т)}$ (II) $4\text{FeO}_{(т)} + \text{O}_{2(г)} = 2\text{Fe}_2\text{O}_{3(г)}$	$\Delta_r H_{\text{I}}^0 = -532$ $\Delta_r H_{\text{II}}^0 = -584$	Fe_2O_3

3.2. Второй закон термодинамики

В задачах 428–443 определите энтропию 1 моль газа при указанном давлении p и постоянной температуре 298 К. Укажите, увеличивается или уменьшается энтропия вещества при изменении давления от стандартного к заданному. Значения энтропии при стандартных условиях возьмите из приложения, примите, что данные вещества подчиняются законам идеальных газов.

№ п/п	Газ	$p \cdot 10^{-5}$, Па	№ п/п	Газ	$p \cdot 10^{-5}$, Па
428	H ₂	3,039	436	C ₂ H ₄	0,601
429	H ₂ O	10,130	437	N ₂	0,507
430	He	1,519	438	O ₂	0,840
431	CH ₄	8,100	439	F ₂	1,722
432	CO	0,405	440	Cl ₂	1,925
433	NO	1,823	441	Ne	3,039
434	CO ₂	1,317	442	Ar	2,533
435	C ₂ H ₆	0,709	443	Kr	1,013

В задачах 444–461 рассчитайте энтропию 1 моль вещества в двухкомпонентном растворе при известной массовой доле ω , полагая, что раствор является идеальным.

№ п/п	Вещество	ω , %	Растворитель	№ п/п	Вещество	ω , %	Растворитель
444	C (графит)	0,36	Fe	453	Cu	5,8	Sn
445	Al	13,5	Cu	454	Mn	1,3	Cu
446	Sn	4,5	Cu	455	Co	10,5	W
447	Cr	26	Ni	456	Fe	3,1	Ni
448	Zn	3,8	Cu	457	Ni	5,2	Cu
449	Be	2,7	Cu	458	Sb	15,7	Pb
450	Si	13,9	Fe	459	Rh	10,0	Pt
451	Si	17,5	Al	460	Ir	15,9	Pt
452	Al	1,8	Ni	461	Ag	12,5	Au

В задачах 462–480 рассчитайте энтропию каждого компонента в газовой смеси, подчиняющейся законам идеальных газов, и энтропию смеси.

№ п/п	1-й компонент		2-й компонент		3-й компонент	
	Символ	n_1 , моль	Символ	n_2 , моль	Символ	n_3 , моль
462	H ₂	1,0	N ₂	2,0	Ar	5,0
463	He	1,5	H ₂	2,5	N ₂	4,0
464	N ₂	2,0	Ne	3,0	Kr	3,0
465	Ar	3,5	He	2,0	H ₂	2,5
466	Ne	2,0	N ₂	1,5	O ₂	3,5
467	O ₂	1,5	Ne	1,0	Ar	2,5
468	H ₂	2,0	N ₂	3,0	Ar	4,0

№ п/п	1-й компонент		2-й компонент		3-й компонент	
	Символ	n_1 , моль	Символ	n_2 , моль	Символ	n_3 , моль
469	O ₂	1,0	F ₂	2,5	N ₂	4,5
470	He	2,0	Cl ₂	3,0	Ne	1,5
471	Ne	2,5	H ₂	2,0	O ₂	3,5
472	N ₂	3,0	Kr	2,0	Ne	2,0
473	O ₂	2,0	He	1,5	F ₂	3,5
474	H ₂	1,0	Ne	3,0	N ₂	5,0
475	Kr	0,5	F ₂	2,5	He	2,5
476	Ar	2,0	H ₂	1,0	Ne	1,5
477	N ₂	3,5	F ₂	1,5	Kr	2,0
478	Ne	1,5	He	2,5	H ₂	3,5
479	O ₂	2,0	N ₂	2,0	Ar	4,0
480	H ₂	1,0	N ₂	3,0	He	2,0

3.3. Химическое равновесие

В задачах 481 – 505 рассчитайте стандартные энергию Гиббса $\Delta_r G_T^0$ и константу равновесия K^0 реакции при заданной температуре. Напишите выражение константы равновесия. Укажите, в каком направлении протекает реакция при данной температуре и направление смещения равновесия при изменении температуры. Для обоснования направления смещения равновесия используйте уравнение изобары химической реакции.

№ п/п	Уравнение реакции	T , К
481	$2\text{H}_{2(\text{r})} + \text{CO}_{(\text{r})} \leftrightarrow \text{CH}_3\text{OH}_{(\text{ж})}$	390
482	$4\text{HCl}_{(\text{r})} + \text{O}_{2(\text{r})} \leftrightarrow 2\text{H}_2\text{O}_{(\text{r})} + 2\text{Cl}_{2(\text{r})}$	750
483	$2\text{N}_{2(\text{r})} + 6\text{H}_2\text{O}_{(\text{r})} \leftrightarrow 4\text{NH}_{3(\text{r})} + 3\text{O}_{2(\text{r})}$	1300
484	$4\text{NO}_{(\text{r})} + 6\text{H}_2\text{O}_{(\text{r})} \leftrightarrow 4\text{NH}_{3(\text{r})} + 5\text{O}_{2(\text{r})}$	1000
485	$2\text{NO}_{2(\text{r})} \leftrightarrow 2\text{NO}_{(\text{r})} + \text{O}_{2(\text{r})}$	700
486	$\text{N}_2\text{O}_{4(\text{r})} \leftrightarrow 2\text{NO}_{2(\text{r})}$	400
487	$\text{S}_{2(\text{r})} + 4\text{H}_2\text{O}_{(\text{r})} \leftrightarrow 2\text{SO}_{2(\text{r})} + 4\text{H}_2_{(\text{r})}$	1000
488	$\text{S}_{2(\text{r})} + 4\text{CO}_{2(\text{r})} \leftrightarrow 2\text{SO}_{2(\text{r})} + 4\text{CO}_{(\text{r})}$	900
489	$2\text{SO}_{2(\text{r})} + \text{O}_{2(\text{r})} \leftrightarrow 2\text{SO}_{3(\text{r})}$	700
490	$\text{CO}_{2(\text{r})} + \text{H}_{2(\text{r})} \leftrightarrow \text{CO}_{(\text{r})} + \text{H}_2\text{O}_{(\text{r})}$	1200
491	$\text{SO}_{2(\text{r})} + \text{Cl}_{2(\text{r})} \leftrightarrow \text{SO}_2\text{Cl}_{2(\text{r})}$	400

№ п/п	Уравнение реакции	T, К
492	$\text{CO}_{(г)} + 3\text{H}_{2(г)} \leftrightarrow \text{CH}_{4(г)} + \text{H}_2\text{O}_{(г)}$	1000
493	$4\text{CO}_{(г)} + 2\text{SO}_{2(г)} \leftrightarrow \text{S}_{2(г)} + 4\text{CO}_{2(г)}$	900
494	$\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}_{(г)} \leftrightarrow \text{C}_2\text{H}_{4(г)} + \text{H}_2\text{O}_{(г)}$	400
495	$\text{FeO}_{(к)} + \text{CO}_{(г)} \leftrightarrow \text{Fe}_{(к)} + \text{CO}_{2(г)}$	1000
496	$\text{WO}_{3(к)} + 3\text{H}_{2(г)} \leftrightarrow \text{W}_{(к)} + 2\text{H}_2\text{O}_{(г)}$	2000
497	$\text{NH}_4\text{Cl}_{(к)} \leftrightarrow \text{NH}_{3(г)} + \text{HCl}_{(г)}$	500
498	$\text{Mg}(\text{OH})_{2(к)} \leftrightarrow \text{MgO}_{(к)} + \text{H}_2\text{O}_{(г)}$	500
499	$\text{H}_2\text{O}_{(г)} + \text{C}_{(г\text{рафит})} \leftrightarrow \text{CO}_{(г)} + \text{H}_{2(г)}$	1000
500	$\text{PbO}_{2(к)} + \text{C}_{(г\text{рафит})} \leftrightarrow \text{Pb}_{(к)} + \text{CO}_{2(г)}$	1000
501	$\text{MnO}_{2(к)} + 2\text{H}_2 \leftrightarrow \text{Mn}_{(к)} + 2\text{H}_2\text{O}_{(г)}$	1000
502	$3\text{Fe}_{(к)} + 4\text{H}_2\text{O}_{(г)} \leftrightarrow \text{Fe}_3\text{O}_{4(к)} + 4\text{H}_{2(г)}$	1000
503	$\text{C}_6\text{H}_{6(г)} + 3\text{H}_{2(г)} \leftrightarrow \text{C}_6\text{H}_{12(г)}$	600
504	$\text{Ni}(\text{OH})_{2(к)} \leftrightarrow \text{NiO}_{(к)} + \text{H}_2\text{O}_{(г)}$	500
505	$2\text{CrCl}_{3(к)} \leftrightarrow 2\text{CrCl}_{2(к)} + \text{Cl}_{2(г)}$	500

В задачах **506–521** для гомогенной реакции $\text{A} + \text{B} = \text{C} + \text{D}$ рассчитайте константу равновесия и равновесный состав системы при температуре T , если известны $\Delta_r G_T^0$ и начальные концентрации C_0 исходных веществ. Продукты реакции в начальный момент времени отсутствуют.

№ п/п	T, К	$\Delta_r G_T^0$, кДж/моль	C_0 , моль/л		№ п/п	T, К	$\Delta_r G_T^0$, кДж/моль	C_0 , моль/л	
			A	B				A	B
506	400	-14,1	1	1	514	600	-1,6	1	1
507	800	-13,8	1	2	515	800	-3,6	1	1
508	400	-7,5	1	1	516	1000	-5,7	1	1
509	800	-6,7	1	2	517	400	-10,1	1	1
510	600	-6,0	1	1	518	600	-9,2	1	2
511	1000	-20,5	2	1	519	800	-8,5	2	2
512	600	-25,4	2	1	520	1000	-18,5	3	1
513	800	-28,5	3	1	521	700	-4,6	2	1

В задачах **522–536** для данной гомогенной реакции $\text{A} + \text{B} \leftrightarrow \text{C} + \text{D}$ определите температуру, при которой наступает равновесие. Напишите выражение константы равновесия. Рассчитайте

равновесный состав системы при этой температуре, если известны начальные концентрации исходных веществ C_0 (продукты реакции в исходной смеси отсутствуют).

№ п/п	Уравнение реакции	C_0 , моль/л	
		А	В
522	$\text{CO}_{(r)} + \text{Cl}_{2(r)} \leftrightarrow \text{COCl}_{2(r)}$	1	1
523	$2\text{CO}_{(r)} + \text{O}_{2(r)} \leftrightarrow 2\text{CO}_{2(r)}$	1	0,5
524	$2\text{NO}_{(r)} + \text{O}_{2(r)} \leftrightarrow 2\text{NO}_{2(r)}$	1	0,5
525	$\text{CH}_{4(r)} + \text{CO}_{2(r)} \leftrightarrow 2\text{CO}_{(r)} + 2\text{H}_{2(r)}$	1	1
526	$\text{CCl}_{4(r)} + \text{H}_2\text{O}_{(r)} \leftrightarrow \text{COCl}_{2(r)} + 2\text{HCl}_{(r)}$	1	1
527	$\text{CO}_{(r)} + 2\text{H}_{2(r)} \leftrightarrow \text{CH}_3\text{OH}_{(r)}$	0,5	1
528	$\text{SO}_{2(r)} + \text{Cl}_{2(r)} \leftrightarrow \text{SO}_2\text{Cl}_{2(r)}$	0,5	0,5
529	$\text{C}_2\text{H}_{2(r)} + \text{N}_{2(r)} \leftrightarrow 2\text{HCN}_{(r)}$	1	1
530	$\text{C}_2\text{H}_{6(r)} \leftrightarrow \text{C}_2\text{H}_4_{(r)} + \text{H}_{2(r)}$	1	—
531	$2\text{CO}_{(r)} + 2\text{NO}_{(r)} \leftrightarrow 2\text{CO}_{2(r)} + \text{N}_{2(r)}$	0,5	0,5
532	$\text{CH}_{4(r)} + \text{CH}_3\text{Cl}_{(r)} \leftrightarrow \text{C}_2\text{H}_6_{(r)} + \text{HCl}_{(r)}$	1	1
533	$\text{PCl}_{5(r)} \leftrightarrow \text{PCl}_{3(r)} + \text{Cl}_{2(r)}$	0,5	—
534	$\text{CO}_{2(r)} + \text{H}_2_{(r)} \leftrightarrow \text{CO}_{(r)} + \text{H}_2\text{O}_{(r)}$	0,2	0,2
535	$2\text{CF}_2\text{Cl}_{2(r)} \leftrightarrow \text{C}_2\text{F}_4_{(r)} + 2\text{Cl}_{2(r)}$	1	—
536	$2\text{CH}_4_{(r)} \leftrightarrow \text{C}_2\text{H}_2_{(r)} + 3\text{H}_2_{(r)}$	0,5	—

В задачах 537–556, используя уравнение температурной зависимости константы равновесия $\lg K_p = a/T + b \lg T + cT + d$, рассчитайте константу равновесия K_p при температуре $T_1 = 298$ К и при заданной температуре T_2 . Укажите, в каком направлении смещается равновесие реакции при повышении температуры. Рассчитайте константу равновесия K_C при стандартной температуре.

№ п/п	Реакция	T_2 , К	a	b	$c \cdot 10^4$	d
537	$2\text{H}_{2(r)} + \text{CO}_{(r)} \leftrightarrow \leftrightarrow \text{CH}_3\text{OH}_{(r)}$	800	3724	-9,13	30,8	3,401
538	$4\text{HCl}_{(r)} + \text{O}_{2(r)} \leftrightarrow \leftrightarrow 2\text{H}_2\text{O}_{(r)} + 2\text{Cl}_{2(r)}$	750	5750	-2,13	-8,57	-4,710
539	$\text{NH}_4\text{Cl}_{(к)} \leftrightarrow \leftrightarrow \text{NH}_{3(r)} + \text{HCl}_{(r)}$	455	-9650	1,830	-32,4	28,239
540	$2\text{N}_{2(r)} + 6\text{H}_2\text{O}_{(r)} \leftrightarrow \leftrightarrow 4\text{NH}_{3(r)} + 3\text{O}_{2(r)}$	900	-66250	-1,75	0	-10,206

№ п/п	Реакция	T_2 , К	a	b	$c \cdot 10^4$	d
541	$4\text{NO}_{(r)} + 6\text{H}_2\text{O}_{(r)} \leftrightarrow$ $\leftrightarrow 4\text{NH}_{3(r)} + 5\text{O}_{2(r)}$	1000	-47500	-1,75	0	-13,706
542	$2\text{NO}_{2(r)} \leftrightarrow$ $\leftrightarrow 2\text{NO}_{(r)} + \text{O}_{2(r)}$	700	-5749	1,75	-5,0	7,899
543	$\text{N}_2\text{O}_{4(r)} \leftrightarrow 2\text{NO}_{2(r)}$	400	-2692	1,750	-4,8	1,944
544	$\text{Mg}(\text{OH})_{2(k)} \leftrightarrow$ $\leftrightarrow \text{MgO}_{(k)} + \text{H}_2\text{O}_{(r)}$	500	-4600	0,623	-10,0	17,776
545	$\text{CaCO}_{3(k)} \leftrightarrow$ $\leftrightarrow \text{CaO}_{(k)} + \text{CO}_{2(r)}$	1000	-9680	-1,38	-2,19	17,756
546	$\text{Ca}(\text{OH})_{2(k)} \leftrightarrow$ $\leftrightarrow \text{CaO}_{(k)} + \text{H}_2\text{O}_{(r)}$	500	-5650	0,670	4,14	9,616
547	$\text{S}_{2(r)} + 4\text{H}_2\text{O}_{(r)} \leftrightarrow$ $\leftrightarrow 2\text{SO}_{2(r)} + 4\text{H}_{2(r)}$	1000	-13800	-0,88	26,7	8,386
548	$\text{S}_{2(r)} + 4\text{CO}_{2(r)} \leftrightarrow$ $\leftrightarrow 2\text{SO}_{2(r)} + 4\text{CO}_{(r)}$	900	-23000	4,340	-16,2	2,576
549	$2\text{SO}_{2(r)} + \text{O}_{2(r)} \leftrightarrow$ $\leftrightarrow 2\text{SO}_{3(r)}$	700	10373	1,222	0	-18,806
550	$\text{SO}_{2(r)} + \text{Cl}_{2(r)} \leftrightarrow$ $\leftrightarrow \text{SO}_2\text{Cl}_{2(r)}$	400	2250	-1,75	4,55	-7,206
551	$\text{CO}_{(r)} + 3\text{H}_{2(r)} \leftrightarrow$ $\leftrightarrow \text{CH}_{4(r)} + \text{H}_2\text{O}_{(r)}$	1000	9874	-7,14	18,8	-1,371
552	$4\text{CO}_{(r)} + 2\text{SO}_{2(r)} \leftrightarrow$ $\leftrightarrow \text{S}_{2(r)} + 4\text{CO}_{2(r)}$	900	23000	-4,34	0	-2,576
553	$\text{COCl}_{2(r)} \leftrightarrow$ $\leftrightarrow \text{CO}_{(r)} + \text{Cl}_{2(r)}$	400	5020	1,750	0	3,748
554	$\text{CO}_{2(r)} + \text{H}_{2(r)} \leftrightarrow$ $\leftrightarrow \text{CO}_{(r)} + \text{H}_2\text{O}_{(r)}$	1200	-2203	0	-0,52	2,300
555	$\text{CO}_{2(r)} + 4\text{H}_{2(r)} \leftrightarrow$ $\leftrightarrow \text{CH}_{4(r)} + 2\text{H}_2\text{O}_{(r)}$	1000	7674	-6,23	9,06	-1,291
556	$2\text{CO}_{2(r)} \leftrightarrow$ $\leftrightarrow 2\text{CO}_{(r)} + \text{O}_{2(r)}$	700	29500	1,75	-12,15	3,290

В задачах 557–580 определите, при какой температуре в системе устанавливается химическое равновесие. Напишите выражение константы равновесия. Укажите, используя уравнение изобары химической реакции, в каком направлении смещается равновесие при изменении температуры.

№ п/п	Уравнение реакции	№ п/п	Уравнение реакции
557	$\text{CH}_{4(\text{r})} + \text{CO}_{2(\text{r})} \leftrightarrow \text{CH}_3\text{COOH}_{(\text{ж})}$	569	$2\text{H}_{2(\text{r})} + \text{O}_{2(\text{r})} \leftrightarrow 2\text{H}_2\text{O}_{(\text{r})}$
558	$2\text{H}_{2(\text{r})} + \text{CO}_{2(\text{r})} \leftrightarrow \text{HCOH}_{(\text{ж})} + \text{H}_2\text{O}_{(\text{ж})}$	570	$\text{N}_{2(\text{r})} \leftrightarrow 2\text{N}_{(\text{r})}$
559	$\text{Ni}(\text{OH})_{2(\text{к})} \leftrightarrow \text{NiO}_{(\text{к})} + \text{H}_2\text{O}_{(\text{r})}$	571	$2\text{NO}_{(\text{r})} \leftrightarrow \text{N}_{2(\text{r})} + \text{O}_{2(\text{r})}$
560	$2\text{SO}_{2(\text{r})} + \text{O}_{2(\text{r})} \leftrightarrow 2\text{SO}_{3(\text{r})}$	572	$\text{CH}_{4(\text{r})} + \text{H}_2\text{O}_{(\text{r})} \leftrightarrow \text{CO}_{(\text{r})} + 3\text{H}_{2(\text{r})}$
561	$\text{CO}_{(\text{r})} + 2\text{H}_{2(\text{r})} \leftrightarrow \text{CH}_3\text{OH}_{(\text{r})}$	573	$\text{CH}_{4(\text{r})} + \text{CO}_{2(\text{r})} \leftrightarrow 2\text{CO}_{(\text{r})} + 2\text{H}_{2(\text{r})}$
562	$\text{Ca}(\text{OH})_{2(\text{к})} \leftrightarrow \text{CaO}_{(\text{к})} + \text{H}_2\text{O}_{(\text{r})}$	574	$2\text{CH}_{4(\text{r})} \leftrightarrow \text{C}_2\text{H}_{2(\text{r})} + 3\text{H}_{2(\text{r})}$
563	$\text{CaCO}_{3(\text{к})} \leftrightarrow \text{CaO}_{(\text{к})} + \text{CO}_{2(\text{r})}$	575	$\text{F}_{2(\text{r})} \leftrightarrow 2\text{F}_{(\text{r})}$
564	$\text{NH}_4\text{Cl}_{(\text{к})} \leftrightarrow \text{NH}_3_{(\text{r})} + \text{HCl}_{(\text{r})}$	576	$\text{Cl}_{2(\text{r})} \leftrightarrow 2\text{Cl}_{(\text{r})}$
565	$2\text{NO}_{2(\text{r})} \leftrightarrow \text{N}_2\text{O}_{4(\text{r})}$	577	$\text{HCl}_{(\text{r})} \leftrightarrow \text{H}_{(\text{r})} + \text{Cl}_{(\text{r})}$
566	$\text{O}_{2(\text{r})} \leftrightarrow 2\text{O}_{(\text{r})}$	578	$\text{HF}_{(\text{r})} \leftrightarrow \text{H}_{(\text{r})} + \text{F}_{(\text{r})}$
567	$\text{CO}_{2(\text{r})} + \text{H}_{2(\text{r})} \leftrightarrow \text{CO}_{(\text{r})} + \text{H}_2\text{O}_{(\text{r})}$	579	$2\text{HCl}_{(\text{r})} + \text{F}_{2(\text{r})} \leftrightarrow 2\text{HF}_{(\text{r})} + \text{Cl}_{2(\text{r})}$
568	$2\text{CO}_{(\text{r})} + \text{O}_{2(\text{r})} \leftrightarrow 2\text{CO}_{2(\text{r})}$	580	$\text{C}_2\text{H}_{6(\text{r})} \leftrightarrow \text{C}_2\text{H}_{2(\text{r})} + 2\text{H}_{2(\text{r})}$

4. ХИМИЧЕСКАЯ КИНЕТИКА

В задачах 581–595 для данной химической реакции при заданных температуре T , порядке реакции n , начальных концентрациях реагентов C_0 , времени полупревращения $t_{0,5}$ определите время t_α , за которое прореагирует указанная доля исходного вещества α .

№ п/п	Реакция	n	T , К	$t_{0,5}$, мин	C_0 , моль/л	α
581	$\text{SO}_2\text{Cl}_2 \rightarrow \text{SO}_2 + \text{Cl}_2$	1	593	577,6	0,6	0,60
582	$\text{A} \rightarrow \text{B} + \text{D}$	1	600	462	0,4	0,70
583	$\text{A} \rightarrow \text{B} + \text{D}$	1	323	10	0,2	0,90
584	$2\text{NH}_3 \rightarrow \text{N}_2 + 3\text{H}_2$	2	1129	17,25 ч	0,2	0,30

№ п/п	Реакция	n	T, K	$t_{0,5}, \text{ мин}$	$C_0, \text{ моль/л}$	α
585	$C_2H_6 \rightarrow C_2H_4 + H_2$	1	856	23,9	0,4	0,95
586	$2A \rightarrow B + D$	2	298	179,2	0,1	0,40
587	$RBr + OH^- \rightarrow ROH + Br^-$	2	293	78,25	0,1	0,60
588	$A + B \rightarrow D$	2	293	25,4	0,2	0,70
589	$C_2H_6 \rightarrow C_2H_4 + H_2$	1	823	462	0,3	0,90
590	$2HI \rightarrow H_2 + I_2$	2	700	137,74	0,1	0,65
591	$H_2O_2 \rightarrow H_2O + 1/2 O_2$	1	293	13,6	0,3	0,99
592	$C_2H_5Cl \rightarrow C_2H_4 + HCl$	1	873	8,7	0,5	0,96
593	$HCOOH \rightarrow CO_2 + H_2$	1	413	21	0,2	0,90
594	$HBr + O_2 \rightarrow HO_2^\bullet + Br^\bullet$	2	700	2 с	0,1	0,98
595	$2HI \rightarrow H_2 + I_2$	2	680	175,4	0,2	0,60

В задачах 596–610 для реакции n -го порядка рассчитайте концентрацию исходных веществ C_2 через некоторое время t_2 от начала реакции, если известно, что при начальных концентрациях реагентов C_0 при постоянной температуре за время t_1 концентрация исходных веществ стала C_1 .

№ п/п	Реакция	n	$C_0, \text{ моль/л}$	$t_1, \text{ мин}$	$C_1, \text{ моль/л}$	$t_2, \text{ мин}$
596	$2A \rightarrow B + D$	2	0,1	76,8	0,06	100
597	$A \rightarrow B + D$	1	0,2	5	0,14	10
598	$2NH_3 \rightarrow N_2 + 3H_2$	2	0,1	300	0,071	500
599	$A + B \rightarrow D + F$	2	0,5	120	0,215	180
600	$H_2O_2 \rightarrow H_2O + 1/2 O_2$	1	0,4	13,6	0,2	80
601	$A \rightarrow B$	1	0,1	10	0,01	30
602	$HCOOH \rightarrow CO_2 + H_2$	1	0,2	1,25	0,1	3
603	$C_2H_5Cl \rightarrow C_2H_4 + HCl$	1	0,4	15	0,2	30
604	$2HI \rightarrow H_2 + I_2$	2	0,2	50	0,12	100
605	$SO_2Cl_2 \rightarrow SO_2 + Cl_2$	1	0,4	200	0,3	600
606	$C_2H_6 \rightarrow C_2H_4 + H_2$	1	0,5	50	0,4	150
607	$A \rightarrow B + D$	1	0,2	300	0,08	600
608	$A + B \rightarrow D + F$	2	0,5	140	0,2	250
609	$2NO_2 \rightarrow 2NO + O_2$	2	0,4	200	0,15	400
610	$2NOBr \rightarrow 2NO + Br_2$	2	0,2	0,1	0,05	0,5

В задачах 611–630 по известным экспериментальным данным (n — порядок реакции; E_a — энергия активации; k_0 — предэкспоненциальный множитель в уравнении Аррениуса (имеет размерность скорости соответствующего порядка); T_1 и T_2 — начальная и конечная температуры; C_0 — исходные концентрации реагентов) рассчитайте константы скорости реакции при температурах T_1 и T_2 и определите скорость реакции в некоторый момент времени, когда прореагировала заданная доля исходных веществ α , при заданных значениях температуры.

№ п/п	Реакция	n	C_0 , моль/л	E_a , кДж/моль	k_0	T_1 , К	T_2 , К	α , %
611	$C_2H_5Cl \rightarrow$ $\rightarrow C_2H_4 + HCl$	1	2	247,5	$4 \cdot 10^{14}$	400	500	50
612	$HI + CH_3I \rightarrow CH_4 + I_2$	2	2	140	$2 \cdot 10^{14}$	400	700	60
613	$2NO + Br_2 \rightarrow 2NOBr$	3	1	5,44	$2,7 \cdot 10^{10}$	300	350	70
614	$N_2O_4 \rightarrow 2NO_2$	1	2	54,4	10^{16}	400	500	40
615	$2NO_2 \rightarrow 2NO + O_2$	2	1	113	$9 \cdot 10^{12}$	200	300	60
616	$C_6H_5ONa + C_3H_7I \rightarrow$ $\rightarrow C_6H_5OC_3H_7 + NaI$	2	2	93,6	$3,5 \cdot 10^{11}$	300	500	50
617	$2N_2O_5 \rightarrow 2N_2O_4 + O_2$	1	2	103,5	$4,6 \cdot 10^{13}$	300	500	70
618	$H_2 + C_2H_4 \rightarrow C_2H_6$	2	1	180,5	$4 \cdot 10^{13}$	300	600	50
619	$H_2 + I_2 \rightarrow 2HI$	2	1	165,5	$1,6 \cdot 10^{14}$	400	600	60
620	$2HI \rightarrow H_2 + I_2$	2	1	186,4	$9,2 \cdot 10^{13}$	500	300	80
621	$C_2H_5Br \rightarrow$ $\rightarrow C_2H_4 + HBr$	1	2	218	$7,2 \cdot 10^{12}$	300	400	40
622	$H_2 + ICl \rightarrow HI + HCl$	2	1	41,8	$1,6 \cdot 10^{15}$	500	650	70
623	$2NO + Cl_2 \rightarrow 2NOCl$	3	1	15,5	$4,6 \cdot 10^9$	300	400	40
624	$CO_2 + OH^- \rightarrow HCO_3^-$	2	1	38,2	$1,5 \cdot 10^{13}$	300	350	60
625	$C_2H_5ONa + CH_3I \rightarrow$ $\rightarrow C_2H_5OCH_3 + NaI$	2	1	81,5	$2,4 \cdot 10^{11}$	300	450	50
626	$2O_3 \rightarrow 3O_2$	2	1	117,9	$6,3 \cdot 10^{18}$	300	500	70
627	$C_2H_4 + H_2 \rightarrow C_2H_6$	2	2	180	$4 \cdot 10^{13}$	150	200	50
628	$HJ + C_2H_5I \rightarrow$ $\rightarrow C_2H_6 + I_2$	2	2	124	$5 \cdot 10^{13}$	250	400	30
629	$NO^\bullet + Br_2 \rightarrow$ $\rightarrow NOBr + Br^\bullet$	2	2	95	$4 \cdot 10^{12}$	200	350	70
630	$C_2H_5Cl \rightarrow$ $\rightarrow C_2H_4 + HCl$	1	2	248	$4 \cdot 10^4$	300	500	80

Примечание. k_0 имеет размерность константы скорости соответствующего порядка.

В задачах 631–640 определите скорость газофазной реакции по каждому компоненту, если известна скорость образования r какого-либо продукта.

№ п/п	Реакция	Продукт	r , моль / (л·с)	№ п/п	Реакция	Продукт	r , моль / (л·с)
631	$2A \rightarrow 2B + C$	B	$6,6 \cdot 10^{-4}$	636	$2A \rightarrow B$	B	$2,4 \cdot 10^{-3}$
632	$A + B \rightarrow C$	C	$4,4 \cdot 10^{-6}$	637	$3A \rightarrow B + C$	C	$8,0 \cdot 10^{-1}$
633	$A \rightarrow 2B$	B	$2,6 \cdot 10^{-2}$	638	$2A + B \rightarrow C$	C	$1,2 \cdot 10^{-5}$
634	$3A \rightarrow 2B + C$	C	1,8	639	$A + B \rightarrow 2C$	C	4,0
635	$A \rightarrow B$	B	20	640	$A + B \rightarrow C + D$	D	$3,1 \cdot 10^{-2}$

В задачах 641–650 для данной элементарной реакции рассчитайте скорость реакции r_2 при указанной концентрации C_2 одного из компонентов, если известны начальные концентрации реагентов C_0 и скорость реакции r_1 при определенной концентрации одного из компонентов C_1 .

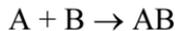
№ п/п	Реакция	C_0 , моль/л	r_1 , моль/(л·с); C_1 , моль/л	C_2 , моль/л
641	$A + B \rightarrow D$	$C_{0,A} = 5,0$ $C_{0,B} = 7,0$	$r_1 = 2,0 \cdot 10^{-3}$ $C_{1,A} = 2,0$	$C_{2,D} = 3,0$
642	$2A \rightarrow 2B + D$	$C_{0,A} = 2,0$	$r_1 = 1,8 \cdot 10^{-4}$ $C_{1,D} = 0,5$	$C_{2,A} = 1,0$
643	$A \rightarrow B + D$	$C_{0,A} = 10,0$	$r_1 = 2,1 \cdot 10^{-6}$ $C_{1,B} = 4,0$	$C_{2,D} = 2,0$
644	$3A \rightarrow 2B + D$	$C_{0,A} = 4,0$	$r_1 = 4,2$ $C_{1,B} = 1,0$	$C_{2,D} = 1,0$
645	$A + 2B \rightarrow D$	$C_{0,A} = 6,0$ $C_{0,B} = 18,0$	$r_1 = 1,4 \cdot 10^{-8}$ $C_{1,B} = 1,0$	$C_{2,B} = 10,0$
646	$2A + B \rightarrow D$	$C_{0,A} = 0,8$ $C_{0,B} = 0,6$	$r_1 = 6,8 \cdot 10^{-3}$ $C_{1,A} = 0,6$	$C_{2,B} = 0,4$
647	$2A + B \rightarrow D$	$C_{0,A} = 1,6$ $C_{0,B} = 1,6$	$r_1 = 4,1 \cdot 10^{-2}$ $C_{1,B} = 1,4$	$C_{2,D} = 0,4$

№ п/п	Реакция	C_0 , моль/л	r_1 , моль/(л·с); $C_{1,B}$, моль/л	C_2 , моль/л
648	$2A \rightarrow B$	$C_{0,A} = 4,2$	$r_1 = 2,0$ $C_{1,B} = 1,8$	$C_{2,A} = 3,0$
649	$2A \rightarrow 2B + D$	$C_{0,A} = 3,5$	$r_1 = 4,1 \cdot 10^{-1}$ $C_{1,D} = 1,0$	$C_{2,A} = 2,1$
650	$A \rightarrow B$	$C_{0,A} = 1 \cdot 10^{-2}$	$r_1 = 6,3 \cdot 10^{-2}$ $C_{1,B} = 5 \cdot 10^{-3}$	$C_{2,A} = 0,021$

В задачах 651–660 определите, во сколько раз увеличилась константа скорости второй реакции при нагревании от температуры T_1 до T_2 , если дано соотношение энергий активации первой и второй реакций (E_1/E_2) и известно, что при нагревании от T_1 до T_2 константа скорости первой реакции увеличилась в a раз.

№ п/п	E_1/E_2	a	№ п/п	E_1/E_2	a
651	2,0	10,0	656	6,5	6,5
652	0,5	5,0	657	0,3	2,5
653	3,0	6,0	658	5,1	4,0
654	4,5	12,0	659	0,2	3,5
655	0,1	3,5	660	3,5	6,0

В задачах 661–670 рассчитайте для элементарной реакции второго порядка



при одинаковых начальных концентрациях реагентов C_0 константу скорости реакции и время полупревращения $t_{0,5}$, если известно, что через некоторое время t концентрация вещества А уменьшилась до значения C .

№ п/п	C_0 , моль/л	t , мин	C , моль/л	№ п/п	C_0 , моль/л	t , мин	C , моль/л
661	0,06	60	0,03	666	2,0	10	1,5
662	0,1	50	0,02	667	0,04	15	0,035
663	1,2	30	0,9	668	0,3	40	0,15
664	0,4	100	0,1	669	2,5	35	1,1
665	1,5	70	0,9	670	1,1	20	0,6

5. ЗАКОНОМЕРНОСТИ ПРОТЕКАНИЯ РЕАКЦИЙ В РАСТВОРАХ

5.1. Способы выражения состава раствора

В задачах 671 – 682 определите молярную концентрацию и молярную концентрацию эквивалента водного раствора, если известны массовая доля растворенного вещества ω и плотность раствора ρ .

№ п/п	Вещество	ω , %	ρ , г/л	№ п/п	Вещество	ω , %	ρ , г/л
671	K ₂ CO ₃	2	1016,3	677	CaCl ₂	16	1138,4
672	AlCl ₃	12	1109,3	678	HNO ₃	30	1180,0
673	BaCl ₂	18	1179,3	679	H ₃ PO ₄	16	1088,4
674	H ₂ SO ₄	6	1038,0	680	AgNO ₃	20	1194,2
675	CdSO ₄	10	1102,3	681	FeSO ₄	16	1167,5
676	KOH	10	1090,0	682	H ₃ PO ₄	35	1216,0

В задачах 683–694 определите мольные доли компонентов в 1 л водного раствора, если известны массовая доля растворенного вещества ω и плотность раствора ρ .

№ п/п	Вещество	ω , %	ρ , г/л	№ п/п	Вещество	ω , %	ρ , г/л
683	AgNO ₃	16	1149,5	689	AlCl ₃	10	1090,0
684	KOH	28	1267,0	690	H ₂ SO ₄	40	1303,0
685	HCl	22	1108,0	691	FeSO ₄	20	1213,5
686	NaCl	24	1180,4	692	CuSO ₄	8	1084,0
687	NH ₄ OH	10	957,0	693	CdSO ₄	16	1172,9
688	NH ₄ Cl	18	1051,2	694	KCl	14	1076,8

В задачах 695 – 706 определите массу растворенного вещества в 1 л водного раствора известной концентрации C [концентрация может быть выражена массовой долей (%), молярной концентрацией (М) или молярной концентрацией эквивалента (н)] и плотности ρ .

№ п/п	Вещество	C	ρ , г/л	№ п/п	Вещество	C	ρ , г/л
695	K ₂ CO ₃	10 %	1090,4	697	BaCl ₂	6 %	1052,8
696	AlCl ₃	0,1 н	—	698	H ₂ SO ₄	0,5 М	—

№ п/п	Вещество	C	ρ , г/л	№ п/п	Вещество	C	ρ , г/л
699	CaCl_2	0,2 н	—	703	H_3PO_4	12%	1064,7
700	HNO_3	24 %	1140,0	704	K_2CO_3	0,3 М	—
701	H_3PO_4	0,2 М	—	705	ZnSO_4	16 %	1155,3
702	AgNO_3	0,5 н	—	706	NaOH	40 %	1430,0

В задачах 707 – 718 определите массу растворенного вещества в данном объеме раствора V , если известны массовая доля ω и плотность раствора ρ .

№ п/п	Вещество	ω , %	ρ , г/л	V , л	№ п/п	Вещество	ω , %	ρ , г/л	V , л
707	NH_4NO_3	10	1039,7	0,5	713	H_3PO_4	8	1042,0	0,3
708	LiCl	4	1021,5	0,2	714	KOH	14	1128,0	1,5
709	KNO_3	18	1118,1	1,0	715	NaCl	18	1131,9	0,25
710	AlCl_3	16	1149,1	1,2	716	NH_4OH	26	904,0	0,5
711	CuSO_4	12	1131,0	0,25	717	K_2CO_3	16	1149,0	0,75
712	H_2SO_4	24	1170,0	0,45	718	BaCl_2	20	1203,1	1,0

В задачах 719 – 730 определите массу вещества, необходимую для приготовления заданного объема V раствора известной молярной концентрации эквивалента $C_{\text{ЭКВ}}$.

№ п/п	Вещество	V , л	$C_{\text{ЭКВ}}$, моль/л	№ п/п	Вещество	V , л	$C_{\text{ЭКВ}}$, моль/л
719	NaNO_2	0,5	0,1	725	K_3PO_4	1,0	0,01
720	K_2SO_3	0,3	0,1	726	NaF	0,25	0,02
721	Na_2CO_3	1,0	0,05	727	$\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$	1,5	0,1
722	H_3BO_3	0,25	0,01	728	ZnCl_2	1,0	0,1
723	K_2S	0,45	0,02	729	KMnO_4	0,5	0,5
724	Zn(OH)_2	0,3	0,2	730	$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$	1,3	1,0

В задачах 731 – 741 определите массовую долю вещества в растворе, приготовленном смешиванием 200 мл разбавленного с массовой долей ω_1 и 20 мл концентрированного с массовой долей ω_2 растворов указанного вещества.

№ п/п	Вещество	$\omega_1, \%$	$\rho_1, \text{г/л}$	$\omega_2, \%$	$\rho_2, \text{г/л}$
731	H ₂ SO ₄	10	1066	20	1139
732	КОН	6	1053	12	1109
733	NaCl	12	1085	26	1197
734	NaOH	8	1087	30	1328
735	HCl	16	1078	28	1139
736	H ₃ PO ₄	12	1064	24	1139
737	AgNO ₃	10	1088	20	1194
738	NH ₄ Cl	12	1034	18	1051
739	HNO ₃	4	1010	18	1102
730	K ₂ CO ₃	10	1090	18	1169
741	NaNO ₃	14	1096	30	1225

5.2. Энергетика растворения

В задачах 742–765 вычислите, на сколько градусов изменится температура раствора при растворении 0,1 моля вещества в 1 л воды, если известен тепловой эффект растворения $\Delta_s H_{298}^0$ ($\Delta_s H > 0$ — теплота поглощается, $\Delta_s H < 0$ — выделяется). Удельную теплоемкость раствора примите равной удельной теплоемкости воды 4,187 Дж/(г·К).

№ п/п	Вещество	$\Delta_s H_{298}^0,$ кДж/(моль·кг)	№ п/п	Вещество	$\Delta_s H_{298}^0,$ кДж/(моль·кг)
742	LiCl	-36,48	754	K ₂ SO ₄	24,78
743	LiBr	-48,62	755	KI	20,71
744	NaCl	4,25	756	HNO ₃	-32,74
745	NaBr	-0,29	757	NaOH	-42,36
746	NaI	-7,20	758	CuSO ₄	-68,07
747	KBr	20,33	759	MgSO ₄	-87,91
748	HCl	-73,68	760	MnSO ₄	-58,70
749	H ₃ PO ₄	-9,64	761	ZnSO ₄	-79,16
750	KNO ₃	34,77	762	KCl	17,55
751	NH ₄ Cl	15,10	763	KClO ₄	50,37
752	NH ₄ NO ₃	25,75	764	H ₂ SO ₄	-73,55
753	CaCl ₂	-80,88	765	КОН	-54,33

В задачах 766–789 вычислите, сколько теплоты выделяется или поглощается при растворении массы m вещества в 1 кг воды, если известно повышение ($+\Delta T$) или понижение ($-\Delta T$) температу-

ры раствора. Удельную теплоемкость раствора примите равной удельной теплоемкости воды 4,187 Дж/(г·К).

№ п/п	Вещество	<i>m</i> , г	ΔT , К	№ п/п	Вещество	<i>m</i> , г	ΔT , К
766	NH ₄ Cl	5,34	-3,59	778	NaBr	10,29	+0,068
767	NH ₄ NO ₃	8,00	-6,10	779	NaI	15,00	+1,68
768	CaCl ₂	11,10	+19,10	780	HCl	3,65	+17,53
769	CuSO ₄	15,96	+16,00	781	ZnSO ₄	16,15	+18,60
770	MgSO ₄	12,04	+20,76	782	H ₃ PO ₄	9,80	+2,28
771	NaOH	4,00	+10,08	783	K ₂ SO ₄	14,23	-5,83
772	LiCl	4,24	+8,68	784	KCl	7,45	-4,16
773	H ₂ SO ₄	9,80	+17,39	785	KClO ₄	13,86	-11,86
774	MnSO ₄	15,10	+13,81	786	KOH	5,61	+12,29
775	KI	16,6	-4,86	787	Al ₂ (SO ₄) ₃	34,21	+79,5
776	LiBr	8,68	+11,52	788	NH ₃	1,7	+8,26
777	NaCl	5,84	-1,01	789	HCOOH	4,6	+0,16

5.3. Коллигативные свойства растворов

В задачах 790–799 определите температуру начала кристаллизации раствора (*m* — масса растворенного вещества; α — степень диссоциации электролита; *g* — масса растворителя; T_3 — температура замерзания растворителя; K_3 — криоскопическая постоянная).

№ п/п	Растворенное вещество			Растворитель			
	Формула	<i>m</i> , г	α , %	Формула	<i>g</i> , г	T_3 , °C	K_3 , К·моль ⁻¹ ·л
790	CH ₃ OH	7,0	0	H ₂ O	250	0	1,86
791	C ₁₂ H ₂₂ O ₁₁	20,0	0	H ₂ O	800	0	1,86
792	KNO ₃	5,8	91,0	H ₂ O	500	0	1,86
793	C ₁₀ H ₈	10,0	0	C ₆ H ₆	200	5,5	5,07
794	H ₂ O	30,0	0	CH ₃ COOH	200	16,6	3,09
795	NaOH	25	90,5	H ₂ O	900	0	1,86
796	CH ₃ COOH	30	3,8	H ₂ O	200	0	1,86
797	C ₆ H ₅ NO ₂	10	0	C ₆ H ₆	300	5,5	5,07
798	C ₆ H ₁₂ O ₆	20	0	H ₂ O	300	0	1,86
799	ZnSO ₄	5	55,5	H ₂ O	500	0	1,86

В задачах 800–809 определите степень диссоциации электролита в водном растворе (m — масса растворенного вещества; g — масса растворителя; $T_{\text{кип}}$ — температура кипения раствора). Эбулиоскопическая постоянная воды $0,52 \text{ К} \cdot \text{моль}^{-1} \cdot \text{л}$.

№ п/п	Вещество		$g, \text{ г}$	$T_{\text{кип}}, \text{ }^\circ\text{C}$
	Формула	$m, \text{ г}$		
800	KNO_3	1,01	100	100,095
801	BaCl_2	3,4	100	100,2
802	K_2SO_4	4,5	50	100,557
803	KOH	5,0	95	100,86
804	NaCl	4,388	100	100,074
805	NaOH	4,5	80	101,45
806	CH_3COOH	5,0	45	101,025
807	AlCl_3	3,8	200	100,28
808	ZnSO_4	4,1	250	100,068
809	$\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$	5,2	100	100,28

В задачах 810–825 вычислите осмотическое давление водного раствора электролита (m — масса растворенного вещества; V — объем раствора; T — температура; α — степень диссоциации).

№ п/п	Вещество	$m, \text{ г}$	$V, \text{ л}$	$T, \text{ }^\circ\text{C}$	α
810	$\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$	63,0	1,4	0	0
811	K_2SO_4	174,0	1,0	25	0,97
812	NaCl	58,5	0,5	25	0,98
813	CH_3OH	64,0	1,5	0	0
814	$\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$	34,2	0,5	0	0
815	AlCl_3	13,35	0,25	25	0,89
816	KOH	5,6	0,25	0	0,90
817	$\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$	171,0	2,5	0	0
818	$\text{C}_3\text{H}_8\text{O}_3$	184,0	2,0	25	0
819	$\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$	200,0	1,0	25	0,95
820	$\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$	92,0	1,5	0	0
821	KNO_3	101,0	0,5	25	0,96
822	CH_3COOH	120,0	2,0	0	0
823	NaOH	80,0	0,5	25	0,92
824	BaCl_2	20,83	0,5	25	0,94
825	$\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$	34,21	1,0	25	0,95

В задачах 826–837 вычислите молярную массу растворенного вещества, находящегося в растворе объемом V при температуре T , если известны масса вещества m и осмотическое давление раствора π .

№ п/п	m , г	V , л	T , °С	$\pi \cdot 10^{-5}$, Па	№ п/п	m , г	V , л	T , °С	$\pi \cdot 10^{-5}$, Па
826	9,0	0,25	5,0	4,5	832	2,8	0,2	0,0	7,0
827	0,55	0,5	0,0	0,22	833	2,0	0,15	0,0	0,064
828	0,70	0,25	25,0	0,2	834	0,2	0,01	17,0	0,039
829	2,3	0,1	25,0	6,18	835	1,5	0,2	0,0	0,043
830	0,05	0,1	0,0	0,112	836	0,15	0,1	25,0	0,01
831	3,04	0,6	0,0	0,672	837	4,88	2,0	0,0	0,28

5.4. Равновесие в растворах электролитов

В задачах 838–849 вычислите концентрации ионов, на которые диссоциирует слабый электролит в водном растворе. Напишите уравнение диссоциации электролита.

№ п/п	Электролит	C , моль/л	$K_{\text{дис}}$	№ п/п	Электролит	C , моль/л	$K_{\text{дис}}$
838	NH_4OH	0,01	$1,79 \cdot 10^{-5}$	844	HF	0,01	$6,61 \cdot 10^{-4}$
839	LiOH	0,2	$6,75 \cdot 10^{-1}$	845	NH_4OH	0,1	$1,79 \cdot 10^{-5}$
840	HSCN	0,01	$1,4 \cdot 10^{-1}$	846	HBO_2	0,001	$7,5 \cdot 10^{-1}$
841	HCN	0,01	$7,9 \cdot 10^{-10}$	847	HIO_3	0,1	$1,9 \cdot 10^{-1}$
842	HClO_2	0,01	$5,0 \cdot 10^{-3}$	848	HBrO_3	0,1	$2,0 \cdot 10^{-1}$
843	LiOH	0,002	$6,75 \cdot 10^{-1}$	849	HNO_2	0,001	$4,0 \cdot 10^{-4}$

В задачах 850–861 вычислите pH водного раствора электролита. Напишите уравнение диссоциации электролита.

№ п/п	Электролит	C , моль/л	$K_{\text{дис}}$	№ п/п	Электролит	C , моль/л	$K_{\text{дис}}$
850	HF	0,02	$6,61 \cdot 10^{-4}$	856	HNO_2	0,01	$4,0 \cdot 10^{-4}$
851	HSCN	0,5	$1,4 \cdot 10^{-1}$	857	HClO_2	0,02	$5,0 \cdot 10^{-3}$
852	NH_4OH	0,2	$1,79 \cdot 10^{-5}$	858	LiOH	0,1	$6,75 \cdot 10^{-1}$
853	HIO_3	1,0	$1,9 \cdot 10^{-1}$	859	HCN	0,05	$7,9 \cdot 10^{-10}$
854	HBrO_3	0,8	$2,0 \cdot 10^{-1}$	860	NH_4OH	0,08	$1,8 \cdot 10^{-5}$
855	HBO_2	0,1	$7,5 \cdot 10^{-1}$	861	HF	0,005	$6,6 \cdot 10^{-4}$

В задачах 862–871 вычислите концентрации ионов, на которые диссоциирует комплексный ион в водном растворе. Напишите уравнение диссоциации иона.

№ п/п	Ион	C , моль/л	$K_{\text{нест}}$
862	$[\text{Cu}(\text{CN})_2]^-$	0,01	$1,0 \cdot 10^{-24}$
863	$[\text{AgBr}_2]^-$	0,001	$7,8 \cdot 10^{-8}$
864	$[\text{Co}(\text{NH}_3)_2]^{2+}$	0,01	$1,62 \cdot 10^{-5}$
865	$[\text{Ag}(\text{SCN})_2]^-$	0,01	$2,7 \cdot 10^{-8}$
866	$[\text{CuBr}_2]^-$	0,01	$1,3 \cdot 10^{-6}$
867	$[\text{Ag}(\text{CN})_2]^-$	0,01	$8,0 \cdot 10^{-22}$
868	$[\text{Cu}(\text{NH}_3)_2]^{2+}$	0,005	$2,24 \cdot 10^{-8}$
869	$[\text{Cu}(\text{NH}_3)_2]^+$	0,01	$6,6 \cdot 10^{-7}$
870	$[\text{AgCl}_2]^-$	0,001	$1,76 \cdot 10^{-5}$
871	$[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]^{2+}$	0,01	$1,1 \cdot 10^{-12}$

В задачах 872–880 вычислите рН водного раствора щелочи, если известна массовая доля ω вещества в растворе. Плотность раствора и степень диссоциации щелочи в растворе примите равными единице.

№ п/п	Щелочь	ω , %
872	NaOH	0,005
873	KOH	0,03
874	RbOH	0,025
875	CsOH	0,055
876	$\text{Ca}(\text{OH})_2$	0,045
877	$\text{Sr}(\text{OH})_2$	0,002
878	$\text{Ba}(\text{OH})_2$	0,004
879	RbOH	0,001
880	$\text{Ba}(\text{OH})_2$	0,005

В задачах 881–901 вычислите коэффициент активности и значение рН водного раствора сильного электролита с известной молярной концентрацией C . Напишите уравнение полной диссоциации электролита.

№ п/п	Электролит	C , моль/л	№ п/п	Электролит	C , моль/л
881	$\text{Ba}(\text{OH})_2$	0,005	883	HCl	0,01
882	NaOH	0,002	884	H_2SO_4	0,004

№ п/п	Электролит	C , моль/л	№ п/п	Электролит	C , моль/л
885	HNO_3	0,002	894	CsOH	0,05
886	HClO_4	0,007	895	HI	0,02
887	Ca(OH)_2	0,02	896	NaOH	0,04
888	KOH	0,001	897	HBr	0,006
889	CsOH	0,005	898	KOH	0,05
890	HClO_4	0,02	899	H_2SO_4	0,04
891	HBr	0,01	900	HNO_3	0,01
892	Ca(OH)_2	0,003	901	$\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$	0,01
893	Ba(OH)_2	0,04			

В задачах **902–909** вычислите константу и степень гидролиза соли при $T = 298 \text{ K}$. Напишите уравнение гидролиза соли.

№ п/п	Соль	C , моль/л	K_a	K_b
902	NaCN	0,5	$4,93 \cdot 10^{-10}$	—
903	KF	0,3	$6,67 \cdot 10^{-4}$	—
904	NH_4Cl	0,5	—	$1,74 \cdot 10^{-5}$
905	AgNO_3	0,05	$5,0 \cdot 10^{-3}$	—
906	NaCN	0,4	$4,93 \cdot 10^{-10}$	—
907	KNO_2	0,03	$5,13 \cdot 10^{-4}$	—
908	NaNCS	0,001	$1,41 \cdot 10^{-1}$	—
909	NH_4NO_3	0,004	—	$1,74 \cdot 10^{-5}$

В задачах **910–917** вычислите степень гидролиза соли и pH раствора при $T = 298 \text{ K}$. Напишите уравнение гидролиза соли.

№ п/п	Соль	C , моль/л	K_a	K_b
910	RbCN	0,02	$4,93 \cdot 10^{-10}$	—
911	NaF	0,005	$6,67 \cdot 10^{-4}$	—
912	NH_4Cl	0,008	—	$1,74 \cdot 10^{-5}$
913	AgNO_3	0,002	$5,0 \cdot 10^{-3}$	—
914	NaCN	0,001	$4,93 \cdot 10^{-10}$	—
915	NaNO_2	0,007	$5,13 \cdot 10^{-4}$	—
916	NH_4NO_3	0,02	—	$1,74 \cdot 10^{-5}$
917	CH_3COONa	0,02	$1,75 \cdot 10^{-5}$	—

5.5. Растворимость твердых веществ. Насыщенные растворы

В задачах 918–935 вычислите растворимость [(моль/л) и (г/л)] вещества при температуре 25 °С и заданном произведении растворимости ПР. Напишите уравнение диссоциации электролита в насыщенном растворе.

№ п/п	Вещество	ПР	№ п/п	Вещество	ПР
918	AgBr	$4,8 \cdot 10^{-13}$	927	Co(OH) ₂	$4,7 \cdot 10^{-6}$
919	AgBrO ₃	$6,1 \cdot 10^{-5}$	928	CaCO ₃	$3,7 \cdot 10^{-9}$
920	CaSO ₄	$1,7 \cdot 10^{-5}$	929	Ag ₂ S	$6,3 \cdot 10^{-50}$
921	CdCO ₃	$2,5 \cdot 10^{-14}$	930	AgI	$8,1 \cdot 10^{-17}$
922	BaSO ₄	$1,0 \cdot 10^{-10}$	931	AgIO ₃	$3,0 \cdot 10^{-8}$
923	PbS	$6,2 \cdot 10^{-28}$	932	Ag ₂ CrO ₄	$4,7 \cdot 10^{-12}$
924	AgCl	$1,7 \cdot 10^{-10}$	933	Ni(OH) ₂	$1,2 \cdot 10^{-16}$
925	AgCN	$1,6 \cdot 10^{-14}$	934	Zn(OH) ₂	$4,9 \cdot 10^{-17}$
926	Ca(OH) ₂	$6,1 \cdot 10^{-6}$	935	AuCl	$2,0 \cdot 10^{-13}$

В задачах 936–947 вычислите равновесную молярную концентрацию (моль/л) аниона в насыщенном растворе соли при температуре 25 °С. Напишите уравнение диссоциации электролита в насыщенном растворе.

№ п/п	Вещество	ПР	№ п/п	Вещество	ПР
936	PbCl ₂	$1,6 \cdot 10^{-5}$	942	PbCl ₂	$1,6 \cdot 10^{-5}$
937	Ag ₂ SO ₄	$1,2 \cdot 10^{-5}$	943	Hg ₂ Br ₂	$5,4 \cdot 10^{-23}$
938	Ni(OH) ₂	$1,2 \cdot 10^{-16}$	944	Cd(OH) ₂	$1,8 \cdot 10^{-14}$
939	Fe(OH) ₂	$1,6 \cdot 10^{-15}$	945	Co(OH) ₂	$4,7 \cdot 10^{-16}$
940	Ag ₂ S	$4,2 \cdot 10^{-50}$	946	BaSO ₄	$1,0 \cdot 10^{-10}$
941	Ca(OH) ₂	$6,1 \cdot 10^{-6}$	947	PbI ₂	$8,2 \cdot 10^{-9}$

В задачах 948–954 вычислите значение произведения растворимости гидроксида металла Me(OH)₂, если известен водородный показатель его насыщенного раствора при температуре 25 °С.

№ п/п	948	949	950	951	952	953	954
pH	9,54	9,17	10,68	9,76	9,34	10,24	12,36

В задачах 955–966 вычислите объем воды, который потребуется для растворения 0,01 г вещества при температуре 25 °С. Объем воды примите равным объему раствора.

№ п/п	Вещество	ПР	№ п/п	Вещество	ПР
955	TiCl	$1,8 \cdot 10^{-4}$	961	PbCl ₂	$1,6 \cdot 10^{-5}$
956	Ag ₂ CrO ₄	$4,7 \cdot 10^{-12}$	962	Hg ₂ Cl ₂	$1,2 \cdot 10^{-18}$
957	Fe(OH) ₂	$1,6 \cdot 10^{-15}$	963	ТII	$8,8 \cdot 10^{-8}$
958	CuCl	$3,2 \cdot 10^{-7}$	964	ZnS	$1,9 \cdot 10^{-22}$
959	Ag ₂ S	$4,2 \cdot 10^{-50}$	965	BaSO ₄	$1,0 \cdot 10^{-10}$
960	Ca(OH) ₂	$6,1 \cdot 10^{-6}$	966	Hg ₂ SO ₄	$6,4 \cdot 10^{-7}$

6. ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ

6.1. Окислительно-восстановительные реакции

В задачах 967–988 по приведенным уравнениям полуреакций и значениям стандартных потенциалов составьте полное ионно-молекулярное уравнение окислительно-восстановительной реакции, самопроизвольно протекающей в редокс-элементе. Рассчитайте ЭДС элемента и стандартную энергию Гиббса реакции $\Delta_r G_{298}^0$.

№ п/п	Уравнение полуреакции	φ^0 , В
967	$S + 2H^+ + 2e \leftrightarrow H_2S$	0,14
	$SO_3^{2-} + 6H^+ + 6e \leftrightarrow S + 3H_2O$	0,45
968	$Cr_2O_7^{2-} + 14H^+ + 6e \leftrightarrow 2Cr^{3+} + 7H_2O$	1,33
	$S + 2e \leftrightarrow S^{2-}$	-0,48
969	$MnO_4^- + 8H^+ + 5e \leftrightarrow Mn^{2+} + 4H_2O$	1,51
	$S + 2H^+ + 2e \leftrightarrow H_2S$	0,14
970	$Cr_2O_7^{2-} + 14H^+ + 6e \leftrightarrow 2Cr^{3+} + 7H_2O$	1,33
	$Cl_2 + 2e \leftrightarrow 2Cl^-$	1,36
971	$Cl_2 + 2e \leftrightarrow 2Cl^-$	1,36
	$IO_3^- + 6H^+ + 6e \leftrightarrow I^- + 3H_2O$	1,09
972	$MnO_4^- + 8H^+ + 5e \leftrightarrow Mn^{2+} + 4H_2O$	1,51
	$I_2 + 2e \leftrightarrow 2I^-$	0,62

№ п/п	Уравнение полуреакции	φ^0 , В
973	$\text{HNO}_2 + \text{H}^+ + e \leftrightarrow \text{NO} + \text{H}_2\text{O}$	1,2
	$\text{Br}_2 + 2e \leftrightarrow 2\text{Br}^-$	1,06
974	$\text{MnO}_2 + 4\text{H}^+ + 2e \leftrightarrow \text{Mn}^{2+} + 2\text{H}_2\text{O}$	1,23
	$\text{Br}_2 + 2e \leftrightarrow 2\text{Br}^-$	1,06
975	$\text{Fe}^{3+} + e \leftrightarrow \text{Fe}^{2+}$	0,77
	$\text{NO}_3^- + 3\text{H}^+ + 2e \leftrightarrow \text{HNO}_2 + \text{H}_2\text{O}$	0,94
976	$\text{Ni}^{2+} + 2e \leftrightarrow \text{Ni}$	-0,25
	$\text{SO}_4^{2-} + 4\text{H}^+ + 2e \leftrightarrow \text{SO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$	0,17
977	$\text{Al}^{3+} + 3e \leftrightarrow \text{Al}$	-1,66
	$2\text{H}^+ + 2e \leftrightarrow \text{H}_2$	0,0
978	$\text{Fe}^{3+} + e \leftrightarrow \text{Fe}^{2+}$	0,77
	$\text{F}_2 + 2e \leftrightarrow 2\text{F}^-$	2,87
979	$\text{ClO}^- + \text{H}_2\text{O} + e \leftrightarrow 0,5\text{Cl}_2 + 2\text{OH}^-$	0,40
	$\text{Cl}_2 + 2e \leftrightarrow 2\text{Cl}^-$	1,36
980	$\text{MnO}_4^- + e \leftrightarrow \text{MnO}_4^{2-}$	0,56
	$\text{Cl}_2 + 2e \leftrightarrow 2\text{Cl}^-$	1,36
981	$\text{ClO}_3^- + 3\text{H}_2\text{O} + 6e \leftrightarrow \text{Cl}^- + 6\text{OH}^-$	0,63
	$\text{Cl}_2 + 2e \leftrightarrow 2\text{Cl}^-$	1,36
982	$\text{Sn}^{4+} + 2e \leftrightarrow \text{Sn}^{2+}$	0,15
	$\text{H}_2\text{O}_2 + 2\text{H}^+ + 2e \leftrightarrow 2\text{H}_2\text{O}$	1,78
983	$\text{MnO}_4^- + 4\text{H}^+ + 3e \leftrightarrow \text{MnO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$	1,69
	$\text{Br}_2 + 2e \leftrightarrow 2\text{Br}^-$	1,06
984	$\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-} + 14\text{H}^+ + 6e \leftrightarrow 2\text{Cr}^{3+} + 7\text{H}_2\text{O}$	1,33
	$\text{S} + 2\text{H}^+ + 2e \leftrightarrow \text{H}_2\text{S}$	0,14
985	$\text{MnO}_4^{2-} + 8\text{H}^+ + 5e \leftrightarrow \text{Mn}^{2+} + 4\text{H}_2\text{O}$	1,51
	$\text{NO}_3^- + 3\text{H}^+ + 2e \leftrightarrow \text{HNO}_2 + \text{H}_2\text{O}$	0,94
986	$\text{ClO}_3^{2-} + 6\text{H}^+ + 6e \leftrightarrow \text{Cl}^- + 3\text{H}_2\text{O}$	1,47
	$\text{CrO}_4^{2-} + 8\text{H}^+ + 3e \leftrightarrow \text{Cr}^{3+} + 4\text{H}_2\text{O}$	0,55
987	$\text{Ag}^+ + e \leftrightarrow \text{Ag}$	0,799
	$\text{MnO}_4^- + 4\text{H}^+ + 3e \leftrightarrow \text{MnO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$	1,69
988	$\text{Cu}^{2+} + 2e \leftrightarrow \text{Cu}$	0,34
	$\text{NO}_3^- + 2\text{H}^+ + e \leftrightarrow \text{NO}_2 + \text{H}_2\text{O}$	0,79

В задачах 989 – 1005 определите направление, в котором реакция может протекать самопроизвольно, используя окислительно-восстановительные потенциалы отдельных полуреакций, вычислите стандартную энергию Гиббса $\Delta_r G_{298}^0$ и константу равновесия реакции.

№ п/п	Уравнение реакции	$\varphi^0, \text{В}$
989	$2\text{FeCl}_2 + 4\text{H}_2\text{SO}_4 \leftrightarrow$ $\leftrightarrow \text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 + \text{SO}_2 + 4\text{HCl}$	$\varphi^0(\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+}) = 0,77$ $\varphi^0(\text{SO}_4^{2-}/\text{SO}_2) = 0,16$
990	$5\text{MnO}_2 + \text{K}_2\text{SO}_4 + 2\text{H}_2\text{SO}_4 \leftrightarrow$ $\leftrightarrow 2\text{KMnO}_4 + 3\text{MnSO}_4 + 2\text{H}_2\text{O}$	$\varphi^0(\text{MnO}_4^{2-}/\text{MnO}_2) = 1,6$ $\varphi^0(\text{MnO}_2/\text{Mn}^{2+}) = 1,23$
991	$2\text{Al} + \text{KNO}_2 + \text{KOH} + 5\text{H}_2\text{O} \leftrightarrow$ $\leftrightarrow 2\text{KAl}(\text{OH})_4 + \text{NH}_3$	$\varphi^0(\text{Al}(\text{OH})_4^-/\text{Al}) = -2,37$ $\varphi^0(\text{NO}_2^-/\text{NH}_3) = -0,133$
992	$3\text{MnSO}_4 + 2\text{KClO}_3 + 12\text{KOH} \leftrightarrow$ $\leftrightarrow 3\text{K}_2\text{MnO}_4 + 2\text{KCl} + 3\text{K}_2\text{SO}_4 + 6\text{H}_2\text{O}$	$\varphi^0(\text{MnO}_4^{2-}/\text{Mn}^{2+}) = 0,71$ $\varphi^0(\text{ClO}_3^-/\text{Cl}^-) = 1,463$
993	$5\text{S} + 2\text{MnSO}_4 + 8\text{H}_2\text{O} + \text{K}_2\text{SO}_4 \leftrightarrow$ $\leftrightarrow 2\text{KMnO}_4 + 3\text{H}_2\text{SO}_4 + 5\text{H}_2\text{S}$	$\varphi^0(\text{S}/\text{H}_2\text{S}) = 0,17$ $\varphi^0(\text{MnO}_4^{2-}/\text{Mn}^{2+}) = 1,51$
994	$4\text{Zn}(\text{NO}_3)_2 + \text{NH}_4\text{NO}_3 + 3\text{H}_2\text{O} \leftrightarrow$ $\leftrightarrow 4\text{Zn} + 10\text{HNO}_3$	$\varphi^0(\text{Zn}^{2+}/\text{Zn}) = -0,763$ $\varphi^0(\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+) = 0,87$
995	$2\text{KMnO}_4 + 2\text{KCl} \leftrightarrow \text{Cl}_2 + 2\text{K}_2\text{MnO}_4$	$\varphi^0(\text{Cl}_2/\text{Cl}^-) = 1,395$ $\varphi^0(\text{MnO}_4^-/\text{MnO}_4^{2-}) = 0,56$
996	$2\text{NaCl} + \text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 \leftrightarrow$ $\leftrightarrow 2\text{FeSO}_4 + \text{Cl}_2 + \text{Na}_2\text{SO}_4$	$\varphi^0(\text{Cl}_2/\text{Cl}^-) = 1,395$ $\varphi^0(\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+}) = 0,77$
997	$\text{KClO}_3 + 5\text{KCl} + 3\text{H}_2\text{O} \leftrightarrow$ $\leftrightarrow 3\text{Cl}_2 + 6\text{KOH}$	$\varphi^0(\text{Cl}_2/\text{Cl}^-) = 1,395$ $\varphi^0(\text{ClO}_3^-/\text{Cl}_2) = 1,46$
998	$\text{Cl}_2 + 2\text{KOH} \leftrightarrow$ $\leftrightarrow \text{KClO} + \text{KCl} + \text{H}_2\text{O}$	$\varphi^0(\text{Cl}_2/\text{Cl}^-) = 1,395$ $\varphi^0(\text{ClO}^{2-}/\text{Cl}_2) = 0,4$
999	$14\text{HCl} + \text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 \leftrightarrow$ $\leftrightarrow 3\text{Cl}_2 + 2\text{KCl} + 2\text{CrCl}_3 + 7\text{H}_2\text{O}$	$\varphi^0(\text{Cl}_2/\text{Cl}^-) = 1,395$ $\varphi^0(\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}/\text{Cr}^{3+}) = 1,333$
1000	$\text{MnO}_2 + 2\text{Br}_2 + 4\text{HBr} \leftrightarrow$ $\leftrightarrow \text{MnCl}_2 + \text{Br}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$	$\varphi^0(\text{Br}_2/\text{Br}^-) = 1,09$ $\varphi^0(\text{MnO}_2/\text{Mn}^{2+}) = 1,23$

№ п/п	Уравнение реакции	$\varphi^0, \text{В}$
1001	$2\text{MnCl}_3 + 2\text{H}_2\text{O} \leftrightarrow$ $\leftrightarrow \text{MnCl}_2 + \text{MnO}_2 + 4\text{HCl}$	$\varphi^0(\text{Mn}^{3+}/\text{Mn}^{2+}) = 1,51$ $\varphi^0(\text{MnO}_2/\text{Mn}^{3+}) = 0,95$
1002	$\text{Ag} + 2\text{HNO}_3 \leftrightarrow \text{AgNO}_3 + \text{NO}_2 + \text{H}_2\text{O}$	$\varphi^0(\text{Ag}^+/\text{Ag}) = 0,799$ $\varphi^0(\text{NO}_3^-/\text{NO}_2) = 0,88$
1003	$5\text{HCl} + \text{HClO}_3 \leftrightarrow 3\text{Cl}_2 + 3\text{H}_2\text{O}$	$\varphi^0(\text{Cl}_2/\text{Cl}^-) = 1,359$ $\varphi^0(\text{ClO}_3^-/\text{Cl}_2) = 1,47$
1004	$2\text{KI} + 2\text{KNO}_2 + 2\text{H}_2\text{SO}_4 \leftrightarrow$ $\leftrightarrow \text{I}_2 + 2\text{NO} + 2\text{K}_2\text{SO}_4 + 2\text{H}_2\text{O}$	$\varphi^0(\text{I}_2/\text{I}^-) = 0,536$ $\varphi^0(\text{NO}_2^-/\text{NO}) = 1,0$
1005	$2\text{KMnO}_4 + 2\text{KCl} \leftrightarrow \text{Cl}_2 + 2\text{K}_2\text{MnO}_4$	$\varphi^0(\text{Cl}_2/\text{Cl}^-) = 1,395$ $\varphi^0(\text{MnO}_4^-/\text{MnO}_4^{2-}) = 0,56$

6.2. Процессы в гальваническом элементе

В задачах 1006 – 1029 вычислите ЭДС и стандартную энергию Гиббса $\Delta_r G_{298}^0$ реакции, протекающей в гальваническом элементе, который образован металлами, погруженными в растворы собственных солей с известными относительными активностями ионов a . Составьте схему гальванического элемента, напишите уравнения электродных процессов и токообразующей реакции.

№ п/п	Металл	$\varphi^0(\text{Me}^{z+}/\text{Me}), \text{В}$	a	№ п/п	Металл	$\varphi^0(\text{Me}^{z+}/\text{Me}), \text{В}$	a
1006	Al	-1,662	0,003	1010	Cd	-0,403	0,02
	Zn	-0,763	0,0004		Cu	+0,337	0,006
1007	Be	-1,847	0,01	1011	Pb	-0,126	0,0008
	Ni	-0,250	0,0004		Cu	+0,337	0,04
1008	Zn	-0,763	0,002	1012	Be	-1,847	0,004
	Ag	+0,799	0,001		Cu	+0,337	0,01
1009	Fe	-0,440	0,02	1013	Fe	-0,440	0,006
	Sn	-0,136	0,0004		Ni	-0,250	0,02

№ п/п	Металл	φ^0 (Me ^{z+} /Me), В	α	№ п/п	Металл	φ^0 (Me ^{z+} /Me), В	α
1014	Co	-0,277	0,004	1022	Cu	+0,337	0,005
	Cr	-0,744	0,03		Sn	-0,136	0,006
1015	Zn	-0,763	0,005	1023	Zn	-0,763	0,001
	Ag	+0,799	0,001		Pb	-0,126	0,004
1016	Mg	-2,37	0,0005	1024	Sn	-0,136	0,008
	Ni	-0,25	0,005		Ag	+0,799	0,005
1017	Be	-1,847	0,0002	1025	Au	+1,498	0,006
	Ni	-0,250	0,006		Al	-1,662	0,006
1018	Mn	-1,180	0,02	1026	Mn	-1,180	0,0004
	Al	-1,662	0,001		Ni	-0,250	0,008
1019	Cu	+0,337	0,0008	1027	Al	-1,662	0,007
	Ag	+0,799	0,003		Cu	+0,337	0,007
1020	Cd	-0,403	0,04	1028	Tl	-0,336	0,004
	Pb	-0,126	0,004		Pb	-0,126	0,003
1021	Au	+1,498	0,003	1029	Al	-1,662	0,0008
	Ag	+0,799	0,02		Cu	+0,337	0,005

В задачах 1030–1041 вычислите ЭДС и стандартную энергию Гиббса $\Delta_r G_{298}^0$ процесса, протекающего в концентрационном гальваническом элементе, образованном одинаковыми металлическими электродами, погруженными в растворы своих солей с разными концентрациями ионов и разными степенями диссоциации. Составьте схему элемента, напишите уравнения электродных процессов, укажите направление переноса электронов во внешней цепи.

№ п/п	Электрод	φ^0 (Me ^{z+} /Me), В	Электролиты			
			C_1 , моль/л	α_1	C_2 , моль/л	α_2
1030	Cd ²⁺ /Cd	-0,403	0,004	0,85	0,012	0,70
1031	Cu ²⁺ /Cu	+0,337	0,006	0,90	0,010	0,86
1032	Sn ²⁺ /Sn	-0,136	0,042	0,70	0,030	0,84
1033	Co ²⁺ /Co	-0,277	0,008	0,88	0,004	0,95
1034	Ni ²⁺ /Ni	-0,250	0,012	0,94	0,008	0,98
1035	Al ³⁺ /Al	-1,662	0,006	0,99	0,008	0,88
1036	Cu ⁺ /Cu	+0,521	0,007	0,87	0,001	0,98

№ п/п	Электрод	$\varphi^0(\text{Me}^{z+}/\text{Me}), \text{В}$	Электролит			
			$C_1,$ моль/л	α_1	$C_2,$ моль/л	α_2
1037	Hg^{2+}/Hg	+0,854	0,005	0,62	0,001	0,78
1038	Be^{2+}/Be	-1,847	0,004	0,82	0,006	0,78
1039	Tl^+/Tl	-0,336	0,008	0,88	0,005	0,92
1040	Ag^+/Ag	+0,799	0,006	0,84	0,009	0,80
1041	Mn^{2+}/Mn	-1,180	0,050	0,86	0,008	0,92

В задачах **1042 – 1061** по известной ЭДС гальванического элемента, составленного из указанных металлических электродов, погруженных в растворы своих солей, определите потенциал электрода, находящегося в электролите с неизвестной относительной активностью ионов a , а также значение активности. Составьте схему элемента, напишите уравнения процессов, протекающих на электродах.

№ п/п	Электрод	$\varphi^0(\text{Me}^{z+}/\text{Me}), \text{В}$	a	ЭДС, В
1042	Al	-1,662	0,001	0,899
	Zn	-0,763	?	
1043	Be	-1,847	?	1,438
	Ni	-0,250	0,0001	
1044	Zn	-0,763	0,002	1,464
	Ag	+0,799	?	
1045	Fe	-0,440	?	0,254
	Sn	-0,136	0,0004	
1046	Cd	-0,403	0,02	0,702
	Cu	+0,337	?	
1047	Pb	-0,126	?	0,484
	Cu	+0,337	0,04	
1048	Be	-1,847	?	2,199
	Cu	+0,337	0,01	
1049	Fe	-0,440	0,006	0,181
	Ni	-0,250	?	
1050	Co	-0,277	?	0,447
	Cr	-0,744	0,003	
1051	Zn	-0,763	?	1,455
	Ag	+0,799	0,001	

№ п/п	Электрод	φ^0 (Me ^{z+} /Me), В	a	ЭДС, В
1052	Mn	-1,180	0,02	0,482
	Al	-1,662	?	
1053	Cu	+0,337	?	0,355
	Ag	+0,799	0,003	
1054	Cd	-0,403	0,04	0,277
	Pb	-0,126	?	
1055	Au	+1,498	0,003	0,571
	Ag	+0,799	?	
1056	Cu	+0,337	?	0,468
	Sn	-0,136	0,006	
1057	Zn	-0,763	?	0,557
	Pb	-0,126	0,004	
1058	Sn	-0,136	0,008	0,761
	Ag	+0,799	?	
1059	Au	+1,498	?	3,153
	Al	-1,662	0,006	
1060	Mn	-1,180	0,0004	0,959
	Ni	-0,250	?	
1061	Al	-1,662	0,006	1,972
	Cu	+0,337	?	

6.3. Процессы при электролизе

В задачах 1062 – 1079 определите количества веществ (масса, объем), выделяющихся на инертных электродах, при пропускании через водный раствор электролита тока известного значения в течение определенного времени. Напишите уравнения электродных процессов. Электролиз проводится при стандартном давлении и температуре 298 К.

№ п/п	Электролит	Ток, А	Время, мин	№ п/п	Электролит	Ток, А	Время, мин
1062	NaCl	2,0	60,0	1067	SnCl ₂	4,6	60,0
1063	KOH	3,5	40,0	1068	BeI ₂	3,5	60,0
1064	H ₂ SO ₄	6,5	30,0	1069	Cu(NO ₃) ₂	2,5	90,0
1065	Cd(NO ₃) ₂	1,5	120,0	1070	HCl	6,8	35,0
1066	Mg(OH) ₂	2,5	75,0	1071	CuCl ₂	5,5	30,0

№ п/п	Электролит	Ток, А	Время, мин	№ п/п	Электролит	Ток, А	Время, мин
1072	AgNO ₃	7,8	45,0	1076	AlCl ₃	8,5	85,0
1073	CoSO ₄	10,2	90,0	1077	Tl ₂ SO ₄	9,5	25,0
1074	KCl	25,0	15,0	1078	NiSO ₄	10,5	25,0
1075	FeSO ₄	1,7	90,0	1079	HNO ₃	4,5	50,0

В задачах 1080–1092 определите изменение массы растворимого анода при пропускании тока через электролит. Напишите уравнения процессов, протекающих на электродах, и суммарное уравнение реакции.

№ п/п	Электролит	Электроды		Режим электролиза		
		Анод	Катод	Ток, А	Время, ч	Выход по току
1080	NiSO ₄	Ni	Pt	25,0	2,5	0,85
1081	Cd(NO ₃) ₂	Cd	C	4,5	1,5	0,75
1082	CuCl ₂	Cu	Cu	12,5	3,0	0,97
1083	SnCl ₂	Sn	Pt	2,5	1,5	0,80
1084	AlCl ₃	Al	Pt	100,0	4,5	0,87
1085	NiCl ₂	Ni	C	36,0	2,6	0,88
1086	CdSO ₄	Cd	Cd	5,7	3,5	0,86
1087	SnSO ₄	Sn	C	7,5	2,2	0,85
1088	Cu(NO ₃) ₂	Cu	Pt	23,0	1,8	0,98
1089	AgNO ₃	Ag	Ag	30,0	2,0	0,90
1090	CuSO ₄	Cu	C	250	3,5	0,87
1091	Co(NO ₃) ₂	Co	Pt	30,0	0,5	0,76
1092	H ₂ [AuCl ₄]	Au	C	120	1,5	0,55

В задачах 1093–1102 определите время, необходимое для получения известной массы металла электролизом расплава гидроксида этого металла при заданных токе и выходе по току. Напишите процессы, протекающие на платиновых электродах.

№ п/п	Металл	Масса металла, г	Ток, А	Выход по току, %
1093	Na	500	2500	40,0
1094	Li	750	3000	35,0
1095	Rb	1000	2500	45,0

№ п/п	Металл	Масса металла, г	Ток, А	Выход по току, %
1096	Cs	350	2000	50,0
1097	Ba	500	2500	35,0
1098	K	1000	3500	70,0
1099	Be	2000	3000	60,0
1100	Mg	2500	2500	55,0
1101	Al	500	3000	70,0
1102	Ca	500	2500	45,0

В задачах 1103–1112 определите значение тока, необходимого для получения известной массы металла электролизом водного раствора электролита. Напишите уравнения процессов, протекающих на инертных электродах. Рассчитайте электрохимический эквивалент металла.

№ п/п	Электролит	Масса металла, г	Время, мин	Выход по току, %
1103	AgNO ₃	5,00	25,0	95,0
1104	CuSO ₄	4,50	30,0	97,0
1105	NiCl ₂	6,00	35,0	85,0
1106	Au(NO ₃) ₃	3,50	20,0	94,0
1107	SnCl ₂	5,00	25,0	85,0
1108	ZnSO ₄	10,0	35,0	70,0
1109	Cd(NO ₃) ₂	5,5	30,0	80,0
1110	Co(NO ₃) ₂	2,5	25,0	85,0
1111	Pb(NO ₃) ₂	4,5	20,0	80,0
1112	FeSO ₄	2,5	20,0	85,0

6.4. Электрохимическая коррозия металлов

В задачах 1113–1130 определите возможность коррозии металла при стандартном давлении и температуре 298 К в аэрированном водном растворе с указанным значением pH. Составьте схему коррозионного элемента, напишите уравнения электродных процессов и токообразующей реакции. Рассчитайте ЭДС элемента и стандартную энергию Гиббса $\Delta_r G_{298}^0$ коррозионного процесса.

Примите относительную активность ионов корродирующего металла равной 10^{-6} .

№ п/п	Металл	φ^0 (Me^{z+}/Me), В	pH	№ п/п	Металл	φ^0 (Me^{z+}/Me), В	pH
1113	Al	-1,662	7,2	1122	Cu	+0,337	6,5
1114	Mg	-2,366	6,5	1123	Co	-0,277	8,3
1115	Fe	-0,440	7,5	1124	Be	-1,847	6,8
1116	Sn	-0,136	8,4	1125	Pb	-0,126	7,1
1117	Ag	+0,799	7,4	1126	Fe	-0,440	6,3
1118	Cr	-0,744	7,0	1127	Au	+1,498	5,5
1119	Sn	-0,136	8,6	1128	Ni	-0,250	5,8
1120	Cu	+0,337	7,6	1129	Mn	-1,17	7,0
1121	Cd	-0,403	8,1	1130	Pt	+1,19	7,0

В задачах 1131 – 1142 определите, какой металл подвергается контактной коррозии при стандартном давлении и температуре 298 К в деаэрированном растворе с указанным значением pH и известной относительной активностью a ионов корродирующего металла. Напишите уравнения электродных процессов и токообразующей реакции. Рассчитайте ЭДС коррозионного элемента и стандартную энергию Гиббса $\Delta_r G_{298}^0$ коррозионного процесса.

№ п/п	Контактирующие металлы				pH	a
	Me_1	φ^0 (Me^{z+}/Me), В	Me_2	φ^0 (Me^{z+}/Me), В		
1131	Al	-1,662	Fe	-0,440	7,8	0,0046
1132	Zn	-0,763	Cd	-0,403	8,6	0,0005
1133	Fe	-0,440	Zn	-0,763	7,0	0,0077
1134	Sn	-0,136	Mg	-2,366	6,2	0,0003
1135	Ni	-0,256	Ag	+0,799	5,7	0,0025
1136	Cu	+0,337	Sn	-0,136	5,2	0,0008
1137	Ag	+0,799	Ni	-0,256	4,8	0,0013
1138	Pb	-0,126	Al	-1,662	8,8	0,0006
1139	Fe	-0,440	Sn	-0,136	7,0	0,0018
1140	Mg	-2,366	Cu	+0,337	6,5	0,0056
1141	Mg	-2,366	Fe	-0,440	6,0	0,0055
1142	Cu	+0,337	Ag	+0,799	6,8	0,0063

В задачах 1143–1157 определите, к какому типу относится покрытие, нанесенное на сталь (потенциал стали примите равным стандартному потенциалу железа $\varphi^0_{(\text{Fe}^{2+}/\text{Fe})} = -0,440 \text{ В}$). Напишите уравнения процессов, возникающих в случае разрушения покрытия: а) в морской воде, $\text{pH} = 8$; б) в воде системы отопления (деаэрированная среда). В какой среде коррозия протекает интенсивнее? Ответ подтвердите расчетом ЭДС коррозионного элемента, приняв активность ионов корродирующего металла равной 10^{-6} .

№ п/п	Покрытие	φ^0 (Me^{Z+}/Me), В	№ п/п	Покрытие	φ^0 (Me^{Z+}/Me), В
1143	Sn	-0,136	1151	Co	-0,277
1144	Zn	-0,763	1152	Cd	-0,403
1145	Cr	-0,744	1153	Mg	-2,366
1146	Be	-1,847	1154	Ti	-1,630
1147	Mo	-0,204	1155	Mn	-1,175
1148	Cu	+0,336	1156	Zr	-1,539
1149	Ni	-0,256	1157	Pb	-0,126
1150	Al	-1,662			

В задачах 1158–1166 определите время, необходимое для нанесения металлического покрытия на железо электрохимическим способом. Напишите уравнения процессов, протекающих на электродах в водных растворах электролитов.

№ п/п	Металл покрытия	Плотность металла, кг/м^3	Толщина покрытия, мкм	Плотность тока, А/дм^2	Выход по току, %	Электролит
1158	Cu	8 960	6,5	2,0	85,0	$\text{Na}[\text{Cu}(\text{CN})_2]$
1159	Zn	7 133	4,5	2,0	74,0	$\text{Na}_2[\text{Zn}(\text{CN})_4]$
1160	Cd	8 650	10,0	1,5	90,0	CdSO_4
1161	Pb	11 350	8,6	2,0	80,0	$\text{Pb}[\text{BF}_4]$
1162	Ni	8 902	5,5	1,5	78,0	NiSO_4
1163	Cu	8 960	3,0	1,0	70,0	$\text{K}_2[\text{Cu}(\text{CN})_4]$
1164	Ta	16 690	4,0	2,0	75,0	$\text{Na}_2[\text{TaCl}_5]$
1165	Cr	7 200	3,8	1,8	72,0	$\text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3$
1166	Ir	22 560	4,5	2,0	80,0	$\text{K}_3[\text{IrCl}_6]$

В задачах 1167–1175 определите толщину металлического покрытия, нанесенного электрохимическим способом на железо. Напишите уравнения процессов, протекающих на электродах в водных растворах электролитов.

№ п/п	Металл покрытия	Плотность металла, кг/м ³	Плотность тока, А/дм ²	Время электролиза, мин	Выход по току, %	Электролит
1167	Cu	8960	1,0	25,0	75,0	Na[Cu(CN) ₂]
1168	Zn	7133	2,0	45,0	81,0	Na ₂ [Zn(CN) ₄]
1169	Cd	8650	1,8	20,0	89,0	CdSO ₄
1170	Pb	11350	2,0	60,0	91,0	Pb[BF ₄]
1171	Ni	8902	1,5	45,0	79,0	NiSO ₄
1172	Nb	8580	2,0	20,0	90,0	K ₂ [NbF ₅]
1173	Sn	5750	1,5	15,0	89,0	Sn(NO ₃) ₂
1174	Ti	4540	2,0	25,0	91,0	H ₂ [TiF ₆]
1175	Ir	22560	2,0	20,0	90,0	K ₃ [IrCl ₆]

ЛИТЕРАТУРА

Ермолаева В.И., Дзуличанская Н.Н. Теоретические основы неорганической химии. Методические указания к решению задач по курсу «Неорганическая химия». М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2011. 61 с.

Задачи и упражнения по общей химии / Б.И. Адамсон, О.Н. Гончарук, В.Н. Камышова и др.; под ред. Н.В. Коровина. М.: Высш. шк., 2006. 255 с.

Задачи по общей и неорганической химии: учеб. пособие / Р.А. Лидин, В.А. Молочко, Л.Л. Андреева; под ред. Р.А. Лидина. М.: Гуманитар. изд. центр ВЛАДОС, 2004. 383с.

Краткий справочник физико-химических величин / под ред. А.А. Равделя, А.М. Пономаревой. 10-е изд., испр. и допол. СПб.: Иван Федоров, 2003. 240 с.

Лидин Р.А., Андреева Л.Л., Молочко В.А. Справочник по неорганической химии. Константы неорганических веществ. М.: Химия, 1987. 320 с.

Методические указания к выполнению домашнего задания по базовому курсу химии. Ч. 1 / В.И. Ермолаева, О.И. Романко, А.Д. Смирнов, В.А. Батюк. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2001. 40 с.

Методические указания к выполнению домашнего задания по базовому курсу химии. Ч. 2 / В.И. Ермолаева, О.И. Романко, А.Д. Смирнов, В.А. Батюк. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2001. 41 с.

Химия: учебник / А.А. Гуров, Ф.З. Бадаев, Л.П. Овчаренко, В.Н. Шаповал. 3-е изд., испр. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2008. 784 с.

Термодинамические свойства веществ

Вещество	$\Delta_f H_{298}^0$, кДж/моль	S_{298}^0 , Дж/(моль·К)	$\Delta_f G_{298}^0$, кДж/моль
Al _(к)	0,0	28,3	0,0
Al ₂ O _{3(к)}	-1675	57	-1582
As _(к)	0,0	36	0,0
As ₂ O _{3(к)}	-666	117	-588
As ₂ O _{5(к)}	-925	105	-782
AsF _{3(г)}	-921	289	-906
AsF _{5(г)}	-1238	353	-1181
Ar _(г)	0,0	150,8	0,0
Ag _(к)	0,0	43	0,0
Au _(к)	0,0	48	0,0
Be _(к)	0,0	10	0,0
C _(графит)	0,0	5,74	0,0
CO _(г)	-110	197	-137
CO _{2(г)}	-393	214	-395
CS _{2 (ж)}	88	151	64
COF _{2 (г)}	-635	258	-619
CaO _(к)	-635	40	-604
Ca(OH) _{2(к)}	-985	83	-897
CaCO _{3(к)}	-1207	92	-1128
Co _(к)	0,0	30	0,0
Cu _(к)	0,0	33	0,0
Cr _(к)	0,0	24	0,0
CuCl _(к)	-136	87	-119
CrCl _{2(к)}	-393	115	-356
CrCl _{3(к)}	-516	123	-446
CrF _{2(к)}	-754	84	-711
Ce ₂ O _{3(к)}	-1801	143	-1708
Cl _(г)	122	165	106
Cl _{2(г)}	0,0	223	0,0
Cl ₂ F _{6(г)}	-326	562	-246
Fe _(к)	0,0	27	0,0
FeO _(к)	-264	59	-251
Fe ₂ O _{3(к)}	-824	87	-742
Fe ₃ O _{4(к)}	-1117	151	-1012

Вещество	$\Delta_f H_{298}^0$, кДж/моль	S_{298}^0 , Дж/(моль·К)	$\Delta_f G_{298}^0$, кДж/моль
F _(г)	79	159	62
F _{2(г)}	0,0	203	0,0
Ge _(к)	0,0	42	0,0
GeO _{2(к)}	-580	40	-522
GeCl _{4(г)}	-495	348	-457
H _(г)	218	115	203
H _{2(г)}	0,0	131	0,0
H ₂ O _(ж)	-286	70	-238
H ₂ O _(г)	-242	189	-228
HCl _(г)	-92	187	-951
H ₂ S _(г)	-21	206	-34
HF _(г)	-271	174	-273
Hg ₂ Br _{2(к)}	-207	218	-181
He _(г)	0,0	126	0,0
Ir _(к)	0,0	35	0,0
Ir ₂ S _{3(к)}	-245	97	-224
Kr _(г)	0,0	164	0,0
Mn _(к)	0,0	32	0,0
MnO _(к)	-385	60	-363
MnO _{2(к)}	-520	53	-465
MgO _(к)	-601	27	-569
Mg(OH) _{2(к)}	-925	63	-834
Mo _(к)	0,0	29	0,0
MoO _{2(к)}	-585	46	-534
Mo ₂ C _(к)	18	82	12
N _(г)	473	153	456
N _{2(г)}	0,0	192	0,0
N ₂ O _(г)	82	220	104
NO _(г)	91	211	87
NO _{2(г)}	33	240	51
N ₂ O _{4(г)}	9	304	98
NH _{3(г)}	-46	192	-16
NH ₄ Cl _(к)	-315	95	-203
Ne _(г)	0,0	146	0,0
Ni _(к)	0,0	30	0,0
NiO _(к)	-240	38	-212
Ni(OH) _{2(к)}	-544	80	-459

Вещество	$\Delta_f H_{298}^0$, кДж/моль	S_{298}^0 , Дж/(моль·К)	$\Delta_f G_{298}^0$, кДж/моль
O _(г)	249	161	232
O _{2(г)}	0,0	205	0,0
PCl _{5(г)}	-375	364	-305
PCl _{3(г)}	-287	312	-268
Pb _(к)	0,0	65	0,0
PbO _(к)	-217	69	-183
PbO _{2(к)}	-277	72	-218
PbS _(к)	-101	91	-99
Pt _(к)	0,0	42	0,0
Rh _(к)	0,0	29	0,0
S _(к)	0,0	32	0,0
S _{2(г)}	128	228	79
SO _{2(г)}	-297	248	-300
SO ₂ Cl _{2(г)}	-364	312	-320
SO _{3 (г)}	-396	257	-371
Si _(к)	0,0	19	0,0
SiO _{2(к)}	-859	42	-805
Sn _(к)	0,0	52	0,0
Sb _(к)	0,0	46	0,0
W _(к)	0,0	33	0,0
WO _{3(г)}	-293	287	-277
WO _{3(к)}	-843	76	-764
Zn _(к)	0,0	42	0,0
ZrCl _{2(г)}	-326	308	-340
CH _{4(г)}	-75	186	-51
C ₂ H _{2(г)}	309	244	297
C ₂ H _{4(г)}	55	232	68
C ₂ H _{6(г)}	-85	230	—
C ₂ H ₆ O _(г)	-277	161	—
C ₃ H _{6(г)}	20	227	—
C ₃ H _{8(г)}	-104	270	—
C ₄ H _{8(г)}	1,7	307,4	—
CH ₂ O _(г)	-116	219	—
C ₆ H ₅ NO _{2(ж)}	16	224	—
C ₅ H ₅ N _(ж)	100	178	—
CH ₄ N ₂ O _(к)	-333	105	—
C ₁₀ H _{8(к)}	78	167	—

Вещество	$\Delta_f H_{298}^0$, кДж/моль	S_{298}^0 , Дж/(моль·К)	$\Delta_f G_{298}^0$, кДж/моль
$\text{CH}_4\text{O}_{(ж)}$	-239	127	—
$\text{C}_3\text{H}_6\text{O}_{(ж)}$	-277	161	—
$\text{C}_4\text{H}_{10(г)}$	-126	310	—
$\text{CH}_3\text{COOH}_{(ж)}$	-484	160	—
$\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}_{(ж)}$	-277	161	—
$\text{C}_6\text{H}_6(г)$	83	269	—
$\text{C}_6\text{H}_{12(г)}$	-42	403	—
$\text{HCOOH}_{(г)}$	-377	252	—
$\text{COCl}_2(г)$	-220	28	—
$\text{CCl}_4(г)$	-103	310	—
$\text{CH}_3\text{Cl}_{(г)}$	-82	233	—
$\text{CF}_2\text{Cl}_2(г)$	-486	301	—
$\text{C}_2\text{F}_4(г)$	-659	300	—

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие	3
Примеры решения задач.....	5
К разделу 1 «Строение вещества»	5
К разделу 2 «Окислительно-восстановительные реакции».....	10
К разделу 3 «Химическая термодинамика».....	12
К разделу 4 «Химическая кинетика».....	18
К разделу 5 «Закономерности протекания реакций в растворах»	22
К разделу 6 «Электрохимические процессы».....	28
1. Строение вещества.....	36
1.1. Атом	36
1.2. Молекула.....	38
1.3. Кристалл.....	44
2. Окислительно-восстановительные реакции	46
3. Химическая термодинамика	49
3.1. Первый закон термодинамики	49
3.2. Второй закон термодинамики	51
3.3. Химическое равновесие.....	53
4. Химическая кинетика	57
5. Закономерности протекания реакций в растворах.....	62
5.1. Способы выражения состава раствора	62
5.2. Энергетика растворения	64
5.3. Коллигативные свойства растворов	65
5.4. Равновесие в растворах электролитов.....	67
5.5. Растворимость твердых веществ. Насыщенные растворы	70
6. Электрохимические процессы	71
6.1. Окислительно-восстановительные реакции	71
6.2. Процессы в гальваническом элементе	74
6.3. Процессы при электролизе.....	77
6.4. Электрохимическая коррозия металлов.....	79
Литература.....	83
<i>Приложение. Термодинамические свойства веществ</i>	<i>84</i>

Учебное издание

Голубев Александр Михайлович
Горшкова Вера Минировна
Горячева Валентина Николаевна
Двуличанская Наталья Николаевна
Ермолаева Виолетта Ивановна
Романко Ольга Ильинична
Слынько Лариса Евгеньевна
Степанов Михаил Борисович
Фадеев Герман Николаевич

**Методические указания
к выполнению домашнего задания
по курсу общей химии**

Редактор *С.А. Серебрякова*
Художник *А.С. Ключева*
Корректор *О.Ю. Соколова*
Компьютерная верстка *С.А. Серебряковой*

В оформлении использованы шрифты
Студии Артемия Лебедева.

Оригинал-макет подготовлен
в Издательстве МГТУ им. Н.Э. Баумана.

Подписано в печать 03.02.2015. Формат 60×90/16.
Усл. печ. л. 5,625. Тираж 3000 экз. Изд. № ЛР-0050-2014. Заказ

Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана.
105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1.
press@bmstu.ru
www.baumanpress.ru

Отпечатано в типографии МГТУ им. Н.Э. Баумана.
105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1.
baumanprint@gmail.com