

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ
Государственное образовательное учреждение
высшего профессионального образования

«Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет
“ЛЭТИ” им.В.И.Ульянова (Ленина)»

Индивидуальные домашние задания по химии

Методические указания для
самостоятельной работы студентов

Санкт-Петербург
Издательство СПбГЭТУ «ЛЭТИ»
2010

УДК 544(075)

Индивидуальные домашние задания по химии: методические указания для самостоятельной работы студентов / Сост.: Г.В. Федотова, О.В. Рахимова, В.Н. Худоложкин, Н.И. Коузова, В.Ф. Иванов: Под ред. Г.В. Федотовой. Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2010. 75 с.

Содержат примеры типовых расчетов и задания для самостоятельной работы по основным разделам курса. Предназначены бакалаврам по направлению 210100, 2001000, 200300.

Утверждено
редакционно-издательским советом университета
в качестве методических указаний

Специфика курса химии такова, что восприятие его в значительной степени облегчается, если основные разделы подкреплены решением конкретных задач. Умение определять энергетические характеристики и направления физико-химических превращений, степень их протекания, скорость химической реакции, применять количественные законы для жидкого состояния вещества, объяснять электрохимические явления необходимо для подготовки бакалавров всех направлений СПбГЭТУ «ЛЭТИ». Для оказания помощи студентам в подготовке индивидуальных домашних заданий, способствующих глубокому усвоению теоретического материала по химии, в данных указаниях рассмотрены примеры решения типовых задач по основным разделам лекционного курса.

1. Основные стехиометрические законы химии. Строение атома и химическая связь. Ионно-электронный метод уравнивания окислительно-восстановительных реакций.

1.1. Основные формулы для расчетов

Уравнение состояния идеального газа

$$pV = \frac{m}{M}RT = nRT,$$

где p - давление, [Па];

V - объем, [м³];

m - масса газа, [кг];

M - молярная масса газа, [кг/моль];

n - число молей газа;

R - универсальная газовая постоянная, равная $8.3144 \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}}$;

T - температура, [К].

Следствие из закона Авогадро

$$\frac{m_1}{m_2} = \frac{M_1}{M_2} = D_{1/2}, \quad (1.1)$$

где m_1, m_2 - массы газов;

M_1, M_2 - молярные массы газов;

$D_{\frac{1}{2}}$ - относительная плотность первого газа по второму.

Закон эквивалентов

$$\frac{m_1}{M_{\text{эк}1}} = \frac{m_2}{M_{\text{эк}2}} \quad (1.2)$$

где m_1, m_2 - массы взаимодействующих веществ;

$M_{\text{эк}1}, M_{\text{эк}2}$ - молярные массы эквивалентов веществ.

Молярные эквивалентные массы веществ определяются по следующим соотношениям:

$$M_{\text{эк оксида}} = \frac{M_{\text{оксида}}}{\text{число атомов элемента} \cdot \text{валентность элемента}};$$

$$M_{\text{эк кислоты}} = \frac{M_{\text{кислоты}}}{\text{основность кислоты}};$$

$$M_{\text{эк основания}} = \frac{M_{\text{основания}}}{\text{кислотность основания}};$$

$$M_{\text{эк соли}} = \frac{M_{\text{соли}}}{\text{число атомов металла} \cdot \text{валентность металла}}.$$

1.2 Примеры типовых расчетов

Пример 1.1. Массовая доля водорода в газообразном соединении углерода с водородом составляет 20%. Плотность соединения по водороду равна 15. Вывести молекулярную формулу соединения.

Решение. По массовым долям элементов можно найти только простейшую формулу (C_xH_y). Для этого возьмем образец вещества массой 100г и найдем отношение количеств атомов (в молях) в этом образце.

Для этого следует разделить массу каждого элемента на его молярную массу атомов:

$$x : y = \frac{80}{12} : \frac{20}{1} = 6,66 : 20 = 1 : 3.$$

Простейшая формула соединения CH_3 . Этой формуле отвечает молярная масса, равная 15 г/моль. Истинная молярная масса вычисляется по соотношению (1.1):

$$M = D \cdot M_{H_2} = 15 \cdot 2 = 30 \text{ г/моль.}$$

Таким образом, истинная молярная масса вдвое больше рассчитанной по простейшей формуле. Следовательно, молекулярная формула соединения C_2H_6 .

Пример 1.2. Некоторое количество металла, молярная масса эквивалента которого равна 0.028 кг/моль, вытесняет из кислоты $0.7 \cdot 10^{-3}$ м³ водорода при нормальных условиях. Определить массу металла.

Решение. При нормальных условиях $22.4 \cdot 10^{-3}$ м³ водорода имеют массу 0.002 кг. Тогда масса выделенного по условию задачи водорода

$$m_{H_2} = \frac{0.7 \cdot 10^{-3} \cdot 0.002}{22.4 \cdot 10^{-3}} = 0.0625 \cdot 10^{-3} \text{ кг.}$$

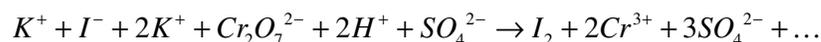
По соотношению (1.2) определяется масса металла:

$$m_{Me} = \frac{m_{H_2} \cdot M_{эк Me}}{M_{эк H_2}} = \frac{0.0625 \cdot 10^{-3} \cdot 0.028}{0.001} = 1.75 \cdot 10^{-3} \text{ кг.}$$

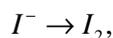
Пример 1.3. Закончить и уравнять ионно-электронным методом окислительно-восстановительную реакцию, протекающую в кислой среде:



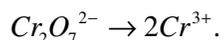
Решение. Данное уравнение реакции перепишем в ионной форме:



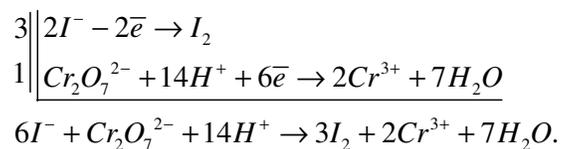
и определим для восстановителя его окисленную форму



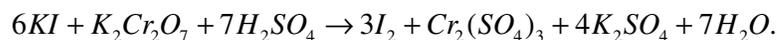
а для окислителя – его восстановленную форму



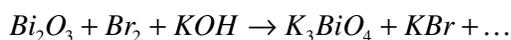
Для процессов окисления и восстановления необходимо сначала осуществить материальный баланс с помощью ионов H^+ и H_2O , а затем баланс по электрическим зарядам. Полученные два уравнения следует просуммировать, умножив каждое из них на коэффициенты, подобранные так, чтобы число электронов, теряемых восстановителем, было равно числу электронов, приобретаемых окислителем. В результате, получаем ионное уравнение окислительно-восстановительной реакции:



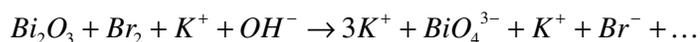
Остается коэффициенты из ионного уравнения перенести в молекулярное уравнение реакции и уравнять ионы, не участвовавшие в окислительно-восстановительной схеме (K^+ и SO_4^{2-}):



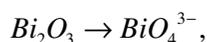
Пример 1.4. Закончить и уравнять ионно-электронным методом окислительно-восстановительную реакцию, протекающую в щелочной среде:



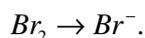
Решение. Перепишем данное уравнение реакции в ионной форме:



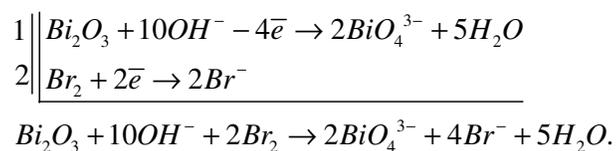
и определим для восстановителя его окисленную форму



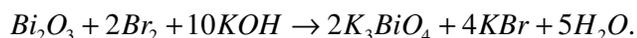
а для окислителя – его восстановленную форму



Для процессов окисления и восстановления необходимо сначала осуществить материальный баланс с помощью ионов OH^- и H_2O , а затем баланс по электрическим зарядам. Полученные два уравнения следует просуммировать, умножив каждое из них на коэффициенты, подобранные так, чтобы число электронов, теряемых восстановителем, было равно числу электронов, приобретаемых окислителем. В результате, получаем ионное уравнение окислительно-восстановительной реакции:



Коэффициенты из ионного уравнения перенесем в молекулярное уравнение реакции и проверим, уравнились ли при этом ионы, не принимавшие участия в окислительно-восстановительной схеме (K^+):



1.3. Варианты заданий для самостоятельной работы.

Условия задач 2 и 4 подробно сформулированы в первом варианте, поэтому в последующих вариантах даются в сокращенном виде.

1. Соединение содержит 92.26% углерода и 7.74% водорода. $1.95 \cdot 10^{-4}$ кг этого соединения занимают при $T=300$ К и $p=10^5$ Па объем, равный $0.62 \cdot 10^{-4}$ м³. Какова истинная формула соединения?
2. Требуется: а) написать электронную формулу атома элемента №57; б) записать в форме энергетических ячеек электронную конфигурацию наружного уровня атома мышьяка в основном и «возбужденном» состояниях.
3. Укажите тип гибридизации орбиталей в молекуле CCl_4 .
4. Закончить и уравнять реакции ионно-электронным методом:
 $Mn(NO_3)_2 + PbO_2 + HNO_3 \rightarrow HMnO_4 + Pb(NO_3)_2 + \dots$
 $Cr(OH)_3 + Br_2 + KOH \rightarrow K_2CrO_4 + KBr + \dots$

2

1. Соединение содержит 62.8% серы и 37.2% фтора. Масса этого соединения $5.1 \cdot 10^{-4}$ кг в газообразном состоянии занимает объем, равный $1.18 \cdot 10^{-4}$ м³ при $T=280$ К и $p=0.97 \cdot 10^5$ Па. Какова истинная формула соединения?
2. а) элемент №78; б) атом хлора.
3. Какая связь осуществляется в соединении $K_3[Fe(CN)_6]$ между K^+ и $[Fe(CN)_6]^{3-}$? Укажите валентность и степени окисления элементов.
4. $Cu_2S + HNO_3 \rightarrow Cu(NO_3)_2 + SO_2 + NO + \dots$
 $Cr_2O_3 + KNO_3 + KOH \rightarrow K_2CrO_4 + KNO_2 + \dots$

3

1. При сжигании $2.4 \cdot 10^{-4}$ кг некоторого соединения азота с водородом получено $1.7 \cdot 10^{-4}$ м³ азота при $T=273$ К и $p=10^5$ Па. Плотность пара этого соединения по воздуху 1.1. Какова истинная формула вещества?
2. а) элемент №90; б) атом свинца.
3. Укажите тип гибридизации орбиталей в молекуле AlF_3 .
4. $Zn + HNO_3 + H_2SO_4 \rightarrow ZnSO_4 + N_2O + \dots$
 $Mn(OH)_2 + Cl_2 + KOH \rightarrow MnO_2 + KCl + \dots$

4

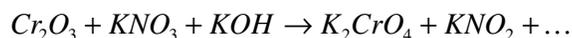
1. После удаления кристаллизационной воды из $1.25 \cdot 10^{-3}$ кг кристаллогидрата карбоната натрия масса сухого остатка оказалась равной $4.63 \cdot 10^{-4}$ кг.

Вычислить процентное содержание кристаллизационной воды. Вывести формулу кристаллогидрата соды.

2. а) элемент №53; б) атом йода.

3. Укажите тип химической связи между комплексообразователем и лигандами в соединении $K_3[Fe(CN)_6]$. Укажите степени окисления и валентности элементов.

4. $Al + HNO_3 \rightarrow Al(NO_3)_3 + NH_4NO_3 + \dots$



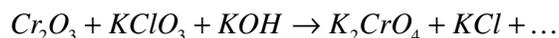
5

1. $6.63 \cdot 10^{-3}$ кг гидроксокарбоната меди образовали после прокаливании $4.77 \cdot 10^{-3}$ кг CuO, $1.32 \cdot 10^{-3}$ кг CO₂ и $5.4 \cdot 10^{-4}$ кг H₂O. Вывести формулу соли.

2. а) элемент №52; б) атом серы.

3. Укажите тип гибридизации орбиталей в молекуле BF₃.

4. $H_3AsO_3 + KMnO_4 + H_2SO_4 \rightarrow H_3AsO_4 + MnSO_4 + \dots$



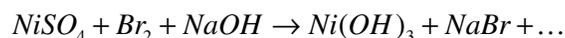
6

1. Какой объем водорода при T=600 К и p=1.05·10⁵ Па потребуется для восстановления 1.5·10⁻⁴ кг оксида меди (II) до металлической меди?

2. а) элемент №83; б) атом висмута.

3. Укажите тип гибридизации орбиталей в молекуле C₂H₂.

4. $Al + H_2SO_4 \rightarrow H_2S + Al_2(SO_4)_3 + \dots$



7

1. В соляной кислоте было растворено $3 \cdot 10^{-2}$ кг магния, при этом выделилось некоторое количество водорода. Найти объем газа, собранного при T=293 К и p=0.99·10⁵ Па.

2. а) элемент №77; б) атом титана.

3. Укажите тип химической связи в молекуле HCl. Объясните механизм ее образования.

4. $Al + NaNO_2 + NaOH \rightarrow NH_3 + Na_3AlO_3 + \dots$



8

1. Какой объем кислорода при $T=600\text{ K}$ и $p=1.03 \cdot 10^5\text{ Па}$ потребуется для полного сжигания $6 \cdot 10^{-2}\text{ кг}$ углерода (до CO_2)?
2. а) элемент №51; б) атом сурьмы.
3. Укажите тип гибридизации орбиталей в молекуле NH_3 .
4. $\text{FeSO}_4 + \text{KMnO}_4 + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 + \text{MnSO}_4 + \dots$
 $\text{KCrO}_2 + \text{KMnO}_4 + \text{KOH} \rightarrow \text{K}_2\text{CrO}_4 + \text{K}_2\text{MnO}_4 + \dots$

9

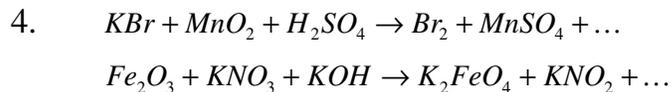
1. Масса пара некоторой жидкости, занимающего объем 10^{-3} м^3 , при $T=375\text{ K}$ и $p=0.82 \cdot 10^5\text{ Па}$ составляет $2.9 \cdot 10^{-3}\text{ кг}$. Чему равна плотность паров жидкости по водороду?
2. а) элемент №72; б) атом теллура.
3. Укажите тип гибридизации орбиталей в молекуле BeCl_2 .
4. $\text{H}_2\text{S} + \text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{S} + \text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3 + \dots$
 $\text{K}_2\text{SnO}_2 + \text{Bi}(\text{NO}_3)_2 + \text{KOH} \rightarrow \text{K}_2\text{SnO}_3 + \text{Bi} + \dots$

10

1. Чему равна плотность некоторого газа по водороду, если известно, что $1.66 \cdot 10^{-3}\text{ кг}$ этого газа при $T=288\text{ K}$ и $p=1.02 \cdot 10^5\text{ Па}$ занимают объем $0.65 \cdot 10^{-3}\text{ м}^3$?
2. а) элемент №103; б) атом алюминия.
3. Укажите тип химической связи в соединении CsCl . Объясните механизм её образования.
4. $\text{Zn} + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{H}_2\text{S} + \text{ZnSO}_4 + \dots$
 $\text{K}_3[\text{Cr}(\text{OH})_6] + \text{Br}_2 + \text{KOH} \rightarrow \text{K}_2\text{CrO}_4 + \text{KBr} + \dots$

11

1. Некоторая жидкость кипит при $T=351\text{ K}$ и $p=10^5\text{ Па}$. Пар, полученный при испарении $2.46 \cdot 10^{-3}\text{ кг}$ жидкости, занял объем $0.95 \cdot 10^{-3}\text{ м}^3$. рассчитайте плотность пара жидкости по воздуху.
2. а) элемент №56; б) атом бария.
3. Укажите тип гибридизации орбиталей в соединении AlCl_3 .



12

1. Вычислить массу $2 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3$ некоторого газа при $t=273 \text{ К}$ и $p=10^5 \text{ Па}$, если известно, что плотность газа по водороду равна 16.
2. а) элемент №82; б) атом селена.
3. Укажите тип химической связи и механизм ее образования в молекуле Cl_2 .
4. $Zn + HNO_3 \rightarrow N_2O + Zn(NO_3)_2 + \dots$
 $Mn(OH)_2 + Br_2 + KOH \rightarrow MnO_2 + KBr + \dots$

13

1. Вычислить плотность газа по воздуху, если масса этого газа, занимающего объем $4 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$, при $T=273 \text{ К}$ и $p=10^5 \text{ Па}$ составляет $5 \cdot 10^{-3} \text{ кг}$.
2. а) элемент №101; б) атом галлия.
3. Укажите тип гибридизации орбиталей в молекуле BCl_3 .
4. $CuCl + K_2Cr_2O_7 + HCl \rightarrow CuCl_2 + CrCl_3 + \dots$
 $Fe(OH)_2 + Br_2 + KOH \rightarrow Fe(OH)_3 + KBr + \dots$

14

1. Чему равна молярная масса эквивалентов металла, если $6.24 \cdot 10^{-3} \text{ кг}$ этого металла полностью реагирует с $7.3 \cdot 10^{-3} \text{ кг HCl}$? Каков объем водорода, выделившегося при этом (н.у.)?
2. а) элемент №50; б) атом олова.
3. Укажите тип гибридизации орбиталей в молекуле CH_4 .
4. $Fe + HNO_3 \rightarrow Fe(NO_3)_3 + NH_4NO_3 + \dots$
 $NaNO_2 + Cl_2 + NaOH \rightarrow NaNO_3 + NaBr + \dots$

15

1. Вычислить молярную массу эквивалентов металла, если $9.34 \cdot 10^{-4} \text{ кг}$ металла вытесняют из соляной кислоты $3.48 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3$ водорода при $T=293 \text{ К}$ и $p=0.98 \cdot 10^5 \text{ Па}$.

2. а) элемент №32; б) атом германия.
3. Какова пространственная конфигурация молекулы CH_4 .
4. $\text{Mn}(\text{NO}_3)_2 + \text{NaBiO}_3 + \text{HNO}_3 \rightarrow \text{Bi}(\text{NO}_3)_3 + \text{HMnO}_4 + \dots$
 $\text{KClO}_3 + \text{Zn} + \text{KOH} \rightarrow \text{K}_2\text{ZnO}_2 + \text{KCl} + \dots$

16

1. Кристаллогидрат соли содержит 18.6% натрия, 25.8% серы, 19.4% кислорода и 36.2% воды. Вывести формулу кристаллогидрата, зная, что его относительная молекулярная масса равна 248 а.е.м.
2. а) элемент №79; б) атом селена.
3. Укажите тип химической связи в молекулах H_2O , CS_2 , O_2 и их полярность.
4. $\text{NaNO}_2 + \text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{NaNO}_3 + \text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3 + \dots$
 $\text{CrCl}_3 + \text{H}_2\text{O}_2 + \text{KOH} \rightarrow \text{K}_2\text{CrO}_4 + \text{H}_2\text{O} + \dots$

18

1. При $T=300\text{ K}$ и $p=1.02 \cdot 10^5\text{ Па}$ пар, полученный из $1.23 \cdot 10^{-3}\text{ кг}$ легкокипящей жидкости, занял объем $4.75 \cdot 10^{-4}\text{ м}^3$. Вычислить плотность пара жидкости по водороду.
2. а) элемент №92; б) атом стронция.
3. Определить тип химической связи в молекулах SiF_4 и H_2O .
4. $\text{H}_2\text{O}_2 + \text{KMnO}_4 + \text{HCl} \rightarrow \text{O}_2 + \text{MnCl}_2 + \dots$
 $\text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3 + \text{Cl}_2 + \text{KOH} \rightarrow \text{K}_2\text{CrO}_4 + \text{KCl} + \dots$

19

1. $6.14 \cdot 10^{-4}\text{ кг}$ металла растворили в соляной кислоте. Выделившийся водород занял объем $8.22 \cdot 10^{-4}\text{ м}^3$ при $T=292\text{ K}$ и $p=1.0 \cdot 10^5\text{ Па}$. Вычислить молярную массу эквивалентов металла.
2. а) элемент №100; б) атом галлия.
3. Как меняется полярность связи в молекулах HF , HCl , HI ?
4. $\text{KMnO}_4 + \text{HCl} \rightarrow \text{Cl}_2 + \text{MnCl}_2 + \dots$
 $\text{Cl}_2 + \text{KOH} \rightarrow \text{KClO}_3 + \text{KCl} + \dots$

20

1. При разложении оксида ртути было получено $1.5 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$ кислорода, собранного над ртутью при $T=293 \text{ К}$ и $p=0.99 \cdot 10^5 \text{ Па}$. Определить массу оксида ртути.
2. а) элемент №87; б) атом брома.
3. Укажите возможные валентности атома родия в основном и возбужденном состояниях.
4. $SO_2 + K_2Cr_2O_7 + H_2SO_4 \rightarrow K_2SO_4 + Cr_2(SO_4)_3 + \dots$
 $Bi_2O_3 + Cl_2 + KOH \rightarrow K_3BiO_4 + KCl + \dots$

21

1. Масса газа, занимающего объем $3.27 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3$, при $T=286 \text{ К}$ и $p=1.03 \cdot 10^5 \text{ Па}$ равна $8.28 \cdot 10^{-4} \text{ кг}$. Вычислить плотность газа по воздуху.
2. а) элемент №102; б) атом таллия.
3. Перекрыванием каких электронных орбиталей образуются химические связи в молекулах Cl_2 , PH_3 , BCl_3 .
4. $K_2S + K_2Cr_2O_7 + H_2SO_4 \rightarrow S + Cr_2(SO_4)_3 + \dots$
 $Sb_2O_3 + Cl_2 + NaOH \rightarrow K_3SbO_4 + NaCl + \dots$

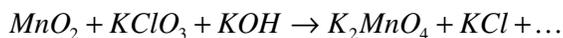
22

1. Вычислить молярную массу эквивалентов металла, зная, что $2.92 \cdot 10^{-4} \text{ кг}$ его вытесняют из кислоты $1,1 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3$ водорода, измеренного при $T=290 \text{ К}$ и $p=0.98 \cdot 10^5 \text{ Па}$.
2. а) элемент №88; б) атом индия.
3. Одинаковый ли тип химической связи в следующих молекулах: HCl , Cl_2 ? Ответ пояснить.
4. $NaI + NaNO_3 + H_2SO_4 \rightarrow I_2 + NO + \dots$
 $KCrO_2 + PbO_2 + KOH \rightarrow K_2CrO_4 + K_2PbO_2 + \dots$

23

1. Вычислить плотность паров жидкости по воздуху, зная, что масса пара, занимающего объем $4.56 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3$, при $T=375 \text{ К}$ и $p=0.83 \cdot 10^5 \text{ Па}$ равна $1.45 \cdot 10^{-4} \text{ кг}$.
2. а) элемент №96; б) атом полония.

3. Перекрыванием каких атомных орбиталей образуются химическая связь в соединении HgCl_2 ?

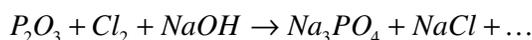
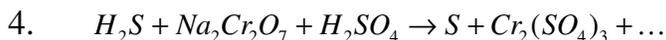


24

1. $1,0 \cdot 10^{-3}$ кг некоторого металла соединяются с такой массой хлора, которая занимает объем $3,36 \cdot 10^{-4}$ м³ при $T=290$ К и $p=0,98 \cdot 10^5$ Па. Вычислить эквивалентную массу металла.

2. а) элемент №99; б) атом фосфора.

3. Укажите ли тип химической связи в следующих молекулах: LiF , MgF_2 , CF_4 .

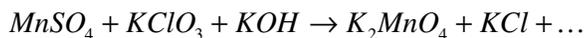


25

1. Какой объем кислорода расходуется при сгорании $2,1 \cdot 10^{-2}$ кг металла, молярная масса эквивалентов которого 12 г/моль? Объем рассчитать при нормальных условиях.

2. а) элемент №93; б) атом фтора.

3. Укажите тип и механизм образования химической связи в молекуле SiH_4 . Какова пространственная конфигурация молекулы?

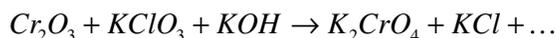


26

1. При разложении 49 г неизвестного вещества выделилось 13,44 л кислорода (н.у.) и осталось твердое вещество, содержащее 52,35% калия и 47,65% хлора. Определить формулу неизвестного вещества.

2. а) элемент №32; б) атом брома.

3. Укажите тип и механизм образования химической связи в молекуле CH_4 .



27

1. В состав некоторой соли входит 26.53% калия, 35.37% хрома и 38.1% кислорода. Определить формулу соли. Рассчитать массу соли, израсходованную на ее взаимодействие с избытком соляной кислоты, если при этом образовался хлорид хрома (III) и выделилось 6.72 л хлора (н.у.).
2. а) элемент №48; б) атом германия.
3. Исходя из метода валентных связей укажите возможные валентности атома кобальта в основном и возбужденном состояниях.
4. $NaCl + KMnO_4 + H_2SO_4 \rightarrow Cl_2 + MnSO_4 + \dots$
 $Zn + KOH \rightarrow K_2ZnO_2 + H_2 + \dots$

28

1. Некоторое вещество состоит из серы и углерода. В результате химической реакции из $3.045 \cdot 10^{-4}$ кг этого вещества было получено $1.867 \cdot 10^{-3}$ кг сульфата бария. Вывести простейшую формулу исходного вещества, если известно, что его молярная масса составляет 76 г/моль.
2. а) элемент №89; б) атом фосфора.
3. Укажите тип связи и механизм ее образования между молекулами NH_3 и HCl .
4. $K_2S + Na_2Cr_2O_7 + H_2SO_4 \rightarrow S + Cr_2(SO_4)_3 + \dots$
 $P_2O_3 + Cl_2 + NaOH \rightarrow Na_3PO_4 + NaCl + \dots$

29

1. Определить объем водорода ($T=320$ К и $p=1.013 \cdot 10^5$ Па), выделившегося при растворении в кислоте $1.0 \cdot 10^{-3}$ кг магния.
2. а) элемент №104; б) атом кальция.
3. Описать механизм образования водородной связи. Привести примеры соединений, имеющих водородную связь.
4. $KI + HNO_3 + H_2SO_4 \rightarrow I_2 + NO_2 + \dots$
 $KCrO_2 + Br_2 + KOH \rightarrow K_2CrO_4 + KBr + \dots$

30

1. При разложении оксида ртути было получено $1.5 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$ кислорода, собранного над ртутью при $T=293 \text{ К}$ и $p=0.99 \cdot 10^5 \text{ Па}$. Определите массу оксида ртути.
2. а) элемент №91; б) атом йода.
3. Молекула PbCl_2 угловая, а молекула HgCl_2 линейна. Почему?
4. $\text{ZnS} + \text{HNO}_3 \rightarrow \text{Zn}(\text{NO}_3)_2 + \text{SO}_2 + \text{NO} + \dots$
 $\text{FeSO}_4 + \text{Br}_2 + \text{NaOH} \rightarrow \text{Fe}(\text{OH})_3 + \text{NaBr} + \dots$

2. Химическая термодинамика

2.1. Основные формулы для расчетов

Закон Гесса

$$\Delta H = \Delta H_1 + \Delta H_2 + \dots + \Delta H_k, \quad (2.1)$$

где 1,2,...,k – стадии реакции.

Расчет ΔH реакции по энтальпиям образования компонентов:

$$\Delta H_{298}^0 = \sum_i (n_i \Delta H_{f,298}^0)_{\text{прод}} - \sum_i (n_i \Delta H_{f,298}^0)_{\text{исх.}}, \quad (2.2)$$

где n_i – число молей веществ, участвующих в реакции.

Взаимосвязь ΔH_T^0 и ΔU_T^0 :

$$\Delta H_T^0 = \Delta U_T^0 + \Delta n RT, \quad (2.3)$$

где Δn - изменение числа молей газообразных веществ в реакции.

Закон Кирхгофа:

$$\Delta H_{T_2}^0 = \Delta H_{T_1}^0 + \int_{T_1}^{T_2} \Delta c_p^0 dT, \quad (2.4)$$

где Δc_p - изменение мольной теплоемкости [Дж/(моль·К)] при постоянном давлении:

$$\Delta c_p = \sum_i (n_i c_{p_i})_{\text{прод}} - \sum_i (n_i c_{p_i})_{\text{исх.}}, \quad (2.5)$$

Если $\Delta c_p = \text{const}$, то

$$\Delta H_{T_2}^0 = \Delta H_{T_1}^0 + \Delta c_p^0 (T_2 - T_1), \quad (2.6)$$

Если $\Delta c_p = \Delta a + \Delta b \cdot T$, то

$$\Delta H_{T_2}^0 = \Delta H_{T_1}^0 + \Delta a(T_2 - T_1) + \frac{\Delta b}{2}(T_2^2 - T_1^2), \quad (2.7)$$

где

$$\Delta a = \sum_i (n_i a_i)_{\text{прод}} - \sum_i (n_i a_i)_{\text{исх.}}, \quad (2.8)$$

$$\Delta b = \sum_i (n_i b_i)_{\text{прод}} - \sum_i (n_i b_i)_{\text{исх.}}, \quad (2.9)$$

Расчет ΔG_T^0 :

$$\Delta G_T^0 = \Delta H_T^0 - T \cdot \Delta S_T^0, \quad (2.10)$$

где

$$\Delta S_T^0 = \sum_i (n_i S_T^0)_{\text{прод}} - \sum_i (n_i S_T^0)_{\text{исх.вещ.}}, \quad (2.11)$$

Температурная зависимость ΔS_T^0 :

$$\Delta S_{T_2}^0 = \Delta S_{T_1}^0 + \int_{T_1}^{T_2} \frac{\Delta c_p}{T} dT, \quad (2.12)$$

Если $\Delta c_p = \text{const}$, то

$$\Delta S_{T_2}^0 = \Delta S_{T_1}^0 + \Delta c_p \ln \frac{T_2}{T_1}, \quad (2.13)$$

Если $\Delta c_p^0 = \Delta a + \Delta b \cdot T$, то

$$\Delta S_{T_2}^0 = \Delta S_{T_1}^0 + \Delta a \ln \frac{T_2}{T_1} + \Delta b(T_2 - T_1), \quad (2.14)$$

Расчет ΔG_T для реакции $aA + bB = cC + dD$:

$$\Delta G_T = RT \left(\ln \frac{P_C^c \cdot P_D^d}{P_A^a \cdot P_B^b} - \ln K_p \right), \quad (2.15)$$

где P_A, P_B, P_C, P_D - исходные парциальные давления компонентов, а K_p - константа равновесия реакции.

Константа равновесия имеет вид:

$$K_p = \frac{P_C'^c \cdot P_D'^d}{P_A'^a \cdot P_B'^b}, \quad (2.16)$$

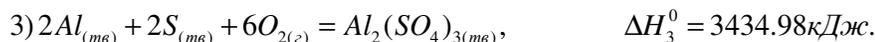
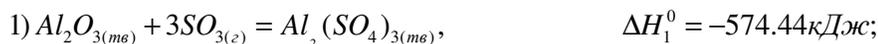
где P_A', P_B', P_C', P_D' - равновесные парциальные давления компонентов.

Связь ΔG_T^0 с константой равновесия:

$$\Delta G_T^0 = -RT \ln K_p. \quad (2.17)$$

2.2. Примеры типовых расчетов

Пример 2.1. Определить стандартную энтальпию образования твердого Al_2O_3 на основании следующих данных:

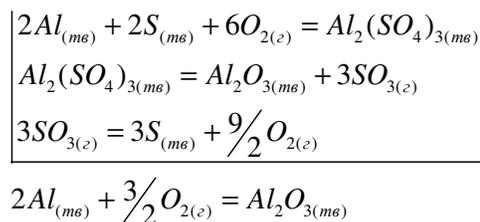


Решение. Напишем реакцию образования 1 моль твердого Al_2O_3 из простых веществ:



На основании (2.1) можно рассчитать стандартную энтальпию образования твердого Al_2O_3 , если провести алгебраическое суммирование уравнений реакций 1-3 и соответствующих тепловых эффектов.

В уравнение получения Al_2O_3 из простых веществ не входят SO_3 , $Al_2(SO_4)_3$, S , поэтому исключим их из уравнений реакций 1-3. Для этого умножаем уравнение 1 на -1, уравнение 2 умножаем на -3/2, а затем складываем уравнение 3 с полученными в результате указанных преобразований уравнениями 1 и 2:



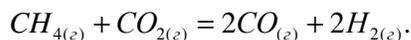
Уравнение реакции, полученное в результате проведенных преобразований, тождественно уравнению реакции 4.

Подобные преобразования следует провести и с тепловыми эффектами заданных реакций:

$$\Delta H_{f4}^0 = -\Delta H_1^0 - \frac{3}{2}\Delta H_2^0 + \Delta H_3^0,$$

$$\Delta H_{f4}^0 = 574.44 + \frac{3 \cdot 790.36}{2} - 3434.98 = -1675 \text{ кДж / моль}.$$

Пример 2.2. Определить при стандартных условиях изменение энтальпии и внутренней энергии реакции:



Определить изменение энтальпии при этих же условиях, если прореагировало 10 л метана.

Решение. Используя соотношение (2.2), запишем для заданной реакции

$$\Delta H_{298}^0 = (2\Delta H_{f298}^0 CO + 2\Delta H_{f298}^0 H_2) - (\Delta H_{f298}^0 CH_4 + \Delta H_{f298}^0 CO_2).$$

В полученное соотношение подставим значения стандартных энтальпий образования компонентов реакции из прил. 1:

$$\Delta H_{298}^0 = [2 \cdot (-110.5) + 2 \cdot 0] - [(-74.85) + (-393.51)] = 247.36 \text{ кДж}.$$

При взаимодействии 1 моль CH_4 поглощается 247.36 кДж теплоты. При нормальных условиях объем 1 моль CH_4 занимает 22.4 л. Объем 1 моль CH_4 при стандартной температуре в соответствии с законом Гей-Люссака:

$$\frac{22.4}{273} = \frac{V_2}{298}; \quad V_2 = \frac{22.4 \cdot 298}{273} = 24.45 \text{ л}.$$

Составим пропорцию:

24.45 л CH_4 при взаимодействии поглощают 247.36 кДж теплоты,
а 10 л CH_4 при взаимодействии поглощают ΔH кДж теплоты;

$$\Delta H = \frac{10 \cdot 247.36}{24.45} = 101.17 \text{ кДж}.$$

По соотношению (2.3) рассчитываем ΔU_{298}^0 . Изменение числа молей газообразных веществ в этой реакции: $\Delta n = 4 - 2 = 2 \text{ моль}$.

$$\Delta U_{298}^0 = 247.36 - 2 \cdot 8.31 \cdot 10^{-3} \cdot 298 = 244.89 \text{ кДж}.$$

Пример 2.3. Найти стандартную энтальпию образования фенола $\Delta H_{f298}^0 C_6H_6O_{(кр)}$, если известно, что при сгорании 18.8 г фенола кристаллического до $CO_{2(г)}$ и $H_2O_{(ж)}$ при стандартных условиях выделяется 611.156 кДж теплоты.

Решение. Напишем термохимическое уравнение реакции горения фенола:



$$M_{C_6H_6O} = 94 \text{ г / моль}.$$

из условия задачи и уравнения реакции можно составить пропорцию:

18.8 г фенола при сгорании выделяют 611.156 кДж теплоты;

а 94 г фенола при сгорании выделяют Q_p кДж теплоты;

$$Q_p = \frac{94 \cdot 611.156}{18.8} = 3055.78 \text{ кДж}.$$

Так как $Q_p = -\Delta H$, то $\Delta H_{298}^0 = -3055.78$ кДж. Используя соотношение (2.2), можно написать:

$$\Delta H_{298}^0 = (6\Delta H_{f298}^0 CO_2 + 3\Delta H_{f298}^0 H_2O) - (7\Delta H_{f298}^0 O_2 + \Delta H_{f298}^0 C_6H_6O)$$

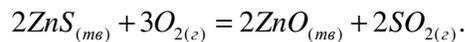
или

$$\Delta H_{f298}^0 C_6H_6O = 6\Delta H_{f298}^0 CO_2 + 3\Delta H_{f298}^0 H_2O - 7\Delta H_{f298}^0 O_2 - \Delta H_{298}^0.$$

В полученное соотношение подставим найденное значение ΔH_{298}^0 реакции и значения стандартных энтальпий образования $O_{2(r)}$, $CO_{2(r)}$ и $H_2O_{(ж)}$ из прил.1:

$$\Delta H_{298}^0 C_6H_6O_{(кр)} = 6 \cdot (-393.51) + 3 \cdot (-285.84) - 7 \cdot 0 - (-3055.78) = -162.8 \text{ кДж / моль.}$$

Пример 2.4. Рассчитать ΔH_{998}^0 реакции:



Решение. По соотношению (2.7) найдем ΔH_{998}^0 заданной реакции:

$$\Delta H_{998}^0 = \Delta H_{298}^0 + \Delta a(998 - 298) + \frac{\Delta b}{2}(998^2 - 298^2).$$

Для вычисления ΔH_{298}^0 , Δa , Δb используем соотношения (2.2), (2.8), (2.9) и термодинамические данные из прил. I:

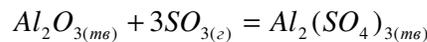
$$\begin{aligned} \Delta H_{298}^0 &= (2\Delta H_{f298}^0 SO_2 + 2\Delta H_{f298}^0 ZnO) - (2\Delta H_{f298}^0 ZnS + 3\Delta H_{f298}^0 O_2) = \\ &= 2 \cdot (-296.9) + 2 \cdot (-349.0) - 2 \cdot (-201.0) - 3 \cdot 0 = -889.8 \text{ кДж}; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta a &= [2 \cdot a(SO_2) + 2 \cdot a(ZnO)] - [2 \cdot a(ZnS) + 3 \cdot a(O_2)] = \\ &= 2 \cdot 42.55 + 2 \cdot 48.99 - 2 \cdot 50.88 - 3 \cdot 31.46 = -13.06 \text{ Дж / К}; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta b &= [2 \cdot b(SO_2) + 2 \cdot b(ZnO)] - [2 \cdot b(ZnS) + 3 \cdot b(O_2)] = \\ &= 10^{-3} \cdot (2 \cdot 12.55 + 2 \cdot 5.1 - 2 \cdot 5.19 - 3 \cdot 3.19) = 14.75 \cdot 10^{-3} \text{ Дж / К}^2; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta H_{998}^0 &= -889800 - 13.06 \cdot (998 - 298) + \frac{14.75 \cdot 10^{-3}}{2} (998^2 - 298^2) = \\ &= -892254 \text{ Дж} = -892.25 \text{ кДж}. \end{aligned}$$

Пример 2.5. Указать направление протекания реакции



При стандартном состоянии компонентов и $T=798$ К (принять $\Delta c_p^0 = const$).

Решение. Возможность протекания реакции определяется по величине стандартного изменения свободной энергии Гиббса (ΔG_{798}). Используя соотношение (2.10), запишем:

$$\Delta G_{798} = \Delta H_{798}^0 - 798 \cdot \Delta S_{798}^0.$$

Подставим в полученное соотношение выражения для ΔH_{798}^0 из (2.6) и для ΔS_{798}^0 из (2.13):

$$\Delta G_{798} = \Delta H_{298}^0 + \Delta c_p^0 \cdot (798 - 298) - 798 \cdot \left(\Delta S_{298}^0 + \Delta c_p^0 \ln \frac{798}{298} \right).$$

Используя термодинамические данные из прил. 1, определим ΔH_{298}^0 , ΔS_{298}^0 и Δc_p^0 . Для расчета ΔH_{298}^0 используем соотношение (2.2):

$$\begin{aligned} \Delta H_{298}^0 &= (\Delta H_{f,298}^0 Al_2(SO_4)_3) - (3\Delta H_{f,298}^0 SO_3 + \Delta H_{f,298}^0 Al_2O_3) = \\ &= -3434 - (3 \cdot (-395.2) - 1675) = -573.4 \text{ кДж}. \end{aligned}$$

Из соотношения (2.11) рассчитывается ΔS_{298}^0 :

$$\begin{aligned} \Delta S_{298}^0 &= (S_{298}^0 Al_2(SO_4)_3) - (3S_{298}^0 SO_3 + S_{298}^0 Al_2O_3) = \\ &= 239.2 - (3 \cdot 256.23 + 50.94) = -580.43 \text{ Дж / К}. \end{aligned}$$

Из соотношения (2.5) определяется Δc_p^0 :

$$\begin{aligned} \Delta c_p^0 &= c_p^0(Al_2(SO_4)_3) - 3c_p^0(SO_3) - c_p^0(Al_2O_3) = \\ &= 259.3 - 3 \cdot 50.63 - 79.0 = 28.41 \text{ Джс / К}. \end{aligned}$$

Подставив найденные значения ΔH_{298}^0 , ΔS_{298}^0 и Δc_p^0 в выражения для ΔG_{798} , получим:

$$\begin{aligned} \Delta G_{798}^0 &= -573400 + 28.41 \cdot 500 - 798 \cdot \left(-580.43 + 28.41 \cdot \ln \frac{798}{298} \right) = -558863.25 \text{ Джс} = \\ &= -558.86 \text{ кДжс}. \end{aligned}$$

Отрицательно значение ΔG_{798} показывает, что реакция пойдет в прямом направлении.

Пример 2.6. Рассчитать константу равновесия при $T=700$ К для реакции:



Решение. Воспользовавшись соотношением (2.16), запишем для условия задачи:

$$\Delta G_{700}^0 = -8.31 \cdot 700 \cdot \ln K_p.$$

Рассчитаем ΔG_{700}^0 по соотношению (2.10):

$$\Delta G_{700}^0 = \Delta H_{700}^0 - 700 \cdot \Delta S_{700}^0.$$

Определим ΔH_{700}^0 по соотношению: (2.7):

$$\Delta H_{700}^0 = \Delta H_{298}^0 + \Delta a(700 - 298) + \frac{\Delta b}{2}(700^2 - 298^2).$$

Определим ΔS_{700}^0 по соотношению (2.14):

$$\Delta S_{700}^0 = \Delta S_{298}^0 + \Delta a \ln \frac{700}{298} + \Delta b(700 - 298).$$

Подставим значения ΔH_{700}^0 и ΔS_{700}^0 в соотношение (2.10), получим:

$$\Delta G_{700}^0 = \Delta H_{298}^0 + \Delta a(700 - 298) + \frac{\Delta b}{2}(700^2 - 298^2) - 700 \cdot \left[\Delta S_{700}^0 + \Delta a \ln \frac{700}{298} + \Delta b(700 - 298) \right].$$

Для расчета ΔH_{298}^0 , ΔS_{298}^0 , Δa и Δb используются термодинамические данные из прил. 1. Рассчитываются значения ΔH_{298}^0 , ΔS_{298}^0 , Δa и Δb по соотношениям (2.2), (2.11), (2.8), (2.9) соответственно:

$$\Delta H_{298}^0 = (\Delta H_{f298}^0 C_2H_4) - (2\Delta H_{f298}^0 C + 2\Delta H_{f298}^0 H_2) = 52.28 - 2 \cdot 0 - 2 \cdot 0 = 52.28 \text{ кДж}.$$

$$\Delta S_{298}^0 = (\Delta S_{f298}^0 C_2H_4) - (2\Delta S_{f298}^0 C + 2\Delta S_{f298}^0 H_2) = 219 - 2 \cdot 130.6 - 2 \cdot 5.74 = -53.28 \text{ Дж}.$$

$$\Delta a = 4.19 - 2 \cdot 27.28 - 2 \cdot 17.15 = -84.67 \text{ Дж / К}.$$

$$\Delta b = (154.59 - 2 \cdot 3.26 - 2 \cdot 4.27) \cdot 10^{-3} = 139.53 \cdot 10^{-3} \text{ Дж / К}^2.$$

Подставив числовые значения ΔH_{298}^0 , ΔS_{298}^0 , Δa и Δb в выражение для ΔG_{700}^0 , получим:

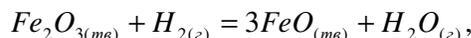
$$\Delta G_{700}^0 = 52280 - 84.67 \cdot 402 + \frac{139.53 \cdot 10^{-3}}{2}(700^2 - 298^2) - 700 \cdot \left[-53.28 - 84.67 \ln \frac{700}{298} + 139.53 \cdot 10^{-3} \cdot 402 \right] = 94879 \text{ Дж}.$$

Теперь определим K_p :

$$94979 = -8.31 \cdot 700 \ln K_p,$$

$$\ln K_p = -16.310 \quad K_p = 8.3 \cdot 10^{-8}.$$

Пример 2.7. Для реакции



при $T=1000 \text{ К}$ и $K_p=1.14$. определить, в каком направлении протекает процесс при следующих значениях исходных парциальных давлений компонентов: $p_{H_2O} = 1.2 \text{ атм}$; $p_{H_2} = 0.4 \text{ атм}$.

Решение. Направление реакции определяется знаком ΔG_T , что может быть вычислено по уравнению изотермы (2.15). Для данной реакции это уравнение имеет вид:

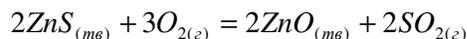
$$\Delta G_T = RT \left(\ln \frac{p_{H_2O}}{p_{H_2}} - \ln K_p \right).$$

Подставим исходные данные в приведенное равенство:

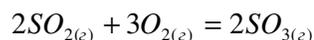
$$\Delta G_{1000} = 8.31 \cdot 1000 \left(\ln \frac{1.2}{0.4} - \ln 1.14 \right) = 8040.75 \text{ Дж} = 8.04 \text{ кДж}.$$

Так как $\Delta G_{1000} > 0$, реакция пойдет в обратном направлении, т.е. в сторону образования Fe_2O_3 и H_2 .

Пример 2.8. При $T=1200 \text{ К}$ и общем давлении 1 атм для реакции

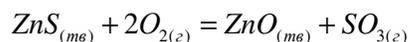


Равновесное давление O_2 составляет 0.26 атм. При той же температуре значение константы равновесия K_p реакции:



равно 0.12.

определить K_p для реакции



при той же температуре.

Решение. Определим константу равновесия первой реакции. Она должна выражаться в соответствии с (2.16) равенством:

$$K_{pI} = \frac{P_{SO_2}^2}{P_{O_2}^3}.$$

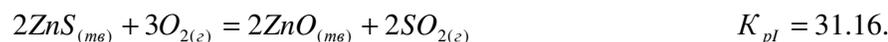
Так как общее давление газовой смеси складывается из парциальных давлений газообразных компонентов, получим:

$$P_{SO_2} = P - P_{O_2} = 1 - 0.26 = 0.74 \text{ атм}.$$

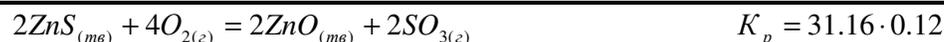
Тогда константа равновесия первой реакции:

$$K_{pI} = \frac{(0.74)^2}{(0.26)^3} = 31.16.$$

Чтобы перейти от первых двух реакций к последней, необходимо провести алгебраическое сложение первых двух реакций:

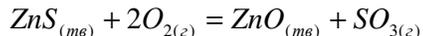


+



При сложении реакций их константы равновесия перемножаются, так как суммарное значение ΔG_T складывается из ΔG_T отдельных стадий процесса, а значение ΔG_T связано с константой равновесия логарифмической зависимостью (2.17).

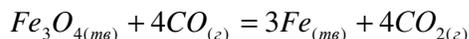
Сократим коэффициенты в уравнении последней реакции на два:



После сокращения коэффициентов из первоначального значения константы равновесия следует извлечь квадратный корень:

$$K_p = \sqrt{31.16 \cdot 0.12} = 1.93.$$

Пример 2.9. Определить равновесный состав газовой смеси, образующейся при 1000 К в ходе реакции:



при общем давлении, равном 2 атм. Считать, что $\Delta c_p^0 = const$.

Решение. Вычислим константу равновесия реакции, пользуясь соотношениями (2.2), (2.4), (2.5), (2.7), (2.10), (2.12), (2.13), (2.17) и данными, приведенными в прил. I:

$$\Delta H_{298}^0 = 3 \cdot 0 + 4 \cdot (-393.51) - (-1117.71) - 4 \cdot (-110.5) = -14.33 \text{ кДж};$$

$$\Delta c_p^0 = 3 \cdot 25.23 + 4 \cdot 37.13 - 143.4 - 4 \cdot 29.15 = -35.79 \text{ Дж / К};$$

$$\Delta H_{1000}^0 = \Delta H_{298}^0 + \Delta c_p^0 (1000 - 298) = -14330 + (-35.79) \cdot 709 = -39455 \text{ Дж};$$

$$\Delta S_{298}^0 = 3 \cdot 27.15 + 4 \cdot 213.6 - 151.46 - 4 \cdot 197.4 = -5.21 \text{ Дж / К};$$

$$\Delta S_{1000}^0 = \Delta S_{298}^0 + \Delta c_p^0 \ln \frac{1000}{298} = -5.21 + (-35.76) \ln \frac{1000}{298} = -48.50 \text{ Дж / К};$$

$$\Delta G_{1000}^0 = \Delta H_{1000}^0 - 1000 \cdot \Delta S_{1000}^0 = -39455 - 1000 \cdot (-48.5) = 9045 \text{ Дж};$$

$$\ln K_p = -\frac{\Delta G_{1000}^0}{R \cdot 1000} = \frac{-9045}{8.31 \cdot 1000} = -1.0884;$$

$$K_p = 0.337.$$

В соответствии с уравнением реакции константа равновесия выражается следующим образом:

$$K_p = \frac{p_{CO_2}^4}{p_{CO}^4}.$$

Обозначим $p_{CO_2} = x$.

Тогда $p_{CO} = p - p_{CO_2} = 2 - x$.

Подставим эти соотношения в выражение для константы равновесия:

$$K_p = 0.337 = \frac{x^4}{(2-x)^4}.$$

или

$$\frac{x}{2-x} = \sqrt[4]{0.337} = 0.762.$$

Решим полученное уравнение относительно x : $x = 0.865$. Состав смеси будет определяться: $p_{CO_2} = 0.865$, $p_{CO} = 1.135 \text{ атм}$.

3. Химическая кинетика.

3.1. Основные формулы для расчетов

Зависимость скорости реакции от концентрации реагирующих веществ (кинетическое уравнение) для реакции $aA + bB \rightarrow cC + dD$ при $T = \text{const}$:

$$v = k[A]^a \cdot [B]^b, \quad (3.1)$$

где v - скорость прямой реакции; $[A], [B]$ (либо c_A, c_B) - концентрации веществ, вступающих в реакцию $\left[\frac{\text{моль}}{\text{л}} \right]$; k - константа скорости реакции.

Зависимость скорости реакции от температуры (уравнение Вант-Гоффа):

$$v_{T_2} = v_{T_1} \cdot \gamma^{\frac{T_2 - T_1}{10}}, \quad (3.2)$$

где v_{T_2} и v_{T_1} - скорости реакции при температурах T_1 и T_2 соответственно; γ - температурный коэффициент скорости реакции (коэффициент Вант-Гоффа).

Уравнение Аррениуса:

$$\ln k_T = -\frac{E_a}{RT} + \text{const},$$

где k_T - константа скорости реакции при температуре T ;

E_a - энергия активации;

const - константа интегрирования.

Для реакции, протекающей при температурах T_2 и T_1 :

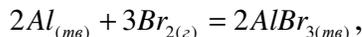
$$\ln \frac{k_{T_2}}{k_{T_1}} = \frac{E_a(T_2 - T_1)}{R \cdot T_1 \cdot T_2}. \quad (3.3)$$

Для реакций, протекающих при одной и той же температуре, при разных значениях энергии активации $E_a^{(I)}$ и $E_a^{(II)}$ с соответствующими значениями констант скоростей $k_T^{(I)}$ и $k_T^{(II)}$:

$$\ln \frac{k_T^{(II)}}{k_T^{(I)}} = \frac{E_a^{(I)} - E_a^{(II)}}{RT}. \quad (3.4)$$

3.2. Примеры типовых расчетов

Пример 3.1. В системе, где протекает реакция:



концентрацию брома увеличили в 4 раза. Во сколько раз возрастет скорость реакции?

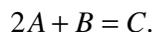
Решение. Так как алюминий – твердое вещество, то в соответствии с (3.1) кинетическое уравнение для прямой реакции имеет вид:

$$v_1 = k[Br_2]^3.$$

Скорость реакции после увеличения концентрации брома:

$$v_2 = k(4 \cdot [Br_2])^3 = k \cdot 4^3 \cdot [Br_2]^3 = 64 \cdot k \cdot [Br_2]^3, \text{ следовательно } \frac{v_2}{v_1} = 64.$$

Пример 3.2. Реакция между газами А и В протекает по уравнению



Исходные концентрации $[A] = 0.5$ моль/л; $[B] = 0.3$ моль/л; константа скорости реакции $k = 0.4$. Найти начальную скорость реакции и скорость в момент времени, когда в результате протекания реакции концентрация В уменьшится на 0.1 моль/л. Реакция протекает в постоянном объеме.

Решение. Начальная скорость реакции определяется по соотношению (3.1):

$$v = 0.4 \cdot 0.5^2 \cdot 0.3 = 0.03 \text{ моль/(с} \cdot \text{л)}.$$

К моменту уменьшения концентрации вещества В на 0.1 моль/л его концентрация составит $0.3 - 0.1 = 0.2$ моль/л. Концентрация А в соответствии с уравнением реакции к этому же времени уменьшится на $0.1 \cdot 2 = 0.2$ моль/л и составит $0.5 - 0.2 = 0.3$ моль/л. Скорость реакции в этот момент будет:

$$v_1 = 0.4 \cdot 0.3^2 \cdot 0.2 = 0.0972 \text{ моль/(с} \cdot \text{л)}.$$

Пример 3.3. Во сколько раз возрастает скорость реакции при повышении температуры с 290 К до 340 К, если температурный коэффициент скорости реакции $\gamma = 2$.

Решение. Из уравнения (3.2):

$$\frac{v_{340}}{v_{290}} = 2^{\frac{340-290}{10}} = 2^5 = 32.$$

Пример 3.4. Константа скорости реакции при $T=283$ К равна $1.08 \cdot 10^{-4}$, а при $T=333$ К $k=5.484 \cdot 10^{-2} \text{ с}^{-1}$. Определить энергию активации и константу скорости при $T=303$ К.

Решение. Используя соотношение (3.3), получим:

$$E_a = 8.31 \cdot \frac{283 \cdot 333}{333 - 283} \cdot \ln \frac{5.484 \cdot 10^{-2}}{1.08 \cdot 10^{-4}} = 97577.5 \text{ Дж / моль.}$$

Используя то же соотношение, получаем:

$$\ln k_{303} = \ln(1.08 \cdot 10^{-4}) + \frac{97600 \cdot (303 - 283)}{8.31 \cdot 303 \cdot 283} = -6.3957.$$

$$k_{303} = 1.67 \cdot 10^{-3} \text{ с}^{-1}.$$

Пример 3.5. Введение катализатора снижает энергию активации реакции с 88000 до 63000 Дж/моль. Рассчитать, во сколько раз при этом увеличивается скорость реакции, если реакция протекает при $T=298 \text{ К}$.

Решение. Пусть v_1 и v_2 - скорости, а k_1 и k_2 – константы скоростей реакции до и после введения катализатора. Учитывая, что $\frac{v_1}{v_2} = \frac{k_1}{k_2}$, и используя

соотношение (3.4), получаем:

$$\ln \frac{v_1}{v_2} = \frac{88000 - 63000}{8.31 \cdot 298} = 10.1;$$

$$\frac{v_1}{v_2} = 24300.$$

Скорость увеличится в 24300 раз.

Пример 3.6. При $t=127^\circ\text{C}$ реакция заканчивается за 100 мин. Энергия активации 180000 Дж/моль. Температуру повысили на 20°C и ввели катализатор, понижающий энергию активации до 165000 Дж/моль. Сколько времени потребуется для протекания реакции в этих условиях?

Решение. Сначала по формуле (3.3) рассчитывается изменение скорости реакции при повышении температуры от 400 до 420 К:

$$\ln \frac{k_1}{k_2} = \ln \frac{v_1}{v_2} = \frac{180000 \cdot 20}{8.31 \cdot 420 \cdot 400} = 2.58;$$

$$\frac{v_1}{v_2} = 13.18.$$

Затем по формуле (3.4) рассчитывается изменение скорости при $T=420 \text{ К}$ в результате введения катализатора:

$$\ln \frac{k_3}{k_2} = \ln \frac{v_3}{v_2} = \frac{180000 - 165000}{8.31 \cdot 420} = 4.30;$$

$$\frac{v_3}{v_2} = 73.53.$$

Общее увеличение скорости реакции, вызванное повышением температуры и введением катализатора, будет равно произведению изменений скоростей реакции в каждом случае:

$$\frac{v_3}{v_1} = \frac{v_2}{v_1} \cdot \frac{v_3}{v_2} = 13.18 \cdot 73.53 = 969.1.$$

Время τ , необходимое для протекания реакции, обратно пропорционально скорости реакции v , т.е. $\tau \sim \frac{1}{v}$. В рассматриваемом случае:

$$\frac{\tau_1}{\tau_3} = \frac{v_3}{v_1} = 969.1,$$

отсюда

$$\tau_3 = \frac{100 \cdot 60}{969.1} = 6.19 \text{ с.}$$

Время, за которое закончится реакция после повышения температуры и введения катализатора, составит 6.19 с.

3.3. Варианты заданий для самостоятельной работы по химической термодинамике и кинетике

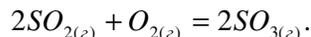
1

1. Определить количество теплоты, выделяющееся при сгорании 10 л SO_2 , измеренных при стандартных условиях, если реакция протекает по схеме



Значения $\Delta H_{f298}^0 SO_{2(g)}$, $\Delta H_{f298}^0 SO_{3(g)}$ взять из прил. 1.

2. Пользуясь справочными данными (прил.1), определить ΔH_{700}^0 , ΔS_{700}^0 и направление протекания процесса при $T=700$ К и стандартном состоянии компонентов для следующего процесса

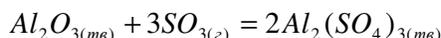


3. Энергия активации процесса равна 80000 Дж/моль. При введении катализатора энергия активации уменьшилась до 20000 Дж/моль. Как изменится скорость реакции при $T=500$ К?

4. Константа скорости реакции $2A_{(e)} + B_{(e)} = C_{(e)}$ равна 0.1. Исходные концентрации реагентов $C_A = 0.4$ моль/л, $C_B = 0.3$ моль/л. Через некоторое время концентрация вещества В снизилась до 0.15 моль/л. Определить скорость реакции в первый и второй моменты.

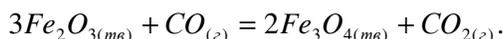
2

1. Вычислить тепловой эффект реакции



при условии, что она протекает в калориметрической бомбе при постоянном объеме и $T=298$ К. Необходимые термодинамические данные взять из прил.1.

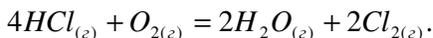
2. Пользуясь справочными данными (прил.1), рассчитайте ΔH_{900}^0 , ΔS_{900}^0 и K_p при $T=900$ К для реакции



3. При введении катализатора скорость реакции при $T=600$ К возросла в 1000 раз. На какое значение изменилась энергия активации?
4. Скорость реакции $2A + 2B = C + D$ при концентрациях $C_A = 0.6$ моль/л, $C_B = 0.1$ моль/л при $t=137^\circ\text{C}$ составляет $2 \cdot 10^{-2}$ моль/(л·с). Какой будет константа скорости реакции, если $E_a = 90000$ Дж/моль, а температуру повысить на 60°C ?

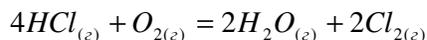
3

1. Какое количество теплоты выделится при получении 1.775 кг хлора при $T=298$ К и стандартном состоянии компонентов по реакции



Необходимые термодинамические данные взять из прил.1.

2. Пользуясь справочными данными (прил.1), рассчитайте ΔG_{800}^0 для реакции



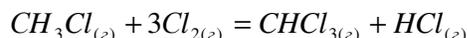
и определите направление протекания этой реакции при $T=800$ К и следующих исходных парциальных давлениях (атм) компонентов:

$$p_{H_2O} = p_{Cl_2} = 0.1; p_{HCl} = p_{O_2} = 1.$$

3. Константа скорости реакции при $T=600$ К равна 7.5, а при $T=650$ К $k=4.5 \cdot 10^2$. Вычислить энергию активации и константу скорости реакции при 700 К.
4. Реакция $A + B = C$ в газовой смеси при $T=300$ К заканчивается за 2 ч. Объем газовой смеси уменьшили в 5 раз и ввели катализатор, снижающий энергию активацию на 10000 Дж/моль. За какое время закончится реакция в новых условиях?

4

1. Какое количество теплоты выделится по реакции

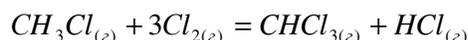


при образовании 1 л $HCl_{(г)}$, измеренного при стандартных условиях, если стандартная энтальпия образования $\Delta H_{f,298}^0 HCl_{(г)} = -92.3$ кДж/моль.

Необходимые термодинамические данные взять из прил.1.

2. Пользуясь справочными данными (прил.1), рассчитайте $\Delta H_{800}^0, \Delta S_{800}^0$ и определите направление протекания этой реакции при $T=800$ К и следующих исходных парциальных давлениях (атм) компонентов:

$p_{CH_3Cl} = p_{Cl_2} = 1; p_{CHCl_3} = 0.1; p_{HCl} = 0.01$ для реакции

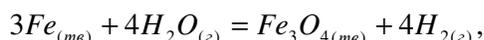


Считать, что $\Delta c_p^0 = const$.

3. Энергия активации реакции 80000Дж/моль. Определить температурный коэффициент скорости реакции в интервале температур от 700 до 1000 К.
4. Реакция $A + 2B = C + D$ протекает в газовой фазе при $T=750$ К. Объем системы уменьшили вдвое и ввели катализатор, понижающий энергию активации на 20000Дж/моль. Как изменится скорость реакции?

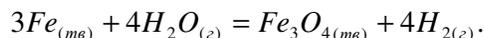
5

1. Какое количество теплоты выделится при протекании реакции



если получено 489 л H_2 , измеренного при стандартных условиях? Необходимые термодинамические данные взять из прил.1.

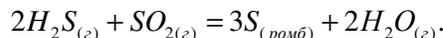
2. Пользуясь справочными данными (прил.1), рассчитайте $\Delta H_{900}^0, \Delta S_{900}^0$ и K_p при $T=900$ К для реакции



3. При $T=600$ К реакция заканчивается за 1.5 ч. Температуру повысили до 650 К и ввели катализатор, снижающий энергию активации с 150000 до 130000 Дж/моль. За какое время закончится реакция в этом случае?
4. Реакция $A + 2B = C$ протекает в растворе. Как изменится скорость реакции, если к 1 л раствора добавили 4 л воды?

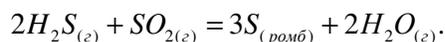
6

1. Пользуясь справочными данными (прил.1), определите ΔU_{298}^0 для реакции:



Необходимые термодинамические данные взять из прил.1.

2. Пользуясь справочными данными (прил.1), рассчитайте $\Delta H_{360}^0, \Delta S_{360}^0$ и определите направление протекания процесса



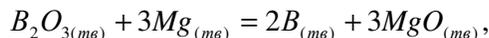
При $T=360$ К и следующих исходных парциальных давлениях (атм) компонентов:

$$p_{H_2O} = 0.01; p_{H_2S} = p_{SO_2} = 0.1.$$

3. При удалении катализатора энергия активации возросла на 18000 Дж/моль. Во сколько раз понизилась скорость реакции при $T=450$ К?
4. Реакция протекает по уравнению $3A + B = C + D$. Концентрацию [A] увеличили вдвое, концентрацию [B] уменьшили в 3 раза, при этом температуру повысили с 310 до 350 К. Температурный коэффициент скорости 3.1. Как изменится скорость реакции?

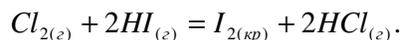
7

1. При сгорании 2.16 г $B_{(ТВ)}$ до $B_2O_{3(ТВ)}$ при стандартных условиях выделяется 140.58 кДж теплоты. Вычислить ΔH_{298}^0 для реакции



если стандартная энтальпия образования $\Delta H_{f,298}^0 MgO_{(мг)} = -92.3$ кДж/моль.

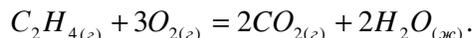
2. Пользуясь справочными данными (прил.1), рассчитайте $\Delta H_{360}^0, \Delta S_{360}^0$ и K_p при $T=360$ К для реакции



3. Энергия активации равна 80000 Дж/моль. При $T=1000$ К реакция завершается за 1 ч. При введении катализатора она заканчивается за 10 с. Определить энергию активации в присутствии катализатора.
4. Рассчитать температурный коэффициент реакции и энергию активации, если реакция протекает по уравнению $3A_{(г)} + B_{(г)} = C + D$, а увеличение скорости реакции при повышении температуры с 420 до 500 К будет таким же, как и при уменьшении объема в 15 раз без изменения температуры.

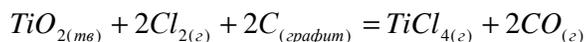
8

1. Вычислить количество теплоты, которое выделится при сгорании этилена $C_2H_{4(g)}$, занимающего при стандартных условиях объем 10 л, если реакция протекает по следующей схеме:



Необходимые термодинамические данные взять из прил.1.

2. Пользуясь справочными данными (прил.1), рассчитайте $\Delta H_{800}^0, \Delta S_{800}^0$ и определите направление протекания процесса:



При $T=800$ К и следующих исходных парциальных давлениях (атм) компонентов:

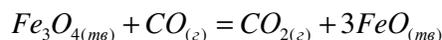
$$p_{Cl_2} = 1; p_{TiCl_4} = 0.1; p_{CO} = 0.01.$$

3. При введении катализатора скорость реакции при $T=550$ К выросла в 600 раз. На какое значение уменьшилась энергия активации?

4. Рассчитать температурный коэффициент скорости газовой реакции $A + B = C + D$, а также энергию активации, если увеличение скорости реакции при повышении температуры от 330 до 370 К будет таким же, как и при повышении давления в 10 раз без изменения температуры.

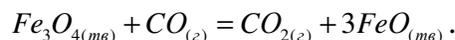
9

1. Определить энтальпию образования $\Delta H_{f298}^0 Fe_3O_{4(тв)}$, если известно, что при взаимодействии 46.21 г $Fe_3O_{4(тв)}$ по реакции



Поглощается 8.739 кДж теплоты. Стандартные энтальпии образования $\Delta H_{f298}^0 CO_{(z)}$, $\Delta H_{f298}^0 CO_{2(z)}$, $\Delta H_{f298}^0 FeO_{(тв)}$ взять из прил.1.

2. Реакция протекают по уравнению:

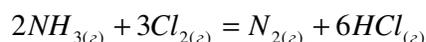


Пользуясь справочными данными (прил.1), рассчитайте $\Delta H_{500}^0, \Delta S_{500}^0$, а также определите направление протекание процесса при $T=500$ К и $p_{CO_2} = p_{CO} = 1$ атм.

3. Реакция $3A + B = C + D$ протекает в растворе. Как изменится скорость реакции, если к 2 л раствора, в котором протекает реакция, добавить 5 л воды?
4. Реакция имеет энергию активации 80000 Дж/моль. Во сколько раз изменится скорость реакции, если повысить температуру от 300 до 350 К и ввести катализатор, снижающий энергию активации до 70000 Дж/моль?

10

1. Найти стандартную энтальпию образования нафталина $C_{10}H_{8(ТВ)}$, зная, что при сгорании 50 г нафталина в стандартных условиях до $CO_{2(г)}$ и $H_2O_{(ж)}$ выделяется 2013.24 кДж теплоты. Необходимые термодинамические данные взять из прил.1.
2. Пользуясь справочными данными (прил.1), определите для процесса:

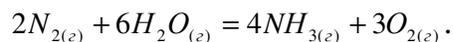


значения $\Delta H_{923}^0, \Delta S_{923}^0$, а также направление протекания данной реакции при $T=923$ К и $p_{NH_3} = p_{Cl_2} = p_{N_2} = p_{HCl} = 1$ атм.

3. Энергия активации процесса при $T=850$ К равна 95000 Дж/моль. При введении катализатора она снизилась до 50000 Дж/моль. Как изменилась скорость реакции?
4. Рассчитать температурный коэффициент скорости реакции $A + 2B = C$, а также энергию активации, если увеличение скорости реакции при повышении температуры от 310 до 360 К будет таким же, как и при увеличении $[B]$ в 20 раз.

11

1. Найти стандартную энтальпию образования пропана $C_3H_{8(г)}$, если при сгорании 88 г пропана в стандартных условиях до $CO_{2(г)}$ и $H_2O_{(ж)}$ выделяется 4440.06 кДж теплоты. Необходимые термодинамические данные взять из прил.1.
2. Пользуясь справочными данными (прил.1), рассчитайте для реакции:



Стандартное значение изобарно-изотермического потенциала при $T=600$ К.

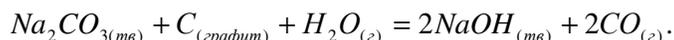
3. Энергия активации реакции, проходящей в интервале температур от 30 до 50°C, равна 120000 кДж/моль. Рассчитать, как изменится скорость реакции в этом интервале и температурный коэффициент скорости реакции.

4. Реакция $A + 2B = C + D$ заканчивается при $T=730$ К за 3 ч. Энергия активации 85000 Дж/моль. Концентрацию C_B увеличили в 3 раза и ввели катализатор, снижающий энергию активации до 60000 Дж/моль. За какое время закончится реакция в новых условиях?

12

1. Найти стандартную энтальпию образования уксусно-этилового эфира $\Delta H_{f,298}^0 C_4H_8O_2(ж)$, если известно, что при сгорании 17.6 г уксусно-этилового эфира до $CO_{2(г)}$ и $H_2O_{(ж)}$ выделяется 449.58 кДж теплоты. Необходимые термодинамические данные взять из прил.1.

2. Пользуясь справочными данными (прил.1), рассчитайте $\Delta H_{540}^0, \Delta S_{540}^0$, а также K_p при $T=540$ К для реакции:

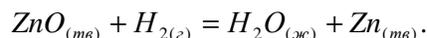


3. Температурный коэффициент скорости реакции в интервале температур 300-500 К равен 2. Определить энергию активации процесса.

4. Скорость реакции $A + 2B = C + D$ равна 0.3 моль/(л·с), $C_A=0.5$ моль/л, $C_B=0.6$ моль/л. Рассчитать скорость реакции, когда C_A в ходе протекания реакции снизится до 0.3 моль/л.

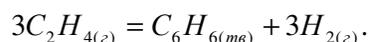
13

1. При сгорании 3.25 г $Zn_{(тв)}$ до $ZnO_{(тв)}$ при стандартных условиях выделяется 17.45 кДж теплоты. Определить изменение энтальпии при стандартных условиях для реакции:



Значение $\Delta H_{f,298}^0 H_2O_{(ж)}$ взять из прил.1.

2. Пользуясь справочными данными (прил.1), рассчитайте ΔG_{600}^0 для реакции:



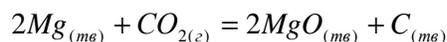
3. При 500 К катализатор повышает скорость реакции в 1000 раз. Определить, как изменится энергия активации процесса.

4. Реакция в газовой фазе протекает по уравнению $2A + B = C + D$. Давление в системе увеличили в 3 раза и повысили температуру с 305 до 345 К. энергия активации 90000 Дж/моль. Как изменится скорость реакции?

14

1. Найти стандартную энтальпию образования жидкого бензола $\Delta H_{f,298}^0 C_6H_{6(ж)}$, если известно, что при сгорании 3.6 г бензола до $CO_{2(г)}$ и $H_2O_{(г)}$ выделяется 140.194 кДж теплоты. Стандартные энтальпии образования $\Delta H_{f,298}^0 CO_{2(г)}$ и $\Delta H_{f,298}^0 H_2O_{(г)}$ взять из прил.1.

2. Пользуясь справочными данными (прил.1), определить, в каком направлении пойдет процесс:



при $T=500$ К и $p_{CO_2} = 4$ атм.

3. При 1000 К катализатор понижает энергию активации на 30000 Дж/моль. Во сколько раз возрастает скорость реакции?

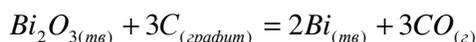
4. Как изменится скорость реакции $2A + 3B = C + D$, если в смеси [A] уменьшили в 3 раза и снизили температуру с 410 до 370 К? Энергия активации 180000 Дж/моль.

15

1. При сгорании 2 г $Al_{(тв)}$ до $Al_2O_{3(тв)}$ выделяется 61.9 кДж при стандартных условиях. Определить $\Delta H_{f,298}^0 Fe_2O_{3(мг)}$, если известен тепловой эффект реакции при стандартных условиях:



2. Для реакции:



определите, пользуясь справочными данными (прил.1), при $T=700$ К значение K_p и равновесное давление CO.

3. Энергия активации 105000 Дж/моль. Во сколько раз изменится скорость реакции, если повысить температуру от 350 до 400 К? Рассчитать температурный коэффициент реакции.

4. Во сколько раз следует уменьшить объем газовой смеси, в которой протекает реакция $2A + B = C + D$ при $T=750$ К, чтобы увеличение скорости

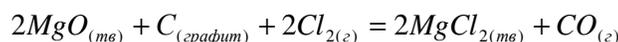
было равносильно введению катализатора, снижающего энергию активации на 20000 Дж/моль?

16

1. Вычислить изменение энтальпии при нагревании 2 кг кварца (SiO_2) от 298 до 800 К, если зависимость теплоемкости кварца от температуры [Дж/(моль·К)] выражается уравнением:

$$c_p^0 = 46.96 + 34.33 \cdot 10^{-3} T.$$

2. Пользуясь справочными данными (прил.1), определить изменение изобарно-изотермического потенциала при $T=800$ К и стандартном состоянии компонентов для реакции:



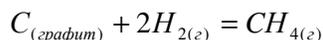
3. При удалении катализатора скорость реакции уменьшилась в 300 раз. На какое значение возросла энергия активации, если процесс протекал при $T=800$ К?

4. Скорость реакции $A + 2B = C$ при $C_A=0.3$ моль/л и $C_B=0.4$ моль/л при $T=310$ К, составляет $4 \cdot 10^{-3}$ моль/(л·с). Рассчитать константу скорости реакции при $T=350$ К, если температурный коэффициент скорости реакции равен 2.7.

17

1. Найти стандартную энтальпию образования газообразного пентана $\Delta H_{f,298}^0 C_5H_{12(г)}$, зная, что при сгорании 40 г пентана в стандартных условиях до $\text{CO}_{2(г)}$ и $\text{H}_2\text{O}_{(г)}$ выделяется 1964530 Дж теплоты. Стандартные энтальпии образования $\Delta H_{f,298}^0 \text{CO}_{2(г)}$ и $\Delta H_{f,298}^0 \text{H}_2\text{O}_{(г)}$ взять из прил.1.

2. Для реакции:



рассчитайте ΔG_{1000}^0 и определите, возможно ли образование метана при $T=1000$ К и $p=1$ атм, если молярная доля компонентов газа CH_4 , H_2 и N_2 , вступающего в соприкосновение с углеродом. Составляет 10, 80 и 10% соответственно? Необходимые термодинамические данные возьмите из прил.1.

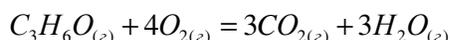
3. Реакция $2A + B = C + D$ протекает в растворе. Как изменится скорость реакции, если к 3 л раствора добавить 10 л воды?

4. Скорость реакции при $T=450$ К составляет $3.5 \cdot 10^{-2}$ моль/(л·с). Какой будет скорость этой реакции, если повысить температуру до 480 К и внести катализатор, снижающий энергию активации с 140000 до 120000 Дж/моль?

18

1. Определить стандартную энтальпию образования жидкого ацетона $\Delta H_{f,298}^0 C_3H_6O_{(l)}$, если известно, что при сгорании 11.6 г ацетона до $CO_{2(g)}$ и $H_2O_{(r)}$ при стандартных условиях выделяется 364.33 кДж теплоты. Стандартные энтальпии образования $\Delta H_{f,298}^0 CO_{2(g)}$ и $\Delta H_{f,298}^0 H_2O_{(l)}$ взять из прил.1.

2. Пользуясь справочными данными (прил.1) для реакции



рассчитайте $\Delta H_{900}^0, \Delta S_{900}^0$ и определите направление протекания процесса при $T=900$ К и парциальных давлениях (атм) компонентов: $p_{C_3H_6O} = p_{O_2} = 1$; $p_{CO_2} = p_{H_2O} = 0.1$.

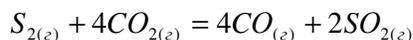
3. При $T=800$ К катализатор повышает скорость реакции в 540 раз. Определить, как изменится энергия активации.

4. Константа скорости реакции $2A + B = C$ равна 0.6, при начальных концентрациях реагентов: $C_A = 0.7$ моль/л и $C_B = 0.4$ моль/л. Рассчитать скорость реакции после того, как прореагирует 50% вещества В.

19

1. Найти стандартную энтальпию образования метана $\Delta H_{f,298}^0 CH_{4(g)}$, если известно, что при сгорании 3.2 г метана до $CO_{2(g)}$ и $H_2O_{(r)}$ при стандартных условиях выделяется 178.168 кДж теплоты. Стандартные энтальпии образования $\Delta H_{f,298}^0 CO_{2(g)}$ и $\Delta H_{f,298}^0 H_2O_{(l)}$ взять из прил.1.

2. Пользуясь справочными данными (прил.1), определите направление протекания процесса:



при $T=800$ К и стандартном состоянии компонентов реакции.

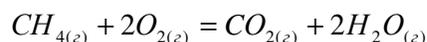
3. Константа скорости реакции при $T=400$ К равна 2.3, а при $T=440$ К – 8.2. Вычислите энергию активации и константу скорости при $T=500$ К.

4. На какое значение снижает энергию активации в газовой реакции $A + B = C$ при 450 К катализатор, если его действие равно увеличению скорости при повышении давления в 100 раз?

20

1. Найти стандартную энтальпию образования анилина $\Delta H_{f,298}^0 C_6H_5NH_{2(g)}$, если известно, что при сгорании 18.6 г анилина до $CO_{2(g)}$, $N_{2(g)}$ и $H_2O_{(g)}$ при стандартных условиях выделяется 681.802 кДж теплоты. Необходимые термодинамические данные взять из прил.1.

2. Пользуясь справочными данными (прил.1), определите направление протекания процесса:



при $T=850$ К и стандартном состоянии компонентов реакции.

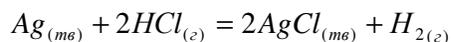
3. Энергия активации реакции при температуре $T=400$ К составляет 110000 Дж/моль. При введении катализатора она стала равной 90000 Дж/моль. Как изменится скорость реакции?

4. Реакция $A_{(g)} + 3B_{(g)} = C + D$ заканчивается при $T=500$ К за 1 ч. При повышении давления в системе в 3 раза и повышении температуры до 520 К реакция заканчивается за 10 с. Рассчитать температурный коэффициент скорости реакции.

21

1. Найти стандартную энтальпию образования сероуглерода $\Delta H_{f,298}^0 CS_{2(ж)}$, если известно, что при сгорании 15.2 г жидкого сероуглерода до $CO_{2(g)}$ и $SO_{2(g)}$ при стандартных условиях выделяется 215.022 кДж теплоты. Необходимые термодинамические данные взять из прил.1.

2. Для реакции:



определите направление протекания процесса при $T=713$ К и следующих парциальных давлениях (атм) компонентов: $p_{HCl} = 1$; $p_{H_2} = 0.01$. Необходимые термодинамические данные возьмите из прил.1.

3. При введении катализатора скорость реакции возросла в 10000 раз. На какое значение снизилась энергия активации при $T=1000$ К?

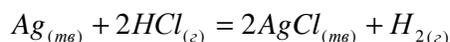
4. Газовая реакция $A + 2B = C + D$ заканчивается при $T=330$ К за 30 с. При понижении давления вдвое, а температуры до 300 К реакция стала заканчиваться за 20 мин. Рассчитайте энергию активации реакции.

22

1. Вычислить изменение энтальпии при нагревании 160 г газообразного метилового спирта $CH_3OH_{(г)}$ от 300 до 700 К, если зависимость теплоемкости метилового спирта от температуры [Дж/(моль·К)] выражается уравнением:

$$c_p^0 = 20.43 + 103.7 \cdot 10^{-3} T.$$

2. Пользуясь справочными данными (прил.1) для реакции:



рассчитайте ΔH_{900}^0 , ΔS_{900}^0 и K_p при $T=900$ К

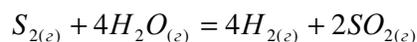
3. Концентрация реагента в начальный момент времени равна 0.5 моль/л. Через 20 с она уменьшилась на 0.01 моль/л. Определите среднее значение скорости и константу скорости, если реакция протекает по I порядку.

4. Реакция протекает по уравнению $2A_{(г)} + 2B_{(г)} = C + D$. Во сколько раз возрастет скорость реакции при $T=800$ К, если уменьшить объем системы вдвое и ввести катализатор, снижающий энергию активации на 20000 Дж/моль?

23

1. Найти стандартную энтальпию образования толуола $\Delta H_{f298}^0 C_6H_5CH_{3(ж)}$, если известно, что при сгорании 20 г толуола до $CO_{2(г)}$ и $H_2O_{(ж)}$ при стандартных условиях выделяется 849.130 кДж теплоты. Необходимые термодинамические данные взять из прил.1.

2. Пользуясь справочными данными (прил.1), определите направление протекания процесса:



при $T=730$ К и следующих парциальных давлениях (атм) компонентов $p_{S_2} = p_{H_2O} = 1$; $p_{SO_2} = 0.01$; $p_{H_2} = 0.1$.

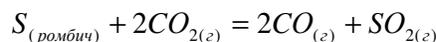
3. Константа скорости реакции при $T=500$ К составляет 4.2., а при $T=570$ К – $6.3 \cdot 10^3$. вычислить энергию активации и константу скорости реакции при $T=650$ К.

4. Скорость реакции $A + 2B = C + D$ при $T=380$ К и концентрациях $C_A=0.2$ моль/л и $C_B=0.1$ моль/л равна 0.45 моль/(л·с). Какова будет скорость

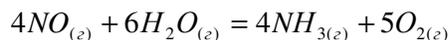
этой реакции при $T=420$ К, если температурный коэффициент скорости равен 2.35, а концентрации составят: $C_A=0.3$ моль/л и $C_B=0.2$ моль/л.

24

1. Пользуясь справочными данными (прил.1), определите ΔU_{298}^0 для реакции:



2. Для реакции:



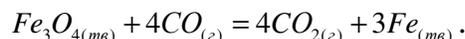
определить направление протекания процесса при $T=750$ К и исходных парциальных давлениях (атм) компонентов $p_{NO} = p_{H_2O} = 0.1$; $p_{NH_3} = p_{O_2} = 0.01$.

3. При введении катализатора скорость реакции при $T=750$ К увеличилась в 250 раз. Как изменилась энергия активации?

4. Реакция $2A + B = C + D$ заканчивается при $T=450$ К за 45 мин. Концентрацию веществ увеличили в 2 раза и повысили температуру до 480 К. реакция в новых условиях заканчивается за 20 с. Рассчитать энергию активации процесса.

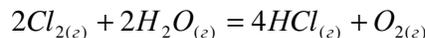
25

1. При восстановлении магнетита протекает следующая химическая реакция:



Определить, какой объем CO , измеренный при стандартных условиях, потребовался на восстановление магнетита по указанной реакции, если при этом выделилось 71.65 кДж теплоты. Необходимые термодинамические данные взять из прил.1.

2. Исходя из справочных данных (прил.1), вычислить константу равновесия для реакции:

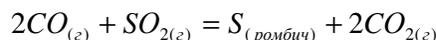


при $T=800$ К. Определить направление протекания этой реакции при $T=800$ К и следующих парциальных давлениях (атм) компонентов $p_{Cl_2} = p_{HCl} = 0.1$; $p_{H_2O} = 0.01$; $p_{O_2} = 1$.

3. Скорость реакции $A + 2B = C$ при $C_A = 0.2$ моль/л и $C_B = 0.3$ моль/л составляет $5.4 \cdot 10^{-5}$ моль/(л·с). Рассчитать скорость этой реакции при концентрациях $C_A = 0.3$ моль/л и $C_B = 0.4$ моль/л.
4. Реакция протекает по уравнению $2A + B = C + D$. Увеличили C_A вдвое и на 40°C повысили температуру. Во сколько раз увеличится скорость реакции, если температурный коэффициент скорости 2.7?

26

1. Пользуясь справочными данными (прил.1), рассчитать, сколько тепла поглощается при образовании 20 м^3 оксида углерода (II) из угля и оксида углерода (IV)?
3. Исходя из справочных данных (прил.1), вычислить константу равновесия и направление протекания процесса:

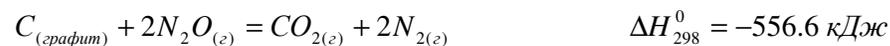


при $T = 650 \text{ K}$ и стандартном состоянии веществ.

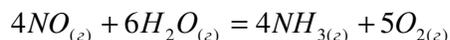
3. Реакция протекает по уравнению $2A + B = C + D$. Увеличили C_A втрое и на 20°C повысили температуру. Во сколько раз увеличится скорость реакции, если температурный коэффициент скорости 2.7?
4. При введении катализатора скорость реакции при $T = 800 \text{ K}$ возросла в 1200 раз. На какое значение изменилась энергия активации?

27

1. Определить стандартную энтальпию образования оксида азота (I) на основании следующих данных:



3. Исходя из справочных данных (прил.1), рассчитать ΔH_{500}^0 и ΔS_{500}^0 , а также определить направление протекания процесса:



при $T = 500 \text{ K}$ и стандартном состоянии веществ.

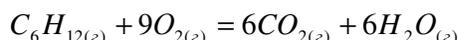
3. Скорость реакции $A + 3B = C$ при концентрациях $C_A = 0.2$ моль/л и $C_B = 0.1$ моль/л составляет $4.3 \cdot 10^{-5}$ моль/(л·с). Рассчитать скорость этой реакции при концентрациях $C_A = 0.3$ моль/л и $C_B = 0.2$ моль/л.

4. Энергия активации реакции 70000 Дж/моль. Рассчитать температурный коэффициент в интервале температур от 600 до 900 К.

28

1. Пользуясь справочными данными (прил.1), рассчитать, какое количество теплоты выделяется при сгорании 720 г угля в стандартных условиях, если 2/3 его сгорает до $CO_{2(g)}$ и 1/3 – до $CO_{(r)}$?

3. Исходя из справочных данных (прил.1), рассчитать K_p и ΔG_{900}^0 химической реакции:



при $T=900$ К и стандартном состоянии веществ.

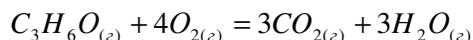
3. При некоторых условиях в равновесии находятся: 1 моль $SO_{2(g)}$, 5 моль $O_{2(g)}$ и 8 моль $SO_{3(g)}$. определить исходные количества сернистого газа и кислорода.

4. Энергия активации реакции 90000 Дж/моль. При $T=1200$ К реакция завершается за 1 час, а при введении катализатора – за 15 с. Рассчитать энергию активации в присутствии катализатора.

29

1. При восстановлении 7.95 г CuO углем (с образованием CO) поглощается 5.15 кДж теплоты. Рассчитать, какое количество теплоты надо затратить для получения таким способом 100 г металлической меди.

4. Исходя из справочных данных (прил.1), определить направление протекания процесса:



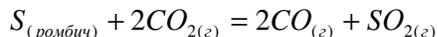
при $T=700$ К и парциальных давлениях (атм) компонентов: $p_{C_3H_6O} = p_{O_2} = 1$; $p_{CO_2} = p_{H_2O} = 0.1$.

3. Концентрации исходных веществ до начала реакции $2NO_{(g)} + O_{2(g)} = 2NO_{2(g)}$ были равны 0.02 и 0.01 моль/л соответственно. Как изменится скорость реакции в момент времени, когда концентрация кислорода стала равной 0.005 моль/л.

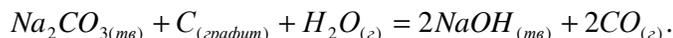
4. Температурный коэффициент скорости реакции в интервале температур 200-400 К равен 2.5. Рассчитать энергию активации процесса.

30

1. Пользуясь справочными данными (прил1), рассчитать тепловой эффект реакции, протекающий в стандартных условиях при постоянном объеме:



5. Исходя из справочных данных (прил.1), рассчитать K_p и ΔG_{600}^0 при $T=600$ К:



3. Константа равновесия реакции $H_2 + I_2 = 2HI$ при некоторой температуре равна 20. рассчитать концентрации водорода и йода в равновесной смеси, если исходные концентрации этих веществ одинаковы и составляют 0.5 моль/л.

4. Во сколько раз следует уменьшить объем газовой смеси, в которой при $T=800$ К протекает реакция $A + 2B = C + D$, чтобы увеличение скорости было равносильно введению катализатора, снижающего энергию активации на 25000 Дж/моль?

4. Жидкие растворы

4.1. Основные формулы для расчетов

Способы выражения концентрации:

$C_{\%}$ - массовая доля растворенного вещества, %;

C_m - молярная концентрация растворенного вещества, моль/л*;

C_m - моляльность раствора, моль/(1000 г растворителя);

$C_{H.}$ - молярная концентрация эквивалентов, или нормальность раствора, моль_{эkv}/л**;

x_i - молярная доля компонента;

T - титр раствора, г/см³.

Водородный показатель:

$$pH = -\lg[H^+] \text{ или } pH = -\lg C_{H^+}, \quad (4.1)$$

* В лабораториях молярную концентрацию часто называют молярностью и обозначают М.;

** В лабораториях, как правило, для обозначения нормальности используют Н.

где $[H^+]$, C_{H^+} - концентрация H^+ -ионов в растворе, моль/л.

Ионное произведение воды:

$$K_e = [H^+] \cdot [OH^-] = 10^{-14}.$$

Связь константы диссоциации K_d и степени диссоциации α :

$$K_d = \frac{\alpha^2 c}{1 - \alpha}, \quad (4.2)$$

где c - молярная концентрация, моль/л; при $\alpha \ll 1$: $K_d \approx \alpha^2 c$.

Понижение давления насыщенного пара растворителя над раствором неэлектролита Δp пропорционально молярной доле растворенного вещества x_i :

$$\Delta p = p_0 - p = p_0 \cdot x_i, \quad (4.3)$$

где p_0, p - давления пара чистого растворителя и раствора.

Понижение температуры замерзания раствора неэлектролита определяется выражением

$$\Delta t_{зам} = K_{кр} \cdot C_m, \quad (4.4)$$

где $K_{кр}$ - криоскопическая константа.

Повышение температуры кипения раствора неэлектролита определяется выражением

$$\Delta t_{кип} = K_{эб} \cdot C_m, \quad (4.5)$$

где $K_{эб}$ - эбулиоскопическая константа.

Для разбавленных растворов электролитов:

$$\frac{\Delta p_{он}}{\Delta p} = \frac{\Delta t_{кип.он}}{\Delta t_{кип}} = \frac{\Delta t_{зам.он}}{\Delta t_{зам}} = i, \quad (4.6)$$

где $\Delta p_{он}$, $\Delta t_{кип.он}$, $\Delta t_{зам.он}$ - величины, определенные опытным путем;

Δp , $\Delta t_{кип}$, $\Delta t_{зам}$ - величины, вычисленные теоретически по формулам (4.3)-(4.5);

i - изотонический коэффициент.

Изотонический коэффициент связан со степенью диссоциации электролита соотношением:

$$\alpha = \frac{i - 1}{n - 1},$$

где n - число ионов, образующих молекулу данного электролита.

Для малорастворимого электролита, диссоциирующего по уравнению



произведение растворимости имеет вид:

$$PP_{A_nB_m} = [A^{m+}]^n \cdot [B^{n-}]^m,$$

где $[A^{m+}]$, $[B^{n-}]$ - концентрации ионов, моль/л.

Условия растворения осадка:

$$[A^{m+}]^n \cdot [B^{n-}]^m < PP_{A_nB_m}.$$

Условия осаждения осадка:

$$[A^{m+}]^n \cdot [B^{n-}]^m > PP_{A_nB_m}.$$

4.2. Примеры типовых расчетов

Пример 4.1. Вычислить pH раствора, приготовленного из 1 л H_2O и 2 мл 96 %-го раствора H_2SO_4 ($\rho = 1/84$ г/см³).

Решение. Определим молярную концентрацию полученного раствора. В 100 г исходного раствора содержится 96 г H_2SO_4 , в $1.84 \cdot 2$ г (в 2 мл) этого раствора содержится x г H_2SO_4 :

$$x = \frac{1.84 \cdot 2 \cdot 96}{100} = 3.5328 \text{ г},$$

что составляет:

$$\frac{3.5328}{98} = 0.036 \text{ моль } H_2SO_4.$$

Молярная концентрация полученного раствора:

$$C_{H_2SO_4} = \frac{0.036}{1.002} = 0.0359 \text{ моль / л.}$$

Так как при диссоциации H_2SO_4 из 1 моль образуется 2 моль ионов H^+ , то:

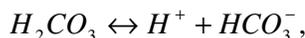
$$[H^+] = 2 \cdot 0.0359 = 0.0718 \text{ моль / л.}$$

По формуле (4.1) определяем pH:

$$pH = -\lg 0.0718 = 1.44.$$

Пример 4.2. Вычислить константу диссоциации H_2CO_3 по первой ступени K_{d1} , если степень диссоциации H_2CO_3 в 0.01 молярном растворе равна 0.0063.

Решение. Уравнение диссоциации по первой ступени имеет вид:



следовательно,

$$K_{д1} = \frac{[H^+] \cdot [HCO_3^-]}{[H_2CO_3]}.$$

По уравнению диссоциации:

$$[H^+] = [HCO_3^-] = 6.3 \cdot 10^{-5} \text{ моль / л};$$

$$[H_2CO_3] = c - \alpha \cdot c = c(1 - \alpha) = 0.01(1 - 0.0063) = 9.937 \cdot 10^{-3} \text{ моль / л}.$$

Тогда:

$$K_{д1} = \frac{(6.3 \cdot 10^{-5})^2}{9.937 \cdot 10^{-3}} = 3.99 \cdot 10^{-7}$$

или по соотношению (4.2):

$$K_{д1} = 0.0063^2 \cdot 0.01 = 3.97 \cdot 10^{-7}.$$

Пример 4.3. Вычислить давление пара раствора сахара, содержащего 0.4 моль сахара в 900 г воды. Давление пара чистой воды при 20°C равно 2337.8 Па.

Решение. Вычисляем, сколько молей воды содержится в 900 г. масса 1 моль воды равна 18 г, отсюда число молей растворителя равно:

$$n_{H_2O} = 900 / 18 = 50 \text{ моль}.$$

Число молей растворенного вещества равно 0.4, поэтому x сахара в растворе составит:

$$x_{сахара} = \frac{0.4}{0.4 + 50} = 0.0079.$$

По формуле (4.3) определяем понижение давления пара:

$$\Delta p = 2337.8 \cdot 0.0079 = 18.55 \text{ Па},$$

тогда давление пара раствора составит:

$$p = p_0 - \Delta p = 2337.8 - 18.55 = 2319.25 \text{ Па}.$$

Пример 4.5. Температура кипения 3.2 %-го раствора $BaCl_2$ – 100.208°C. вычислить степень диссоциации соли в растворе. $K_{э6} H_2O = 0.52$. Плотность раствора принять за единицу.

Решение. По формуле (4.5) вычислим повышение температуры без учета диссоциации соли:

$$\Delta t_{кип} = \frac{0.52 \cdot 3.2 \cdot 1000}{208 \cdot 96.8} = 0.082^\circ C.$$

По формуле (4.6) определим значение изотонического коэффициента:

$$i = \frac{0.208}{0.082} = 2.54.$$

По формуле (4.7) определим значение степени диссоциации α :

$$\alpha = \frac{2.54 - 1}{3 - 1} = 0.77.$$

Пример 4.6. Произведение растворимости $PbSO_4$ равно $1.6 \cdot 10^{-8}$ при $25^\circ C$. Вычислить концентрацию ионов SO_4^{2-} в насыщенном растворе и растворимость $PbSO_4$ граммах на литр.

Решение. Уравнение диссоциации $PbSO_4$ имеет вид:



значит по формуле (4.8):

$$PP_{PbSO_4} = [Pb^{2+}] \cdot [SO_4^{2-}].$$

Обозначим молярную концентрацию насыщенного раствора $PbSO_4$ через x . Так как растворенная часть соли нацело диссоциирована, то:

$$[Pb^{2+}] = [SO_4^{2-}] = x.$$

Подставим x в уравнение (4.8):

$$x^2 = 1.6 \cdot 10^{-8},$$

отсюда

$$x = \sqrt{1.6 \cdot 10^{-8}} = 1.26 \cdot 10^{-4} \text{ моль / л.}$$

Следовательно, $[SO_4^{2-}] = 1.26 \cdot 10^{-4}$ моль/л. Растворимость $PbSO_4$ также составит $1.26 \cdot 10^{-4}$ моль/л, согласно уравнению диссоциации. Вычислим растворимость в г/л. Так как молярная масса $M_{PbSO_4} = 207.2 + 32 + 16 \cdot 4 = 303.2$ г/моль, то растворимость $PbSO_4$ составит:

$$S = M \cdot 1.26 \cdot 10^{-4} = 303.2 \cdot 1.26 \cdot 10^{-4} = 3.82 \cdot 10^{-2} \text{ г / л.}$$

Пример 4.7. Образуется ли осадок хлорида свинца $PbCl_2$ при смешении равных объемов $0.02M$ растворов хлористого кальция и нитрата свинца? $PP_{PbCl_2} = 2.0 \cdot 10^{-5}$ при $25^\circ C$.

Решение. Определим концентрации ионов $[Pb^{2+}]$ и $[Cl^-]$ в растворе. Объем смеси в 2 раза больше, а концентрация ионов в 2 раза меньше, чем в исходных растворах. Следовательно:

$$[Pb^{2+}] = [Pb(NO_3)_2] = 0.02 \cdot 0.5 = 10^{-2} \text{ моль / л,}$$

$$[Cl^-] = 2[CaCl_2] = 2 \cdot 0.02 \cdot 0.5 = 2 \cdot 10^{-2} \text{ моль / л,}$$

откуда

$$[Pb^{2+}] \cdot [Cl^-]^2 = 10^{-2} \cdot (2 \cdot 10^{-2})^2 = 4 \cdot 10^{-6}.$$

Согласно (4.9), осадок не образуется, так как:

$$4 \cdot 10^{-6} < PP_{PbCl_2} = 2.0 \cdot 10^{-5}.$$

4.3. Варианты заданий для самостоятельной работы.

1

1. Вычислить молярную концентрацию, нормальность и моляльность 6 %-го раствора H_3PO_4 ($\rho = 1.031 \text{ г/см}^3$).
2. Определить константу диссоциации HNO_2 , если pH 0.1 н раствора равен 3.
3. Образуется ли осадок хлорида свинца, если к 0.1 н раствору $Pb(NO_3)_2$ добавить равный объем 0.4 н раствора $NaCl$? $PP_{PbCl_2} = 2.0 \cdot 10^{-5}$ при $25^\circ C$.
4. Вычислить температуру кипения 5 %-го водного раствора сахара $C_{12}H_{22}O_{11}$ ($K_{\text{об } H_2O} = 0.52$).
5. Почему раствор $NaHCO_3$ имеет слабощелочную реакцию?

2

1. Сколько миллилитров 0.1 н раствора г H_2SO_4 потребуется для полной нейтрализации 50 мл 12 %-го раствора KOH ($\rho = 1.10 \text{ г/см}^3$).
2. Вычислить pH 3 %-го раствора $NaOH$ ($\rho = 1.328 \text{ г/см}^3$, $\alpha = 1$).
3. Образуется ли осадок сульфата серебра, если к 0.02M раствору $AgNO_3$ добавить равный объем 0.5M раствора H_2SO_4 ? $PP_{Ag_2SO_4} = 1.23 \cdot 10^{-5}$ при $25^\circ C$.
4. Вычислить температуру замерзания раствора, содержащего 54 г глюкозы $C_6H_{12}O_6$ в 250 г воды ($K_{\text{кр } H_2O} = 1.86$).
5. Почему раствор K_3PO_4 имеет щелочную реакцию?

3

1. На нейтрализацию 50 мл раствора H_2SO_4 потребовалось 22.5 мл 0.304 н раствора $NaOH$. Определить молярную концентрацию и титр кислоты.
2. Вычислить молярную концентрацию раствора HCN , если $K_d = 7 \cdot 10^{-10}$, а pH=5.

3. $PP_{Ag_3PO_4} = 1.8 \cdot 10^{-18}$, $PP_{Ag_2CrO_4} = 4.05 \cdot 10^{-12}$ при $25^\circ C$. Какая из этих солей даст меньшую концентрацию Ag^+ в насыщенном растворе?
4. При растворении 0.94 г фенола в 50 г спирта температура кипения повысилась на $0.232^\circ C$. Определите молярную массу фенола ($K_{\text{сб}} = 1.16$).
5. Почему раствор $Ni(NO_3)_2$ имеет кислую реакцию?

4

1. Для осаждения в виде $AgCl$ всего серебра, содержащегося в 200 мл раствора $AgNO_3$, потребовалось 25 мл 0.8 н раствора HCl . Чему равна молярная концентрация раствора $AgNO_3$? Определить массу соли (в граммах), выпавшей в осадок.
2. Определить степень диссоциации 0.1М раствора гидроксида аммония, если $K_d = 2 \cdot 10^{-5}$.
3. В 1 л раствора содержится по 20 мг Ag^+ и Pb^{2+} . Какая соль выпадет в осадок раньше, если к этому раствору по каплям приливать K_2CrO_4 ? $PP_{Ag_2CrO_4} = 4.0 \cdot 10^{-12}$, $PP_{PbCrO_4} = 1.8 \cdot 10^{-14}$ при $25^\circ C$.
4. Вычислить, на сколько градусов понизится температура замерзания бензола, если в 100 г бензола растворить 4 г нафталина $C_{10}H_8$ ($K_{\text{кр}} = 5.1$).
5. Почему раствор Na_3PO_4 имеет сильнощелочную реакцию?

5

1. Какое вещество и в каком количестве взято в избытке, если к 200 мл 4 %-го раствора HCl ($\rho = 1.018 \text{ г/см}^3$) прибавили 50 мл 2 н раствора $NaOH$?
2. Вычислить рН 1.2 %-го раствора KOH ($\rho = 1.01 \text{ г/см}^3$, $\alpha = 1$).
3. Найти массу $CaCO_3$, содержащегося в 100 мл его насыщенного раствора. $PP_{CaCO_3} = 5 \cdot 10^{-9}$ при $25^\circ C$.
4. Вычислить давление пара раствора, содержащего 45 г глюкозы $C_6H_{12}O_6$ в 720 г воды (при $25^\circ C$). Давление пара воды при указанной температуре составляет $3.67 \cdot 10^3 \text{ Па}$.
5. В какой цвет будет окрашен лакмус в водных растворах KCN и Na_2SO_4 ? Почему?

6

1. Вычислить нормальность и моляльность 20 %-го раствора CaCl_2 ($\rho = 1.178 \text{ г/см}^3$) Какой объем воды следует прибавить к 1 этого раствора для получения 10 %-го раствора CaCl_2 ?
2. Рассчитать концентрацию ионов H^+ и степень диссоциации в 0.02 н растворе CH_3COOH , если $K_d = 5.2 \cdot 10^{-5}$.
3. Вычислить концентрацию ионов OH^- , при которой возможно осаждение $\text{Mg}(\text{OH})_2$ из 0.1М раствора MgSO_4 . $PP_{\text{Mg}(\text{OH})_2} = 5 \cdot 10^{-12}$ (при 25°C).
4. Вычислить температуру замерзания водного раствора мочевины $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$, в котором на 100 моль воды приходится 1 моль растворенного вещества ($K_{\text{кр } \text{H}_2\text{O}} = 1.86$).
5. Написать реакции гидролиза в ионно-молекулярной форме для соли KBr и CaCl_2 .

7

1. К 1 л воды прибавили 1 л 30 %-го раствора щелочи ($\rho = 1.328 \text{ г/см}^3$). Рассчитать массовую долю и молярную концентрацию NaOH в полученном растворе.
2. Вычислить степень диссоциации и концентрацию H^+ ионов в 0.1М растворе H_2S , если $K_{d1} = 8.7 \cdot 10^{-8}$ (первая ступень диссоциации).
3. Определить концентрацию OH^- в растворе, необходимую для образования осадка $\text{Fe}(\text{OH})_3$ из 0.1М раствора FeCl_3 . $PP_{\text{Fe}(\text{OH})_3} = 3.8 \cdot 10^{-38}$ при 25°C .
4. Вычислить температуру кипения раствора, содержащего 100 г сахара $\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$ в 750 г воды ($K_{\text{эб } \text{H}_2\text{O}} = 0.52$).
5. Какова будет окраска индикатора метилового оранжевого в растворе NH_4Br ? Почему?

8

1. К 1 л воды прибавили 50 мл 48 %-го раствора серной кислоты ($\rho = 1.38 \text{ г/см}^3$). Рассчитать массовую долю кислоты, нормальность и титр полученного раствора.
2. Вычислить степень диссоциации и концентрацию H^+ ионов в 0.1М растворе HBrO , если $K_d = 2.1 \cdot 10^{-9}$.

3. Определить концентрацию Ag^+ в насыщенном растворе AgCl , содержащем кроме AgCl избыток ионов Cl^- . Концентрация ионов хлора в данном растворе $6.0 \cdot 10^{-3}$ моль/л. $PP_{\text{AgCl}} = 1.8 \cdot 10^{-10}$ при 25°C .
4. Температура кипения ацетона 56.1°C , а его эбуллиоскопическая константа $K_{\text{эб}} = 1.73$. Вычислить температуру кипения 8 %-го раствора глицерина $\text{C}_3\text{H}_8\text{O}_3$ в ацетоне.
5. Написать реакции гидролиза в ионно-молекулярной форме для солей NH_4Cl и Na_2S .

9

1. Какой объем 10 %-го раствора HCl ($\rho = 1.049$ г/см³) надо взять для приготовления 1 л 2 н раствора HCl ?
2. Вычислить степень диссоциации и значение водородного показателя в 0.1 н растворе HCN , если $K_{\text{д}} = 7 \cdot 10^{-10}$.
3. Во сколько раз уменьшится концентрация Ag^+ в насыщенном растворе AgCl , если к нему прибавить столько соляной кислоты, чтобы концентрация HCl в растворе оказалась равной 0.03М. $PP_{\text{AgCl}} = 1.8 \cdot 10^{-10}$ при 25°C .
4. При растворении 3.24 г серы в 40 г бензола температура кипения последнего повысилась на 0.81°C . из скольких атомов состоит молекула серы ($K_{\text{эб}} = 2.57$).
5. Написать реакции гидролиза в ионно-молекулярной форме для солей ZnBr_2 и K_2S .

10

1. Для приготовления 0.5 л 1 н раствора HNO_3 взяли 87.1 мл раствора HNO_3 неизвестной концентрации ($\rho = 1.205$ г/см³). Определить массовую долю кислоты.
2. Вычислить степень диссоциации и значение водородного показателя в 0.1М растворе H_2O_2 , если $K_{\text{д1}} = 2 \cdot 10^{-12}$.
3. $PP_{\text{SrSO}_4} = 3.2 \cdot 10^{-7}$ (при 25°C). Образуется ли осадок – SrSO_4 , если смешать равные объемы 0.001 н растворов $\text{Sr}(\text{NO}_3)_2$ и Na_2SO_4 ?
4. При растворении 41 г серы в 400 г диэтилового эфира температура кипения последнего повысилась на 0.81°C . из скольких атомов состоит молекула серы ($K_{\text{эб}} = 2.02$).

5. В какой цвет будет окрашен лакмус в водных растворах FeCl_2 и KCN ? Почему?

11

1. Какой объем 40 %-го раствора H_3PO_4 ($\rho = 1.25 \text{ г/см}^3$) надо взять для приготовления 2 л 1 н раствора?
2. Вычислить степень диссоциации и рН в 0.1 н растворе HNO_2 , если $K_d = 5 \cdot 10^{-4}$.
3. $PP_{\text{AgCl}} = 1.8 \cdot 10^{-10}$ при 25°C . Рассчитать, сколько AgCl в граммах содержится в 500 мл насыщенного раствора.
4. В каком количестве молей воды следует растворить 0.02 моль некоторого вещества неэлектролита для получения раствора, температура кипения которого 100.026°C ? ($K_{\text{сб}} = 0.52$).
5. Какие из перечисленных солей подвергаются гидролизу: NaCN , NaNO_3 , Na_2CO_3 . Написать реакции гидролиза в ионно-молекулярном виде.

12

1. К 300 мл 10 %-го раствора HCl ($\rho = 1.049 \text{ г/см}^3$) прибавили 300 г воды. Определить массовую долю HCl и молярную концентрацию полученного раствора.
2. Вычислить рН и молярную концентрацию раствора NH_4OH , если $K_d = 1.8 \cdot 10^{-5}$, а степень диссоциации $\alpha = 0.0431$.
3. $PP_{\text{AgCl}} = 1.8 \cdot 10^{-10}$ при 25°C . Рассчитать, сколько AgCl в граммах содержится в 2 л насыщенного раствора.
4. Вычислить массовую долю сахара $\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$ в растворе, температура кипения которого 100.13°C , а $K_{\text{сб}} = 0.52$.
5. В какой цвет будет окрашен лакмус в водных растворах KCl и NiCl_2 ? Почему?

13

1. Какой объем 35 %-го раствора NaOH ($\rho = 1.38 \text{ г/см}^3$) надо взять для приготовления 1 л 0.5 н раствора?
2. Вычислить рН и молярную концентрацию раствора уксусной кислоты, если $K_d = 1.8 \cdot 10^{-5}$, а степень диссоциации $\alpha = 0.95\%$.

3. $PP_{CaCO_3} = 2.0 \cdot 10^{-9}$ при $25^\circ C$. Рассчитать растворимость этой соли в граммах.
4. Водно-спиртовой раствор, содержащий 15% спирта, кристаллизуется при температуре $t = -10.26^\circ C$. найти молярную массу спирта, если плотность раствора 0.97 г/см^3 , $K_{кр} = 1.86$.
5. В какой цвет будет окрашен фенолфталеин в водных растворах NH_4Br и KBr ? Почему?

14

1. К 500 мл 20 %-го раствора $NaCl$ ($\rho = 1.152 \text{ г/см}^3$) прибавили 2 л воды. Определить массовую долю $NaCl$ в полученном растворе.
2. Определить K_d и pH для 0.05 н раствора HNO_2 , если $\alpha = 10\%$.
3. Определить $PP_{MgNH_4PO_4}$, если в 300 мл насыщенного водного раствора содержится $2.58 \cdot 10^{-3}$ г этой соли.
4. Вычислить температуру замерзания 10 %-го раствора глицерина $C_3H_8O_3$ в воде, если $K_{кр} = 1.86$.
5. Написать уравнения реакции гидролиза водных растворов солей: $(CH_3COO)_2Pb$ и KNO_2 .

15

1. Для приготовления 25 мл разбавленного раствора H_2SO_4 взяли 5 мл 70 %-го раствора H_2SO_4 ($\rho = 1.622 \text{ г/см}^3$). Определить молярную концентрацию и нормальность полученного раствора.
2. Вычислить K_d и pH для 0.1 н раствора CH_3COOH , если $\alpha = 1.3\%$.
3. Определить нормальность и молярную концентрацию насыщенного раствора $Co(OH)_2$. $PP_{Co(OH)_2} = 1.6 \cdot 10^{-18}$ при $18^\circ C$.
4. Раствор, содержащий 5.4 г некоторого вещества-неэлектролита в 200 г воды, кипит при температуре $100.078^\circ C$. Вычислить молекулярную массу растворенного вещества, если $K_{эб} = 0.52$.
5. Какие из солей: Na_2CO_3 , $FeCl_3$ и Na_2SO_4 при растворении в воде создают кислую реакцию среды? Ответ подтвердите уравнениями реакции гидролиза.

16

1. Вычислить молярную концентрацию и моляльность 4 %-го раствора HCl ($\rho=1.018 \text{ г/см}^3$). Какой объем воды следует прибавить к 1 л этого раствора для получения 2 %-го раствора?
2. Вычислить pH 0.2 н раствора HF, если $K_d=7.1 \cdot 10^{-4}$.
3. Выпадет ли осадок AgCl, если к 10 мл 0.01M раствора AgNO₃ прибавить 10 мл 0.01M раствора NaCl? $PP_{\text{AgCl}}=1.8 \cdot 10^{-10}$ при 25°C.
4. Температура замерзания бензола 5.5°C, а раствор 6.15 г нитробензола в 400 г бензола замерзает при $t = 4.86^\circ\text{C}$. Вычислить молярную массу нитробензола, если $K_{кр} = 5.12$.
5. Какие из солей: Al₂(SO₄)₃, KCl, K₂CO₃ – подвергаются гидролизу? Составьте молекулярные и ионные реакции гидролиза.

17

1. К 1 л воды прибавили 100 мл раствора H₂SO₄ ($\rho=1.38 \text{ г/см}^3$). Вычислить массовую долю H₂SO₄ и молярную концентрацию исходной кислоты, если получили раствор 3 %-ой концентрации.
2. Определить концентрацию ионов H⁺ и OH⁻ в 0.05M растворе HNO₂, если $K_d=5 \cdot 10^{-4}$.
3. $PP_{\text{BaCrO}_4} = 1.6 \cdot 10^{-10}$ при 25°C. Рассчитайте растворимость этой соли в граммах.
4. Раствор, приготовленный из 2 кг этилового спирта C₂H₅OH и 8 кг H₂O, залили в радиатор автомобиля. Вычислить температуру замерзания раствора, если $K_{кр} = 1.86$.
5. Какое значение pH (больше или меньше 7) имеют растворы солей K₂SO₃, ZnCl₂. Составьте молекулярные и ионные реакции гидролиза.

18

1. К 0.5 л 6 %-го раствора HCl ($\rho=1.03 \text{ г/см}^3$) прибавили 1 л воды. Вычислить молярную концентрацию и титр полученного раствора.
2. Вычислить pH 1 %-го раствора уксусной кислоты, если плотность раствора 1.008 г/см³, а $K_d=1.8 \cdot 10^{-5}$.
3. Сколько граммов иона Ag⁺ содержится в 1 л насыщенного раствора Ag₂SO₄? $PP_{\text{Ag}_2\text{SO}_4} = 2.2 \cdot 10^{-5}$ при 25°C.

4. Какую массу сахарозы $C_{12}H_{22}O_{11}$ надо растворить в 100 г воды, чтобы понизить температуру кристаллизации на $1^\circ C$? $K_{кр} = 1.86$.
5. Напишите уравнения реакций гидролиза солей $Mg(NO_3)_2$ и K_2SO_3 .

19

1. Какой объем 84 %-го раствора H_2SO_4 ($\rho = 1.775 \text{ г/см}^3$) потребуется для приготовления 1 л 0.1 н раствора?
2. Вычислить концентрацию ионов H^+ в 4 %-ом растворе HCl , если плотность раствора 1.018 г/см^3 , а $\alpha = 100\%$.
3. $PP_{AgBr} = 6 \cdot 10^{-13}$ при $25^\circ C$. Рассчитайте растворимость этой соли в граммах.
4. При растворении 2.76 г глицерина в 200 г воды температура замерзания понизилась на $0.279^\circ C$. Определить молярную массу глицерина. $K_{кр} = 1.86$.
5. Напишите уравнения реакций гидролиза солей $(NH_4)_2SO_4$ и K_2S .

20

1. Определите нормальность и молярную концентрацию 43 %-го раствора соли $(NH_4)_2SO_4$ ($\rho = 1.25 \text{ г/см}^3$).
2. Вычислить рН 0.15 н раствора H_2CO_3 , учитывая диссоциацию первой ступени, если $K_{д1} = 3 \cdot 10^{-7}$.
3. Растворимость Ag_3PO_4 при $20^\circ C$ равна $2.0 \cdot 10^{-3} \text{ г/л}$. Вычислить PP при $20^\circ C$.
4. Раствор, содержащий 2.7 г фенола C_6H_5OH в 75 г бензола, замерзает при $3.5^\circ C$, тогда как чистый бензол замерзает при $5.5^\circ C$. вычислить криоскопическую константу бензола..
5. Какие значения рН (больше или меньше 7) имеют растворы солей NH_4Cl и CH_3COONH_4 ? Составьте молекулярные и ионные реакции гидролиза.

21

1. К 200 мл 12 %-го раствора KOH ($\rho = 1.1 \text{ г/см}^3$) прибавили 500 мл H_2O . Вычислить нормальность и массовую долю KOH полученного раствора.
2. Определить молярную концентрацию раствора NH_4OH , если рН=11, а $K_{д} = 1.8 \cdot 10^{-5}$.

3. $PP_{CaC_2O_4} = 2 \cdot 10^{-9}$ при $25^\circ C$. Рассчитайте в граммах, сколько CaC_2O_4 содержится в 500 мл насыщенного раствора.
4. Раствор, содержащий 200 г этилового спирта C_2H_5OH в 800 г воды, замерзает при $t = -10.1^\circ C$. Вычислить криоскопическую константу H_2O .
5. В какой цвет будет окрашен фенолфталеин в водных растворах $NaCN$ и K_2SO_4 ? Почему?

22

1. Определите нормальность и титр 18 %-го раствора Na_2CO_3 ($\rho = 1.19 \text{ г/см}^3$).
2. Вычислить pH 0.01 н раствора HCN , если $K_d = 7 \cdot 10^{-10}$.
3. Растворимость CaC_2O_4 при $18^\circ C$ равна $4.2 \cdot 10^{-5} \text{ г/л}$. Вычислить PP при указанной температуре.
4. Нафталин плавится при $80.1^\circ C$. При растворении 0.1106 г антраиловой кислоты в 20 г нафталина точка плавления понижается на $0.278^\circ C$. Вычислить значение криоскопической константы. Молярная масса кислоты 137.12 г/моль .
5. Почему раствор K_3PO_4 имеет pH больше 7, а NH_4Cl меньше 7?

23

1. К 200 мл 18 %-го раствора Na_2CO_3 ($\rho = 1.19 \text{ г/см}^3$) прибавили 500 мл H_2O . Определить титр и нормальность полученного раствора.
2. Водородный показатель 0.1 н раствора сероводородной кислоты (H_2S) равен 4.03. Учитывая диссоциацию по первой ступени, вычислить K_{d1} .
3. Определите массу ионов I^- , содержащихся в 1 л насыщенного раствора PbI_2 , если при $25^\circ C$ $PP_{PbI_2} = 8.0 \cdot 10^{-9}$?
4. Вычислить массовую долю глицерина $C_3H_8O_3$ в воде, температура замерзания которого $t = -2.25^\circ C$, а $K_{кр} = 1.86$.
5. Напишите молекулярные и ионные реакции гидролиза солей Na_2S , KCl , K_2CO_3 .

24

1. Какой объем 10 %-го раствора HBr ($\rho = 1.073 \text{ г/см}^3$) надо взять для приготовления 1 л 1 н раствора?

2. Вычислить рН и степень диссоциации 0.1 н раствора NH_4OH , если $K_{\text{д}}=1.8 \cdot 10^{-5}$.
3. $PP_{\text{MgCO}_3}=1.0 \cdot 10^{-5}$ при 25°C . Определить растворимость этой соли в граммах.
4. Вычислить температуру замерзания 7 %-го раствора сахара $\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$ в воде, если $K_{\text{кр}}=1.86$.
5. Какие из солей: Na_2CO_3 , KCl , CuCl_2 , Na_2SiO_3 при растворении в воде создают щелочную среду?

25

1. Какой объем 0.1 н раствора AgNO_3 потребуется для реакции обмена с 10 мл 6 %-го раствора HCl ($\rho=1.03 \text{ г/см}^3$)?
2. Вычислить рН 0.1М раствора $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$ (щавелевой кислоты), учитывая диссоциацию по первой ступени, если $K_{\text{д}1}=3.5 \cdot 10^{-2}$.
3. Для насыщения 200 мл воды требуется 0.71 мг BaCrO_4 при 25°C . Рассчитать PP_{BaCrO_4} при указанной температуре.
4. Вычислить температуру замерзания водного раствора мочевины $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$, в котором на 100 моль воды приходится 1 моль мочевины, если $K_{\text{кр}}=1.86$.
5. Какие из солей: NH_4NO_3 , KNO_2 , K_2CO_3 при растворении в воде создают кислую среду?

26

1. В 50 мл раствора хлорида кальция ($\rho=1.015 \text{ г/см}^3$) содержится 1.02 г хлорида кальция. Найти массовую долю, молярную концентрацию CaCl_2 и моляльность раствора.
2. Вычислить рН 0.1М раствора HNO_2 , если $K_{\text{д}1}=5 \cdot 10^{-4}$.
3. Определить массу серебра, содержащегося в 500 мл насыщенного раствора AgCl . $PP_{\text{AgCl}}=1.8 \cdot 10^{-10}$ при 25°C .
4. Вычислить температуру кипения раствора, содержащего 200 г сахара $\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$ в 1500 г воды, если $K_{\text{эб}}=0.52$.
5. Каким способом можно сместить равновесие, чтобы довести гидролиз $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$ до полного разложения соли?

27

1. Какую массу 15 %-го раствора можно приготовить из 50 г 40 %-го раствора и 2 %-го раствора?
2. Вычислить степень диссоциации, α , рН в 0.25М растворе H_2O_2 , если $K_{д1}=2 \cdot 10^{-12}$.
3. Выпадет ли осадок $AgCl$, если к 5 мл 0.01М раствора $AgNO_3$ прибавить 10 мл 0.02М раствора HCl . $PP_{AgCl} = 1.8 \cdot 10^{-10}$ при $25^\circ C$.
4. Вычислить температуру замерзания 40 %-го водного раствора этанола C_2H_5OH , если $K_{кр} = 1.86$.
5. Среди перечисленных солей укажите те, которые в растворе подвергаются гидролизу: KNO_3 , $Cr_2(SO_4)_3$, AlI_3 , $CaCl_2$. Составьте уравнения тех реакций гидролиза, которые осуществимы.

28

1. Чему равны нормальность и молярная концентрация 10.4 %-го раствора KOH ($\rho=1.08$ г/см³)?
2. Вычислить молярную концентрацию раствора муравьиной кислоты $HCOOH$, если его рН=3, а $K_{д}=2.1 \cdot 10^{-4}$.
3. В каком объеме насыщенного раствора Ag_3PO_4 содержится 0.003 г ионов серебра? $PP = 1.8 \cdot 10^{-18}$ при $25^\circ C$.
4. При растворении 0.2 моль $AgNO_3$ в 1.7 л воды получается раствор, температура кипения которого $100.098^\circ C$. Вычислить степень диссоциации соли. $K_{сб} = 0.52$.
5. Реакция в растворе между $AlCl_3$ и Na_2S протекает так:



Объясните ее протекание с учетом гидролиза.

29

1. Какой объем 0.1 н раствора $AgNO_3$ необходим для обменной реакции с 0.5 л 0.3 н раствора $AlCl_3$?
2. Вычислить рН 0.1 н раствора HCN , к 1 л которого добавлено 0.1 моль KCN , диссоциирующего при этом на 90%. $K_{д HCN} = 7.2 \cdot 10^{-10}$.
3. $PP_{FeS} = 5.0 \cdot 10^{-18}$ при $25^\circ C$. Вычислить растворимость FeS при указанной температуре и концентрации каждого из ионов.

4. Степень диссоциации соли в растворе, полученном из 8.5 г AgNO_3 и 425 г воды, составляет 0.6. Вычислить температуру замерзания раствора. $K_{кр} = 1.86$.
5. Чем гидролиз $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$ отличается от гидролиза K_2S ?

30

1. Определить объем 27 %-го раствора KOH ($\rho = 1.25 \text{ г/см}^3$), который необходимо прибавить к избытку хлорида аммония, чтобы при 17°C и давлении $1.013 \cdot 10^5 \text{ Па}$ получить 38 л аммиака?.
2. Вычислить рН 0.05 %-го раствора NaOH . Плотность раствора и степень диссоциации NaOH считать равными единице.
3. $PP_{\text{Sb}_2\text{S}_3} = 3 \cdot 10^{-27}$ при 25°C . Вычислить растворимость Sb_2S_3 при указанной температуре и концентрации каждого из ионов.
4. Раствор сахара $\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$ в воде показывает повышение температуры кипения на 0.312°C . Вычислить величину понижения температуры замерзания этого же раствора. $K_{кр} = 1.86$, $K_{зб} = 0.52$
5. При реакции в водном растворе между FeCl_3 и Na_2CO_3 образуется не $\text{Fe}_2(\text{CO}_3)_3$, а $\text{Fe}(\text{OH})_3$. Объясните это явление.

5. Электрохимия

5.1. Основные формулы для расчетов

Термодинамика гальванического элемента

$$A = nFE, \quad (5.1)$$

где A - работа, производимая гальваническим элементом при расходовании

1 моля вещества, Дж;

n - заряд иона металла;

F - число Фарадея, равное 96 500 Кл или 26.8 Ахч;

E - ЭДС гальванического элемента, В.

$$\Delta G_T^0 = -A = -nFE^0, \quad (5.2)$$

где ΔG_T^0 - изменение энергии Гиббса реакции, протекающей в гальваническом элементе, Дж;

$$\Delta S_T^0 = nF \frac{dE}{dT}, \quad (5.3)$$

где ΔS_T^0 - изменение энтропии реакции, протекающей в гальваническом элементе, Дж/К;

$\frac{dE}{dT}$ - температурный коэффициент ЭДС, В/К;

$$\Delta H_T^0 = \Delta G_T^0 + TnF \frac{dE}{dT}, \quad (5.4)$$

где ΔH_T^0 - изменение энтальпии при работе гальванического элемента, Дж.

Электродные потенциалы и ЭДС гальванического элемента

$$E = \varphi_+ - \varphi_-, \quad (5.5)$$

где φ_+ - электродный потенциал положительного электрода, В;

φ_- - электродный потенциал отрицательного электрода, В.

Зависимость электродных потенциалов и ЭДС гальванического элемента от концентрации электролита выражается следующей формулой:

$$\varphi = \varphi^0 + \frac{0.059}{n} \lg [Me^{n+}], \quad (5.6)$$

где φ^0 - стандартный электродный потенциал, В;

$[Me^{n+}]$ - концентрация ионов металла в электролите, моль/л;

$$E = E^0 + \frac{0.059}{n} \lg \frac{[Me_2^{n+}]}{[Me_1^{n+}]}, \quad (5.7)$$

где $[Me_1^{n+}]$ - концентрация металла, имеющего более отрицательное значение потенциала, моль/л;

$[Me_2^{n+}]$ - концентрация металла, имеющего более положительное значение потенциала, моль/л.

Потенциал водородного электрода при $P_{H_2} = 1$ атм. определяют по формуле:

$$\varphi_{H^+/H_2} = -0.059 \text{pH}, \quad (5.8)$$

где pH – водородный показатель.

ЭДС концентрационного гальванического элемента

$$E = \frac{0.059}{n} \lg \frac{C_2}{C_1}, \quad (5.9)$$

где C_1 – концентрация электролита отрицательного электрода, моль/л;

C_2 – концентрация электролита положительного электрода, моль/л.

Окислительно-восстановительные электродные потенциалы

$$\varphi_{\%} = \varphi_{\%}^0 + \frac{0.059}{n} \lg \frac{[\text{окисл}]}{[\text{восст}]}, \quad (5.10)$$

где [окисл] – концентрация окисленной формы вещества в растворе, моль/л;
 [восст] – концентрация восстановленной формы вещества в растворе, моль/л.

Закон Фарадея:

$$m_{\text{расч}} = kQ \quad (5.11)$$

где k – электрохимический эквивалент, г/А×ч;

Q – количество электричества, прошедшее через раствор, А×ч;

$$m_{\text{расч}} = \frac{M_{\text{эк}} I \tau}{F} = \frac{A I \tau}{n F}, \quad (5.12)$$

где $M_{\text{эк}}$ – эквивалентная масса металла;

A – атомная масса металла;

I – сила тока, А;

τ – время электролиза, ч.

Выход по току (%)

$$\eta = \frac{m_{\text{факт}}}{m_{\text{расч}}} \times 100, \quad (5.13)$$

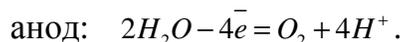
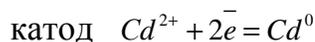
где $m_{\text{факт}}$ – масса металла, фактически выделившегося на катоде, г.

5.2. Примеры типовых расчетов

Пример 1. Определить массу выделившихся на электродах веществ при электролизе раствора сульфата кадмия CdSO_4 в течение 3 ч. током силой 2.5 А. Выход по току на катоде 75%. Написать электродные процессы, протекающие на электродах при электролизе с угольным анодом.

Решение.

На электродах протекают следующие реакции:



Масса выделившегося на катоде кадмия с учетом выхода по току определяется по формулам (5.12) и (5.13):

$$m_{\text{Cd}} = \frac{M_{\text{эк}} I \tau \eta}{F} = \frac{56.2 \times 3.0 \times 2.5 \times 0.75}{26.8} = 11.8 \text{ г}$$

Масса выделившегося на аноде кислорода определяется по тем же формулам:

$$m_{O_2} = \frac{3 \times 2.5 \times 3}{26.8} = 2.24 \text{ г}$$

Пример 2. Написать уравнение реакции, протекающей при работе гальванического элемента



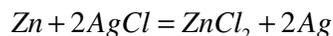
Вычислить ЭДС, ΔG_{298}^0 , ΔS_{298}^0 и ΔH_{298}^0 этой реакции при $[Zn^{2+}] = 0.096$ моль/л и

$$[Cl^-] = 1.0 \text{ моль/л. Температурный коэффициент } \frac{dE}{dT} = -4.02 \times 10^{-4} \text{ В/К,}$$

$$\varphi_{Cl^- / AgCl, Ag}^0 = 0.222 \text{ В.}$$

Решение.

В гальваническом элементе протекает реакция:



Потенциалы электродов определяются по формуле (5.6):

$$\varphi_- = \varphi_{Zn / Zn^{2+}}^0 + \frac{0.059}{2} \lg [Zn^{2+}] = -0.763 + \frac{0.059}{2} \lg 0.096 = -0.793 \text{ В}$$

$$\varphi_+ = \varphi_{Cl^- / AgCl, Ag}^0 + \frac{0.059}{1} \lg [Cl^-] = 0.222 + 0 = 0.222 \text{ В}$$

Величины ЭДС, ΔG_{298}^0 , ΔS_{298}^0 и ΔH_{298}^0 находим по формулам (5.5), (5.2), (5.3) и (5.4) соответственно:

$$E = \varphi_+ - \varphi_- = 0.222 - (-0.793) = 1.015 \text{ В};$$

$$\Delta G_{298}^0 = 2.965 \times 1.015 = -195.9 \text{ кДж};$$

$$\Delta S_{298}^0 = 2.965 \times (-4.02 \times 10^{-4}) = -77.6 \text{ Дж / К};$$

$$\Delta H_{298}^0 = -195.5 + 298 \times (-77.6) \times 10^{-3} = -219 \text{ Дж}.$$

Пример 3. Находящиеся в контакте медь и железо помещены в водный раствор щелочи. Какие процессы протекают на электродах при коррозии?

Решение.

Сравнивая стандартные электродные потенциалы меди и железа, видим, что коррозии должно подвергаться железо, потенциал которого более электроотрицателен:

$$\varphi_{Cu^{2+}/Cu}^0 = 0.34 \text{ В}, \quad \varphi_{Fe^{2+}/Fe}^0 = -0.44 \text{ В}$$

На аноде: $Fe - \bar{2} = Fe^{2+}$

На катоде: $O_2 + H_2O + 4\bar{e} = 4OH^-$

5.3. Варианты заданий для самостоятельной работы

1

1. Найти массу веществ, выделившихся на электродах при электролизе раствора $Pb(NO_3)_2$, проводимого в течение 2 ч током 3А. Выход по току на катоде 80%. Написать электродные процессы, проходящие при электролизе этой соли. Анод угольный.

2. Определит тепловой эффект ΔH_{298}^0 и изменение энтропии ΔS_{298}^0 процесса, идущего в гальваническом элементе



при $[Pb^{2+}] = 5 \cdot 10^{-2} \frac{\text{моль}}{\text{л}}$, $[Ag^+] = 10^{-8} \frac{\text{моль}}{\text{л}}$ и $(\frac{dE}{dT}) = -1,86 \cdot 10^{-4} \text{ В/К}$. Написать процесс, идущий в этом элементе.

2

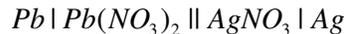
1. При электролизе водного раствора $Ni(NO_3)_2$, проводимом током 3А, выделилось 35 г металла. В течение того же времени велся электролиз водного раствора $ZnCl_2$ током 2А. Найти массу выделившегося цинка. Написать электродные процессы, протекающие при электролизе этих солей. Аноды растворимые.

2. Написать процессы, протекающие при коррозии контактирующей пары металлов Au/Cu в воде.

3

1. 1 л 0.5 н раствора $Cu(NO_3)_2$ подвергался электролизу током 3А в течение 90 мин. Определить концентрацию ионов меди в растворе, принимая выход по току равным 100%. Указать электродные процессы. Анод угольный.

2. Вычислить ЭДС гальванического элемента



при $T=298\text{ K}$ и при концентрации электролитов: $[Pb(NO_3)_2] = 0.1\text{ M}$ ($\alpha=0.4$); $[AgNO_3] = 0.3\text{ M}$ ($\alpha=0.7$) (α - степень диссоциации).

4

1. Для медно-цинкового гальванического элемента, в котором концентрации ионов равны:

$[Cu^{2+}] = 0,2$ моль/л; $[Zn^{2+}] = 0,001$ моль/л, при $T=298\text{ K}$ определить ЭДС элемента, изменение свободной энергии Гиббса ΔG_{298}^0 и работу, которую может совершить этот элемент. Написать процесс, идущий в этом элементе.

2. Написать процессы, протекающие при электрохимической коррозии железа, покрытого кадмием. Среда слабощелочная.

5

1. При электролизе 500 мл раствора $CuCl_2$ вся медь из раствора была выделена в течение 2,5 ч при токе 2А. Определить исходную концентрацию раствора. Считать выход по току равным 100%. Написать электродные процессы. Анод нерастворимый.

2. Рассчитать при $T=298\text{ K}$ и $pH=4$ потенциал окислительно-



если $[Cr_2O_7^{2-}] = 0,01$ моль/л, а $[Cr^{3+}] = 0,2$ моль/л. Написать процесс, идущий на электроде.

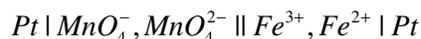
6

1. Ток последовательно проходит через электролизеры, содержащие растворы $Pb(NO_3)_2$, $CdSO_4$ и $SnCl_2$. Чему равны массы металлов, выделяющихся на катодах, и объемы газов, выделяющихся на анодах, если в первом электролизере выделилось 12 г свинца. Электролиз проводился при 298 К и $P=1$ атм. Написать электродные процессы, протекающие при электролизе этих солей. Анод нерастворимый.

2. Написать процессы, идущие при электрохимической коррозии изделия из никелированного железа в воде.

7

1. Найти массы веществ, выделившихся на электродах при электролизе водного раствора $CdSO_4$ в течение 30 мин током 4А. Выход по току составляет 90%. Написать электродные процессы с нерастворимым анодом.
2. При каком соотношении концентраций ионов $[Fe^{2+}]$, $[Fe^{3+}]$, $[MnO_4^-]$ и $[MnO_4^{2-}]$ в электрохимическом элементе



при $T=298\text{ K}$ установится равновесие ($E=0\text{ В}$)? Написать процесс, определяющий работу данного элемента.

8

1. Изделие размером $80\text{ см} \times 10\text{ см}$ надо покрыть с двух сторон слоем никеля толщиной $0,05\text{ мм}$. Плотность никеля равна $8,9\text{ г/см}$. При каком токе нужно вести электролиз, чтобы провести его за 4 ч? Выход по току 95%. Написать электродные процессы при электролизе водного раствора $NiSO_4$. Анод никелевый.
2. Потенциал хромового электрода в растворе его соли при $T=298\text{ К}$ равен $-0,8\text{ В}$. Определить концентрацию ионов Cr^{3+} .

9

1. При электролизе водного раствора $NiSO_4$ (время электролиза 1 ч) на катоде выделилось $1,2\text{ г}$ металла. Выход по току 95%. Определить ток в цепи и массу вещества, выделившегося при этом на аноде. Написать электродные процессы. Анод нерастворимый.
2. Вычислить ЭДС концентрационного элемента, состоящего из медных электродов, опущенных в $0,001\text{ М}$ и 2 М растворы $CuSO_4$; $T=298\text{ К}$. Написать процессы, идущие в этом элементе.

10

1. В гальваническом элементе



при $T=298\text{ K}$ ЭДС элемента равна $0,5\text{ В}$. Концентрация раствора $NiSO_4$ равна $0,35\text{ М}$. Найти концентрацию раствора $ZnSO_4$. Написать электродные процессы.

2. Указать процессы, протекающие при электрохимической коррозии железа, покрытого свинцом. Среда слабокислая.

11

1. Электролиз $0,5\text{ л}$ 20% -го раствора $NaCl$ (плотность $1,15\text{ г/мл}$) проводился в течение 3 ч при токе 2 А . Найти конечную концентрацию $NaCl$ и массу вещества, выделившегося на катоде. Выход по току 90% . Написать электродные процессы.

2. Найти потенциал водородного электрода в $0,1\text{ М}$ растворе H_2SO_4 при $T=298\text{ К}$ и $P_{H_2} = 1\text{ атм}$.

12

1. Определить атомную массу металла, если при электролизе водного раствора его соли за 2 ч на катоде выделилось $15,45\text{ г}$ этого металла. Ток 2 А , металл двухвалентен. Указать электродные процессы, идущие при электролизе азотнокислой соли этого металла. Найти массу продукта, выделившегося на аноде при электролизе. Анод нерастворимый.

2. Написать процессы, протекающие при электрохимической коррозии пары металлов Zn/Sn в воде.

13

1. Определить выход по току, если в процессе электролиза водного раствора соли $CdSO_4$ при токе 4 А за 2 часа на катоде выделилось $14,2\text{ г}$ металла. Написать электродные процессы, идущие при электролизе этой соли. Анод графитовый.

2. При какой концентрации ионов Pb^{2+} потенциал свинцового электрода при $T=298\text{ К}$ станет равным стандартному потенциалу оловянного электрода?

14

1. Пластинку размером $20\text{ см} \times 10\text{ см}$ с двух сторон надо покрыть электролитическим слоем цинка. Толщина покрытия $0,1\text{ мм}$. Сколько времени нужно вести электролиз при токе 10 А ? Плотность цинка равна $7,1\text{ г/см}^3$. Написать

электродные процессы, идущие при электролизе водного раствора $Zn(NO_3)_2$.
Анод цинковый.

2. Вычислить потенциал водородного электрода в 0.01 М растворе KOH при $T=287\text{ К}$ и $P_{H_2} = 1\text{ атм.}$

15

1. Найти массы веществ, выделившихся на электродах при электролизе водного раствора $CdSO_4$. Электролиз проводился в течение 1 ч при токе 1А. Выход по току составляет 90%. Написать электродные процессы с угольным анодом.

2. Найти изменение свободной энергии Гиббса ΔG_{298}^0 и работу, которую может совершать гальванический элемент



при $T=298\text{ К}$ и концентрации электролитов $[ZnSO_4]=0.1\text{ М}$ и $[NiSO_4]=0.05\text{ М}$. Написать электродные процессы, идущие в гальваническом элементе.

16

1. Электролиз 1 л 0,1 н раствора $AgNO_3$ проводился в течение 2 ч при токе 0,4А. Определить массу серебра, оставшегося в растворе, и объем газа, выделившегося при электролизе на аноде (н.у.). Выход по току на катоде составляет 90%, на аноде 100%. Написать электродные процессы, протекающие при электролизе этой соли. Анод нерастворимый.

2. Вычислить ЭДС гальванического элемента, составленного из электродов: $Zn | ZnSO_4$ при $[Zn^{2+}] = 0,27\text{ моль/л}$ и $Ni | NiSO_4$ при $[Ni^{2+}] = 0,1\text{ моль/л}$, $T=298\text{ К}$. Написать процесс, протекающий в элементе.

17

1. При пропускании электрического тока через электролизер, содержащий 1 л раствора $SnCl_2$, на аноде выделилось 1500 мл газа (н.у.). После электролиза концентрация раствора $SnCl_2$ равна 1,2 н. Найти первоначальную концентрацию раствора. Написать электродные процессы, идущие при электролизе этой соли. Анод угольный.

2. Написать процессы, протекающие при электрохимической коррозии пары металлов $Al | Ni$ в воде.

18.

1. Определить изменение внутренней энергии ΔU_{298}^0 и энтропии ΔS_{298}^0 при работе гальванического элемента



при $[Zn^{2+}] = [Cu^{2+}] = 1$ моль/л и $\frac{dE}{dT} = -4,3 \cdot 10^{-4}$ В/К. Написать процесс, протекающий при работе элемента.

2. Для полного выделения цинка из 1 л раствора $ZnSO_4$ электролиз раствора проводился в течение 2,5 ч током 2А. Найти исходную концентрацию раствора и массу вещества, выделившегося на аноде. Выход по току равен 95%. Написать электродные процессы, протекающие при электролизе раствора этой соли. Анод угольный.

19

1. После электролиза 200 мл 40%-го раствора HCl (плотность 1,20 г/мл) в течение 40 ч концентрация кислоты стала 12 н. Найти величину тока, прошедшего через электролит. Написать электродные процессы, идущие при электролизе этого раствора. Электродные платиновые.

2. Написать процессы, идущие при электрохимической коррозии меди, покрытой серебром, в слабощелочной среде.

20

1. Найти массу продуктов, выделившихся на электродах при электролизе водного раствора КОН в течение 1 ч при токе 2А. Выход по току 90%. Написать электродные процессы. Анод платиновый.

2. Вычислить электродный потенциал олова в 2 н. растворе $SnSO_4$ ($\alpha = 0,6$) при $T = 298$ К (α - степень диссоциации).

21

1. Найти ЭДС элемента



при $T = 298$ К и при концентрациях: $[Sn^{2+}] = 0,1$ моль/л; $[Sn^{4+}] = 0,01$ моль/л; $[Ce^{4+}] = 0,05$ моль/л; $[Ce^{3+}] = 0,01$ моль/л. Написать процесс, определяющий работу данного элемента.

2. Показать процессы, идущие при электрохимической коррозии хромированного изделия из железа. Среда слабощелочная.

22

1. При электролизе водного раствора KNO_3 на аноде выделилось 450 мл газа. Газ измерен при $T=290$ К и $P=1$ атм. Найти массу вещества, выделившегося при этом на катоде. Написать электродные процессы. Анод платиновый.

2. Определить потенциал окислительно-восстановительного электрода



при $T=298$ К, рН 3 и концентрации ионов: $[MnO_4^-]=0,1$ моль/л; $[Mn^{2+}]=0,3$ моль/л. Написать электродный процесс.

23

1. Для серебряно-никелевого электрохимического элемента, в котором концентрации электролитов составляют: $[AgNO_3]=0,01$ М, $[NiSO_4]=0,1$ М при $T=298$ К, определить ЭДС элемента, изменение изобарно-изотермического потенциала ΔG_{298}^0 и работу, которую может совершить этот элемент. Написать электродные процессы.

2. Написать процессы, протекающие при электрохимической коррозии оцинкованной меди во влажном воздухе.

24

1. При электролизе 2 М раствора $Cr(NO_3)_3$ весь металл выделился в течение 10 ч. Ток в цепи был 10А. Электролиз такого же объёма 0,4 н. раствора $CuSO_4$ проводился при силе тока 2А. Сколько времени потребуется для выделения всего металла из раствора $CuSO_4$? Написать электродные процессы, протекающие при электролизе водных растворов $Cr(NO_3)_3$ и $CuSO_4$. Анод нерастворимый.

2. Написать процессы, протекающие при электрохимической коррозии пары металла $Cd | Cr$ в воде.

25

1. Определить атомную массу выделившегося двухвалентного металла, если масса катода при электролизе раствора соли данного металла увеличилась на

0,443 г. Электролиз проводился в течение 1 ч током 0,2А. Написать электродные процессы, протекающие при электролизе азотнокислой соли этого металла. Анод растворимый.

2. Как изменится потенциал водородного электрода, опущенного в чистую воду, если к 200 мл воды добавить 1 г КОН ($T=298\text{K}$, $P_{\text{H}_2} = 1 \text{ атм}$). Плотность раствора считать равной единице.

26

1. При электролизе водного раствора соли NiSO_4 в течение 2 ч на катоде выделилось 5,58 г металла. Выход по току составил 85%. Найти ток, при котором проводился электролиз. Написать электродные процессы, протекающие при электролизе раствора этой соли. Анод нерастворимый.

2. При какой концентрации ионов Cr^{3+} ЭДС элемента



при $T=298 \text{ K}$ будет равна нулю? Концентрация раствора ZnSO_4 равна 2 М. Написать электродные процессы, идущие в этом элементе.

27

1. В 500 мл воды растворили 58,4 г кристаллогидрата сульфата меди ($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$), содержащего 7% примесей. Сколько этого раствора надо добавить в гальваническую ванну для пополнения израсходованной меди, если электролиз проводили 3 ч при токе 1,5 А? Написать электродные процессы, идущие при электролизе этой соли. Анод нерастворимый.

2. Вычислить ЭДС газового концентрационного элемента, составленного из двух водородных электродов, если давление водорода $P_1=0,5 \text{ атм}$ и $P_2=3 \text{ атм}$. Концентрации ионов водорода принять равными, $T=298 \text{ K}$.

28

1. Какая масса соли $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ потребуется для электролиза, чтобы покрыть пластину с общей поверхностью 300 см^2 слоем меди толщиной 0,5 мм? Сколько времени следует проводить электролиз при токе 5А? Плотность меди равна $8,6 \text{ г/см}^3$. Написать электродные процессы. Анод нерастворимый.

2. В каком направлении пойдет реакция $\text{In} + 3\text{Ti}^+ \rightleftharpoons \text{In}^{3+} + 3\text{Ti}$, если концентрации в растворе равны: $[\text{In}^{3+}] = 1 \text{ моль/л}$, $[\text{Ti}^+] = 10^{-3} \text{ моль/л}$.

29

1. Какие вещества и в каких количествах выделятся на электродах при электролизе раствора $MgCl_2$, если пропускать ток 5А в течение 32 мин 10 с. Указать электродные процессы. Анод угольный.

2. Вычислить ЭДС, изменение свободной энергии Гиббса ΔG_{298}^0 и константу равновесия реакция ионов иода ионами трехвалентного железа при 298 К в гальваническом элементе $Pt | I^-, I_2 || Fe^{3+}, Fe^{2+} | Pt$.

30

1. Через 300 г 20%-го раствора K_2SO_4 пропускали ток 4А в течение двух суток. Найти конечную концентрацию раствора. Написать электродные процессы. Электроды платиновые.

2. Написать электродные процессы, сопровождающие коррозию в морской воде (среда нейтральная) стального корпуса судна с магниевыми протекторами.

Список литературы

1. Глинка Л.Н. Задачи и упражнения по общей химии. М.: «ИНТЕГРАЛ-ПРЕСС», 2003. 240 с.
2. Коровин Н.В. Курс общей химии. 2-е изд. М.: Высшая школа, 2001. 558 с.

Приложения

Таблица 1

1. Термодинамические величины для простых веществ и соединений

№ П № п/ п	Вещество	ΔH_f^0 , кДж/моль	S_{298}^0 , Дж/(моль·К)	Коэффициенты уравнения $c_p^0 = a + bT$		c_p^0 , Дж/(моль·К)	Температурный интервал, К
				a	b ·10 ³		
Простые вещества							
1	Ag _(тв)	0	42.69	23.97	5.28	25.48	273-1234
2	Bi _(тв)	0	56.90	18.79	22.59	25.52	298-544
3	C _(графит)	0	5.74	17.15	4.27	8.53	298-2300
4	Cl _{2(г)}	0	223.00	36.69	1.05	38.84	273-1500
5	Fe _(тв)	0	27.15	19.25	21.00	25.23	298-700
6	H _{2(г)}	0	130.60	27.28	3.26	28.83	298-3000
7	I _{2(тв)}	0	116.73	40.12	49.79	54.44	298-387
8	Mg _(тв)	0	32.55	22.30	10.64	24.80	298-923
9	N _{2(г)}	0	191.50	27.87	4.27	29.10	298-2500
10	O _{2(г)}	0	205.03	31.46	3.39	29.36	298-3000
11	S _(ромб)	0	31.88	14.98	26.11	22.60	273-368
12	S _{2(г)}	129.1	227.70	36.11	1.09	32.47	273-3000

№ п/ п	Вещество	$\Delta H_{f,298}^0$, кДж/мо ль	$S_{f,298}^0$, Дж/(моль· К)	Коэффициен- ты уравнения $c_p^0 = a + bT$		c_p^0 , Дж/(моль·К)	Темпера- турный ин- тервал, К
				а	б·10 ³		
Неорганические соединения							
13	AgCl _(ТВ)	-126.8	96.07	62.26	4.18	50.78	273-725
14	Al ₂ O _{3(ТВ)}	-1675.0	50.94	114.56	12.89	79.00	298-1800
15	Al ₂ (SO ₄) _{3(ТВ)}	-3434.0	239.20	366.30	62.60	259.30	298-1100
16	Bi ₂ O _{3(ТВ)}	-578.0	151.20	103.51	33.47	113.50	298-800
17	CO _(Г)	-110.5	197.40	28.41	4.10	29.15	298-2500
18	CO _{2(Г)}	-393.5	213.60	44.14	9.04	37.13	298-2500
19	CaCO _{3(ТВ)}	-1206.0	92.90	104.50	21.92	81.85	298-1200
20	CaO _(ТВ)	-635.1	39.70	49.63	4.52	43.80	298-1800
21	FeO _(ТВ)	-263.7	58.79	52.80	6.24	48.12	298-1600
22	Fe ₂ O _{3(ТВ)}	-821.3	89.96	97.74	72.13	103.70	298-1000
23	Fe ₃ O _{4(ТВ)}	-1117.5	151.46	167.03	78.91	143.40	298-990
24	HCl _(Г)	-92.3	186.70	26.53	4.60	29.16	298-2000
25	HI _(Г)	-25.9	206.30	26.32	5.94	29.16	298-1000
26	H ₂ S _(Г)	-20.2	205.64	29.37	15.40	33.93	298-1800
27	H ₂ O _(Г)	-241.8	188.74	30.00	10.71	33.56	298-2500
28	H ₂ O _(Ж)	-285.8	69.96	-	-	75.31	298-373
29	MgCl _{2(ТВ)}	-641.83	89.54	79.08	5.94	71.03	298-900
30	MgO _(ТВ)	-601.24	26.94	42.59	7.28	37.41	298-1100
31	NH _{3(Г)}	-46.19	192.50	29.30	25.48	35.65	298-1800
32	NO _(Г)	90.37	210.62	29.58	3.85	29.83	298-2500
33	NO _{2(Г)}	33.89	240.45	42.93	8.54	37.11	298-2000
34	N ₂ O _{4(Г)}	9.37	304.30	83.89	39.75	78.99	298-1000
35	NaCl _(ТВ)	-410.90	72.36	45.94	16.32	50.79	298-1073
36	NaOH _(ТВ)	426.60	64.18	7.34	125.0	59.66	298-566
37	Na ₂ CO _{3(ТВ)}	-1129.00	146.00	70.63	135.6	110.00	298-723
38	SO _{2(Г)}	-296.90	248.10	42.55	12.55	39.87	298-1800
39	SO _{3(Г)}	-395.20	256.23	57.32	26.89	50.63	298-1200
40	TiO _{2(ТВ)}	-943.90	50.23	71.71	4.10	56.44	298-1800
41	TiCl _{4(Г)}	-759.80	352.00	106.50	1.00	95.69	298-2000

№ п/п	Вещество	$\Delta H_{f,298}^0$, кДж/моль	$S_{f,298}^0$, Дж/(моль·К)	Коэффициенты уравнения $c_p^0 = a + bT$		c_p^0 , Дж/(моль·К)	Температурный интервал, К
				a	$b \cdot 10^3$		
Органические вещества							
42	CH _{4(г)} метан	-74.85	186.19	17.45	60.46	35.79	298-
43	C ₂ H _{6(г)} эти-	52.28	219.4	4.19	154.6	43.63	1500
44	лен	82.93	269.2	-33.90	0	81.67	298-
45	C ₆ H _{6(г)} бен-	49.04	173.2	59.50	471.9	136.10	1500
46	зол	-123.10	298.2	-52.00	0	106.30	298-
	C ₆ H _{6(ж)} бен-				255.2		1500
47	зол	-201.20	239.7	15.28	0	43.90	298-353
	C ₆ H _{12(г)}				598.8		298-
48	циклогексан	-216.40	294.9	22.47	0	74.90	1000
49	CH ₃ OH _(г)	-82.00	233.5	15.57		40.71	
	метиловый				105.2		298-
50	спирт	-131.80	202.9	-	0	116.30	1000
	C ₃ H ₆ O _(г)						
51	ацетон	-103.90	269.9	-4.80	201.8	76.40	298-
52	CH ₃ Cl _(г)	75.44	167	5.70	0	83.30	1500
	хлористый этил				92.74		298-
53	CHCl _{3(г)}	50.00	319.7	-33.88		64.50	1500
54	хлороформ	8.08	219.0	-44.60	-	72.40	
55	C ₃ H _{8(г)} про-	-162.80	142	15.60		54.30	298
	пан				307.0		
56	C ₁₀ H _{8(кр)}	-238.80	126	-	0	81.60	298-
	нафталин				367.0		1500
	C ₇ H _{8(г)} то-				0		298-
	луол						1200
	C ₃ H _{8(ж)} про-				537.0		
	пан				0		298-
	C ₆ H ₆ O _(кр)				634.0		1260
	фенол				0		298-
	CH ₃ OH _(ж)				49.50		1500
	метиловый						298-

	спирт				-		1500 298- 1000
--	-------	--	--	--	---	--	----------------------

Примечание.

ΔH_{f298}^0 - стандартное изменение энтальпии образования; S_{298}^0 - стандартное значение энтропии; c_p^0 - теплоемкость при постоянном давлении, $c_p^0 = a + b \cdot T$.

Таблица 2.

2. Стандартные электродные потенциалы.

Электрод		φ^0 , В	Окислительно-восстановительный электрод		φ^0 , В
Окисленная форма	Восстановленная форма		Окисленная форма	Восстановленная форма	
Mg^{2+}	Mg	-2.36	Sn^{4+}	Sn^{2+}	0.15
Al^{3+}	Al	-1.66	I_2	I	0.54
Zn^{2+}	Zn	-0.76	MnO_4^-	MnO_4^{2-}	0.56
Cr^{3+}	Cr	-0.74	Fe^{3+}	Fe^{2+}	0.77
Fe^{2+}	Fe	-0.44	$\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$	Cr^{3+}	1.33
Cd^{2+}	Cd	-0.40	MnO_4^-	Mn^{2+}	1.51
In^{3+}	In	-0.347	Ce^{4+}	Ce^{3+}	1.61
Tl^+	Tl	-0.34			
Ni^{2+}	Ni	-0.25			
Sn^{2+}	Sn	-0.14			
Pb^{2+}	Pb	-0.13			
H^+	H	0.00			
Cu^{2+}	Cu	+0.34			
Ag^+	Ag	0.80			
Au^{3+}	Au	1.50			

Содержание

1. Основные стехиометрические законы химии. Строение атома и химическая связь. Ионно-электронный метод уравнивания окислительно-восстановительных реакций.....	3
1.1. Основные формулы для расчетов.....	3
1.2. Примеры типовых расчетов.....	4
1.3. Варианты заданий для самостоятельной работы.....	6
2. Химическая термодинамика.....	15
2.1. Основные формулы для расчетов.....	15
2.2. Примеры типовых расчетов.....	17
3. Химическая кинетика.....	24
3.1. Основные формулы для расчетов.....	24
3.2. Примеры типовых расчетов.....	25
3.3. Варианты заданий для самостоятельной работы по химической термодинамике и кинетике	27
4. Жидкие растворы.....	42
4.1. Основные формулы для расчетов.....	42
4.2. Примеры типовых расчетов.....	44
4.3. Варианты заданий для самостоятельной работы.....	47
5. Электрохимия.....	58
5.1. Основные формулы для расчетов.....	58
5.2. Примеры типовых расчетов.....	60
5.3. Варианты заданий для самостоятельной работы.....	62
Список литературы.....	70
Приложения.....	71