

Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:
ФИО: Локтионова Оксана Геннадьевна
Должность: проректор по учебной работе
Дата подписания: 14.09.2022 16:36:53
Уникальный программный ключ:
0b817ca911e6668abb43a5d426d39e5f1c11eabbf73e943df4a4851fda56d089

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Юго-Западный государственный университет»
(ЮЗГУ)

Кафедра фундаментальной химии и химической технологии



Растворимость. Произведение растворимости.

Методические указания для практической
и самостоятельной работ
по дисциплине «Неорганическая химия»
для направления подготовки 04.03.01 «Химия»

КУРСК 2019

УДК 543

Составители: О.В. Бурыкина

Рецензент

кандидат технических наук, доцент И.В. Савенкова

Растворимость. Произведение растворимости: методические указания для практической и самостоятельной работ студентов по дисциплине «Неорганическая химия» / Юго-Зап. гос. ун-т; сост.: О.В. Бурыкина Курск, 2019, 68с.: ил., табл., прилож. 4. Библиогр.: 68с.

Содержит основные теоретические положения по теме «Растворимость. Произведение растворимости». Приведены примеры решения задач по данному разделу химии, условия индивидуальных домашних заданий по данной теме.

Методические указания предназначены для студентов направления подготовки 04.03.01 «Химия».

Текст печатается в авторской редакции

Подписано в печать 18.09.2019. Форма 60x84 1/16.

Усл. печ. л. 3,6. Уч.-изд.л. 3,4. Тираж 100 экз. Заказ. 567. Бесплатно

Юго-Западный государственный университет.

305040 Курск, ул. 50 лет Октября, 94.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	4
Реакции осаждения и растворения осадков.....	5
1. Тепловой эффект растворения.....	5
2. Растворимость.....	8
2.1. Растворимость газов в газах.....	10
2.2. Растворимость различных веществ в жидкостях.....	11
3. Равновесие раствор - твердая фаза.....	14
3.1. Произведение растворимости.....	14
3.2. Условия выпадения осадка.....	20
3.3. Факторы, влияющие на выпадение осадка.....	20
3.4. Дробное осаждение.....	27
3.5. Превращение одних малорастворимых соединений в другие.....	28
4. Расчет количества осадителя.....	28
5. Потери при промывании осадка.....	30
Контрольные вопросы.....	31
Индивидуальные задания.....	32
Приложение.....	49
Величины ПР труднорастворимых соединений.....	49
Растворимость различных веществ в воде.....	61
Таблица растворимости.....	67
Зависимость коэффициентов активности от ионной силы.....	68
Список используемой литературы.....	68

ВВЕДЕНИЕ

Методические указания предназначены для студентов 1 курса направления подготовки 04.03.01 «Химия», изучающих дисциплину «Неорганическая химия».

Цель методических указаний - научить студентов вести расчеты, связанные с растворимостью веществ, правильно выбирать осадитель, определять потери осаждаемого вещества при промывании.

Материал обучающей программы разбит на 5 разделов, приведен разбор типовых примеров, необходимые справочные данные для выполнения индивидуальных заданий, варианты индивидуальных заданий.

Данные методические указания могут быть использованы в индивидуальной, аудиторной самостоятельной работе студентов, а так же в качестве пособия для внеаудиторной подготовки.

РЕАКЦИИ ОСАЖДЕНИЯ И РАСТВОРЕНИЯ ОСАДКОВ

Процессы осаждения и растворения соединений являются сложными физико-химическими процессами и имеют большое значение не только в химическом анализе, но и для разделения и выделения различных веществ в химической технологии.

При растворении происходят как физические, так и химические превращения.

При физических - разрушается кристаллическая решетка и происходит диффузия молекул растворенного вещества. Химические превращения - это взаимодействие молекул растворенного вещества с молекулами растворителя.

1. ТЕПЛОВОЙ ЭФФЕКТ РАСТВОРЕНИЯ

Раствор – это гомогенная система, состоящая из двух или большего числа компонентов. При переходе вещества в раствор происходит разрыв межмолекулярных и ионных связей кристаллической решетки твердого вещества и переход его в раствор в виде отдельных молекул или ионов, которые равномерно распределяются среди молекул растворителя.

Для разрушения кристаллической решетки вещества необходимо затратить большую энергию. Эта энергия освобождается в результате гидратации (сольватации) ионов и молекул, т. е. химического взаимодействия растворяемого вещества с водой (или вообще с растворителем).

Значит, растворимость вещества зависит от разности величин энергии гидратации (сольватации) и энергии кристаллической решетки вещества.

Энергия растворения $\Delta H_{\text{раст}}$ - энергия, поглощающаяся (или выделяющаяся) при растворении 1 моль вещества в таком объеме растворителя, дальнейшее прибавление которого не вызывает изменения теплового эффекта.

Общий тепловой эффект растворения зависит от тепловых эффектов:

- а) разрушения кристаллической решетки ($\Delta H_1 > 0$);
- б) диффузии растворенного вещества в растворителе ($\Delta H_2 > 0$);
- в) сольватации (гидратации) ($\Delta H_3 < 0$).

Общий тепловой эффект растворения ΔH_p будет равен сумме названных тепловых эффектов

Энергия растворения определяется по формуле 1.1:

$$\Delta H_{\text{раст}} = \Delta H_{\text{кр. р.}} + \Delta H_c, \quad (1.1)$$

где $\Delta H_{\text{раст}}$ - энергия растворения вещества, кДж/моль;

ΔH_c - энергия взаимодействия растворителя с растворимым веществом (энергия сольватации), кДж/моль;

$\Delta H_{\text{кр.р.}}$ - энергия разрушения кристаллической решетки, кДж/моль.

Если энергия разрушения кристаллической решетки больше энергии сольватации, то процесс растворения будет эндотермическим процессом.

Если энергия разрушения кристаллической решетки меньше энергии сольватации, то процесс растворения будет экзотермическим процессом.

Растворение твердых веществ в воде чаще бывает процессом эндотермическим, так как во многих случаях при гидратации выделяется теплоты меньше, чем тратится на разрушение кристаллической решетки.

Энергию растворения можно рассчитать:

1) используя изменение температуры при растворении.

Количество энергии, выделяющейся при нагревании или охлаждении тела рассчитывается по уравнению (1.2):

$$\Delta H_{\text{раств}} = -\frac{C_A \cdot m_A \cdot \Delta T}{1000}, \quad (1.2)$$

где $\Delta H_{\text{раств}}$ - энергия растворения вещества, кДж/моль;

c_A - удельная теплоемкость вещества А, Дж/(г·К);

m_1 - масса вещества А, г;

ΔT - изменение температуры, град.

ПРИМЕР 1.1 При растворении 8г хлорида аммония в 291г воды температура понизилась на 2⁰. Вычислите теплоту растворения NH_4Cl в воде, принимая удельную теплоемкость полученного раствора равной теплоемкости воды 4,1870 Дж/(г * К).

Решение:

Используя уравнение (1.2), рассчитаем энергию, поглощаемую 291 г воды при растворении 8г NH_4Cl , т.к. при этом температура уменьшается на 2⁰С, то: $\Delta H_{\text{раств.}} = -(4,187 \cdot 291 \cdot (-2)) = 2436,8$ Дж.

Для определения энтальпии растворения NH_4Cl составляем пропорцию, $M(\text{NH}_4\text{Cl})=53,49$ г/моль:

$$8\text{г NH}_4\text{Cl} \quad \text{—} \quad 2436,8 \text{ Дж}$$

$$53,49\text{г NH}_4\text{Cl} \quad \text{—} \quad x \text{ Дж}$$

$x = 1629,3 \text{ Дж} = 16,3 \text{ кДж}$. Следовательно, растворение NH_4Cl сопровождается поглощением тепла.

2) используя следствие из закона Гесса: *тепловой эффект химической реакции ($\Delta H^0_{\text{х.р.}}$) равен сумме теплот (энтальпий) образования продуктов реакции ($\Delta H^0_{\text{обр.прод.}}$) минус сумма теплот (энтальпий) образования исходных веществ ($\Delta H^0_{\text{обр.исх.}}$) с учётом коэффициентов перед формулами этих веществ в уравнении реакции.*

$$\Delta H^0_{\text{х.р.}} = \Sigma \Delta H^0_{\text{обр.прод.}} - \Sigma \Delta H^0_{\text{обр.исх.}}, \quad (1.3)$$

ПРИМЕР 1.2 Рассчитайте тепловой эффект реакции растворения алюминия в разбавленной соляной кислоте, если стандартные теплоты образования реагирующих веществ равны (кДж/моль): $\Delta H^0_{\text{HCl}}\{\text{aq}\} = -167,5$; $\Delta H^0_{\text{AlCl}_3}\{\text{aq}\} = -672,3$.

Решение: Реакция растворения Al в соляной кислоте протекает по уравнению $2\text{Al} + 6\text{HCl}_{(\text{aq})} = 2\text{AlCl}_{3(\text{aq})} + 3\text{H}_2$. Поскольку алюминий и водород являются простыми веществами, то для них $\Delta H^0 = 0$ кДж/моль, то тепловой эффект реакции растворения равен:

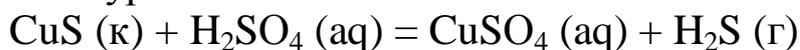
$$\Delta H^0_{298} = 2 \cdot \Delta H^0_{\text{AlCl}_3}\{\text{aq}\} - 6 \cdot \Delta H^0_{\text{HCl}}\{\text{aq}\}$$

$$\Delta H^0_{298} = 2 \cdot (-672,3) - 6 \cdot (-167,56) = -339,2 \text{ кДж}$$

Используя следствие из закона Гесса можно определить возможность протекания реакции растворения. В этом случае необходимо рассчитать энергию Гиббса.

ПРИМЕР 1.3 Будет ли растворяться сульфид меди в разбавленной серной кислоте, если энергия Гиббса реагирующих веществ равна (кДж/моль): $\Delta G^0(\text{CuS}_{(\text{к})}) = -48,95$; $\Delta G^0(\text{H}_2\text{SO}_{4(\text{aq})}) = -742,5$; $\Delta G^0(\text{CuSO}_{4(\text{aq})}) = -677,5$, $\Delta G^0(\text{H}_2\text{S}_{(\text{г})}) = -33,02$.

Решение. Для ответа необходимо подсчитать ΔG^0_{298} реакции растворения. Возможная реакция растворения CuS в разбавленной H_2SO_4 протекает по уравнению:



$$\Delta G^0_{298} = \Delta G^0(\text{CuSO}_{4(\text{aq})}) + \Delta G^0(\text{H}_2\text{S}_{(\text{г})}) - \Delta G^0(\text{CuS}_{(\text{к})}) - \Delta G^0(\text{H}_2\text{SO}_{4(\text{aq})})$$

$$\Delta G^0_{298} = -677,5 - 33,02 + 742,5 + 48,95 = 80,93 \text{ кДж/моль}$$

Так как $\Delta G > 0$, реакция невозможна, т. е. **CuS не будет рас-**

творяться в разбавленной H₂SO₄.

Зная энергию растворения можно рассчитать энергию присоединения кристаллизационной воды (энергию гидратации).

Теплота гидратации $\Delta H^0_{\text{гидрат.}}$ - теплота, выделяемая при взаимодействии 1 моль растворяемого вещества с растворителем - водой.

ПРИМЕР 1.4. При растворении 52,06г BaCl₂ в 400 моль H₂O выделяется 2,16 кДж теплоты, а при растворении 1 моль BaCl₂·2H₂O в 400 моль H₂O поглощается 18,49 кДж теплоты. Вычислите теплоту гидратации безводного BaCl₂,

Решение. Процесс растворения безводного BaCl₂ можно представить следующим образом:

а) гидратация безводной соли BaCl₂



б) растворение образовавшегося гидрата



Количество теплоты ΔH^0 , выделяющееся при растворении безводного BaCl₂, равно алгебраической сумме тепловых эффектов этих двух процессов:

$$\Delta H^0 = \Delta H^0_{\text{гидр.}} + \Delta H^0_{\text{раств.}}; \quad \Delta H^0_{\text{гидр.}} = \Delta H^0 - \Delta H^0_{\text{раств.}}$$

Для вычисления теплоты гидратации безводного хлорида бария надо определить теплоту растворения BaCl₂ для тех же условий, что и для BaCl₂·2H₂O, т. е. для 1 моль BaCl₂ (раствор в обоих случаях должен иметь одинаковую концентрацию);
M(BaCl₂) = 208,25 г/моль

$$52,06 \text{ г BaCl}_2 - 2,16 \text{ кДж}$$

$$208,25 \text{ г BaCl}_2 - x \text{ кДж}$$

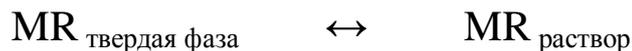
$$x = 8,64 \text{ кДж/моль. Следовательно, } \Delta H_{\text{раств.}} = -8,64 \text{ кДж/моль.}$$

$$\text{Тогда } \Delta H_{\text{гидр.}} = 18,49 + 8,64 = 27,13 \text{ кДж/моль.}$$

2. РАСТВОРИМОСТЬ

Процесс растворения вещества сопровождается диффузией, т.е. перемещением молекул из областей более концентрированного раствора в области с меньшей его концентрацией.

Процесс растворения происходит до тех пор, пока концентрация данного вещества в растворе не доходит до определенного значения, при котором наступает состояние равновесия:



Растворение является двунаправленным процессом: твердое вещество переходит в раствор, а растворенное вещество в свою очередь переходит в твердую фазу.

Если количество вещества, переходящего в раствор за единицу времени, равно количеству вещества, выделяющегося за то же время в твердую фазу, то образуется **насыщенный раствор**.

Между веществом в насыщенном растворе и веществом в осадке устанавливается состояние гетерогенного равновесия. Насыщенные растворы являются стабильными системами.

При понижении температуры раствор может в определенных условиях некоторое время сохранять данную концентрацию вещества, т. е. концентрация раствора может оказаться выше, чем в насыщенном растворе при данной температуре – **образуется пересыщенный раствор**. Пересыщенные растворы являются нестабильными системами.

В растворах электролитов непрерывно происходят процессы ионизации и ассоциации. При этом поддерживается равновесие, сохраняется постоянным состав раствора, но процесс электролитической диссоциации не прекращается. Если же в раствор ввести некоторое другое вещество, то его ионы могут вступить в реакцию с первым веществом и образовать новое вещество, которое не вводилось в раствор.

Растворимость вещества – качественная и количественная способность вещества образовывать раствор при смешивании с другим веществом (растворителем).

Растворимость веществ определяется концентрацией насыщенного при данной температуре раствора.

Состав насыщенного раствора чаще выражают **коэффициентом растворимости k_s** - отношение массы безводного растворенного вещества к массе растворителя, например, при 20⁰С коэффициент растворимости равен 0,316 для KNO₃, что соответствует 24,012%-ному или 2,759М раствору.

Растворимость часто выражают количеством граммов растворимого вещества в 100г растворителя.

ПРИМЕР 2.1 Вычислите коэффициент растворимости BaCl₂ в воде при 0⁰С, если при этой температуре в 13,1г раствора содер-

жится 3,1г BaCl_2 .

Решение. Коэффициент растворимости выражают массой вещества (г), которое можно растворить в 100г растворителя при данной температуре. Масса раствора BaCl_2 13,1г. Следовательно, в 10г растворителя при 0°C содержится 3,1г BaCl_2 . Коэффициент растворимости BaCl_2 при 0°C равен:

$$k_s = \frac{3,1 \cdot 100}{10} = 31\text{г}$$

По растворимости при $T = \text{const}$ различают:

- 1) хорошо растворимые вещества (образуют $>0,1\text{M}$ насыщенные растворы),
- 2) малорастворимые вещества (образуют $0,1 - 0,001\text{M}$ насыщенные растворы),
- 3) практически нерастворимые вещества (образуют $<0,001\text{M}$ насыщенные растворы).

Растворимость вещества зависит от его природы и агрегатного состояния до растворения, а также от природы растворителя и температуры приготовления раствора, а для газов также и от давления.

2.1. Растворимость газов в газах

Газы смешиваются в любых соотношениях. Газовые смеси описываются **законом Генри:**

Общее давление газовой смеси равно сумме парциальных давлений всех входящих в неё газов.

$$P_{\text{общ}} = \sum P_i = \frac{R \cdot T}{V} \sum \nu_i, \quad (2.1)$$

где $P_{\text{общ}}$ – общее давление смеси, Па;

R – универсальная газовая постоянная, Дж/моль·К;

T – температура, К;

V – объем системы, м^3 ;

$\sum \nu_i$ – сумма молей газов системы.

Общее давление газовой смеси равно сумме парциальных давлений компонентов. $P = \sum p_i$.

Например – воздух содержит 78 % (об.) азота и 21% (об.) кислорода. Общее давление воздуха при н.у. 760 мм. рт. ст. Тогда парциальные давления каждого компонента смеси будут равны:

$$p_{O_2} = \frac{21 \cdot 760}{100} = 159,6 \text{ мм.рт.ст}$$

$$p_{N_2} = \frac{78 \cdot 760}{100} = 592,8 \text{ мм.рт.ст}$$

Растворимость газов зависит от давления. При высоких давлениях газовые растворы могут вести себя необычно. Повышается растворимость в газах твердых веществ. При высоких давлениях и низких температурах газовые растворы могут расслаиваться.

ПРИМЕР 2.2 Газовая смесь, содержащая 21 % O_2 и 79 % N_2 , пропущена через воду при $0^\circ C$ и давлении $1,0133 \cdot 10^5$ Па. Вычислите объемные доли φ газовой смеси, растворенной в воде, если растворимость кислорода и азота в воде при этой температуре и давлении соответственно равна $0,049$ и $0,0236 \text{ м}^3$ на 1 м^3 воды.

Решение: Согласно закону Генри растворимость (P) газа в воде пропорциональна его парциальному давлению в смеси. Определим парциальное давление газов в смеси:

$$p_{O_2} = 1,0133 \cdot 10^5 \cdot 0,21 = 0,2128 \cdot 10^5 \text{ Па};$$

$$p_{N_2} = 1,0133 \cdot 10^5 \cdot 0,79 = 0,8005 \cdot 10^5 \text{ Па}.$$

Учитывая парциальные давления, определяем растворимость газов:

$$p_{O_2} = \frac{0,049 \cdot 0,2128 \cdot 10^5}{1,0133 \cdot 10^5} = 0,0103 \text{ м}^3$$

$$p_{N_2} = \frac{0,0236 \cdot 0,8005 \cdot 10^5}{1,0133 \cdot 10^5} = 0,0186 \text{ м}^3$$

Общий объем азота и кислорода: $0,0103 + 0,0186 = 0,0289 \text{ м}^3$. Тогда объемная доля газов в смеси составит (%):

$$\varphi_{O_2} = \frac{0,0103 \cdot 100}{0,0289} = 35,64 \quad \varphi_{N_2} = \frac{0,0186 \cdot 100}{0,0289} = 64,36$$

2.2. Растворимость различных веществ в жидкостях

Растворимость газов в жидкостях зависит от: природы газа и жидкости, давления, температуры, концентрации растворенных в жидкости веществ (особенно сильно влияет на растворимость газов концентрация электролитов).

Зависимость растворимости газа в жидкости выражается законами Генри-Дальтона:

1) *Масса газа, растворяющегося при данной температуре в*

жидкости данного объема, прямо пропорциональна давлению газа на жидкость.

$$s_r = k \cdot p, \quad (2.2)$$

где k - коэффициент пропорциональности, зависит от вида растворителя и от температуры;

p – давление газа, Па;

s_r – растворимость газа.

2) Объем газа, растворяющегося в данном объеме жидкости, не зависит от давления.

Закон Генри – Дальтона справедлив только для разбавленных растворов при малых давлениях, когда газы можно считать идеальными. **Газы, способные к специфическому взаимодействию с растворителем, данному закону не подчиняются.**

ПРИМЕР 2.3 Сколько хлороводорода растворится в 100л воды при 40°C и давлении 98625 Па, если растворимость HCl при этой температуре (и давлении $1,0133 \cdot 10^5$ Па) составляет 386м^3 на 1м^3 воды?

Решение: Определяем объем HCl, содержащегося в 100 л воды при 40°C и давлении $1,0133 \cdot 10^5$ Па:

$$1000 \text{ л } \text{H}_2\text{O} \quad - \quad 386\text{м}^3$$

$$100 \text{ л } \text{H}_2\text{O} \quad - \quad x \quad \quad \quad x=38,6 \text{ м}^3.$$

Массу HCl вычисляем по уравнению Менделеева - Клапейрона; $M(\text{HCl}) = 36,46$ г/моль.

$$m = \frac{p \cdot V \cdot M}{R \cdot T} = \frac{98625 \cdot 38,6 \cdot 36,46}{8,314 \cdot 313} = 53337 \text{ г}$$

Тогда

ПРИМЕР 2.4. Коэффициент поглощения аммиака водой при 0°C и $p=1,0133 \cdot 10^5$ Па равен 1300. Вычислите массовую долю (%) аммиака в воде?

Решение:

Коэффициент поглощения – объем газа (м^3), растворяющийся в 1м^3 растворителя.

Определим массу 1300м^3 аммиака, содержащегося в 1м^3 воды; $M(\text{NH}_3)=17$ г/моль:

$$m(\text{NH}_3) = \frac{17 \cdot 1,3 \cdot 10^6}{22,4} = 986,6 \text{ кг}$$

Принимая массу 1м^3 воды за 1000кг, находим, что 1986,6 кг раствора содержит 986,6кг NH_3 . Тогда в 100 кг раствора содер-

жится:

$$\frac{100 \cdot 986,6}{1986,6} = 49,7 \text{ кг аммиака}$$

Массовая доля аммиака в полученном растворе 49,7%.

В зависимости от природы жидкости могут смешиваться в различных соотношениях: неограниченно, ограниченно и быть практически нерастворимыми друг в друге.

Существуют системы, у которых кроме верхней критической температуры расслоения имеется и нижняя критическая температура расслоения.

Растворимость твердых веществ в жидкостях определяется природой веществ и зависит от температуры.

Зависимость между химическим составом соединений и их растворимостью в воде описывается некоторыми эмпирическими правилами.

1. Неорганические и органические кислоты в большинстве случаев хорошо растворимы (кроме H_2SiO_3 , H_2SnO_3 и HSbO_3).

2. Все основания малорастворимы, кроме: LiOH , KOH , RbOH , CsOH , NaOH , $\text{Ba}(\text{OH})_2$, $\text{Sr}(\text{OH})_2$.

3. Соли по растворимости разделяют на:

1) соли сильных кислот растворяются хорошо (исключение BaSO_4 , SrSO_4 , PbSO_4 , CaSO_4 , хлориды, бромиды и иодиды свинца, серебра и одновалентной ртути);

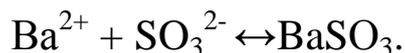
2) соли слабых кислот растворяются плохо (исключение соли лития, натрия, калия, рубидия и цезия, а также нитритов и ацетатов).

ПРИМЕР 2.5 Спрогнозируйте возможность протекания реакция при смешивании: а) NaCl и $\text{Co}(\text{NO}_3)_2$; б) Na_2SO_4 и BaCl_2 .

Решение: Если смешать растворы хлорида натрия и нитрата кобальта, никакого химического взаимодействия не произойдет, потому что в растворе находятся только анионы сильных кислот, а соли этих кислот, как правило, хорошо растворяются.

Если же смешать растворы сульфата натрия и хлорида бария, произойдет реакция, так как в растворе присутствуют катионы натрия и бария и анионы хлорида и сульфата. Ионы SO_4^{2-} являются анионами слабой кислоты, а большинство солей слабых кислот, в том числе и соль бария, в воде практически не растворяются. Уравнение реакции, которая происходит, можно изобразить сле-

дующим образом:



Растворимость большинства солей с повышением температуры повышается.

Растворение вещества, содержащего растворимые примеси, в горячей воде, а затем осаждение его из раствора при достаточном охлаждении - это способ очистки вещества от растворимых примесей называют перекристаллизацией. Примеси при этом, как правило, остаются в растворе, так как присутствуют там в следовых количествах и при охлаждении не могут образовать своего насыщенного раствора. Некоторая часть очищаемого вещества также останется в холодном насыщенном растворе, который в лабораторной практике называют маточным.

Для определения потерь или выхода продукта при очистке веществ методом перекристаллизации используют кривые растворимости.

ПРИМЕР 2.6 Растворимость AlCl_3 при 0°C равна 44,9г, а при 80°C - 48,6г. Какова масса соли, выпадающей в осадок, если 540,0г раствора хлорида алюминия охладить от 80 до 0°C ?

Решение: Масса раствора AlCl_3 равна:

а) при 80°C : $100+48,6=148,6$ г;

б) при 0°C $100+44,9=144,9$ г.

При охлаждении 148,6г раствора хлорида алюминия в осадок выпадает $148,6 - 144,9 = 3,7$ г AlCl_3 .

При охлаждении 148,6 г раствора выпадает 3,7 г AlCl_3

При охлаждении 540 г раствора выпадает x г AlCl_3

$$x = \frac{540 \cdot 3,7}{148,6} = 13,4 \text{ г } \text{AlCl}_3.$$

3. РАВНОВЕСИЕ РАСТВОР - ТВЕРДАЯ ФАЗА

Образование твердой фазы (кристаллизация) - сложный процесс, состоящий из нескольких стадий.

1. Дегидратация ионов, образующих осадок. Ионы в растворе гидратированы, твердая фаза во многих случаях не содержит воды, поэтому ионы перед образованием кристалла должны утратить гидратную воду.

2. Образование первичных центров кристаллизации. Процесс

осаждения происходит постепенно. Сначала образуются очень мелкие кристаллы - зародыши, которые постепенно вырастают в кристаллы большого размера или группу кристаллов.

Время с момента смешивания растворов до образования зародышей — мелких кристаллов называют **индукционным периодом**.

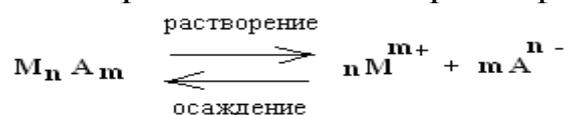
3. Рост первичных центров кристаллизации за счет осаждения на них все большего количества ионов, в результате чего образуются кристаллы большего размера, объединяющиеся между собой в более крупные агрегаты, не способные, однако, еще выделиться из раствора в виде осадка. Это — коллоидная стадия образования нерастворимого соединения.

4. Образование в течение некоторого времени в растворе настолько крупных кристаллов или их агрегатов, что они не могут более удерживаться в растворе, и, наконец, происходит выделение твердой фазы (осадка).

3.1 ПРОИЗВЕДЕНИЕ РАСТВОРИМОСТИ.

Особенность реакций осаждения - образование новой фазы – твердого вещества и возникновение гетерогенной двухфазной системы: раствор – осадок.

В насыщенном растворе неорганической малорастворимой соли M_nA_m содержатся в основном только отдельные ионы M^{m+} и A^{n-} , которые находятся в равновесии с твердой фазой M_nA_m :



К такой системе применим закон действующих масс:

$$K = \frac{[M^{m+}]^n \cdot [A^{n-}]^m}{[M_n A_m]}$$

Константа равновесия не зависит от абсолютного количества твердой фазы и при данной температуре является величиной постоянной.

При установившемся равновесии скоростей осаждения и растворения осадка в насыщенном растворе малорастворимого электролита при данной температуре и давлении произведение концентраций (активностей) его ионов есть величина постоянная. Эту

константу называют произведением растворимости ПР (Lp – в немецкой литературе, Sp – в английской) или произведением активностей :

$$\text{ПР}(M_nA_m)=[M^{m+}]^n \cdot [A^{n-}]^m \quad (3.2)$$

Из уравнения (3.2) видно, что при увеличении концентрации катионов осадка уменьшается концентрация анионов (и наоборот), поскольку при возрастании концентрации ионов M^{m+} или A^{n-} увеличивается вероятность встречи между ними. При этом скорость осаждения увеличивается по сравнению со скоростью реакции растворения осадка, и поэтому концентрация других разновидностей ионов в растворе уменьшается.

Равновесные молярные концентрации ионов M^{m+} и A^{n-} пропорциональны растворимости S (моль/л) вещества M_nA_m :

$$[M^{m+}]=n \cdot S \quad [A^{n-}]=m \cdot S,$$

тогда
$$\text{ПР}=(n \cdot S)^n \cdot (m \cdot S)^m \quad (3.3)$$

По значениям ПР можно сравнивать растворимость различных веществ.

Численные значения произведения растворимостей приведены в справочниках (см. приложение). Пользуясь ими, можно вычислить растворимость малорастворимого электролита в системе: раствор - осадок.

ПРИМЕР 3.1 Произведения растворимости $AgCl$ и Ag_2CO_3 равны соответственно $1,6 \cdot 10^{-10}$ и $6,2 \cdot 10^{-12}$ при $25^\circ C$. Какая соль более растворима?

Решение: Определим молярные концентрации ионов в насыщенных водных растворах. $AgCl = Ag^+ + Cl^-$

Если c_1 моль $AgCl$ перешло в раствор, то $[Ag^+] = [Cl^-] = c_1$.

$$c_1 = \sqrt{\text{ПР}(AgCl)} = \sqrt{1,6 \cdot 10^{-10}} = 1,3 \cdot 10^{-5} \text{ моль/л}$$

Для второй соли: $Ag_2CO_3 = 2Ag^+ + CO_3^{2-}$

Если растворилось c_2 моль Ag_2CO_3 , то:

$[Ag^+] = 2c_2$; $[CO_3^{2-}] = c_2$; $\text{ПР}(Ag_2CO_3) = [Ag^+]^2 \cdot [CO_3^{2-}] = (2c_2)^2 \cdot c_2 = 4c_2^3$;

$$c_2 = \sqrt[3]{\frac{\text{ПР}}{4}} = \sqrt[3]{\frac{6,2 \cdot 10^{-12}}{4}} = 1,16 \cdot 10^{-4} \text{ моль/л}$$

При сравнении c_1 и c_2 видно, что растворимость карбоната серебра в 10 раз выше растворимости хлорида серебра, хотя $\text{ПР}_{AgCl} > \text{ПР}_{Ag_2CO_3}$ и, казалось бы, растворимость $AgCl$ должна быть

выше. Расчет показывает, что качественное сравнение растворимостей по величине ПР возможно лишь для веществ, образующих в растворах одинаковое суммарное число ионов. Например: $ПР_{AgCl}=1,6 \cdot 10^{-10}$; $ПР_{AgI}=1,0 \cdot 10^{-16}$; $c(AgCl) > c(AgI)$; $ПР_{Ag_2CO_3}=6,2 \cdot 10^{-12}$; $ПР_{Ag_2CrO_4}=2,0 \cdot 10^{-12}$; $c(Ag_2CO_3) > c(Ag_2CrO_4)$.

Под растворимостью обычно понимают концентрацию ионов металла в насыщенном растворе малорастворимой соли.

Соотношения (3.2) и (3.3) позволяют рассчитывать значения ПР по известной растворимости веществ и, наоборот, растворимость веществ по известным ПР при $T = \text{const}$.

ПРИМЕР 3.2 Определите ПР фторида магния, если его растворимость (S) в воде равна 0,001 моль/л при некоторой температуре.

Решение: $Mg^{2+} + 2F^- \leftrightarrow MgF_{2(T)}$
 $ПР = [Mg^{2+}][F^-]^2 = S \cdot (2S)^2 = 4 \cdot S^3 = 4 \cdot (0,001)^3 = 4 \cdot 10^{-9}$.

ПРИМЕР 3.3 Растворимость Ag_2CO_3 равна $3,17 \cdot 10^{-2}$ г/л (при $20^\circ C$). Вычислить произведение растворимости.

Решение: Пересчитаем концентрацию Ag_2CO_3 , выраженную по условию задачи в граммах на литр, в моль на литр. Для этого разделим растворимость Ag_2CO_3 в единицах моль/л на молярную массу Ag_2CO_3 :

$$\frac{0,0317}{276} = 1,15 \cdot 10^{-4} \text{ моль/л}$$

Составляем уравнение диссоциации соли:



1 моль Ag_2CO_3 распадается на 2 моль Ag^+ и 1 моль CO_3^{2-} . Следовательно, $1,15 \cdot 10^{-4}$ моль Ag_2CO_3 дают $2,3 \cdot 10^{-4}$ моль Ag^+ и $1,15 \cdot 10^{-4}$ моль CO_3^{2-} .

Отсюда: $[Ag^+] = 2,3 \cdot 10^{-4}$ и $[CO_3^{2-}] = 1,15 \cdot 10^{-4}$. Вычисляем ПР:
 $ПР = [Ag^+]^2 \cdot [CO_3^{2-}] = (2,3 \cdot 10^{-4})^2 \cdot (1,15 \cdot 10^{-4}) = 6,08 \cdot 10^{-12}$.

В общем случае для осадка $M_m A_n$ растворимость в воде вычисляют по формуле:

$$S(M_n A_m) = \sqrt[n+m]{\frac{ПР(M_n A_m)}{m^m \cdot n^n}}, \quad (3.4)$$

где $m+n$ – суммарное число катионов и анионов;

ПР – произведение растворимости вещества;

m – число молей катионов в уравнении диссоциации вещества;

n – число молей анионов в уравнении диссоциации вещества.

Формула (3.4) справедлива в том случае, если можно пренебречь влиянием ионной силы раствора и протеканием конкурирующие реакции.

В реальных условиях анализа сравнительно редко приходится иметь дело с насыщенными растворами малорастворимых соединений, не содержащими каких-либо посторонних ионов, которые способны взаимодействовать с ионами осадка. Эти конкурирующие реакции приводят к увеличению растворимости.

Процесс растворения твердой фазы проходит до тех пор, пока активность ионов в растворе, т. е. их способность к взаимным столкновениям, не станет такой же, как и до введения в раствор постороннего электролита. После этого снова установится динамическое равновесие между осадком и ионами раствора. Поэтому постоянной величиной является не произведение концентрации ионов, а произведение их активности.

Активность – величина, учитывающая отклонения от законов идеальных растворов, связанные с различными взаимодействиями между частицами растворенного вещества, а также растворенного вещества и растворителя.

Правило произведения растворимости: в насыщенном растворе малорастворимой соли произведение активностей ионов при постоянной температуре и давлении является величиной постоянной.

$$ПА(M_nA_m) = (a_{M^{m+}})^n \cdot (a_{A^{n-}})^m \quad (3.5)$$

Величину ПА называют **произведением активности**; она, в отличие от произведения растворимости, не зависит от концентрации посторонних ионов в растворе. Формулу (3.5) используют, если нельзя пренебречь влиянием ионной силы раствора.

Связь между произведением растворимости и произведением активности можно установить, исходя из следующей зависимости:

$$a = f \cdot c, \quad (3.6)$$

где a - активность;

f - коэффициент активности;

c - концентрация раствора. моль/л.

Для расчета коэффициентов активности применяют правило **ионной силы раствора:**

$$I = 1/2 (C_A \cdot Z_A^2 + C_B \cdot Z_B^2) \cdot, \quad (3.7)$$

где I – ионная сила раствора;

C_A – концентрация иона А, моль/л;

Z_A – заряд иона А;

C_B – концентрация иона В. моль/л;

Z_B – заряд иона В.

Коэффициент активности можно рассчитать по формуле:

$$\lg f = -0,5 \cdot Z^2 \cdot \sqrt{I} \quad (3.8)$$

Значением ПР без поправок на ионную силу раствора можно пользоваться только при $I < 0,0001$, когда коэффициенты активностей близки к единице.

С увеличением концентрации ионов возрастает ионная сила раствора (сила электростатического притяжения ионов) и уменьшается кинетическая энергия движения ионов, т.е. уменьшается их активность.

ПРИМЕР 3.4. Вычислить растворимость Ag_2CrO_4 в г/л с учётом коэффициентов активностей всех ионов. ПР $Ag_2CrO_4 = 1,2 \cdot 10^{-12}$.

Решение: Растворимость осадка в моль/л без учёта коэффициентов активностей вычисляют непосредственно по произведению растворимости:

$$\text{ПР } Ag_2CrO_4 = [Ag^+]^2 \cdot [CrO_4^{2-}] = (2x)^2 \cdot x = 4x^3 = 1,2 \cdot 10^{-12}; \quad x = 6,7 \cdot 10^{-5} \text{ моль/л.}$$

$$[CrO_4^{2-}] = 6,7 \cdot 10^{-5} \text{ моль/л}; \quad [Ag^+] = 2 \cdot 6,7 \cdot 10^{-5} \text{ моль/л.}$$

Далее вычисляют ионную силу раствора и коэффициенты активностей: $J = 1/2 \cdot (2 \cdot 6,7 \cdot 10^{-5} \cdot 1^2 + 6,7 \cdot 10^{-5} \cdot 2^2) = 4 \cdot 10^{-4}$.

По справочнику находим для $J = 4 \cdot 10^{-4}$: $f_{Ag^+} = 0,98$, $f_{CrO_4^{2-}} = 0,94$.

$$\text{Тогда ПР } Ag_2CrO_4 = f_{Ag^+} \cdot [Ag^+]^2 \cdot f_{CrO_4^{2-}} \cdot [CrO_4^{2-}].$$

$$0,98 \cdot (2x)^2 \cdot 0,94 \cdot x = 1,2 \cdot 10^{-12}$$

$$x = 6,9 \cdot 10^{-5} \text{ моль/л} \quad \text{или} \quad 6,9 \cdot 10^{-5} \cdot 331 = 0,023 \text{ г/л.}$$

В присутствии посторонних электролитов коэффициенты активности ионов, которые зависят от ионной силы раствора, всегда меньше единицы. Отсюда можно заключить, что произведение растворимости, а также и растворимость малорастворимых соединений увеличивается в растворах с повышением концентрации сильных электролитов.

При добавлении реактива, в котором содержатся ионы, одноименные с ионами осадка, растворимость осадка уменьшается.

3.2 УСЛОВИЕ ВЫПАДЕНИЯ ОСАДКА.

Осадок малорастворимого электролита образуется только в том случае, когда произведение концентраций его ионов (П) в растворе превышает величину произведения растворимости этого соединения, т.е. когда раствор становится пересыщенным относительно данного малорастворимого соединения. Из ненасыщенного раствора осадок не выделяется, происходит растворение твёрдой фазы.

ПРИМЕР 3.5 Определить, образуется ли осадок PbCO_3 при смешении 400 мл 0,001 М $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ и 100 мл 0,01 М K_2CO_3 .

Решение: Найдём молярные концентрации веществ в момент смешения по формуле:

$$C_{M_2}(\text{Pb}(\text{NO}_3)_2) = \frac{C_{M_1}(\text{Pb}(\text{NO}_3)_2) \cdot V(\text{Pb}(\text{NO}_3)_2)}{V(\text{Pb}(\text{NO}_3)_2) + V(\text{K}_2\text{CO}_3)}$$

$$C_{M_2}(\text{Pb}(\text{NO}_3)_2) = \frac{0,001 \cdot 400}{400 + 100} = 8 \cdot 10^{-4} \text{ моль/л}$$

$$C_{M_2}(\text{K}_2\text{CO}_3) = \frac{C_{M_1}(\text{K}_2\text{CO}_3) \cdot V(\text{K}_2\text{CO}_3)}{V(\text{Pb}(\text{NO}_3)_2) + V(\text{K}_2\text{CO}_3)}$$

$$C_{M_2}(\text{K}_2\text{CO}_3) = \frac{0,01 \cdot 100}{400 + 100} = 2 \cdot 10^{-3} \text{ моль/л}$$

Концентрации ионов, образующих осадок, равны:

$[\text{Pb}^{2+}] = C_{M_2}(\text{Pb}(\text{NO}_3)_2)$, т.к. при диссоциации из 1 моль соли образуется 1 моль ионов свинца.

$[\text{CO}_3^{2-}] = C_{M_2}(\text{K}_2\text{CO}_3)$, т.к. при диссоциации из 1 моль соли образуется 1 моль ионов CO_3^{2-} .

Отсюда $\text{ПР} = [\text{Pb}^{2+}] \cdot [\text{CO}_3^{2-}] = 0,0008 \cdot 0,002 = 1,6 \cdot 10^{-5}$.

Полученное значение больше $\text{ПР}_{\text{PbCO}_3} = 7,5 \cdot 10^{-14}$, следовательно, раствор пересыщен относительно карбоната свинца и осадок образуется.

ПРИМЕР 3.6 При каком соотношении концентраций ионов Ba^{2+} и Pb^{2+} их карбонаты при введении ионов CO_3^{2-} будут выпадать одновременно? $\text{ПР}_{\text{BaCO}_3} = 7 \cdot 10^{-9}$, $\text{ПР}_{\text{PbCO}_3} = 1,5 \cdot 10^{-13}$.

Решение: Концентрацию вводимых карбонат-ионов обозначим через $C_{\text{CO}_3^{2-}}$, тогда:

$$C_{\text{Ba}^{2+}} = \frac{\text{ПР}(\text{BaCO}_3)}{C_{\text{CO}_3^{2-}}}$$

$$C_{\text{Pb}^{2+}} = \frac{\text{ПР}(\text{PbCO}_3)}{C_{\text{CO}_3^{2-}}}$$

$$\frac{C_{\text{Ba}^{2+}}}{C_{\text{Pb}^{2+}}} = \frac{\text{ПР}(\text{BaCO}_3)}{\text{ПР}(\text{PbCO}_3)} = \frac{7 \cdot 10^{-9}}{1,5 \cdot 10^{-13}} = 4,67 \cdot 10^4 = 46700$$

Итак, карбонаты бария и свинца будут выпадать одновременно из раствора, если $C_{\text{Ba}^{2+}} > C_{\text{Pb}^{2+}}$ в 46700 раз. Если отношение $C_{\text{Ba}^{2+}}/C_{\text{Pb}^{2+}} > 46700$, то первым из раствора будет выпадать BaCO_3 до тех пор, пока отношение $C_{\text{Ba}^{2+}}/C_{\text{Pb}^{2+}}$ не будет равным 46700. И только после этого начнется одновременное выпадение осадков. Если же отношение концентрации ионов бария и свинца меньше 46700, то первым начнет осаждаться карбонат свинца. Осаждение карбоната свинца будет протекать до тех пор, пока отношение $C_{\text{Ba}^{2+}}/C_{\text{Pb}^{2+}}$ не достигнет значения, при котором BaCO_3 и PbCO_3 будут осаждаться одновременно.

3.3 ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА РАСТВОРИМОСТЬ

Сильные электролиты, присутствующие в растворе, обычно повышают растворимость соприкасающихся с ним осадков проявляется так называемый солевой эффект.

ПРИМЕР 3.7 Вычислить растворимость BaSO_4 в 0,01М растворе Na_2SO_4 и сопоставить её с растворимостью этой соли в воде. $\text{ПР } \text{BaSO}_4 = 1,1 \cdot 10^{-10}$.

Решение: Обозначим растворимость сульфата бария через x . x моль BaSO_4 дадут по x моль Ba^{2+} и SO_4^{2-} соответственно. Но SO_4^{2-} ионы образуются также в результате диссоциации Na_2SO_4 . Учитывая, что каждый моль соли дадут 1 моль SO_4^{2-} , можно написать:

$$[\text{Ba}^{2+}] = x \quad [\text{SO}_4^{2-}] = 0,01 + x.$$

Подставив эти значения в уравнение произведения растворимости, получим: $\text{ПР} = x \cdot (x + 0,01) = 1,1 \cdot 10^{-10}$.

Если учесть, что растворимость BaSO_4 очень мала, величиной по сравнению с 0,01 можно пренебречь. Сделав это, получим:

$$x \cdot 0,01 = 1,1 \cdot 10^{-10} \quad x = 1,1 \cdot 10^{-8} \text{ моль/л.}$$

Растворимость BaSO_4 в воде равна y :

$$y = \sqrt{\text{ПР}} = \sqrt{1,1 \cdot 10^{-10}} = 1,05 \cdot 10^{-5} \text{ моль/л}$$

Таким образом, присутствие 0,01 моль/л Na_2SO_4 должно понизить растворимость BaSO_4 в :

$$\frac{1,05 \cdot 10^{-5}}{1,1 \cdot 10^{-8}} = 954 \text{ раза}$$

На осаждение влияет рН среды:

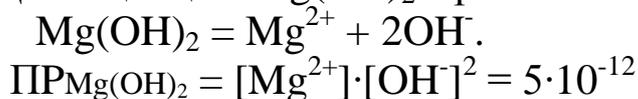
1) Осаждение трудно растворимых гидроокисей металлов.

С увеличением концентрации ионов H^+ , т. е. с уменьшением рН раствора, концентрация ионов OH^- уменьшается. Но от концентрации ионов OH^- зависит, будет ли данная гидроокись осаждаться и насколько осаждение ее будет полным. Ясно, что чем больше величина произведения растворимости гидроокиси, тем большая концентрация ионов OH^- потребуется для достижения полного осаждения ее, т. е. при тем большем рН это осаждение нужно проводить.

Величину рН, необходимую для достижения полного осаждения какой-либо гидроокиси, нетрудно вычислить из уравнения произведения растворимости ее.

ПРИМЕР 3.8 Определите величину рН при котором произойдет выпадение осадка $Mg(OH)_2$.

Решение: Диссоциация $Mg(OH)_2$ протекает согласно уравнению:



Откуда

$$[OH^-] = \sqrt{\frac{P_{Mg(OH)_2}}{[Mg^{2+}]}}$$

Практически полным осаждение вещества можно считать при условии, если молярная концентрация его в растворе по окончании, осаждения равна 10^{-6} моль/л. Такая же и будет и концентрация иона Mg^{2+} по окончании осаждения. Тогда:

$$[OH^-] = \sqrt{\frac{P_{Mg(OH)_2}}{[Mg^{2+}]}} = \sqrt{\frac{5 \cdot 10^{-12}}{10^{-6}}} = 2 \cdot 10^{-3} \text{ моль / л.}$$

$$pOH = -\lg[OH^-] = -\lg 2 \cdot 10^{-3} = 2,7.$$

Зная, что $pH + pOH = 14$ (при $22^\circ C$) определим рН.

$$pH = 14 - pOH = 14 - 2,7 = 11,3.$$

Таким образом, полное осаждение иона Mg^{2+} в виде гидроокиси достигается при $pH = 11,3$. Если $pH > 11,3$, то осаждение будет еще более полным, т. е. концентрация иона $Mg^{2+} < 10^{-6} M$. Наоборот, при $pH < 11,3$ осаждение либо будет неполным, либо вовсе не произойдет.

Если аналогичное вычисление проделать для гидроокиси железа $\text{Fe}(\text{OH})_3$ ($\text{ПР}=3,8 \cdot 10^{-38}$), то мы найдем, что осаждение ее будет практически полным при $\text{pH} \geq 3,5$.

Сопоставляя величины pH осаждения $\text{Mg}(\text{OH})_2$ и $\text{Fe}(\text{OH})_3$ и надлежащим образом регулируя величину pH , можно разделить ионы Mg^{2+} от ионов Fe^{3+} .

2) Осаждение трудно растворимых солей слабых кислот.

Осаждающими ионами в этом случае являются анионы слабых кислот: CO_3^{2-} , $\text{C}_2\text{O}_4^{2-}$, PO_4^{3-} , S^{2-} и т. д. Эти анионы, встречаясь в растворе с ионами H^+ , связываются с ними, образуя сначала анионы HCO_3^- , HC_2O_4^- , HPO_4^{2-} , H_2PO_4^- , HS^- , а затем недиссоциированные молекулы H_2CO_3 , $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$, H_3PO_4 , H_2S . Следовательно, концентрации в растворе анионов CO_3^{2-} , $\text{C}_2\text{O}_4^{2-}$, PO_4^{3-} , S^{2-} зависят от концентрации ионов H^+ , уменьшаясь с ее увеличением, т. е. с уменьшением величины pH раствора. Отсюда видно, что от величины pH должно зависеть выпадение или невыпадение в осадок подобных солей, а также полнота осаждения их.

При малой величине произведения растворимости для осаждения требуется и малая концентрация осаждающего иона. В соответствии с этим полное осаждение соли с малой величиной произведения растворимости нередко может быть достигнуто даже в сильноокислой среде, т. е. при малой величине pH , например, полное осаждение сульфидов катионов с $\text{ПР} < 10^{-29}$, достигается в сильноокислой среде при $\text{pH}=0,5$.

Кроме величины произведения растворимости, большое значение имеет также величина константы диссоциации соответствующей слабой кислоты. Чем меньше константы диссоциации, тем полнее связываются осаждающие ионы ионами H^+ и тем большую величину pH нужно создать, чтобы добиться практически полного осаждения соли.

ПРИМЕР 3.9 При каком pH достигается полное осаждение иона Ca^{2+} в виде CaCO_3 и CaC_2O_4 из раствора, содержащего 0,005 моль Ca^{2+} , при употреблении полуторного избытка осадителя и общем объеме раствора 100 мл?

Решение: Находим избыток осадителя в растворе (в моль/л). На осаждение 0,005 моль Ca^{2+} потребуется столько же молей осадителя, например $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$, а с полуторным избытком -

0,0075 моль. Избыток осадителя равен 0,0025 моль в 100 мл. При пересчете на 1 л это составляет $2,5 \cdot 10^{-2}$ моль/л. Такая концентрация осадителя должна остаться по окончании осаждения, т.е. концентрация ионов CO_3^{2-} должна быть $2,5 \cdot 10^{-2}$ моль/л.

Но часть ионов CO_3^{2-} превращается в анионы HCO_3^- , а часть - в молекулы H_2CO_3 . Пренебрегая образованием молекул H_2CO_3 , можем написать:

$$[\text{CO}_3^{2-}] + [\text{HCO}_3^-] \approx 2,5 \cdot 10^{-2} \text{ моль/л}^*.$$

Чтобы осаждение Ca^{2+} было полным, необходимо, чтобы концентрация ионов CO_3^{2-} была не меньше величины:

$$[\text{CO}_3^{2-}] = \frac{\text{IP CaCO}_3}{[\text{Ca}^{2+}]} = \frac{4,8 \cdot 10^{-9}}{10^{-6}} = 4,8 \cdot 10^{-3} \text{ моль/л}.$$

Подставим найденную величину $[\text{CO}_3^{2-}]$ в написанное уравнение*, имеем: $[\text{HCO}_3^-] = 2,5 \cdot 10^{-2} - 4,8 \cdot 10^{-3} = 2 \cdot 10^{-2}$ моль/л.

Зная концентрации ионов CO_3^{2-} и HCO_3^- , вычисляем концентрацию ионов $[\text{H}^+]$ из уравнения для константы диссоциации H_2CO_3 по второй ступени:

$$K_2 = \frac{[\text{H}^+] \cdot [\text{CO}_3^{2-}]}{[\text{HCO}_3^-]}.$$

$$[\text{H}^+] = \frac{K_2 \cdot [\text{HCO}_3^-]}{[\text{CO}_3^{2-}]} = \frac{5,6 \cdot 10^{-11} \cdot 0,02}{4,8 \cdot 10^{-3}} = 2,3 \cdot 10^{-10} \text{ моль/л}$$

$$\text{pH} = -\lg 2,3 \cdot 10^{-10} = 9,6.$$

Таким образом, чтобы осаждение CaCO_3 было полным, его нужно вести в щелочной среде, именно при $\text{pH}=9,6$.

Правильность предположения о том, что образованием недиссоциированных молекул H_2CO_3 можно было пренебречь, можно провести следующие расчеты:

$$\frac{K_1}{[\text{H}^+]} = \frac{[\text{HCO}_3^-]}{[\text{H}_2\text{CO}_3]} = \frac{4,3 \cdot 10^{-7}}{2,3 \cdot 10^{-10}} = 2000.$$

Таким образом, при данном pH концентрация ионов HCO_3^- приблизительно в 2000 раз превышает концентрацию молекул H_2CO_3 . Значит образованием молекул H_2CO_3 можно пренебречь.

Произведём аналогичные расчёты для оксалата кальция.

$$[\text{C}_2\text{O}_4^{2-}] + [\text{HC}_2\text{O}_4^-] = 2,5 \cdot 10^{-2} \text{ моль/л}.$$

Для полного осаждения нужно, чтобы:

$$[\text{C}_2\text{O}_4^{2-}] = \frac{\text{IP}_{\text{CaC}_2\text{O}_4}}{[\text{Ca}^{2+}]} = \frac{2,6 \cdot 10^{-9}}{10^{-6}} = 2,6 \cdot 10^{-3} \text{ моль / л.}$$

Следовательно: $[\text{C}_2\text{O}_4^{2-}] = 2,5 \cdot 10^{-2} - 2,6 \cdot 10^{-3} = 2,2 \cdot 10^{-2} \text{ моль / л.}$

Поэтому:

$$[\text{H}^+] = \frac{K_2 \cdot [\text{HC}_2\text{O}_4^-]}{[\text{C}_2\text{O}_4^{2-}]} = \frac{6,4 \cdot 10^{-5} \cdot 2,2 \cdot 10^{-2}}{2,6 \cdot 10^{-3}} = 5 \cdot 10^{-4} \text{ моль / л.}$$

$$\text{pH} = -\lg 5 \cdot 10^{-4} = 3,3.$$

Осаждение CaC_2O_4 достигается в кислой среде (при $\text{pH} > 3,3$).

Проверяем полученный результат:

$$\frac{K_1}{[\text{H}^+]} = \frac{[\text{HC}_2\text{O}_4^-]}{[\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4]} = \frac{5,9 \cdot 10^{-2}}{5 \cdot 10^{-4}} = 100.$$

При $\text{pH} = 3,3$ концентрация анионов HC_2O_4^- примерно в 100 раз превышает концентрацию недиссоциированных молекул $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$.

Рассмотренные вычисления показывают, что чем слабее кислота, тем большее значение pH нужно создать для достижения полного осаждения соли данной кислоты.

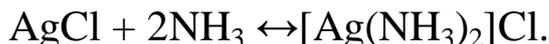
Во многих случаях осаждаемые ионы способны взаимодействовать с различными лигандами, в результате чего они влияют на состояние равновесия между осадком и раствором.

Сдвиг состояния равновесия между осадком и раствором в сторону растворения осадка зависит от произведения растворимости осадка, устойчивости комплекса, концентрации лиганда, кислотности раствора и других условий.

Расчеты растворимости осадков при образовании комплексов связаны с некоторыми затруднениями. Обусловлено это тем, что для многих комплексных соединений пока не установлены константы нестойкости или устойчивости. Кроме того, комплексные ионы, аналогично многоосновным кислотам, образуются и диссоциируют ступенчато. Состояние равновесия между отдельными формами комплексных групп зависит от концентрации лиганда и кислотности раствора.

ПРИМЕР 3.10 Рассчитать растворимость хлорида серебра в 1М растворе NH_3 при условии, что после достижения равновесия концентрация избытка аммиака $[\text{NH}_3]$ составила 0,1 моль/л.

Решение: Растворимость хлорида серебра в растворе аммиака связана с образованием аммиачного комплекса:



Это соединение представляет собой сильный электролит и диссоциирует на ионы $[\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]^+$ и Cl^- . Таким образом, комплексным является катион $[\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]^+$, который очень слабо диссоциирует. Поэтому растворимость в этом случае связана с взаимодействием ионов серебра с аммиаком по уравнению:



Константа устойчивости комплекса имеет вид:

$$K_y([\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]^+) = \frac{[[\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]^+]}{[\text{Ag}^+] \cdot [\text{NH}_3]^2} = 1,7 \cdot 10^7.$$

Произведение растворимости хлорида серебра:

$$\text{ПР}_{\text{AgCl}} = [\text{Ag}^+][\text{Cl}^-] = 1 \cdot 10^{-10}.$$

Уравнение реакции между хлоридом серебра и аммиаком можно записать следующим образом:



Константа равновесия этой реакции

$$K = \frac{[[\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]^+] \cdot [\text{Cl}^-]}{[\text{NH}_3]^2}.$$

Если это выражение умножить и поделить на концентрацию ионов серебра $[\text{Ag}^+]$ и подставить соответствующие значения, то

$$K = \frac{[[\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]^+] \cdot [\text{Cl}^-] \cdot [\text{Ag}^+]}{[\text{NH}_3]^2 \cdot [\text{Ag}^+]} = \text{ПР}(\text{AgCl}) \cdot K_y([\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]^+).$$

$$K = 1,7 \cdot 10^7 \cdot 10^{-10} = 1,7 \cdot 10^{-3}$$

Состояние равновесия реакции смещается вправо тем больше, чем больше растворимость осадка и чем меньше константа диссоциации комплекса, т. е. чем больше его устойчивость.

При растворении осадка AgCl в растворе NH_3 количества ионов Cl^- и $[\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]^+$ будут равны, т.е. $[\text{Cl}^-] = [\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]^+$.

Тогда можно записать:

$$K = \frac{[[\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]^+]^2 \cdot [\text{Ag}^+]}{[\text{NH}_3]^2 \cdot [\text{Ag}^+]}$$

Отсюда,

$$[\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]^+ = \sqrt{K \cdot [\text{NH}_3]^2} = \sqrt{1,7 \cdot 10^{-3} \cdot 0,1^2} = 4,1 \cdot 10^{-3} \text{ моль / л.}$$

Следовательно, растворимость AgCl , в воде равна 10^{-5}M , а в 1M растворе аммиака увеличивается до $3,7 \cdot 10^{-3}\text{M}$, т.е. осадок практически полностью переходит в раствор.

3.5. ДРОБНОЕ ОСАЖДЕНИЕ

Нередко прибавляемый реагент образует малорастворимое соединение не с одним, а с двумя или несколькими ионами, находящимися в растворе. Используя правило произведения растворимости, можно понять, как происходит осаждение ионов в подобных случаях. Последовательное осаждение ионов в зависимости от произведения растворимости называется **фракционированным (или дробным)**.

Допустим, что в растворе одновременно присутствуют катионы Ca^{2+} и Ba^{2+} , их концентрации равны 10^{-1} моль/л. При постепенном прибавлении к этой смеси раствора оксалата аммония $(\text{NH}_4)_2\text{C}_2\text{O}_4$ возможно течение двух реакций:



Первым выпадает в осадок то соединение, для которого раньше будет достигнута (и превышена) величина произведения растворимости.

Исходя из значений ПР, можно вычислить, какие концентрации иона $\text{C}_2\text{O}_4^{2-}$ необходимы для начала осаждения оксалата кальция и бария:

$$[\text{C}_2\text{O}_4^{2-}] = \frac{\text{ПР}_{\text{CaC}_2\text{O}_4}}{[\text{Ca}^{2+}]} = \frac{2,6 \cdot 10^{-9}}{10^{-1}} = 2,6 \cdot 10^{-8} \text{ моль / л.}$$

$$[\text{C}_2\text{O}_4^{2-}] = \frac{\text{ПР}_{\text{BaC}_2\text{O}_4}}{[\text{Ba}^{2+}]} = \frac{1,6 \cdot 10^{-7}}{10^{-1}} = 1,6 \cdot 10^{-6} \text{ моль / л.}$$

Из приведенных расчетов видно, что для осаждения оксалата кальция требуется значительно меньшая концентрация оксалат-иона ($2,6 \cdot 10^{-8}$ моль/л), чем для оксалата бария ($1,6 \cdot 10^{-6}$ моль/л).

Следовательно, из смеси будет первым осаждаться оксалат кальция, для которого произведение растворимости достигается раньше.

Последовательность выпадения осадков зависит не только от величины ПР, но и от концентрации соответствующих ионов в растворе. Например, увеличив концентрацию ионов Ba^{2+} в 100 раз и больше по отношению к концентрации ионов Ca^{2+} , удастся вызвать обратную последовательность осаждения оксалатов бария и кальция, т. е. первым выпадает осадок BaC_2O_4 .

Дробное осаждение используют достаточно часто в качест-

венном химическом анализе, осадочной хроматографии и т. д.

3.5 ПРЕВРАЩЕНИЕ ОДНИХ МАЛОРАСТВОРИМЫХ СОЕДИНЕНИЙ В ДРУГИЕ

В аналитической химии часто приходится иметь дело с реакциями, в которых одно малорастворимое соединение переводят в другое, еще менее растворимое в данных условиях.

Если сравнить произведения растворимости BaSO_4 ($\text{ПР}=1,1 \cdot 10^{-10}$) и BaCO_3 ($\text{ПР}=5,1 \cdot 10^{-9}$), может показаться, что перевести сульфат бария в карбонат нельзя. Однако это не так. Осадок BaCO_3 образуется всегда, когда произведение растворимости его окажется превышенным, т. е. $[\text{Ba}^{2+}] > \frac{\text{ПР}_{\text{BaCO}_3}}{[\text{CO}_3^{2-}]}$.

Преобразование BaSO_4 в BaCO_3 должно происходить при условии:

$$\frac{\text{ПР}_{\text{BaSO}_4}}{[\text{SO}_4^{2-}]} > \frac{\text{ПР}_{\text{BaCO}_3}}{[\text{CO}_3^{2-}]}, \text{ т. е. } \frac{[\text{CO}_3^{2-}]}{[\text{SO}_4^{2-}]} > \frac{\text{ПР}_{\text{BaCO}_3}}{\text{ПР}_{\text{BaSO}_4}},$$

$$\frac{[\text{CO}_3^{2-}]}{[\text{SO}_4^{2-}]} > \frac{5 \cdot 10^{-9}}{1,1 \cdot 10^{-10}} > 50$$

Таким образом, чтобы превращение BaSO_4 в BaCO_3 происходило, надо, чтобы $[\text{CO}_3^{2-}]$ в растворе превышала $[\text{SO}_4^{2-}]$ более, чем в 50 раз.

4. РАСЧЁТ КОЛИЧЕСТВА ОСАДИТЕЛЯ

Для достижения полного осаждения определяемых ионов к исследуемому раствору прибавляют избыток осадителя.

Осадителя необходимо прибавлять столько, чтобы количество определяемых ионов, остающихся в растворе, не имело практического значения.

Расчёт количества осадителя относится к приближенным расчётам, в их результатах сохраняется не более одной-двух значащих цифр.

Теоретической основой расчётов служит закон эквивалентов: *вещества реагируют друг с другом в количествах, пропорциональных их эквивалентам.*

$$\frac{m_1}{M_{\text{э}1}} = \frac{m_2}{M_{\text{э}2}} \quad (4.1)$$

где m_1 - масса осаждаемого вещества, г;

$M_{Э1}$ - его эквивалентная масса, г/моль;

m_2 - масса осадителя, г;

$M_{Э2}$ - эквивалентная масса осадителя, г/моль.

Если применяемый осадитель не 100%-ный, а n -% - ный, то искомое весовое количество осадителя в граммах вычисляется по формуле:

$$X = \frac{m_2 \cdot 100}{n} \quad (4.2)$$

Наконец, чтобы реакция прошла до конца, найденную величину увеличивают в полтора раза больше расчётного.

Если концентрация осадителя выражена через нормальность (C_n), для расчёта объёма осадителя используют формулу:

$$X = \frac{m \cdot 1000}{C_n \cdot M_э} \quad (4.3)$$

где m - масса осадителя, г;

$M_э$ - его эквивалентная масса, г/моль;

C_n – нормальная концентрация осадителя, моль-экв/л.

ПРИМЕР 4.1 Сколько мл 10%-ной серной кислоты необходимо взять для осаждения свинца из навески ацетата свинца $Pb(CH_3COO)_2 \cdot 3H_2O$ в 0,7 г?

Решение: Используя закону эквивалентов, определяем массу серной кислоты:

$$\frac{m(Pb(CH_3COO)_2 \cdot 3H_2O)}{M_э(Pb(CH_3COO)_2 \cdot 3H_2O)} = \frac{m(H_2SO_4)}{M_э(H_2SO_4)}$$

$$M_э(Pb(CH_3COO)_2 \cdot 3H_2O) = M(Pb(CH_3COO)_2 \cdot 3H_2O)/2 = 189,5 \text{ г/моль}$$

$$M_э(H_2SO_4) = M(H_2SO_4)/2 = 98/2 = 49 \text{ г/моль.}$$

$$m(H_2SO_4) = \frac{0,7 \cdot 49}{189,5} = 0,181 \text{ г.}$$

Вычисляем массу 10% - ного раствора серной кислоты, принимая её плотность равной 1 г/мл.

100 мл раствора содержат 10г H_2SO_4

x мл раствора содержат 0,181г H_2SO_4

$x \approx 2$ мл.

Полуторный избыток осадителя составит 3 мл.

5. ПОТЕРИ ПРИ ПРОМЫВАНИИ ОСАДКОВ

Чтобы вычислить потери осадка при его промывании, по про-

изведению растворимости определяют концентрацию ионов в промывной жидкости, которая после соприкосновения с осадком превращается в насыщенный раствор. Далее находят массу осадка в 1л насыщенного раствора, а затем в объёме промывной жидкости, израсходованной на всё промывание.

ПРИМЕР 5.1 Вычислить потерю от растворимости при промывании 0,1г осадка CaC_2O_4 в 200 мл воды. $\text{ПР}_{\text{CaC}_2\text{O}_4} = 2,3 \cdot 10^{-9}$.

Решение: Вычислим растворимость CaC_2O_4 (моль/л).

Согласно уравнению диссоциации, из x моль/л оксалата кальция получим: $[\text{Ca}^{2+}] = x$, $[\text{C}_2\text{O}_4^{2-}] = x$: $\text{CaC}_2\text{O}_4 = \text{Ca}^{2+} + \text{C}_2\text{O}_4^{2-}$.

$$\text{ПР} = [\text{Ca}^{2+}] \cdot [\text{C}_2\text{O}_4^{2-}] = x^2 = 2,3 \cdot 10^{-9};$$

$$x = \sqrt{2,3 \cdot 10^{-9}} = 4,8 \cdot 10^{-5} \text{ моль / л.}$$

Определим массу CaC_2O_4 ($M_r = 128$), который будет содержаться в 200 мл раствора: $m = C(\text{CaC}_2\text{O}_4) \cdot V(\text{р-ра}) \cdot M_r(\text{CaC}_2\text{O}_4)$,

$$m(\text{CaC}_2\text{O}_4) = 4,8 \cdot 10^{-5} \cdot 128 \cdot 0,2 = 0,0012 \text{ г.}$$

Находим потерю при промывании осадка:

0,1г осадка CaC_2O_4 - 100%

0,0012г растворившегося CaC_2O_4 - y %

$$y = \frac{0,0012 \cdot 100}{0,1} = 1,2 \text{ \%}.$$

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что называется раствором?
2. Что называется энергией растворения? Какие факторы влияют на эту величину?
3. Что называется теплотой гидратации?
4. Какие растворы называют ненасыщенными, насыщенными и пересыщенными?
5. Понятие индукционного периода растворения.
6. Что такое растворимость? Её единицы измерения.
7. Понятие коэффициента растворимости.
8. Классификация веществ по растворимости.
9. Закон Генри.
10. Понятие коэффициента поглощения.
11. От каких факторов зависит растворимость в жидкости: а) газов; б) жидкостей? жидкостей в жидкости?
12. Чем объясняется возможность, как повышения, так и уменьшения растворимости твердых веществ с ростом температуры?
13. Что называют произведением растворимости? Какое свойство вещества характеризуется этой величиной?
14. Как связаны между собой произведение растворимости (ПР) и растворимость вещества S для бинарных, трехионных, четырех- и пятиионных труднорастворимых электролитов?
15. Что такое активность? Коэффициент активности? В каких случаях он равен единице?
16. Что такое ионная сила раствора? Правило ионной силы.
17. Влияние на растворимость рН раствора, комплексообразования, введение в его насыщенный раствор одноименного иона?
18. Чем определяются неизбежные потери вещества при его очистке методом перекристаллизации?
19. Солевой эффект осаждения.
20. Понятие дробного осаждения.

ИНДИВИДУАЛЬНЫЕ ЗАДАНИЯ

Вариант 1

1. При растворении в воде 23,38г NaCl поглощается 2,14 кДж теплоты. Вычислить энтальпию растворения NaCl.

2. Растворимость диоксида углерода в воде при 0⁰C и давлении $1,0133 \cdot 10^5$ Па равна $1,713 \text{ м}^3$ на 1 м^3 воды. Какова масса CO₂, содержащегося в 25л H₂O, при этой температуре и давлении $0,745 \cdot 10^5$ Па?

3. Какая масса KNO₃ выделится из раствора массой 1,344кг, насыщенного при 80⁰C и охлажденного до 10⁰C, если растворимость соли при этих температурах соответственно равна 169г и 21,2г?

4. Произведение растворимости Pb₃(PO₄)₂ при 25⁰C равно $7,9 \cdot 10^{-43}$. Вычислить растворимость в г/л.

5. Вычислить концентрацию иона Ag⁺ в г/л в насыщенном растворе Ag₂CrO₄ с учётом коэффициентов активностей. $PP_{Ag_2CrO_4} = 1,2 \cdot 10^{-12}$.

6. Вычислить растворимость Ag₂CrO₄ в 0,1М растворе K₂CrO₄ и сравнить её с растворимостью в чистой воде. $PP_{Ag_2CrO_4} = 1,2 \cdot 10^{-12}$.

7. В каком объеме воды можно растворить 0,1 г сульфида меди (II)? $PP_{CuS} = 8,5 \cdot 10^{-45}$.

8. Выпадет ли осадок при сливании 300 мл 0,001 М раствора Sr(NO₃)₂ и 600 мл 0,0001 М раствора Na₂SO₄? $PP_{SrSO_4} = 3,8 \cdot 10^{-7}$.

9. Сколько мл 0,25М раствора (NH₄)₂C₂O₄ потребуется для осаждения Ca²⁺ из раствора, полученного при растворении 0,7г CaCO₃? $PP_{CaC_2O_4} = 2 \cdot 10^{-9}$.

10. Осадок CaC₂O₄ был промыт водой объемом 250 мл. Какая масса ионов Ca²⁺ потеряется из осадка за счет растворения его в воде, если считать, что над осадком она образует с ним равновесную систему? $PP_{CaC_2O_4} = 2 \cdot 10^{-9}$.

Вариант 2

1. Энтальпия растворения NaOH в воде равна - 41,6 кДж/моль. Какое количество теплоты выделится при растворении в воде 225г NaOH?

2. Какой объем надо взять, чтобы растворить 250г хлора при 10⁰C и давлении $1,5 \cdot 10^5$ Па? Растворимость хлора при 10⁰C и дав-

лении $1,0133 \cdot 10^5$ Па составляет $3,148 \text{ м}^3$ на 1 м^3 воды.

3. Для получения насыщенного при 75°C раствора NaNO_3 была взята вода объемом 500 мл. Полученный раствор охлажден до 10°C . Определить выход перекристаллизованной соли, если для нее коэффициент растворимости при указанных температурах соответственно равен 142 и 80 г.

4. Вычислить произведение растворимости CaCO_3 , если в 1 л насыщенного раствора при 25°C содержится $6,93 \cdot 10^{-2}$ г этой соли.

5. Рассчитать растворимость BaF_2 в насыщенном растворе с учётом и без учёта влияния ионной силы раствора. $\text{ПР}_{\text{BaF}_2} = 1,1 \cdot 10^{-6}$.

6. Вычислить растворимость AgI в 0,01 М растворе KI . $\text{ПР}_{\text{AgI}} = 8,3 \cdot 10^{-7}$.

7. Рассчитать, какой объем воды потребуется для растворения 0,0158 г BaSO_4 при 25°C . $\text{ПР}_{\text{BaSO}_4} = 10^{-10}$.

8. Выпадет ли осадок BaSO_4 при добавлении раствора H_2SO_4 объемом 100 мл при концентрации 0,2 моль/л к раствору BaCl_2 того же объема, если молярная концентрация эквивалента этого раствора равна 0,2 моль/л? $\text{ПР}_{\text{BaSO}_4} = 10^{-10}$.

9. Сколько мл NH_4OH плотностью 0,99 г/мл, содержащего 2,5% NH_3 нужно взять, чтобы осадить железо, полученное при растворении 1 г железоаммонийных квасцов $(\text{NH}_4)\text{Fe}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$.

$\text{ПР}_{\text{Fe}(\text{OH})_3} = 4 \cdot 10^{-38}$.

10. Осадок PbCl_2 массой 0,5 г промывает водой объемом 100 мл. Какую массовую долю (%) при этом составят потери, если считать промывные воды над осадком насыщенным раствором? $\text{ПР}_{\text{PbCl}_2} = 2 \cdot 10^{-5}$.

Вариант 3

1. Вычислить энтальпию растворения KCl в воде, если при растворении 25 г KCl в 1 л H_2O температура понизилась на $1,5^\circ$. Удельная теплоемкость полученного раствора равна 4,18 Дж/(г·К).

2. Растворимость сероводорода при 20°C и давлении $1,0133 \cdot 10^5$ Па равна 2,91 л на 1 л воды. Вычислить массовую долю H_2S в полученном растворе.

3. Определить коэффициент растворимости KCl при 25°C , если при этой температуре для насыщения воды массой 25 г требуется соль массой 8,75 г.

4. Для насыщения 200мл воды требуется 0,71мг BaCrO_4 . Рассчитать произведение растворимости.

5. Вычислить растворимость AgCl в 0,01М AgCl растворе с учётом влияния ионной силы раствора. $\text{P}_{\text{AgCl}} = 1,7 \cdot 10^{-10}$.

6. Во сколько раз растворимость AgBr в 0,2М растворе KBr меньше растворимости в воде? $\text{P}_{\text{AgBr}} = 4 \cdot 10^{-13}$.

7. Рассчитайте, какой объем воды потребуется для растворения 0,0158 г CaCO_3 при 25°C . $\text{P}_{\text{CaCO}_3} = 10^{-8}$.

8. Выпадет ли осадок PbSO_4 , если к 1л раствора H_2SO_4 с концентрацией 0,001 моль/л добавить полностью переходящий в раствор твердый $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ количеством вещества 0,0002 моль?

$\text{P}_{\text{PbSO}_4} = 2 \cdot 10^{-8}$.

9. Сколько мл соляной кислоты $\rho = 1,17$ г/мл, содержащей 34,18% HCl , потребуется для осаждения серебра в виде AgCl из 2г сплава, содержащего 22% серебра? $\text{P}_{\text{AgCl}} = 1,6 \cdot 10^{-10}$.

10. Осадок и BaSO_4 массой 0,5г промыт водой объемом 100 мл. Какую массовую долю (%) при этом составят потери, если считать промывные воды над осадком насыщенным раствором?

$\text{P}_{\text{BaSO}_4} = 10^{-10}$.

Вариант 4

1. Энтальпия растворения нитрата аммония равна 26,32кДж/моль. Какую массу NH_4NO_3 надо растворить в 0,2л воды, чтобы понизить температуру на 5° ? Удельная теплоемкость полученного раствора равна 3,77 Дж/(г·К).

2. В 0,05л воды растворено 4,9л хлороводорода при 18°C и $1,0 \cdot 10^5$ Па. Определить массовую долю (%) HCl в полученном растворе.

3. Растворимость $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ при 70°C составляет 36,2%. Найти массу соли, которая останется нерастворенной, если для получения насыщенного при 70°C раствора были взяты 60 г дихромата калия и 80 мл воды.

4. Растворимость CaCrO_4 равна $4,2 \cdot 10^{-5}$ моль/л. Вычислить P этой соли.

5. Вычислить активности ионов Ca^{2+} и F^- в насыщенном растворе. При 18°C , если $\text{P}_{\text{CaF}_2} = 4 \cdot 10^{-13}$.

6. Во сколько раз растворимость BaC_2O_4 в 0,01М растворе

BaC_2O_4 меньше растворимости в воде? $\text{PP}_{\text{BaC}_2\text{O}_4} = 1,62 \cdot 10^{-7}$.

7. Рассчитать, какой объем воды потребуется для растворения 0,15 г PbSO_4 при 25°C . $\text{PP}_{\text{PbSO}_4} = 2 \cdot 10^{-8}$.

8. Образуется ли осадок, если смешать насыщенный раствор CaSO_4 с раствором $(\text{NH}_4)_2\text{C}_2\text{O}_4$ того же объема и концентрацией 0,0248 г/л? $\text{PP}_{\text{CaC}_2\text{O}_4} = 2 \cdot 10^{-9}$, $\text{PP}_{\text{CaSO}_4} = 6,1 \cdot 10^{-5}$.

9. Сколько мл 0,1 М $(\text{NH}_4)_2\text{C}_2\text{O}_4$ необходимо для осаждения кальция и стронция из 200 мл раствора, содержащего в 1 л 0,558 г CaCl_2 и 0,617 г SrCl_2 . $\text{PP}_{\text{CaC}_2\text{O}_4} = 2 \cdot 10^{-9}$, $\text{PP}_{\text{SrCl}_2} = 7,61 \cdot 10^{-8}$.

10. Вычислить, сколько г бария было потеряно при промывании осадка BaCrO_4 200 мл воды. $\text{PP}_{\text{BaCrO}_4} = 1,6 \cdot 10^{-10}$.

Вариант 5

1. Теплота растворения Na_2CO_3 в воде равна 25,6 кДж/моль. На сколько градусов повысится температура, если в 250 мл воды растворить 6 г Na_2CO_3 ? Удельную теплоемкость раствора принять равной 4,174 Дж/(г·К).

2. Газовая смесь, состоящая из водорода и оксида углерода (IV), растворена в воде при 10°C и давлении $1,0133 \cdot 10^5$ Па. Объемные доли H_2 и CO_2 в смеси соответственно равны 40 и 60 %. Определить объемные доли H_2 и CO_2 в газовой смеси, растворенной в воде, если коэффициенты поглощения H_2 и CO_2 соответственно равны 0,0199 и 1,194.

3. Растворимость NH_4Cl при 90°C равна 70 г/100 г H_2O , а 50°C - 50 г/100 г H_2O . Какова масса выпавшего осадка при охлаждении 1 кг насыщенного при 90°C раствора до 50°C ?

4. $\text{PP}_{\text{PbSO}_4} = 1,8 \cdot 10^{-8}$. Определить концентрацию ионов свинца в граммах на литр насыщенного раствора.

5. Растворимость CaSO_4 равна 2 г/л. Вычислить PP этой соли с учетом ионной силы раствора.

6. $\text{PP}_{\text{BaCrO}_4} = 1,2 \cdot 10^{-10}$. Вычислить растворимость этой соли в воде 0,1 М растворе K_2CrO_4 .

7. Рассчитать, какой объем воды потребуется для растворения 0,5 г AgCl при 25°C . $\text{PP}_{\text{AgCl}} = 1,6 \cdot 10^{-10}$.

8. Образуется ли осадок SrSO_4 , если смешать растворы SrCl_2 и K_2SO_4 молярной концентрации эквивалента 0,001 моль/л в равных объемах? $\text{PP}_{\text{SrSO}_4} = 3,8 \cdot 10^{-7}$.

9. Какой объём H_2SO_4 ($\rho = 1,21$ г/мл) потребуется для превращения 0,35г CaO в CaSO_4 ? ($\text{CH}_2\text{SO}_4 = 33\%$). $\text{PP}_{\text{CaSO}_4} = 6,1 \cdot 10^{-5}$.

10. 1г осадка хромата серебра промывает 300 мл воды. Сколько % осадка растворилось при этом? $\text{PP}_{\text{Ag}_2\text{CrO}_4} = 4,05 \cdot 10^{-12}$.

Вариант 6

1. При растворении 4,0г CuSO_4 в 0,2л воды температура повысилась на 2° . Вычислить энтальпию гидратации CuSO_4 , если энтальпия растворения $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ равна 11,72 кДж/моль. Удельная теплоемкость раствора равна 4.18 Дж/(г·К).

2. В воде при 20°C и общем давлении $2,5 \cdot 10^5$ Па растворена газовая смесь, состоящая из O_2 , N_2 и Cl_2 . Объемные доли этих газов в смеси соответственно равны 15, 25 и 60 %. Растворимость газов 1 м³ воды (м³): $\text{PO}_2 = 0,031$; $\text{PN}_2 = 0,016$; $\text{PCl}_2 = 2,299$. Определить объемные доли газов в газовой смеси, растворенной в воде.

3. Для получения насыщенного при 100°C раствора NaNO_3 , было взято 500 мл воды ($\rho = 1$ г/см³). Полученный раствор охлажден до 20°C . Рассчитать массу выпавшего осадка, если растворимость соли при указанных температурах равна соответственно 176 и 88 г/100 г H_2O .

4. Сколько граммов: а) иона Pb^{2+} и б) иона I^- содержится в 1мл насыщенного раствора PbI_2 , если при 25°C произведение растворимости иодида свинца равно $8,7 \cdot 10^{-9}$?

5. Вычислить активности ионов Ba^{2+} и SO_4^{2-} в насыщенном растворе BaSO_4 . $\text{PP}_{\text{BaSO}_4} = 1,1 \cdot 10^{-10}$.

6. Вычислить растворимость CaCO_3 в 0,02М растворе K_2CO_3 и в воде. $\text{PP}_{\text{CaCO}_3} = 4,8 \cdot 10^{-9}$.

7. Рассчитать, какой объем воды потребуется для растворения 0,18г SrSO_4 при 25°C . $\text{PP}_{\text{SrSO}_4} = 3,8 \cdot 10^{-7}$.

8. $\text{PP}_{\text{Ag}_2\text{Cr}_2\text{O}_7}$ при 25°C равно $2,0 \cdot 10^{-7}$. Выпадает ли осадок $\text{Ag}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ при смешивании равных объемов 0,05 н. растворов AgNO_3 и $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$? Степень диссоциации этих электролитов равна 90 %.

9. Какой объём 0,5М Na_2HPO_4 потребуется для осаждения магния в виде MgNH_4PO_4 из 0,5г сплава, содержащего 90% магния? $\text{PP}_{\text{MgNH}_4\text{PO}_4} = 2,51 \cdot 10^{-13}$.

10. Сколько г бария перейдет в раствор при промывании

осадка BaSO_4 200 мл воды? $\text{PP}_{\text{BaSO}_4} = 1,1 \cdot 10^{-10}$.

Вариант 7

1. Рассчитать энтальпию гидратации безводного сульфата магния, если энтальпия растворения 1 моль MgSO_4 в 400 моль воды равна 84,94 кДж/моль, а при растворении 38,1г MgSO_4 6 H_2O в 7208 г H_2O поглощается 70 Дж теплоты.

2. Коэффициент поглощения водорода водой при 30 $^{\circ}\text{C}$ составляет 0,017. Какова массовая доля (%) водорода в растворе при 30 $^{\circ}\text{C}$ и добавлении 96 500 Па?

3. Коэффициент растворимости KNO_3 при 0 и 75 $^{\circ}\text{C}$ соответственно равен 13 и 150 г. Какой выход чистой соли можно получить перекристаллизацией загрязненного нитрата массой 1 кг в указанном интервале температуры?

4. Вычислить PP_{CaF_2} , если концентрация насыщенного раствора соли составляет 0,017г/л.

5. В 200 мл насыщенного раствора PbSO_4 содержится $8,2 \cdot 10^{-8}$ г этой соли. Вычислить произведение активностей этой соли.

6. Во сколько раз уменьшится растворимость BaSO_4 в растворе H_2SO_4 концентрации 0,1 моль/л по сравнению с его растворимостью в чистой воде? $\text{PP}_{\text{BaSO}_4} = 10^{-10}$.

7. Рассчитать, какой объем воды потребуется для растворения 0,17 г BaCO_3 при 25 $^{\circ}\text{C}$. $\text{PP}_{\text{BaCO}_3} = 7 \cdot 10^{-9}$.

8. Произойдет ли осаждение сульфида кадмия, если к 1 л 0,1н. $\text{Cd}(\text{NO}_3)_2$ прибавить такой же объем 0,01н. Na_2S , если $\alpha_{\text{Cd}(\text{NO}_3)_2} = 75\%$; $\alpha_{\text{Na}_2\text{S}} = 87\%$. $\text{PP}_{\text{CdS}} = 7,1 \cdot 10^{-8}$?

9. Какой объём 2%-ного раствора NH_4OH потребуется для осаждения железа из 0,2г руды, содержащей 20% Fe_2O_3 ? $\text{PP}_{\text{Fe}(\text{OH})_3} = 4 \cdot 10^{-38}$.

10. Осадок, содержащий 0.5 г BaCrO_4 , промыли 150 мл воды. Сколько г и % хромата растворилось при этом, если $\text{PP}_{\text{BaCrO}_4} = 1,62 \cdot 10^{-7}$?

Вариант 8

1. Энтальпия гидратации Na_2SO_3 равна 58,16 кДж/моль. Рассчитать энтальпию растворения безводного сульфита натрия в воде, если при растворении 1 моль кристаллогидрата $\text{Na}_2\text{SO}_3 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ в

800 моль воды поглощается 46,86 кДж теплоты.

2. Коэффициент поглощения CO_2 водой при 20°C равен 0,878. Под каким давлением должен находиться диоксид углерода, чтобы при растворении его в воде получили раствор с массовой долей CO_2 1 %?

3. Найти массу KClO_3 , который выделится из 32%-ного раствора массой 200г, насыщенного при 100°C , если охладить его до 0°C . Коэффициент растворимости соли при указанных температурах соответственно равен 58 и 3,3 г.

4. Вычислить растворимость осадка CaC_2O_4 в насыщенном его растворе, если $\text{PP}_{\text{CaC}_2\text{O}_4} = 2,3 \cdot 10^{-9}$.

5. 1 мл насыщенного раствора CaCO_3 при 25°C содержит $6,93 \cdot 10^{-5}$ г этой соли. Вычислить ПА этой соли.

6. Во сколько раз растворимость CaCO_4 в 0,01М растворе $(\text{NH}_4)_2\text{C}_2\text{O}_4$ меньше растворимости его в чистой воде? $\text{PP}_{\text{CaC}_2\text{O}_4} = 2,3 \cdot 10^{-9}$.

7. Рассчитайте, какой объем воды потребуется для растворения 0,02г SrCO_3 при 25°C . $\text{PP}_{\text{SrCO}_3} = 1,6 \cdot 10^{-9}$.

8. Образуется ли осадок $\text{Fe}(\text{OH})_3$, если к 1л 0,006 н. FeCl_3 прибавить 0,125л 0,0001М KOH ? $\text{PP}_{\text{Fe}(\text{OH})_3} = 3,8 \cdot 10^{-38}$. Степень электролитической диссоциации исходных веществ принять равной единице.

9. Какой объём 0,1 н раствора H_2SO_4 потребуется для осаждения BaSO_4 из 50 мл 0,2М BaCl_2 ? $\text{PP}_{\text{BaSO}_4} = 10^{-10}$.

10. Сколько % от 0,01г BaCrO_4 перейдет в раствор, если промыть его 100 мл воды? $\text{PP}_{\text{BaCrO}_4} = 1,62 \cdot 10^{-10}$.

Вариант 9

1. Энтальпия гидратации безводного сульфата цинка равна 95,27 кДж/моль. На сколько градусов повысится температура при растворении 1 моль $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ в 400 моль H_2O , если энтальпия растворения 1 моль $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ в 400 моль равна 17,70 кДж/моль? Теплоемкость раствора равна 4,19 Дж/(г·К).

2. Растворимость аммиака в воде при 293 К и 101,3 кПа составляет 710 ($\text{м}^3/\text{м}^3$ воды). Сколько граммов аммиака может раствориться в 5л воды при таких условиях?

3. Растворимость CuSO_4 при 20 и 100°C равна соответственно

20,2 и 77г. Какая масса сульфата меди выпадет в осадок, если охладить 825 г раствора от 100 до 20⁰С?

4. ПР $\text{BaCrO}_4 = 1,62 \cdot 10^{-7}$. Найти концентрацию ионов бария в г на 100г насыщенного раствора.

5. Рассчитать активную концентрацию хлорида кальция в водном растворе, содержащем 0,925г CaCl_2 в 500г воды.

6. Вычислите растворимость (в моль/л) карбоната кальция а) в воде; б) в 0,005М растворе CaCl_2 .

7. Рассчитать, какой объем воды потребуется для растворения 0,8г BaCrO_4 при 25⁰С. ПР $\text{BaCrO}_4 = 2 \cdot 10^{-10}$.

8. Раствор содержит ионы Ba^{2+} и Sr^{2+} в концентрации соответственно $5 \cdot 10^{-4}$ и $5 \cdot 10^{-2}$ моль/л. Какой из осадков будет первым выпадать из раствора при постепенном прибавлении раствора K_2CO_3 ? ПР $\text{SrCO}_3 = 9,4 \cdot 10^{-10}$, ПР $\text{BaCO}_3 = 7 \cdot 10^{-9}$.

9. Какой объем 5%-ного раствора NaOH потребуется для осаждения ионов Fe^{2+} из раствора, полученного растворением 0,3г руды, содержащей 70% Fe_2O_3 ? ПР $\text{Fe}(\text{OH})_2 = 3,2 \cdot 10^{-14}$.

10. Какова будет потеря массы осадка PbSO_4 при промывании его 200 мл воды? ПР $\text{PbSO}_4 = 1,6 \cdot 10^{-8}$.

Вариант 10

1. При растворении 14,2г Na_2HPO_4 в 7208г воды выделяется 2,36 кДж теплоты, а при растворении 35,8г кристаллогидрата $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ в том же количестве воды поглощается 9,51 кДж теплоты. Определить энтальпию гидратации Na_2HPO_4 .

2. Растворимость азота в воде при 273 К и 101,3 кПа составляет 0,0239 л/л H_2O . Чему равна масса N_2 в 20л воды при этой температуре и давлении азота 1519 кПа?

3. Определить массу карбоната калия, выпавшего в осадок из 770г насыщенного при 100⁰С раствора и охлажденного до 0⁰С, если в 100г растворителя при 100⁰С содержится 155г соли, а при 0⁰С 111г K_2CO_3 .

4. Концентрация BaCrO_4 в насыщенном растворе составляет 2,7мг/л. Вычислить ПР этой соли.

5. Вычислить активные концентрации ионов Fe^{3+} , NO_3^- , Ca^{2+} в растворе, содержащем 0,02 моль $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$ и 0,02 моль $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ в 1000г H_2O .

6. Определить, во сколько раз по сравнению с растворимостью BaCO_3 в воде уменьшается его растворимость в присутствии одноименного аниона с концентрацией 0,1 моль/л при 25°C .

$\text{PP}_{\text{BaCO}_3}=7 \cdot 10^{-9}$.

7. Сколько граммов AgBr может растворяться в 15 л воды?

$\text{PP}_{\text{AgBr}}=7 \cdot 10^{-13}$.

8. При каком соотношении концентраций ионов Zn^{2+} и Cd^{2+} в растворе прибавление к нему раствора Na_2CO_3 вызывает одновременное осаждение карбонатов этих ионов? $\text{PP}_{\text{ZnCO}_3}=6 \cdot 10^{-11}$, $\text{PP}_{\text{CdCO}_3}=2,5 \cdot 10^{-14}$.

9. Сколько мл 0,1 М AgNO_3 потребуется для осаждения хлорид-ионов из навески NaCl в 0,5 г? $\text{PP}_{\text{AgCl}}=1,6 \cdot 10^{-10}$.

10. Вычислить потерю массы 100 мг осадка CaC_2O_4 при промывании его 250 мл воды, если $\text{PP}_{\text{CaC}_2\text{O}_4}=2,3 \cdot 10^{-9}$.

Вариант 11

1. Определить тепловой эффект реакции растворения натрия в воде, если $\Delta H^0(\text{NaOH})_{\text{aq}}=-469,93$ кДж/моль.

2. Насколько понизится массовая доля SO_2 в насыщенном водном растворе при повышении температуры от 0° до 20°C , если растворимость диоксида серы при этих температурах составляет 79,8 и 39,4 ($\text{м}^3/\text{м}^3 \text{H}_2\text{O}$) соответственно?

3. При охлаждении насыщенного при 90°C раствора до 25°C выкристаллизовалось 200 г соли. Какую массу воды и соли надо взять, если растворимость соли при 90 и 25°C соответственно составляет 42,7 и 6,9 г?

4. Определить произведение растворимости AgCl , если его растворимость при 25°C равна $1,86 \cdot 10^{-4}$ г в 100 г воды.

5. Вычислить активные концентрации сульфата меди и сульфата калия в растворе, содержащем 1,59 г CuSO_4 и 0,44 г K_2SO_4 в 250 воды.

6. Определить, во сколько раз по сравнению с растворимостью PbC_2O_4 в воде уменьшается его растворимость в присутствии одноименного аниона с концентрацией 0,1 моль/л при 25°C . $\text{PP}_{\text{PbC}_2\text{O}_4}=5,32 \cdot 10^{-10}$.

7. В каком количестве воды растворяют 1,5 г AgCl . $\text{PP}_{\text{AgCl}}=1,78 \cdot 10^{-10}$.

8. Раствор содержит ионы SO_4^{2-} и CrO_4^{2-} . Концентрация какого иона должна быть больше и во сколько раз, чтобы осаждение сульфата и хромата серебра началось одновременно? $\text{P}_{\text{Ag}_2\text{SO}_4}=7,7 \cdot 10^{-5}$; $\text{P}_{\text{Ag}_2\text{CrO}_4}=4,05 \cdot 10^{-12}$.

9. Сколько мл соляной кислоты ($\rho=1,15$ г/мл, $\text{C}\%_{\text{HCl}}=32$) потребуется для осаждения серебра в виде AgCl из 5г сплава, содержащего 30% серебра? $\text{P}_{\text{AgCl}}=1,6 \cdot 10^{-10}$.

10. 0,1г осадка фосфата серебра промыли 250 мл воды. Сколько % составит потеря массы вследствие растворимости его? $\text{P}_{\text{Ag}_3\text{PO}_4}=1,3 \cdot 10^{-20}$.

Вариант 12

1. Каким тепловым эффектом будет сопровождаться растворение железа в разбавленной соляной кислоте, если стандартные энтальпии образования $\text{HCl}(\text{aq})$ и $\text{FeCl}_2(\text{aq})$ соответственно равны 167,5 и 422,9 кДж/моль?

2. При 293К и $p=101$ кПа растворимость H_2S в воде равна 2,58 ($\text{м}^3/\text{м}^3 \text{H}_2\text{O}$). Рассчитать массовую долю H_2S в таком растворе.

3. Для перекристаллизации дихромата калия взяли 150г воды, приготовили насыщенный раствор при 80°C , затем профильтровали его и фильтрат охладили до 20°C . Определить массу (г) соли в осадке.

4. Определить произведение растворимости MgNH_4PO_4 , если в 300 мл насыщенного его раствора содержится $2,58 \cdot 10^{-3}$ г соли.

5. Растворимость AgNO_2 равна 4,15 г/л. Вычислить точное значение P_{AgNO_2} с учетом коэффициентов активности.

6. Определить, во сколько раз по сравнению с растворимостью AgI в воде уменьшается его растворимость в присутствии одноименного аниона с концентрацией 0,1 моль/л при 25°C . $\text{P}_{\text{AgI}}=10^{-16}$.

7. Сколько гр. CaCO_3 растворится в 1л воды? $\text{P}_{\text{CaCO}_3}=5 \cdot 10^{-9}$.

8. Концентрация ионов Cu^{2+} равна 0,01 моль/л. При какой концентрации ионов Mg^{2+} гидроксиды обоих ионов будут выпадать из раствора одновременно? $\text{P}_{\text{Cu}(\text{OH})_2}=5,6 \cdot 10^{-20}$, $\text{P}_{\text{Mg}(\text{OH})_2}=1,2 \cdot 10^{-11}$.

9. Сколько мл 0,1 н. $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$ необходимо для осаждения Ba^{2+} из раствора, полученного при растворении 0,6г BaCl_2 ? $\text{P}_{\text{BaCO}_3}=7 \cdot 10^{-7}$.

10. Сколько % от 0,2 г AgBr перейдет в раствор, если осадок промыт 100 мл воды? $PP_{AgBr} = 4 \cdot 10^{-13}$.

Вариант 13

1. Вычислить изменение величины энергии Гиббса для системы $NH_{3(g)} + H_2O_{(ж)} = NH_4OH_{(aq)}$, если $G^0_{NH_4OH_{(aq)}} = -263,8 \text{ кДж/моль}$.

2. 1 л воды насыщен CO_2 при $0^\circ C$ под давлением 506,6 кПа (3800 мм. рт. ст.). Какой объем займет растворенный газ, если выделить его из воды и привести к нормальным условиям? Растворимость CO_2 при $0^\circ C$ равна 171 мл в 100 мл воды.

3. При перекристаллизации 130 г кристаллогидрата $CuSO_4 \cdot 5H_2O$ растворили в 120 г воды при $80^\circ C$. Затем раствор охладили до $20^\circ C$. Определить массу (г) кристаллогидрата в осадке.

4. Сколько грамм иона Ag^+ находится в 2 л насыщенного раствора Ag_2SO_4 , если $PP_{Ag_2SO_4} = 7,7 \cdot 10^{-5}$?

5. Вычислить активные концентрации ионов, находящихся в $1,25 \cdot 10^{-3} \text{ М}$ растворе $CaSO_4$.

6. Определить, во сколько раз по сравнению с растворимостью $SrCO_3$ в воде уменьшается его растворимость в присутствии одноименного аниона с концентрацией 0,1 моль/л при $25^\circ C$.

$PP_{SrCO_3} = 1,10 \cdot 10^{-10}$.

7. В каком объеме воды можно растворить 1 г PbI_2 ?
 $PP_{PbI_2} = 9,8 \cdot 10^{-8}$.

8. Выпадает ли осадок сульфата кальция, если к 0,1 л 0,01 М $Ca(NO_3)_2$ прибавлено 0,4 л 0,001 н. H_2SO_4 ? Степень электролитической диссоциации $Ca(NO_3)_2$ и H_2SO_4 равна 95 %; $PP_{CaSO_4} = 6,1 \cdot 10^{-5}$.

9. Какой объем 3,5%-ного раствора NH_4OH потребуется для осаждения кальция из навески апатита $Ca_3(PO_4)_2 \cdot CaCl_2$?
 $PP_{Ca(OH)_2} = 5,5 \cdot 10^{-6}$.

10. Осадок $BaCO_3$ промыт 250 мл воды. Сколько грамм осадка растворилось при этом? $PP_{BaCO_3} = 5 \cdot 10^{-9}$.

Вариант 14

1. Будет ли растворяться $BaSO_4$ в разбавленной HCl, если величина энергии Гиббса реагирующих веществ равна (кДж/моль):
 $\Delta G^0(BaSO_{4(K)}) = -1353,1$; $\Delta G^0(HCl_{(aq)}) = -131,3$; $\Delta G^0(H_2SO_{4(aq)}) = -742,5$;
 $\Delta G^0(BaCl_{2(aq)}) = -823,1$?

2. Растворимость аммиака при 20°C равна 702 мл в 1 мл воды. Найти массовую долю аммиака в насыщенном растворе. Парциальное давление аммиака считать равным нормальному атмосферному давлению.

3. Для очистки методом перекристаллизации калийная селитра взята массой 500г и растворена при нагревании в воде массой 600г. Полученный раствор охлажден до 0°C . Какую массовую долю составят при этом неизбежные потери и выход чистой соли?

4. Чему равна концентрация (моль/л) ионов Ag^+ и Cl^- в насыщенном растворе AgCl , если его растворимость $1,5 \cdot 10^{-4}$ г в 100г воды? $\text{PР}_{\text{AgCl}} = 1,6 \cdot 10^{-10}$.

5. Вычислить активные концентрации ионов, находящихся в $1,25 \cdot 10^{-3}$ М растворе BaSO_4 .

6. Определить, во сколько раз по сравнению с растворимостью PbCO_3 в воде уменьшается его растворимость в присутствии одноименного аниона с концентрацией 0,1 моль/л при 25°C .

$\text{PР}_{\text{PbCO}_3} = 7,41 \cdot 10^{-14}$.

7. В каком объеме воды можно растворить 0,5 г PbCl_2 ?

$\text{PР}_{\text{PbCl}_2} = 2,12 \cdot 10^{-5}$.

8. Какова должна быть минимальная концентрация KBr , чтобы прибавление к его раствору равного объема 0,003 н. AgNO_3 вызвало появление осадка? $\text{PР}_{\text{AgBr}} = 7 \cdot 10^{-13}$. Степень диссоциации электролитов принять равной единице.

9. Сколько мл 0,1М раствора BaCl_2 потребуется для осаждения в виде BaSO_4 из навески каменного угля массой 5 г, содержащего 4% серы? $\text{PР}_{\text{BaSO}_4} = 10^{-10}$.

10. Сколько г серебра перешло в раствор при его промывании 300 мл воды осадка AgCl ? $\text{PР}_{\text{AgCl}} = 1,78 \cdot 10^{-10}$.

Вариант 15

1. Рассчитать теплоту гидратации Na_2SO_4 , если известно, что растворение 1 моль Na_2SO_4 сопровождается выделением теплоты, равной 80,33 кДж, а теплота растворения гидратированного сульфата натрия $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ равна $-78,66$ кДж.

2. В 1л воды при 0°C растворяется 4,62л H_2S . Под каким давлением надо растворять H_2S , чтобы получить 5%-ный (по массе) раствор?

3. Чему равна массовая доля H_2S в насыщенном растворе, полученном при 20°C и давлении $101,3\text{кПа}$ растворением H_2S объемом $2,91\text{л}$ в воде объемом 1 л ?

4. Рассчитать массу иона свинца в 10 мл насыщенного раствора PbI_2 , если $\text{ПР}_{\text{PbI}_2} = 1,1 \cdot 10^{-9}$.

5. Вычислить активные концентрации ионов, находящихся в 10^{-3} М растворе CaCO_3 .

6. Определить, во сколько раз по сравнению с растворимостью AgCl в воде уменьшается его растворимость в присутствии одноименного аниона с концентрацией $0,1\text{ моль/л}$ при 25°C .

$\text{ПР}_{\text{AgCl}} = 1,6 \cdot 10^{-10}$.

7. В каком объеме воды можно растворить $0,3\text{ г}$ $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$?

$\text{ПР}_{\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2} = 10^{-25}$.

8. Определить, выпадет ли осадок после сливания 5 мл $0,004\text{ М}$ раствора LiBr и 15 мл $0,003\text{ М}$ раствора $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ при 25°C . $\text{ПР}_{\text{PbBr}_2} = 7,4 \cdot 10^{-6}$.

9. Какой объем $0,5\text{ М}$ раствора BaCl_2 потребуется для осаждения сульфат - ионов из 300 мл $0,2\text{ н.}$ H_2SO_4 ? $\text{ПР}_{\text{BaSO}_4} = 1,1 \cdot 10^{-10}$.

10. Какова будет потеря в массе осадка BaSO_4 при промывании его 250 мл воды? $\text{ПР}_{\text{BaSO}_4} = 1,1 \cdot 10^{-10}$.

Вариант 16

1. Теплота растворения безводного хлорида стронция SrCl_2 равна $47,7\text{ кДж}$, а теплота растворения кристаллогидрата $\text{SrCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ равна $+30,96\text{ кДж}$. Вычислить теплоту гидратации SrCl_2 .

2. Коэффициент поглощения CO_2 при 0°C равен $1,71$. При каком давлении растворимость CO_2 в воде при той же температуре составит 16 г/л ?

3. Определить массовую долю CoCl_2 и растворимость хлорида кобальта, если 500 г его раствора при 20°C содержат 173 г соли.

4. Рассчитать концентрацию насыщенного раствора иодида серебра при 25°C , если произведение растворимости этой соли составляет $8,31 \cdot 10^{-17}$.

5. Вычислить активные концентрации ионов, находящихся в 10^{-3} М растворе BaCO_3 .

6. Рассчитать молярную концентрацию BaSO_4 (в моль/л) в на-

сыщенном растворе, содержащем 0,01 моль/л Na_2SO_4 , и сравните с молярной концентрацией в растворе, содержащем только BaSO_4 . Объясните, почему растворимость сульфата бария в растворе соли понижается. $\text{PP}_{\text{BaSO}_4} = 1,1 \cdot 10^{-10}$.

7. В каком объеме воды можно растворить 0,1г Ag_2CrO_4 ? $\text{PP}_{\text{Ag}_2\text{CrO}_4} = 1,1 \cdot 10^{-12}$.

8. Определить, выпадет ли осадок после сливания 10 мл 0,1М раствора ZnCl_2 и 50 мл 0,3М раствора Na_2S при 25°C . $\text{PP}_{\text{ZnS}} = 7 \cdot 10^{-26}$.

9. Какой объём 0,1н AgNO_3 необходим для осаждения хлора из 1г смеси, содержащей одинаковое количество граммов NaCl и $\text{BaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$? $\text{PP}_{\text{AgCl}} = 1,6 \cdot 10^{-10}$.

10. 0,2г осадка AgBr промыли 150 мл воды. Сколько % составила потеря вследствие растворимости, если $\text{PP}_{\text{AgBr}} = 4 \cdot 10^{-13}$?

Вариант 17

1. Определить энтальпию образования кристаллогидрата хлорида кальция, если при растворении 10 г безводного CaCl_2 выделилось 6,82 кДж, а при растворении $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ поглотилось 0,87кДж.

2. Какой объем надо взять, чтобы растворить 500г хлора при 10°C и давлении $1,5 \cdot 10^5$ Па? Растворимость хлора при 10°C и давлении $1,0133 \cdot 10^5$ Па составляет $3,148\text{м}^3$ на 1м^3 воды.

3. Коэффициент растворимости CaCl_2 в воде при 100°C равен 159г на 100г H_2O . Какая масса хлорида кальция при этой температуре содержится в 1,35кг раствора?

4. Рассчитать концентрацию насыщенного раствора гексафторосиликата (IV) рубидия ($\text{Rb}_2[\text{SiF}_6]$) при 20°C , если произведение растворимости этой соли составляет $8,12 \cdot 10^{-7}$.

5. Вычислить активные концентрации ионов, находящихся в $1,5 \cdot 10^{-4}$ М растворе BaC_2O_4 .

6. Рассчитать молярную концентрацию AgCl в растворе, содержащем 0,01 моль/л NaCl , и в растворе, содержащем 0,01 моль/л CaCl_2 . В каком из растворов растворимость AgCl выше? Можно ли обосновать ответ, не прибегая к расчетам? $\text{PP}_{\text{AgCl}} = 1,6 \cdot 10^{-10}$.

7. В каком объеме воды можно растворить 0,2г ZnS ? $\text{PP}_{\text{ZnS}} = 7,4 \cdot 10^{-23}$.

8. Определить, выпадет ли осадок после сливания 50 мл 0,1М

раствора $\text{Pb}(\text{NO})_2$ и 15 мл 0,001М раствора Na_2S при 25°C . $\text{PPbS}=1,1 \cdot 10^{-29}$.

9. Какой объём 5%-ного NH_4OH ($\rho = 1,601$ г/мл) необходим для осаждения железа и алюминия из навески 1,5г силикатной породы, содержащей около 14% Al_2O_3 и 6% Fe_2O_3 ? $\text{PPe}(\text{OH})_3=4 \cdot 10^{-38}$, $\text{PAl}(\text{OH})_3=1,1 \cdot 10^{-39}$.

10. Осадок хромата бария промывает 300 мл воды. Сколько г осадка растворилось, если $\text{PPBaCrO}_4=1,6 \cdot 10^{-10}$.

Вариант 18

1. При растворении 0,010кг гидроксида натрия в 0,250кг воды температура повысилась на $9,7^\circ$. Определить энтальпию растворения NaOH , принимая удельную теплоемкость раствора равной теплоемкости воды 4,187 Дж/г·К.

2. Растворимость сероводорода при 20°C и давлении $1,0133 \cdot 10^5$ Па равна 2,91л на 1л воды. Вычислить молярную концентрацию H_2S в полученном растворе.

3. Вычислить массовую долю K_2SO_4 и его коэффициент растворимости, если при 0°C 50г раствора содержат 3,44г сульфата калия.

4. Рассчитать концентрацию насыщенного раствора ортофосфата бария $\text{Ba}_3(\text{PO}_4)_2$ при 25°C , если произведение растворимости этой соли составляет $1,58 \cdot 10^{-30}$. Гидролизом соли пренебречь.

5. Вычислить активные концентрации ионов, находящихся в $1,5 \cdot 10^{-4}$ М растворе CaC_2O_4 .

6. Вычислить и сравните растворимость CaCO_3 (г/л) в чистой воде и в растворе соды концентрации 0,1 моль/л. $\text{PPCaCO}_3=4,8 \cdot 10^{-9}$.

7. В каком объеме воды можно растворить 1 г MgCO_3 ? $\text{PPMgCO}_3=1 \cdot 10^{-5}$.

8. Определить, выпадет ли осадок после сливания 5 мл 0,004М раствора SrCl_2 и 15 мл 0,002М раствора Na_2CrO_4 при 25°C . $\text{PPSrCrO}_4=3,6 \cdot 10^{-5}$.

9. Какой объём (с учётом необходимого избытка) 2н H_2SO_4 потребуется, чтобы осадить барий из раствора, содержащего 0,9 г BaCl_2 ? $\text{PPBaSO}_4=1,1 \cdot 10^{-10}$.

10. Сколько % осадка PbI_2 перешло в раствор при промывании 0,15г его 100 мл воды? $\text{PPPbI}_2=8,7 \cdot 10^{-9}$.

Вариант 19

1. При растворении одного моль серной кислоты в 0,800кг воды температура раствора повысилась на $22,4^{\circ}$. Определить энтальпию растворения серной кислоты, если удельная теплоемкость раствора равна $3,76 \text{ Дж/г}\cdot\text{К}$.

2. В 0,05л воды растворено 4,9л хлороводорода при 18°C и $1,0\cdot 10^5 \text{ Па}$. Определить молярную концентрацию HCl в полученном растворе.

3. Вычислите растворимость $\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$ в воде при 20°C , если в 545г раствора нитрата бария при этой температуре содержится 45г соли.

4. Растворимость вещества M_2A в воде при некоторой температуре равна $1,2 \cdot 10^{-3} \text{ моль/л}$. Рассчитать значение его ПР.

5. С учётом влияния ионной силы раствора определить растворимость PbI_2 в 0,005М растворе KI. $\text{ПР}_{\text{PbI}_2} = 1,1 \cdot 10^{-9}$.

6. Вычислить растворимость PbSO_4 в 0,02М растворе K_2SO_4 и в воде, $\text{ПР}_{\text{PbSO}_4} = 1,8 \cdot 10^{-8}$.

7. В каком объеме воды можно растворить 0,5г CaF_2 ? $\text{ПР}_{\text{CaF}_2} = 4 \cdot 10^{-11}$.

8. Определить, выпадет ли осадок после сливания 25 мл 0,01М раствора $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$ и 15 мл 0,3М раствора KOH при 25°C . $\text{ПР}_{\text{Mg}(\text{OH})_2} = 1,2 \cdot 10^{-11}$.

9. Сколько мл 5%-ного раствора оксихинолина ($\rho = 1,07 \text{ г/мл}$) потребуется для осаждения магния из 20 мл раствора, полученного при растворении 5г доломита $\text{CaCO}_3 - \text{MgCO}_3$ в 200 мл соляной кислоты?

10. Вычислить, сколько г свинца потеряно при промывании осадка PbSO_4 300 мл воды? $\text{ПР}_{\text{PbSO}_4} = 1,8 \cdot 10^{-8}$.

Вариант 20

1. Теплота растворения карбоната натрия в воде равна $25,6 \text{ кДж/моль}$. На сколько градусов повысится температура, если в 0,250мл воды растворится 0,006кг Na_2CO_3 ? Удельную теплоемкость раствора примите равной $4,174 \text{ Дж/г}\cdot\text{К}$.

2. Растворимость аммиака в воде при 293 К и 101,3 кПа составляет $710 \text{ (м}^3/\text{м}^3 \text{ воды)}$. Какова молярная концентрация полученного раствора?

3. В насыщенном при 90°C растворе $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ массовая доля соли составляет 45,2%. Какова растворимость $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ при этой температуре, выраженная величиной коэффициента растворимости?

4. Растворимость Ag_2CO_3 равна $3,17 \cdot 10^{-2}$ г/л. Вычислить ПР.

5. Вычислить растворимость PbSO_4 в 0,01М растворе Na_2SO_4 с учётом влияния ионной силы раствора. ПР $\text{PbSO}_4 = 1,8 \cdot 10^{-8}$.

6. Во сколько раз растворимость AgI в 0,001 М растворе NaI меньше растворимости этой соли в воде? ПР $_{\text{AgI}} = 8,3 \cdot 10^{-17}$?

7. В каком объеме воды можно растворить 0,1г MnS ? ПР $_{\text{MnS}} = 2 \cdot 10^{-15}$.

8. Определить, выпадет ли осадок после сливания 500 мл 0,4М раствора AgNO_3 и 15 мл 3М KBr реагента при 25°C . ПР $_{\text{AgBr}} = 7 \cdot 10^{-13}$.

9. Какой объём 20%-ного раствора MgCl_2 ($\rho = 1,17$ г/мл) необходимо для осаждения фосфора в виде MgNH_4PO_4 из навески 5г апатита $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot \text{CaCl}_2$? ПР $_{\text{MgNH}_4\text{PO}_4} = 2,51 \cdot 10^{-13}$.

10. Сколько г серебра потеряно при промывании осадка хлорида серебра 200 мл воды? ПР $_{\text{AgCl}} = 1,78 \cdot 10^{-10}$.

ПРИЛОЖЕНИЕ

Приложение 1

*Произведения растворимости малорастворимых
в воде электролитов*

<i>Формула соединения</i>	<i>ПР</i>	<i>Примечание</i>
<i>Азиды</i>		
AgN ₃	2,9 · 10 ⁻⁹	
Pb(N ₃) ₂	2,6 · 10 ⁻⁹	
TlN ₃	2,2 · 10 ⁻⁴	
<i>Ацетаты</i>		
AgCH ₃ COO	1,94 · 10 ⁻³	
<i>Арсенаты</i>		
Ag ₃ AsO ₄	1,12 · 10 ⁻²⁰	20 ⁰
AlAsO ₄	1,6 · 10 ⁻¹⁶	
Ba ₃ (AsO ₄) ₂	7,76 · 10 ⁻⁵¹	
BiAsO ₄	4,37 · 10 ⁻¹⁰	20 ⁰
Ca ₃ (AsO ₄) ₂	6,76 · 10 ⁻¹⁹	20 ⁰
Cd ₃ (AsO ₄) ₂	2,2 · 10 ⁻³³	
Co ₃ (AsO ₄) ₂	7,6 · 10 ⁻²⁹	
CrAsO ₄	7,8 · 10 ⁻²¹	
Cu ₃ (AsO ₄) ₂	7,6 · 10 ⁻³⁶	
FeAsO ₄	5,8 · 10 ⁻²¹	
Mg ₃ (AsO ₄) ₂	2,09 · 10 ⁻²⁰	20 ⁰
Mn ₃ (AsO ₄) ₂	1,9 · 10 ⁻²⁹	
Ni ₃ (AsO ₄) ₂	3,1 · 10 ⁻²⁶	20 ⁰
Pb ₃ (AsO ₄) ₂	4,1 · 10 ⁻³⁶	
Sr ₃ (AsO ₄) ₂	4,29 · 10 ⁻¹⁹	
Zn ₃ (AsO ₄) ₂	2,8 · 10 ⁻²⁸	
<i>Арсениты</i>		
Ag ₃ AsO ₃	1,22 · 10 ⁻¹⁷	
<i>Бромиды</i>		
AgBr	4,90 · 10 ⁻¹³	
AuBr	5 · 10 ⁻⁷	
CuBr	5,25 · 10 ⁻⁹	

Формула соединения	ПР	Примечание
<i>Бромиды</i>		
PbBr ₂	$6,6 \cdot 10^{-6}$	
TlBr	$3,71 \cdot 10^{-6}$	
HgBr ₂	$6,2 \cdot 10^{-20}$	
<i>Броматы</i>		
AgBrO ₃	$5,35 \cdot 10^{-13}$	
Ba(BrO ₃) ₂	$2,43 \cdot 10^{-4}$	
Pb(BrO ₃) ₂	$1,6 \cdot 10^{-4}$	
TiBrO ₃	$1,1 \cdot 10^{-4}$	
<i>Вольфраматы</i>		
Ag ₂ WO ₄	$6,15 \cdot 10^{-12}$	
CaWO ₄	$8,71 \cdot 10^{-9}$	18 ⁰
CdWO ₄	$2,70 \cdot 10^{-6}$	
CuWO ₄	$2,52 \cdot 10^{-5}$	
PbWO ₄	$4,5 \cdot 10^{-12}$	
SrWO ₄	$2,2 \cdot 10^{-10}$	
<i>Гидроксиды</i>		
Ac(OH) ₃	$2,1 \cdot 10^{-19}$	
AgOH	$1,63 \cdot 10^{-8}$	
Al(OH) ₃	$2 \cdot 10^{-32}$	
Am(OH) ₃	$2,7 \cdot 10^{-20}$	
Am(OH) ₄	$1 \cdot 10^{-56}$	
Ba(OH) ₂ · 8 H ₂ O	$2,55 \cdot 10^{-4}$	
Be(OH) ₂ , аморфн.	$1,59 \cdot 10^{-21}$	
Be(OH) ₂ , крист. α	$6,9 \cdot 10^{-22}$	
Be(OH) ₂ , крист. β	$3,16 \cdot 10^{-22}$	
Bi(OH) ₃	$3 \cdot 10^{-36}$	
Ca(OH) ₂	$5,02 \cdot 10^{-6}$	
Cd(OH) ₂ , неакт. форма	$7,2 \cdot 10^{-15}$	
Ce(OH) ₃	$6,4 \cdot 10^{-22}$	
Co(OH) ₂ голуб.	$6,31 \cdot 10^{-15}$	
Co(OH) ₂ розов. свеж.(α)	$5,92 \cdot 10^{-15}$	
Co(OH) ₂ розов. стар	$2,0 \cdot 10^{-16}$	

Формула соединения	ПР	Примечание
<i>Гидроксиды</i>		
Co(OH) ₃	1,0·10 ⁻⁴³	
Cu(OH) ₂	5,6·10 ⁻²⁰	
Eu(OH) ₃	9,38·10 ⁻²⁷	
Fe(OH) ₂	4,87·10 ⁻¹⁷	
Fe(OH) ₃	2,79·10 ⁻³⁹	
Ga(OH) ₃	7,28·10 ⁻³⁶	
Hf(OH) ₄ ↔ Hf(OH) ₂ ²⁺ + 2OH ⁻	3,98·10 ⁻²⁶	
Hg ₂ (OH) ₂ (Hg ₂ O)	1,6·10 ⁻²³	
In(OH) ₃	1,37·10 ⁻³⁷	
Ir(OH) ₄	1,6·10 ⁻⁷²	
La(OH) ₃	3,6·10 ⁻²³	
LiOH	6,25·10 ⁻²	
Lu(OH) ₃	1,91·10 ⁻²⁴	
Mg(OH) ₂ стаб. форма	1,32·10 ⁻¹¹	
Mn(OH) ₂	1,7·10 ⁻¹³	
Nd(OH) ₃	8,71·10 ⁻²⁴	
Ni(OH) ₂	3,16·10 ⁻¹⁶	
Ni(OH) ₂ после стар.	6,3·10 ⁻¹⁸	
NpO ₂ (OH) ₂	2,5·10 ⁻²²	
Pb(OH) ₂ ↔ Pb ²⁺ + 2OH ⁻	1,0·10 ⁻²⁰	
Pd(OH) ₂	1·10 ⁻²⁴	
Pr(OH) ₃	3,39·10 ⁻²⁴	
Pt(OH) ₂	1,0·10 ⁻²⁵	
Pt(OH) ₄ (PtO ₂)	1,6·10 ⁻⁷²	
Pu(OH) ₃	2·10 ⁻²⁰	
Pu(OH) ₄	1·10 ⁻⁵²	
Rh(OH) ₃ (Rh ₂ O ₃)	2,0·10 ⁻⁴⁸	
Ru(OH) ₃ (Ru ₂ O ₃)	1,0·10 ⁻³⁸	
Sc(OH) ₃	8,7·10 ⁻²⁸	
Sb(OH) ₃	3,99·10 ⁻⁴²	22
Sm(OH) ₃ свеж.	8,32·10 ⁻²³	
Sn(OH) ₂	5,45·10 ⁻²⁷	
Sn(OH) ₄	1,0·10 ⁻⁵⁷	

Формула соединения	ПР	Примечание
<i>Гидроксиды</i>		
Sr(OH) ₂	3,2 · 10 ⁻⁴	
Th(OH) ₄	7,7 · 10 ⁻⁴⁴	
TiO(OH) ₂ ↔ TiOOH ⁺ + OH ⁻	3,16 · 10 ⁻¹⁷	
Tl(OH) ₃	1,68 · 10 ⁻⁴⁴	
U(OH) ₃	1,0 · 10 ⁻¹⁹	
U(OH) ₄	1,0 · 10 ⁻⁴⁵	
UO ₂ (OH) ₂	2 · 10 ⁻¹⁵	
VO(OH) ₂	7,1 · 10 ⁻²³	
VO ₂ (OH) (V ₂ O ₅)	1,6 · 10 ⁻¹⁵	
W(OH) ₄	1,0 · 10 ⁻⁵⁰	
Y(OH) ₃	1,59 · 10 ⁻²³	
Yb(OH) ₃	2,29 · 10 ⁻²⁷	
Zn(OH) ₂ стаб. форма	3,0 · 10 ⁻¹⁷	
Zr(OH) ₄ ↔ Zr ⁴⁺ + 4OH ⁻	1,10 · 10 ⁻⁵⁴	
Zr(OH) ₄ ↔ Zr(OH) ₂ ²⁺ + 2OH ⁻	3,2 · 10 ⁻²⁶	
ZrO(OH) ₂	2,0 · 10 ⁻²⁴	
<i>Дихроматы</i>		
Ag ₂ Cr ₂ O ₇	2 · 10 ⁻⁷	
<i>Йодаты</i>		
AgJO ₃	3,22 · 10 ⁻⁸	
Ba(JO ₃) ₂	2,05 · 10 ⁻⁹	
Ca(IO ₃) ₂	6,47 · 10 ⁻⁶	
Cd(IO ₃) ₂	2,5 · 10 ⁻⁸	
Ce(JO ₃) ₂	1,15 · 10 ⁻⁹	
Co(IO ₃) ₂ · 2H ₂ O	1,21 · 10 ⁻²	
Cu(IO ₃) ₂ · H ₂ O	6,94 · 10 ⁻⁸	
CsIO ₃	1 · 10 ⁻²	
La(JO ₃) ₂	7,5 · 10 ⁻¹²	
Mn(IO ₃) ₂	4,37 · 10 ⁻⁷	
Ni(IO ₃) ₂	4,71	10 ⁻⁵
Pb(JO ₃) ₂	2,83 · 10 ⁻¹³	25,8 ⁰
Ra(IO ₃) ₂	1,16 · 10 ⁻⁹	
Sr(IO ₃) ₂ · H ₂ O	3,77 · 10 ⁻⁷	

Формула соединения	ПР	Примечание
<i>Йодаты</i>		
Sr(IO ₃) ₂ · 6H ₂ O	4,55 · 10 ⁻⁷	
Sr(IO ₃) ₂	1,14 · 10 ⁻⁷	
TiIO ₃	3,12 · 10 ⁻⁶	
Y(IO ₃) ₃	1,12 · 10 ⁻¹⁰	
Zn(IO ₃) ₂ · 2H ₂ O	4,1 · 10 ⁻⁶	
<i>Йодиды</i>		
AgI	9,98 · 10 ⁻¹⁷	
AuI	1,6 · 10 ⁻²³	
AuI ₃	1 · 10 ⁻⁴⁶	
BiI ₃	7,71 · 10 ⁻¹⁹	
CuI	1,10 · 10 ⁻¹²	
Hg ₂ I ₂	4,47 · 10 ⁻²⁹	
HgI ₂	2,9 · 10 ⁻²⁹	
PbI ₂	1,34 · 10 ⁻⁸	
SnI ₂	8,3 · 10 ⁻⁶	
TlI	5,54 · 10 ⁻⁸	
<i>Карбонаты</i>		
Ag ₂ CO ₃	9,49 · 10 ⁻¹²	
BaCO ₃	5,93 · 10 ⁻⁹	
CaCO ₃	3,26 · 10 ⁻⁹	
CdCO ₃	1 · 10 ⁻¹²	
CoCO ₃	2,8 · 10 ⁻¹⁰	
CuCO ₃	2,34 · 10 ⁻¹⁰	
FeCO ₃	2,09 · 10 ⁻¹¹	
Hg ₂ CO ₃	8,91 · 10 ⁻¹⁷	
Li ₂ CO ₃	8,15 · 10 ⁻⁴	
MgCO ₃	6,82 · 10 ⁻⁶	
MgCO ₃ · 3H ₂ O	3,08 · 10 ⁻⁵	
MgCO ₃ · 5H ₂ O	3,79 · 10 ⁻⁶	
MnCO ₃	2,24 · 10 ⁻¹¹	
Nd ₃ (CO ₃) ₂	1,08 · 10 ⁻³³	
NiCO ₃	1,63 · 10 ⁻⁷	
PbCO ₃	7,41 · 10 ⁻¹⁴	

Формула соединения	ПР	Примечание
<i>Карбонаты</i>		
SrCO ₃	$1,10 \cdot 10^{-10}$	
Tl ₂ CO ₃	$4 \cdot 10^{-3}$	
UO ₂ CO ₃	$6,3 \cdot 10^{-15}$	
Y ₂ (CO ₃) ₃	$1,03 \cdot 10^{-31}$	
ZnCO ₃	$1,45 \cdot 10^{-11}$	
ZnCO ₃ H ₂ O	$5,42 \cdot 10^{-11}$	
<i>Молибдаты</i>		
Ag ₂ MoO ₄	$3,03 \cdot 10^{-12}$	
BaMoO ₄	$5,3 \cdot 10^{-8}$	
CaMoO ₄	$1,46 \cdot 10^{-8}$	
PbMoO ₄	$8,5 \cdot 10^{-16}$	
SrMoO ₄	$3,05 \cdot 10^{-7}$	
<i>Нитраты</i>		
Ba(NO ₃) ₂	$4,64 \cdot 10^{-7}$	
<i>Нитриты</i>		
AgNO ₂	$3,7 \cdot 10^{-10}$	
<i>Оксалаты</i>		
Ag ₂ C ₂ O ₄	$5,4 \cdot 10^{-12}$	
BaC ₂ O ₄	$1,49 \cdot 10^{-7}$	
CaC ₂ O ₄	$2,60 \cdot 10^{-9}$	
CaC ₂ O ₄ H ₂ O	$2,32 \cdot 10^{-9}$	
CdC ₂ O ₄	$1,96 \cdot 10^{-8}$	
CdC ₂ O ₄ 3H ₂ O	$1,42 \cdot 10^{-8}$	
Ce ₂ (C ₂ O ₄) ₃	$2,5 \cdot 10^{-29}$	
CoC ₂ O ₄	$8,53 \cdot 10^{-8}$	
CuC ₂ O ₄	$2,3 \cdot 10^{-8}$	
FeC ₂ O ₄	$3,05 \cdot 10^{-7}$	
Hg ₂ C ₂ O ₄	$1,0 \cdot 10^{-13}$	
La ₂ (C ₂ O ₄) ₃	$2 \cdot 10^{-28}$	
MgC ₂ O ₄	$1 \cdot 10^{-8}$	
MgC ₂ O ₄ 2H ₂ O	$4,83 \cdot 10^{-6}$	
MnC ₂ O ₄ 2H ₂ O	$1,7 \cdot 10^{-7}$	

Формула соединения	ПР	Примечание
<i>Оксалаты</i>		
$\text{Nd}_2(\text{C}_2\text{O}_4)_3$	$5,9 \cdot 10^{-29}$	
NiC_2O_4	$4,42 \cdot 10^{-10}$	
PbC_2O_4	$5,32 \cdot 10^{-10}$	
SrC_2O_4	$7,61 \cdot 10^{-8}$	
$\text{UO}_2\text{C}_2\text{O}_4$	$1,81 \cdot 10^{-4}$	
$\text{Yb}_2(\text{C}_2\text{O}_4)_3$	$4,5 \cdot 10^{-25}$	
ZnC_2O_4	$2,8 \cdot 10^{-8}$	
$\text{ZnC}_2\text{O}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	$1,77 \cdot 10^{-9}$	
<i>Оксиды</i>		
Ag_2O	$2 \cdot 10^{-8}$	
Au_2O_3	$8,5 \cdot 10^{-46}$	
CeO_2	$9,1 \cdot 10^{-23}$	
Cu_2O	$12 \cdot 10^{-15}$	
$\text{GeO}_2(\text{триг})$	$1,7 \cdot 10^{-56}$	
HgO	$3,3 \cdot 10^{-36}$	
Ir_2O_3	$2 \cdot 10^{-48}$	
MnO_2	$1 \cdot 10^{-50}$	
Mn_2O_3	$1,7 \cdot 10^{-43}$	
PbO_2	$3 \cdot 10^{-6}$	
PdO_2	$6,5 \cdot 10^{-71}$	
PtO_2	$1,6 \cdot 10^{-72}$	
RuO_2	$1 \cdot 10^{-49}$	
Sb_2O_3	$4 \cdot 10^{-42}$	
SnO_2	$4,8 \cdot 10^{-58}$	
FeO_2	$3 \cdot 10^{-54}$	
TiO_2	10^{-29}	
Tl_2O_3	$2 \cdot 10^{-44}$	
ZrO	$1,1 \cdot 10^{-36}$	
<i>Периодаты</i>		
CsIO_4	$5,16 \cdot 10^{-6}$	
KIO_4	$3,71 \cdot 10^{-4}$	

Формула соединения	ПР	Примечание
<i>Перманганаты</i>		
CsMnO ₄	9,1 10 ⁻⁵	
<i>Перхлораты</i>		
CsClO ₄	3,95 10 ⁻³	
KClO ₄	1,05 10 ⁻²	
RbClO ₄	3 10 ⁻³	
<i>Роданиды</i>		
AgSCN	1,03 10 ⁻¹²	
CuSCN	1,77 10 ⁻¹³	
Hg ₂ (SCN) ₂	3,2 10 ⁻²⁰	
Pb(SCN) ₂	4,39 10 ⁻²³	
Pb(NCS) ₂	2 10 ⁻⁵	
Tl(SCN)	1,57 10 ⁻⁴	
<i>Рутенаты</i>		
KRuO ₄	1,9 10 ⁻³	
<i>Селенаты</i>		
BaSeO ₄	3,4 10 ⁻⁸	
PbSeO ₄	1,37 10 ⁻⁷	
<i>Селениды</i>		
Ag ₂ Se	2,5 10 ⁻⁵⁹	
CdSe	1,1 10 ⁻³³	
CuSe	1,1 10 ⁻⁵¹	
HgSe	1,9 10 ⁻⁵³	
In ₂ Se ₃	5,6 10 ⁻⁹²	
PbSe	6,5 10 ⁻³⁷	
SnSe	1,2 10 ⁻³⁴	
Tl ₂ Se	2,4 10 ⁻²²	
ZnSe	3,6 10 ⁻²⁰	
<i>Селениты</i>		
ZnSeO ₃ · H ₂ O	1,59 10 ⁻⁷	
<i>Сульфаты</i>		
Ag ₂ SO ₄	5,02 · 10 ⁻⁵	
BaSO ₄	1,05 · 10 ⁻¹⁰	

Формула соединения	ПР	Примечание
<i>Сульфаты</i>		
CaSO ₄	$2,30 \cdot 10^{-5}$	
CaSO ₄ · 2 H ₂ O	$3,14 \cdot 10^{-5}$	
Hg ₂ SO ₄	$6,5 \cdot 10^{-7}$	
La ₂ (SO ₄) ₃	$3 \cdot 10^{-5}$	
PbSO ₄	$1,96 \cdot 10^{-8}$	
Po(SO ₄) ₂	$2,6 \cdot 10^{-7}$	
RaSO ₄	$4,27 \cdot 10^{-11}$	
SrSO ₄	$5,29 \cdot 10^{-7}$	
Th(SO ₄) ₂	$4 \cdot 10^{-3}$	
Tl ₂ SO ₄	$1,5 \cdot 10^{-4}$	
<i>Сульфиды</i>		
Ag ₂ S	$6,31 \cdot 10^{-50}$	
Bi ₂ S ₃	$8,9 \cdot 10^{-10}$	
CdS	$2 \cdot 10^{-28}$	
CoS α	$3,98 \cdot 10^{-21}$	
CoS β	$2,0 \cdot 10^{-25}$	
Co(S) ₂	$7,3 \cdot 10^{-29}$	
CuS	$6,31 \cdot 10^{-36}$	
Cu ₂ S	$2,51 \cdot 10^{-48}$	
FeS	$4,3 \cdot 10^{-17}$	
FeS ₂	$5,4 \cdot 10^{-27}$	
HgS чёрн.	$1,59 \cdot 10^{-52}$	
HgS красн.	$3,98 \cdot 10^{-53}$	
HgS куб	$1,4 \cdot 10^{-45}$	
In ₂ S ₃	$9,1 \cdot 10^{-84}$	
IrS ₂	$1 \cdot 10^{-75}$	
MnS розов.	$2,51 \cdot 10^{-10}$	
MnS зелён.	$2,51 \cdot 10^{-13}$	
NiS α	$3,16 \cdot 10^{-19}$	
NiS β	$1,0 \cdot 10^{-24}$	
NiS γ	$2,0 \cdot 10^{-26}$	
PbS	$2,51 \cdot 10^{-27}$	
PoS	$5 \cdot 10^{-29}$	

Формула соединения	ПР	Примечание
<i>Сульфиды</i>		
PtS	$1,2 \cdot 10^{-61}$	
Sb ₂ S ₃	$2,2 \cdot 10^{-90}$	
SnS	$1,0 \cdot 10^{-25}$	
Tl ₂ S	$5,01 \cdot 10^{-21}$	
ZnS α	$1,59 \cdot 10^{-24}$	
ZnS β	$2,51 \cdot 10^{-22}$	
<i>Сульфиты</i>		
Ag ₂ SO ₃	$1,51 \cdot 10^{-14}$	
BaSO ₃	$5 \cdot 10^{-10}$	
CaSO ₃	$1,59 \cdot 10^{-8}$	
CaSO ₃ 0,5 H ₂ O	$3,1 \cdot 10^{-7}$	
Hg ₂ SO ₃	$1,0 \cdot 10^{-27}$	
MgSO ₃	$3 \cdot 10^{-3}$	
SrSO ₃	$5,14 \cdot 10^{-8}$	
<i>Теллуриды</i>		
Ag ₂ Te	$4,7 \cdot 10^{-52}$	
CdTe	$8,7 \cdot 10^{-35}$	
PbTe	$4,1 \cdot 10^{-39}$	
SnTe	$3,6 \cdot 10^{-37}$	
ZnTe	$7 \cdot 10^{-26}$	
<i>Тиосульфаты</i>		
Tl ₂ S ₂ O ₃	$2 \cdot 10^{-7}$	
<i>Фосфаты</i>		
Ag ₃ PO ₄	$8,89 \cdot 10^{-12}$	
AlPO ₄	$9,84 \cdot 10^{-21}$	20 ⁰
BaHPO ₄	$9,12 \cdot 10^{-18}$	
Ba ₃ (PO ₄) ₂	$6 \cdot 10^{-39}$	
BiPO ₄	$1,29 \cdot 10^{-23}$	
CaHPO ₄	$4,20 \cdot 10^{-7}$	
Ca ₃ (PO ₄) ₂	$2,07 \cdot 10^{-33}$	
Ca(H ₂ PO ₄) ₂	$1 \cdot 10^{-3}$	

Формула соединения	ПР	Примечание
<i>Фосфаты</i>		
GaPO ₄	$3,8 \cdot 10^{-21}$	
Cd ₃ (PO ₄) ₂	$2,51 \cdot 10^{-33}$	
CoHPO ₄	$7,03 \cdot 10^{-7}$	
Co ₃ (PO ₄) ₂	$2,0 \cdot 10^{-35}$	
CrPO ₄ , зелён	$2,4 \cdot 10^{-23}$	20 ⁰
CrPO ₄ , фиолет	$1,0 \cdot 10^{-17}$	20 ⁰
Cu ₃ (PO ₄) ₂	$1,26 \cdot 10^{-37}$	
FePO ₄	$1,29 \cdot 10^{-22}$	
FePO ₄ 2H ₂ O	$9,91 \cdot 10^{-16}$	
La ₃ PO ₄	$2,37 \cdot 10^{-11}$	
Mg ₃ (PO ₄) ₂	$1,04 \cdot 10^{-24}$	
MgNH ₄ PO ₄	$2,51 \cdot 10^{-13}$	
Ni ₃ (PO ₄) ₂	$4,74 \cdot 10^{-32}$	
PbHPO ₄	$1,41 \cdot 10^{-10}$	
Pb ₃ (PO ₄) ₂	$7,94 \cdot 10^{-43}$	
SrHPO ₄	$5,75 \cdot 10^{-7}$	
Sr ₃ (PO ₄) ₂	$1 \cdot 10^{-31}$	20 ⁰
Th(HPO ₄) ₂	$1,20 \cdot 10^{-20}$	20 ⁰
Zn ₃ (PO ₄) ₂	$9,12 \cdot 10^{-33}$	20 ⁰
<i>Фториды</i>		
BaF ₂	$2,43 \cdot 10^{-6}$	
CaF ₂	$4,70 \cdot 10^{-11}$	26 ⁰
CdF ₂	$6,44 \cdot 10^{-3}$	
FeF ₂	$2,36 \cdot 10^{-6}$	
Hg ₂ F ₂	$3,1 \cdot 10^{-6}$	
LiF	$1,84 \cdot 10^{-3}$	
MgF ₂	$5,16 \cdot 10^{-11}$	
PbF ₂	$3,3 \cdot 10^8$	
ScF ₂	$5,81 \cdot 10^{-24}$	
SrF ₂	$3,37 \cdot 10^{-9}$	
YF ₃	$8,62 \cdot 10^{-21}$	
ZnF ₂	10^{-2}	

Формула соединения	ПР	Примечание
<i>Хлориды</i>		
AgCl	$1,78 \cdot 10^{-10}$	
AuCl	$1,8 \cdot 10^{-12}$	
CuCl	$1,72 \cdot 10^{-7}$	
Hg ₂ Cl ₂	$1,32 \cdot 10^{-18}$	
PbCl ₂	$6,02 \cdot 10^{-5}$	
TlCl	$1,86 \cdot 10^{-4}$	
<i>Хлороплатинаты</i>		
K ₂ PtCl ₆	$7,48 \cdot 10^{-6}$	
<i>Хроматы</i>		
Ag ₂ CrO ₄	$1,44 \cdot 10^{-12}$	
BaCrO ₄	$1,18 \cdot 10^{-10}$	
CaCrO ₄	$3,67 \cdot 10^{-3}$	
Hg ₂ CrO ₄	$1,13 \cdot 10^{-8}$	
PbCrO ₄	$7,4 \cdot 10^{-5}$	
SrCrO ₄	$2,24 \cdot 10^{-5}$	
Tl ₂ CrO ₄	$8,67 \cdot 10^{-13}$	
<i>Цианиды</i>		
AgCN	$5,97 \cdot 10^{-17}$	
CuCN	$3,47 \cdot 10^{-20}$	
Cd(CN) ₂	$1 \cdot 10^{-8}$	
Ni(CN) ₂	$3 \cdot 10^{-23}$	
Zn(CN) ₂	$2,6 \cdot 10^{-13}$	
<i>Комплексные соли</i>		
K ₃ [Co(NO ₂) ₆]	$4,3 \cdot 10^{-10}$	
KFe[Fe ^(III) (CN) ₆]	$9,7 \cdot 10^{-20}$	
K ₂ [GeF ₆]	$3 \cdot 10^{-5}$	
K ₂ [IrCl ₆]	$6,8 \cdot 10^{-5}$	
K ₂ [PdCl ₄]	$1,6 \cdot 10^{-5}$	
K ₂ [PdCl ₆]	$6 \cdot 10^{-6}$	
K ₂ [PtCl ₆]	$1,1 \cdot 10^{-5}$	
K ₂ [PdF ₆]	$2,9 \cdot 10^{-5}$	
K ₂ [SiF ₄]	$2,2 \cdot 10^{-7}$	

Формула соединения	ПР	Примечание
<i>Комплексные соли</i>		
K ₂ [TiF ₆]	5 · 10 ⁻⁴	
K ₂ [ZnF ₆]	5 · 10 ⁻⁴	
Na[Sb(OH) ₆]	4 · 10 ⁻⁸	
Na ₂ [SiF ₆]	3,1 · 10 ⁻⁵	

Приложение 2

Растворимость различных веществ в воде

(в граммах безводного вещества на 100г раствора, вес. %)

Вещество	Температура, °С					
	0	20	40	60	80	100
Неорганические вещества						
AgF	46,2	63,2	69,0	-	-	67,2
AgNO ₃	55,6	69,5	77,0	82,5	86,7	90,0
Ag ₂ SO ₄	0,6	0,8	1,0	1,1	1,3	1,4
AlCl ₃	30,5	31,4	32,1	32,5	32,7	32,9
Al(NO ₃) ₃	37,8	43,0	46,3	50,9	57,0	-
Al ₂ (SO ₄) ₃	23,8	26,7	2,9	37,2	42,2	47,1
As ₂ O ₃	1,2	1,8	41,6	4,1	5,8	7,7
As ₂ O ₅	37,3	39,7	3,8	42,2	42,9	43,4
B ₂ O ₃	1,1	2,2	53,2	5,8	8,7	13,5
BaBr ₂	49,5	51,0	28,9	55,1	57,4	60,0
BaCl ₂	24,0	26,3	33,2	31,3	34,4	37,0
Ba(ClO ₃) ₂	16,9	25,3	78,2	40,0	45,9	51,2
Ba(ClO ₄) ₂	67,3	74,3	69,6	80,1	83,2	84,9
BaI ₂	62,5	67,2	12,4	70,7	-	73,4
Ba(NO ₃) ₂	4,7	8,3	7,6	16,9	21,4	25,6
Ba(OH) ₂	1,65	3,7	55,1	17,3	50,3	-
Be(NO ₃) ₂	49,4	51,9	31,4	64,8	-	-
BeSO ₄	27,0	28,0	68,1	34,7	40,2	45,3
CaBr ₂	55,5	42,7	53,4	73,5	74,7	75,7
CaCl ₂	37,3	14,3	14,5	57,8	59,5	61,4
CaHCO ₃	14,2	67,6	70,8	14,9	15,1	15,5

Вещество	Температура, °C					
	0	20	40	60	80	100
CaI ₂	64,6	56,4	66,4	74,0	78,0	81,0
Ca(NO ₃) ₂	50,5	31,4	0,14	-		-
Ca(OH) ₂	0,19	0,17	0,14	0,12	0,08	-
CaSO ₄	0,176	0,202	0,211	0,201	-	-
CdBr ₂	36,0	49,7	-	60,4	-	61,1
CdCl ₂	47,3	53,1	57,5	57,7	58,3	59,5
CdI ₂	44,0	45,8	47,9	50,1	52,6	55,5
CdSO ₄	43,0	43,4	44,0	45,0	46,7	37,8
CoCl ₂	30,3	34,6	41,0	48,4	49,4	51,5
CoI ₂	58,0	65,2	75,0	-	80,0	81,0
Co(NO ₃) ₂	45,7	49,3	55,9	-	68,0	-
CoSO ₄	20,3	26,5	32,8	62,0	35,0	28,0
CrO ₃	62,0	62,6	63,5	34,3	65,5	67,4
CsCl	61,7	65,1	67,5	65,1	71,4	73,0
CsNO ₃	8,5	18,7	32,1	69,7	57,3	66,3
Cs ₂ SO ₄	62,6	64,1	65,5	-	67,8	68,8
CuBr ₂	51,8	55,9	-	66,7	-	-
CuCl ₂	40,7	42,2	44,7	-	49,8	54,6
Cu(NO ₃) ₂	45,5	55,5	62,0	-	-	71,2
CuSO ₄	12,5	17,2	22,5	64,5	67,5	43,0
FeBr ₂	-	53,7	56,9	28,5	35,5	64,8
FeCl ₂	-	38,4	40,8	43,9	47,5	48,3
FeCl ₃	42,7	47,9	-	78,9	84,0	84,3
Fe(NO ₃) ₃	40,1	45,3	51,2	-	-	-
FeSO ₄	13,5	21,0	28,7	35,5	30,5	-
H ₃ BO ₃	2,5	4,8	8,0	12,9	19,1	28,7
HIO ₃	70,3	71,7	73,7	75,9	78,3	80,8
HgCl ₂	3,5	6,1	9,3	14,0	23,1	38,0
KAl(SO ₄) ₂	2,9	5,6	10,5	19,8	41,5	-
KBr	34,9	39,5	43,0	46,1	48,7	51,0
KBrO ₃	3,0	6,5	11,7	18,5	25,4	33,3
K ₂ CO ₃	51,2	52,5	53,9	55,9	58,3	60,9
KCl	21,9	25,5	28,6	31,4	33,9	36,0
KClO ₃	3,2	6,8	12,2	19,2	27,3	36,0

Вещество	Температура, °C					
	0	20	40	60	80	100
KClO ₄	0,7	1,7	3,6	6,8	118	18,2
KCNS	63,8	68,5	-	-	-	87,5
KCr(SO ₄) ₂	-	11,1	-	-	-	-
K ₂ CrO ₄	37,2	38,7	40,1	41,5	42,9	44,1
K ₂ Cr ₂ O ₇	4,8	10,7	21,2	31,9	41,2	49,2
KF	30,9	48,7	58,1	58,7	60,0	-
K ₃ Fe(CN) ₆	30,2	46,0	65,0	70,7	80,1	-
K ₄ Fe(CN) ₆	12,5	22,0	29,9	35,9	40,1	43,6
KHCO ₃	18,4	25,2	32,2	39,6	-	-
KH ₂ PO ₄	12,9	18,4	25,1	33,4	41,3	-
KI	56,1	59,1	61,7	63,8	65,6	67,3
KIO ₃	4,4	7,5	11,2	15,5	19,9	24,4
KMnO ₄	2,75	6,00	11,20	20,0	-	-
KNO ₃	11,7	24,0	39,0	52,0	62,8	71,1
KOH	49,2	52,8	58,0	-	61,7	64,0
K ₂ SO ₄	6,9	10,0	12,9	15,4	17,6	19,4
K ₂ SO ₃	51,4	-	-	-	-	52,9
La ₂ (SO ₄) ₃	2,9	-	-	-	-	0,7
LiBr	58,8	63,9	67,2	69,1	71,0	72,8
LiCl	40,9	45,3	47,3	49,6	52,8	56,2
LiI	60,2	62,2	64,2	66,9	81,3	82,8
LiOH	10,6	11,0	11,7	12,8	14,2	16,0
Li ₂ SO ₄	26,2	25,7	24,5	24,0	23,1	22,8
MgBr ₂	49,4	50,3	51,6	52,7	-	55,6
MgCl ₂	34,6	35,3	36,5	37,9	39,8	42,3
MgI ₂	54,7	58,3	63,4	-	65,0	-
Mg(NO ₃) ₂	-	41,2	44,1	47,7	51,5	-
MgSO ₄	18,0	25,2	30,8	35,3	35,8	33,5
MnBr ₂	56,0	59,5	62,8	66,3	69,2	69,5
MnCl ₂	38,8	42,5	47,0	52,1	53,0	53,5
Mn(NO ₃) ₂	50,5	58,8	-	-	-	-
MnSO ₄	34,6	38,6	37,5	34,9	31,3	25,0
MoO ₃	-	-	0,5	1,1	1,7	-
NH ₄ Al(SO ₄) ₂	2,0	7,2	12,9	21,1	-	52,3

Вещество	Температура, °C					
	0	20	40	60	80	100
NH ₄ Br	37,7	43,3	47,7	51,9	55,7	59,3
NH ₄ Cl	22,70	27,1	31,4	35,6	39,6	43,6
NH ₄ CNS	54,5	63,0	70,1	77,6	-	-
(NH ₄) ₂ CrO ₄	20,0	25,3	-	-	41,8	-
(NH ₄) ₂ Cr ₂ O ₇	15,4	26,2	36,9	46,2	53,5	60,9
(NH ₄) ₂ Fe(SO ₄) ₂	11,1	18,4	24,8	31,4	-	-
NH ₄ Fe(SO ₄) ₂	-30,5	-	-	-	-	-
NH ₄ HCO ₃	10,6	17,8	26,8	37,2	52,2	78,0
NH ₄ I	60,7	63,3	65,6	67,6	69,6	71,4
NH ₄ NO ₃	54,2	65,2	73,7	80,7	86,4	91,4
(NH ₄) ₂ SO ₄	41,2	43,0	44,8	46,6	48,5	50,4
Na ₂ B ₄ O ₇	1,1	2,5	6,2	16,0	23,9	34,4
NaBr	44,5	47,6	51,4	54,1	54,2	54,8
NaBrO ₃	21,6	26,7	32,8	38,5	43,1	47,6
Na ₂ CO ₃	6,5	17,7	33,2	31,4	31,4	31,3
NaCl	26,3	26,4	26,7	27,0	27,5	28,1
NaClO ₃	44,1	50,2	55,7	60,8	65,4	68,8
NaClO ₄	62,6	66,5	70,9	74,3	76,0	76,8
Na ₂ CrO ₄	24,1	44,2	49,0	53,5	55,5	55,7
Na ₂ Cr ₂ O ₇	62,0	64,3	68,3	72,9	79,0	80,6
NaI	61,4	64,1	67,2	72,0	74,7	75,2
NaIO ₃	2,4	7,8	11,7	16,5	21,0	24,8
NaHCO ₃	6,5	8,8	11,3	13,8	57,0	62
NaNO ₂	41,9	45,8	49,6	-	57,0	62
NaNO ₃	42,2	46,7	50,5	54,5	59,7	64,3
NaOH	29,6	52,2	56,3	63,5	75,8	77,6
Na ₃ PO ₄	4,3	10,8	16,8	28,5	37,5	43,5
Na ₂ HPO ₄	1,8	7,2	-	47,6	49,3	-
NaH ₂ PO ₄	36,1	46,6	56,4	65,7	68,4	-
Na ₂ S	-	-	-	28,1	32,9	-
Na ₂ SO ₄	4,8	16,3	32,8	31,2	30,4	29,8
Na ₂ SO ₃	12,6	20,9	27,2	24,5	-	21,7
Na ₂ S ₂ O ₃	33,4	41,2	59,4	65,7	69,9	72,2
Na ₂ VO ₃	-	17,4	20,8	24,8	28,0	-

Вещество	Температура, °C					
	0	20	40	60	80	100
Na ₂ WO ₄	41,6	42,1	43,8	45,6	47,6	49,3
NiBr ₂	53,0	56,7	59,1	60,4	60,6	60,8
NiCl ₂	34,8	37,9	42,3	44,8	-	46,7
NiI ₂	55,4	59,7	63,5	64,8	65,2	-
Ni(NO ₃) ₂	21,8	27,4	54,3	61,2	65,5	69,2
NiSO ₄	20,7	27,4	33,5	35,4	39,2	43,4
PbCl ₂	-	1,0	-	-	-	3,1
Pb(NO ₃) ₂	27,3	35,2	41,9	47,8	52,7	57,1
RbCl	43,5	47,7	50,9	53,6	56,0	58,9
RbNO ₃	16,3	34,6	53,9	66,7	75,6	81,9
Rb ₂ SO ₄	27,3	32,5	36,9	40,3	42,9	45,0
SbCl ₃	85,7	90,1	93,2	97,8	ПОЛНОСТЬЮ	
SbF ₃	79,4	81,6	-	-	-	-
SnCl ₂	4,6	73,1	-	-	-	-
SnI ₂	-	1,0	1,4	2,1	2,9	4,0
SrBr ₂	46,0	50,6	55,2	60,0	64,5	69,0
SrCl ₂	30,3	34,6	39,5	45,0	47,5	50,2
SrI ₂	62,3	64,0	65,7	68,5	73,0	79,3
Sr(NO ₃) ₂	28,3	41,5	47,7	48,5	49,3	50,3
Sr(OH) ₂	0,9	1,7	3,8	7,8	16,8	47,7
TlNO ₃	3,8	8,7	17,3	31,6	52,6	80,5
TlOH	20,2	-	33,1	42,2	51,5	59,8
Tl ₂ SO ₄	2,6	4,6	7,1	9,9	12,8	16,1
UO ₂ (NO ₃) ₂	19,4	55,6	-	78,3	-	-
ZnBr ₂	79,5	-	85,5	86,1	86,6	87,0
ZnCl ₂	67,5	78,6	81,9	83,0	84,4	86,0
ZnI ₂	81,1	81,2	81,7	82,4	83,0	83,6
Zn(NO ₃) ₂	48,8	54,5	58,1	87,8	-	-
ZnSO ₄	29,4	35,0	41,4	46,0	46,2	44,0
Органические кислоты						
Бензойная	0,17	0,29	0,55	1,14	2,64	5,55
Винная	53,5	58,2	63,8	68,6	73,2	77,5
Лимонная	49,0	59,4	68,3	73,5	78,8	84,0
Пикриновая	1,04	1,2	1,9	3,1	4,4	5,9

Вещество	Температура, °С					
	0	20	40	60	80	100
Органические кислоты						
Салициловая	0,12	0,20	0,42	0,90	2,2	7,5
Щавелевая	3,42	8,69	17,7	30,7	45,8	54,5
Яблочная	47,0	55,8	64,6	73,3	82,1	-
Янтарная	2,72	6,28	13,9	26,4	41,5	54,7
Соли органических кислот						
Ацетат бария	36,9	41,6	44,0	42,9	42,5	42,9
Ацетат натрия	26,6	31,7	39,6	58,2	60,5	63,0
Ацетат калия	68,4	71,9	76,4	77,8	79,2	-
Ацетат кальция	27,2	25,8	24,9	24,6	25,1	22,9
Ацетат свинца	16,5	30,7	53,7	18,9	25,2	-
Ацетат серебра	7,2	10,4	14,1	18,9	25,2	-
Ацетат стронция	27,0	29,1	27,7	-	26,5	-
Битартарат калия	0,34	0,57	1,37	2,40	4,17	6,15
Оксалат аммония	2,3	4,3	7,6	12,2	18,3	25,7
Оксалат калия	20,3	26,7	30,4	34,7	38,9	44,9
Оксалат натрия	2,6	3,3	4,0	4,7	5,4	6,1
Тартарат аммония	31,0	38,6	43,3	46,5	-	-
Тартарат калия-натрия	-	38,8	-	-	-	-
Салицилат калия	44,1	52,3	58,2	61,2	-	68,3
Салицилат натрия	22,0	50,0	52,7	56,8	59,5	-
Формиат натрия	30,5	44,8	52,0	55,0	57,6	61,4
Формиат калия	-	77,0	79,4	82,2	85,3	86,8
Некоторые органические вещества						
Гидрохинон	-	1,16	2,10	5,45	12,6	24,5
Глицин	12,4	18,4	24,9	31,1	-	40,2
Глюкоза	-	-	54,6	70,9	81,5	-
Манит	7,1	15,1	26,1	37,5	47,8	57,1
Мочевина	40,0	52,0	62,5	71,5	80,0	88,0
Пирокатехин	-	6,9	21,9	40,2	64,7	93,2
Сахароза	64,2	67,1	70,4	74,2	78,4	83,0
Фурфурол	-	8,3	9,5	11,7	14,8	18,9

Растворимость солей и оснований при 25⁰С

	Li ⁺	Na ⁺	K ⁺ , Rb ⁺	NH ₄ ⁺	Ag ⁺	Mg ²⁺	Be ²⁺	Ca ²⁺	Sr ²⁺	Ba ²⁺	Cu ²⁺	Zn ²⁺	Hg ²⁺	Sn ²⁺	Pb ²⁺	Mn ²⁺	Co ²⁺	Co ³⁺	Ni ²⁺	Al ³⁺	Cr ³⁺	Cr ²⁺	Fe ²⁺	Fe ³⁺	Cd ²⁺	
OH ⁻	р	р	р	р	-	н	н	м	м	р	н	н	-	н	н	н	н	н	н	н	н	н	н	н	н	н
F ⁻	м	р	р	р	р	н	р	н	н	н	м	м	-	р	н	м	р	-	м	м	м	м	н	м	р	
Cl ⁻	р	р	р	р	н	р	р	р	р	р	р	р	р	р	м	р	р	р	р	р	р	р	р	р	р	р
Br ⁻	р	р	р	р	н	р	р	р	р	р	р	р	н	р	м	р	р	*	р	р	р	р	р	р	р	р
I ⁻	р	р	р	р	н	р	р	р	р	р	-	р	н	м	н	р	р	*	р	р	р	р	р	р	-	р
NO ₃ ⁻	р	р	р	р	р	р	р	р	р	р	р	р	р	-	р	р	р	-	р	р	р	*	р	р	р	р
NO ₂ ⁻	р	р	р	р	м	р	н	р	р	р	-	-	-	*	р	-	м	*	р	*	*	*	*	*	*	*
S ²⁻	м	р	р	р	н	-	р	-	-	-	н	н	н	н	н	н	н	*	н	-	-	н	н	-	н	
SO ₃ ²⁻	р	р	р	р	н	м	р	н	н	н	-	н	н	-	н	н	н	*	н	-	-	*	н	-	н	
SO ₄ ²⁻	р	р	р	р	м	р	р	м	н	н	р	р	р	р	н	р	р	*	р	р	р	р	р	р	р	р
ClO ₄ ⁻	р	р	р	р	р	р	р	р	р	р	р	р	р	*	р	р	р	*	р	р	р	р	р	р	р	р
ClO ₃ ⁻	р	р	р	р	р	р	р	р	р	р	р	р	р	*	р	р	р	*	р	р	р	*	*	*	*	р
CO ₃ ²⁻	м	р	р	р	н	м	м	н	н	н	-	н	-	-	н	н	н	-	н	-	-	м	н	-	н	
HCO ₃ ⁻	р	р	р	р	р	р	*	р	р	р	*	н	*	*		*	*	*	*	*	*	*	*	р	*	р
SiO ₃ ²⁻	р	р	р	-	-	н	н	н	н	н	н	н	-	-	н	н	н	*	н	-	-	*	н	-	н	
Cr ₂ O ₇ ²⁻	р	р	р	р	н	*	*	р	н	-	р	р	н	*	-	*	*	*	*	*	*	*	*	*	р	*
CrO ₄ ²⁻	р	р	р	р	н	р	*	р	м	н	н	н	м	-	н	н	н	*	н	-	-	*	-	-	н	
MnO ₄ ⁻	р	р	р	р	м	р	р	р	р	р	*	р	*	*	*	*	*	*	*	*	р	*	*	*	*	р
PO ₄ ³⁻	м	р	р	р	н	н	н	н	н	н	н	н	н	н	н	н	н	*	н	н	н	н	н	н	н	н
CH ₃ COO ⁻	р	р	р	р	м	р	н	р	р	р	р	р	р	-	р	р	р	*	р	р	р	м	р	-	р	

«Р» –растворимо; «М» – малорастворимо; Н – нерастворимо; «-» - разлагаются; «*» - нет данных.

Приближенные коэффициенты активности отдельных ионов

Ионы	Ионная сила раствора				
	0,001	0,005	0,01	0,05	0,1
Водорода	0,98	0,95	0,92	0,88	0,84
Однозарядные	0,98	0,95	0,92	0,85	0,80
Двухзарядные	0,77	0,65	0,58	0,40	0,30
Трехзарядные	0,73	0,55	0,47	0,28	0,21

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аналитическая химия и физико-химические методы анализа в 2-х томах. Том 1/ под редакцией А.А. Ищенко/М.: Академия, 2010.- 352с.
2. Ханина Т.И., Никитина Н.Г. Аналитическая химия. М.: Юрайт. Высшее образование, 2010.-288с.
3. Ю. А. Золотов Основы аналитической химии. В 2-х томах. М.: Наука, 2009.- 320с.
4. Танганов Б.Б. Химические методы анализа. Улан-Удэ.: ВСГТУ, 2003.-548с.
5. Е.Н. Дорохова, Г.В. Прохорова Задачи и вопросы по аналитической химии. М.: Мир, 2001.-267с.
6. Харитонов Ю.Я., Григорьева В.Ю. Примеры и задачи по аналитической химии. М. ГЭОТАР-Медиа, 2009.-304с.
7. Романцева Л.М., Лещинская З.Л., Суханова В.А. Сборник задач и упражнений по общей химии, М.: Высшая школа, 1991.-288с.
8. Задачи и упражнения по общей химии. /Под редакцией Н.В. Коровина, М.: Высшая школа, 2010.-393с.
10. Лазарев А.И., Харламов И.П., Яковлев П.Я., Яковлева Е.Ф. Справочник химика-аналитика. И.:Химия,1976.- 184с.
- 11 Краткий справочник физико-химических величин (Н.М. Барон, Э.И. Квят, Е.А. Подгорная, А.М. Пономарева, А.А. Равдель, З.Н. Тимофеева) (издание пятое переработанное и дополненное), Л.: «Химия», 1967.-325с.