



Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова»

**И.А. Варламова
Л.Г. Коляда**

РАСТВОРЫ. ДИСПЕРСНЫЕ СИСТЕМЫ

*Утверждено Редакционно-издательским советом университета
в качестве учебного пособия*

Магнитогорск
2012

Рецензенты:

Заведующая кафедрой химической технологии
ФГБОУ ВПО «Южно-Уральский государственный университет»,
доктор технических наук, старший научный сотрудник
Б.Ш. Дыскина

Доцент, кандидат химических наук,
ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный университет»
В.А. Дозоров

Варламова И.А., Коляда Л.Г.

Растворы. Дисперсные системы [Электронный ресурс] : учебное пособие / И.А. Варламова, Л.Г. Коляда ; ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». – Изд. 2-е, подгот. по печ. изд. 2011 г. – Электрон. текстовые дан. (0,81 Мб). – Магнитогорск : ФГБОУ ВПО «МГТУ», 2012. – 1 электрон. опт. диск (CD-R). – Систем. требования : IBM PC, любой, более 1 GHz ; 512 Мб RAM ; 10 Мб HDD ; MS Windows XP и выше ; Adobe Reader 8.0 и выше ; CD/DVD-ROM дисковод ; мышь. – Загл. с титул. экрана.

Пособие предназначено для студентов технических специальностей, изучающих дисциплины «Химия», «Общая химия» и «Неорганическая химия». В пособии приводятся задачи по разделам курса химии: растворы и дисперсные системы (способы выражения концентрации растворов, свойства разбавленных растворов неэлектролитов, растворы электролитов, комплексные соединения, коллоидно-дисперсные системы), краткие теоретические сведения по каждой теме, примеры решения типовых задач и многовариантные контрольные задания для самостоятельного решения, справочный материал.

УДК 54

- © Варламова И.А., Коляда Л.Г., 2011
© ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный
технический университет им. Г.И.Носова», 2011

СОДЕРЖАНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ	5
ВВЕДЕНИЕ.....	6
1. СПОСОБЫ ВЫРАЖЕНИЯ КОНЦЕНТРАЦИИ РАСТВОРОВ	7
Контрольные задания для самостоятельной работы.....	19
2. СВОЙСТВА РАЗБАВЛЕННЫХ РАСТВОРОВ НЕЭЛЕКТРОЛИТОВ.....	33
2.1. Осмос. Осмотическое давление.....	33
Контрольные задания для самостоятельной работы.....	36
2.2. Давление насыщенного пара растворителя над раствором. Первый закон Рауля	37
Контрольные задания для самостоятельной работы.....	40
2.3. Температура замерзания и кипения растворов. Второй закон Рауля.....	43
Контрольные задания для самостоятельной работы.....	44
3. РАСТВОРЫ ЭЛЕКТРОЛИТОВ	46
3.1. Степень диссоциации. Константа диссоциации слабого электролита	46
3.1.1. Вычисление концентрации ионов и степени диссоциации слабого электролита	49
3.1.2. Вычисление константы диссоциации слабого электролита	50
3.1.3. Вычисления, связанные со смещением равновесия диссоциации слабого электролита	51
Контрольные задания для самостоятельной работы.....	52
3.2. Сильные электролиты. Активность. Ионная сила.....	55
Контрольные задания для самостоятельной работы.....	58
3.3. Сильные электролиты. Изотонический коэффициент	59
Контрольные задания для самостоятельной работы.....	60
3.4. Реакции ионного обмена	61
3.4.1. Составление ионно-молекулярных уравнений	61
3.4.2. Составление молекулярных уравнений по ионно- молекулярным	63
Контрольные задания для самостоятельной работы.....	64
3.4. Диссоциация воды. Водородный показатель.....	71
3.5.1. Ионное произведение воды.....	71
3.5.2. Водородный показатель	71
3.5.3. Примеры решения задач	72
Контрольные задания для самостоятельной работы.....	75
3.6. Гидролиз солей.....	78
3.6.1. Количественные характеристики процесса гидролиза	82
3.6.2. Примеры решения задач	84
Контрольные задания для самостоятельной работы.....	84
3.7. Произведение растворимости	86

Контрольные задания для самостоятельной работы.....	91
4. КОМПЛЕКСНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ.....	96
4.1. Основные положения координационной теории.....	96
4.2. Номенклатура комплексных соединений.....	98
4.3. Природа химической связи в комплексных соединениях.....	98
4.4. Классификация комплексных соединений.....	99
4.5. Образование комплексных соединений.....	100
4.6. Диссоциация комплексных соединений.....	101
4.7. Примеры решения задач.....	102
Контрольные задания для самостоятельной работы.....	104
5. КОЛЛОИДНО-ДИСПЕРСНЫЕ СИСТЕМЫ.....	108
5.1. Классификация коллоидных систем.....	108
5.2. Получение коллоидных систем.....	110
5.3. Строение коллоидных частиц.....	111
5.4. Устойчивость коллоидных систем.....	112
5.5. Примеры решения задач.....	113
Контрольные задания для самостоятельной работы.....	116
Библиографический список.....	122
ПРИЛОЖЕНИЯ.....	123

ПРЕДИСЛОВИЕ

Учебное пособие написано в соответствии с требованиями Государственных образовательных стандартов высшего профессионального образования и программами учебных курсов «Химия», «Общая химия» и «Неорганическая химия» для технических специальностей вузов.

Предлагаемое учебное пособие разработано в дополнение к учебнику и соответствует нескольким разделам программы учебного курса по химии (растворы, дисперсные системы). При изучении курса химии большое значение имеет приобретение навыков в решении задач, что является одним из критериев прочного усвоения курса.

Каждый раздел содержит теоретический материал, примеры решения типовых задач и контрольные задания для самостоятельного решения. В первом разделе рассмотрены способы выражения количественного состава растворов. Во втором разделе представлены коллигативные свойства разбавленных растворов неэлектролитов (осмотическое давление, давление пара растворителя над раствором, температуры кипения и кристаллизации растворов неэлектролитов). Третий раздел посвящен свойствам растворов электролитов, закономерностям процессов диссоциации, реакциям в растворах электролитов, в том числе процессам гидролиза солей, расчетам, связанным с определением рН растворов и произведений растворимости малорастворимых соединений. В четвертом разделе рассмотрены основы химии координационных соединений, а в пятом – процессы образования, свойства и устойчивость дисперсных систем, в том числе коллоидных растворов, имеющих большое значение в различных технологических процессах.

Справочный материал, необходимый для решения задач, приводится в приложении. В пособии использовалась, главным образом, Международная система единиц (СИ). Однако в ряде случаев использовались нестандартные единицы (например литр), которые часто встречаются в учебной и технической литературе.

ВВЕДЕНИЕ

Очень многие химические реакции, в том числе технически и жизненно важные, протекают в жидких системах. Раствор – это однородная (однофазная) система переменного состава (в зависимости от температуры, давления и других условий), в которой одно или несколько веществ равномерно распределены в среде другого вещества. Поэтому растворы могут состоять из двух и более компонентов, которые распределяются в виде атомов, молекул, ионов или в виде групп (ассоциатов) небольшого числа этих частиц. То вещество, которое растворяет другое, называется растворителем. Растворитель в чистом виде существует в том же агрегатном состоянии, что и образовавшийся раствор. Любой раствор состоит из растворителя и одного или нескольких растворенных веществ.

Растворы могут иметь любое агрегатное состояние: твердое (растворы металлов), жидкое (растворы твердых, жидких, газообразных веществ в жидкостях), газообразное (смеси газов). В зависимости от природы растворителя растворы бывают водными и неводными. В зависимости от природы растворенного вещества различают растворы электролитов и неэлектролитов.

Важнейшей характеристикой раствора является его состав, который выражается концентрациями компонентов. В зависимости от концентрации жидкого раствора говорят о разбавленных и концентрированных растворах. Большое значение для химии и технологии имеют способы выражения количественного состава растворов.

Истинные растворы представляют однородную смесь компонентов, в которых размеры молекул, атомов или ионов обычно не превышают $5 \cdot 10^{-9}$ м. При увеличении размеров частиц система становится гетерогенной, состоящей из двух или более фаз с сильно развитой поверхностью раздела. Такие системы получили название дисперсных. Типичными дисперсными (коллоидными) системами являются золи, в которых дисперсной фазой является твердое тело, а дисперсионной средой – жидкость.

Координационные или комплексные соединения – соединения определенного состава, образующиеся в результате координации ионов или нейтральных молекул (лигандов) атомом или ионом химического элемента (комплексообразователем) по донорно-акцепторному механизму. Реакционная способность комплексных соединений определяется скоростью обмена лигандов на другие ионы или молекулы в растворе.

1. СПОСОБЫ ВЫРАЖЕНИЯ КОНЦЕНТРАЦИИ РАСТВОРОВ

Концентрацией называют количественную характеристику раствора, определяющую относительное содержание в нём растворённого вещества и растворителя.

В химии общеприняты следующие способы выражения концентрации растворённого вещества в растворах:

- 1) массовая доля растворённого вещества;
- 2) молярная концентрация растворённого вещества;
- 3) молярная концентрация эквивалентов растворённого вещества;
- 4) моляльная концентрация растворённого вещества;
- 5) титр;
- 6) мольная доля растворённого вещества.

Массовая доля растворённого вещества B (символ – $\omega(B)$), безразмерная величина, выражается в долях единицы или процентах) – показывает, какую часть массы всего раствора составляет масса растворённого вещества.

Массовую долю $\omega(B)$ находят как отношение массы растворённого вещества $m(B)$ к массе всего раствора m_p :

$$\omega(B) = \frac{m(B)}{m_p} \quad (\text{в долях единицы});$$

$$\omega_{\%}(B) = \frac{m(B)}{m_p} \cdot 100\% \quad (\text{в процентах}).$$

Массу раствора m_p можно найти, зная объём раствора V_p (мл) и его плотность ρ (г/мл)

$$m_p = V_p \cdot \rho,$$

или, зная для раствора массу растворённого вещества $m(B)$ и массу растворителя m_s ,

$$m_p = m(B) + m_s.$$

Пример 1. Раствор хлорида железа (III) объёмом 200 мл и плотностью 1,015 г/мл содержит 4,06 г $FeCl_3$. Определите массовую долю $FeCl_3$ в растворе.

Дано:

$$V_p = 200 \text{ мл}$$

$$\rho = 1,015 \text{ г/мл}$$

$$m(\text{FeCl}_3) = 4,06 \text{ г}$$

$$\omega(\text{FeCl}_3) - ?$$

Решение:

1. Найдём массу раствора

$$m_p = V_p \cdot \rho = 1,015 \cdot 200 = 203,00 \text{ г.}$$

2. Найдём массовую долю FeCl_3

$$\omega(\text{FeCl}_3) = \frac{m(\text{FeCl}_3)}{m_p} = 4,06 / 203,00 = 0,02.$$

Ответ: $\omega(\text{FeCl}_3) = 0,02$ (2%).

Молярная концентрация растворённого вещества B – молярность – показывает, какое количество растворённого вещества содержится в 1 л раствора (символ – $C(B)$; размерность – *моль/л*).

Молярную концентрацию $C(B)$ рассчитывают как отношение количества растворённого вещества $n(B)$ (*моль*) в растворе к объёму V_p (*л*) этого раствора

$$C(B) = \frac{n(B)}{V_p} \cdot \left(\frac{\text{моль}}{\text{л}} \right).$$

Количество растворённого вещества $n(B)$ находят, зная массу растворённого вещества $m(B)$ (*г*) и молярную массу растворённого вещества $M(B)$ (*г/моль*)

$$n(B) = \frac{m(B)}{M(B)} \text{ (моль)}.$$

Сокращённая форма записи единицы молярной концентрации $M \equiv \text{моль/л}$. Например, 2 M раствор – двумолярный раствор – это раствор, в 1 л которого содержится 2 *моль* растворённого вещества, т.е. $C(B) = 2 \text{ моль/л}$.

Пример 2. Рассчитайте массу растворённого вещества в 300 мл 1,36 M раствора сульфата меди (II).

Дано:

$$V_p = 300 \text{ мл} = 0,3 \text{ л}$$

$$C(\text{CuSO}_4) = 1,36 \text{ моль/л}$$

$$m(\text{CuSO}_4) - ?$$

Решение:

1. Найдём количество сульфата меди (II)

в 300 мл 1,36 M раствора

$$n(\text{CuSO}_4) = C(\text{CuSO}_4) \cdot V_p = 1,36 \cdot 0,3 = 0,408 \text{ моль.}$$

2. Рассчитаем молярную массу вещества

$$M(\text{CuSO}_4) = 64 + 32 + 4 \cdot 16 = 160 \text{ г/моль}.$$

3. Рассчитаем массу вещества

$$m(\text{CuSO}_4) = M(\text{CuSO}_4) \cdot n(\text{CuSO}_4) = 160 \cdot 0,408 = 65,28 \text{ г.}$$

Ответ: $m(\text{CuSO}_4) = 65,28 \text{ г.}$

Молярная концентрация эквивалентов вещества B – нормальность, нормальная или эквивалентная концентрация – показывает, какое количество эквивалентов растворённого вещества B содержится в 1 л раствора (символ – $C(f_{\text{экв}}(B)B)$, размерность – моль/л; сокращённое обозначение единицы – "Н.", $\text{Н.} \equiv \text{моль/л}$).

Молярная концентрация эквивалентов вещества B – отношение количества эквивалентов вещества к объёму раствора (л)

$$C(f_{\text{экв}}(B)B) = \frac{n(f_{\text{экв}}(B)B)}{V(p)}$$

Количество эквивалентов вещества рассчитывают как отношение его массы к молярной массе эквивалентов

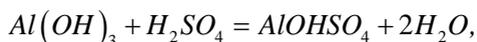
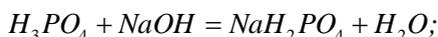
$$n(f_{\text{экв}}(B)B) = \frac{m(B)}{M(f_{\text{экв}}(B)B)}$$

Молярная масса эквивалентов вещества B – масса одного моля эквивалентов этого вещества, равная произведению фактора эквивалентности $f_{\text{экв}}(B)$ на молярную массу вещества B

$$M(f_{\text{экв}}(B)B) = f_{\text{экв}}(B) \cdot M(B).$$

В реакциях ионного обмена, протекающих с участием кислот и оснований, фактор эквивалентности вычисляется с учетом числа вступающих в реакцию катионов водорода кислоты или ионов гидроксидов основания, т.е. $f_{\text{экв}}$ находят по формуле $f_{\text{экв}} = \frac{1}{n}$, где n – число катионов водорода H^+ или число гидроксильных групп OH^- , участвующих в кислотно-основной реакции.

Например, в реакциях, выражаемых уравнениями



молярная масса эквивалентов ортофосфорной кислоты и гидроксида натрия равна их молярной массе ($n = 1, f_{\text{экв}} = 1$), т.к. в реакции участвуют один катион H^+ и одна группа OH^- .

$$M(H_3PO_4) = \frac{M(H_3PO_4)}{1} = 98 \text{ г/моль};$$

$$M(NaOH) = \frac{M(NaOH)}{1} = 40 \text{ г/моль}.$$

Молярная масса эквивалентов гидроксида алюминия и серной кислоты равна $\frac{1}{2}$ их молярной массы $n = 2$, $f_{\text{эке}} = \frac{1}{2}$ из-за участия в реакции двух групп OH^- и двух катионов H^+ .

$$M(\frac{1}{2}Al(OH)_3) = \frac{78}{2} = 39 \text{ г/моль};$$

$$M(\frac{1}{2}H_2SO_4) = \frac{M(H_2SO_4)}{2} = \frac{98}{2} = 49 \text{ г/моль}.$$

Фактор эквивалентности при вычислении молярной массы эквивалентов соли равен

$$f_{\text{эке}}(\text{соли}) = \frac{1}{\left(\frac{\text{число катионов}}{\text{металла}}\right) \cdot \left(\frac{\text{заряд катионов}}{\text{металла}}\right)}.$$

Так, молярная масса эквивалентов фосфата кальция равна

$$M(\frac{1}{6}Ca_3(PO_4)_2) = \frac{1}{3 \cdot 2} \cdot M(Ca_3(PO_4)_2) = \frac{310,2}{6} = 51,7 \text{ г/моль}.$$

Массу вещества в растворе находят по формуле

$$m(B) = C(f_{\text{эке}}(B)B) \cdot M(f_{\text{эке}}(B)B) \cdot V(p).$$

Молярную концентрацию эквивалентов выражают в тех же единицах, что и молярную концентрацию (в моль/дм^3 или в моль/л). Например, $C(\frac{1}{2}H_2SO_4) = 0,1 \text{ моль/л}$.

При использовании сокращенного обозначения молярной концентрации эквивалентов (нормальности) "н.", необходимо указать фактор эквивалентности. Например, $0,1 \text{ н. } H_2SO_4 (f_{\text{эке}} = \frac{1}{2})$.

Использование термина «нормальная концентрация» имеет смысл, когда фактор эквивалентности меньше единицы. В тех случаях, когда $f_{\text{эке}} = 1$, надо пользоваться термином «молярная концентрация». Например, вместо $0,1 \text{ н. } HCl (f_{\text{эке}} = 1)$ следует писать $0,1 \text{ М } HCl$.

Перевод молярной концентрации эквивалентов в молярную концентрацию и обратно осуществляют по формуле

$$C(B) = C(f_{\text{экв}}(B)B) \cdot f_{\text{экв}}(B).$$

Пример 3. Рассчитайте молярную концентрацию эквивалентов сульфата железа (III) в растворе, полученном при растворении 60 г $Fe_2(SO_4)_3$ в 240 мл воды. Плотность раствора 1,181 г/мл.

Дано:

$$m(Fe_2(SO_4)_3) = 60 \text{ г}$$

$$V(H_2O) = 240 \text{ мл}$$

$$\rho_p = 1,181 \text{ г/мл}$$

$$C(\frac{1}{6}Fe_2(SO_4)_3) - ?$$

Решение:

1. Найдём массу воды

т.к. $\rho(H_2O) = 1 \text{ г/мл}$, то $m(H_2O) = 240 \text{ г}$.

2. Найдём массу раствора

$$m_p = m(Fe_2(SO_4)_3) + m(H_2O) = 60 + 240 = 300 \text{ г}.$$

3. Найдём объём раствора

$$V_p = \frac{m_p}{\rho_p} = \frac{300}{1,181} = 254 \text{ мл} = 0,254 \text{ л}.$$

4. Рассчитаем молярную массу эквивалентов $Fe_2(SO_4)_3$

$$f_{\text{экв}}(Fe_2(SO_4)_3) = \frac{1}{2 \cdot 3} = \frac{1}{6};$$

$$M(\frac{1}{6}Fe_2(SO_4)_3) = \frac{1}{6} M(Fe_2(SO_4)_3) = \frac{1}{6} \cdot 400 = 66,67 \text{ г/моль}.$$

5. Найдём количество эквивалентов вещества в растворе

$$n(\frac{1}{6}Fe_2(SO_4)_3) = \frac{m(Fe_2(SO_4)_3)}{M(\frac{1}{6}Fe_2(SO_4)_3)} = \frac{60}{66,67} = 0,9 \text{ моль}.$$

6. Рассчитаем молярную концентрацию эквивалентов $Fe_2(SO_4)_3$

$$C(\frac{1}{6}Fe_2(SO_4)_3) = \frac{n(\frac{1}{6}Fe_2(SO_4)_3)}{V_p} = \frac{0,9}{0,254} = 3,543 \text{ моль/л}.$$

Ответ: 3,543 моль/л.

Моляльная концентрация вещества B – моляльность – показывает, какое количество растворённого вещества B приходится на 1 кг растворителя (символ $C_m(B)$); размерность – моль/кг; сокращенное обозначение единицы – "м", $m \equiv \text{моль/кг}$.

Моляльность вещества B – $C_m(B)$ – рассчитывают как отношение количества вещества в растворе $n(B)$ к массе растворителя m_s (кг) в этом растворе

$$C_m(B) = \frac{n(B)}{m_s} \left(\frac{\text{моль}}{\text{кг}} \right).$$

Массу растворителя можно найти, зная массу всего раствора m_p и массу растворённого вещества $m(B)$

$$m_s = m_p - m(B).$$

Пример 4. Рассчитайте моляльность раствора сульфата железа (III), приведенного в примере 3.

Дано:

$$m(Fe_2(SO_4)_3) = 60 \text{ г}$$

$$V(H_2O) = 240 \text{ мл}$$

$$\rho_p = 1,181 \text{ г/мл}$$

$$C_m(Fe_2(SO_4)_3) - ?$$

Решение:

1. Найдём массу растворителя:

учитывая, что $\rho(H_2O) = 1 \text{ г/мл}$, находим

$$m(H_2O) = 240 \text{ г} = 0,240 \text{ кг}.$$

2. Найдём количество $Fe_2(SO_4)_3$

$$n(Fe_2SO_4)_3 = \frac{m(Fe_2(SO_4)_3)}{M(Fe_2(SO_4)_3)} = \frac{60}{400} = 0,15 \text{ моль}.$$

3. Рассчитаем моляльную концентрацию сульфата железа (III) $Fe_2(SO_4)_3$ в растворе

$$C_m(Fe_2(SO_4)_3) = \frac{n(Fe_2(SO_4)_3)}{m(H_2O)} = \frac{0,15}{0,240} = 0,625 \text{ моль/кг}.$$

Ответ: 0,625 моль/кг.

Титр вещества B – это величина, показывающая, сколько граммов растворённого вещества B содержится в 1 мл раствора (символ – $T(B)$, размерность – г/мл).

Титр $T(B)$ рассчитывают как отношение массы растворенного вещества в растворе $m(B)$ (г) к объёму этого раствора V_p (мл)

$$T(B) = \frac{m(B)}{V_p} \left[\frac{\text{г}}{\text{мл}} \right].$$

Пример 5. Определите титр гидроксида калия в 11%-м растворе KOH. Плотность раствора 1,10 г/мл.

Дано:

$$\omega(KOH) = 11\%$$

$$\rho_p = 1,1 \text{ г/мл}$$

$$T(KOH) - ?$$

Решение:

Пусть масса раствора $m_p = 100 \text{ г}$, тогда по определению массовой доли $m(KOH) = 11 \text{ г}$.

1. Найдём объём 100 г раствора

$$V_p = \frac{m_p}{\rho_p} = \frac{100}{1,10} = 90,9 \text{ мл.}$$

2. Рассчитаем титр КОН

$$T(\text{KOH}) = \frac{m(\text{KOH})}{V_p} = \frac{11}{90,9} = 0,12 \text{ г/мл.}$$

Ответ: 0,12 г/мл.

Мольная доля растворённого вещества B (символ – $\chi(B)$, безразмерная величина) показывает, какую часть от суммарного количества всех веществ, входящих в состав раствора, составляет количество вещества B

$$\chi(B) = \frac{n(B)}{\sum n_i}, \text{ где } \sum n_i = n(B) + n_s + \dots + n_i.$$

Пример 6. Рассчитайте мольную долю каждого вещества в 11%-м растворе КОН.

Дано:

$$\omega(\text{KOH}) = 11\%$$

$$\chi(\text{KOH}) = ?$$

Решение:

В 100 г раствора масса гидроксида калия

$m(\text{KOH}) = 11 \text{ г}$; масса воды $m(\text{H}_2\text{O}) = 89 \text{ г}$.

1. Найдём молярные массы веществ

$$M(\text{KOH}) = 39 + 16 + 1 = 56 \text{ г/моль,}$$

$$M(\text{H}_2\text{O}) = 2 \cdot 1 + 16 = 18 \text{ г/моль.}$$

2. Найдём количества веществ в растворе

$$n(\text{KOH}) = \frac{m(\text{KOH})}{M(\text{KOH})} = \frac{11}{56} = 0,196 \text{ моль,}$$

$$n(\text{H}_2\text{O}) = \frac{m(\text{H}_2\text{O})}{M(\text{H}_2\text{O})} = \frac{89}{18} = 4,944 \text{ моль,}$$

$$\sum n_i = n(\text{KOH}) + n(\text{H}_2\text{O}) = 0,196 + 4,944 = 5,140 \text{ моль.}$$

3. Рассчитаем мольные доли веществ

$$\chi(\text{KOH}) = \frac{n(\text{KOH})}{\sum n_i} = \frac{0,196}{5,140} = 0,038,$$

$$\chi(\text{H}_2\text{O}) = \frac{n(\text{H}_2\text{O})}{\sum n_i} = \frac{4,944}{5,140} = 0,962.$$

Сумма мольных долей всех веществ раствора равна единице

$$\sum \chi_i = 1.$$

Ответ: $\chi(KOH) = 0,038$; $\chi(H_2O) = 0,962$.

Зная значение одной из концентраций, можно рассчитать все остальные виды концентраций. Для такого **пересчёта концентраций** необходимо выбрать определённое количество раствора или растворителя. Если известны $C(B)$, $C(f_{\text{экв}}(B)B)$ или $T(B)$, удобнее взять для расчётов 1 л (1000 мл) раствора, для $\omega(B)$ – 100 г раствора, а для $C_m(B)$ – 1 кг растворителя. Для растворенного вещества следует рассчитать $m(B)$, $n(B)$, $n(f_{\text{экв}}(B)B)$, для растворителя – m_s , n_s , а для раствора в целом – m_p , V_p и $\sum n_i$.

Пример 7. Плотность 0,804 г раствора K_2CO_3 равна 1,09 г/мл. Для растворенного вещества карбоната калия K_2CO_3 рассчитайте все известные концентрации.

Дано:

$$C_m(K_2CO_3) = 0,804 \text{ моль/кг}$$

$$\rho = 1,09 \text{ г/мл}$$

$$\omega(K_2CO_3) = ?$$

$$C(K_2CO_3) = ?$$

$$C(\frac{1}{2}K_2CO_3) = ?$$

$$T(K_2CO_3) = ?$$

$$\chi(K_2CO_3) = ?$$

Решение:

Молярная концентрация K_2CO_3

равна 0,804 моль/кг. Тогда на 1 кг

растворителя приходится 0,804 моль

K_2CO_3 , и для пересчёта концентраций

удобно принять массу растворителя

$$m_s = m(H_2O) = 1 \text{ кг} = 1000 \text{ г}.$$

Количество карбоната калия K_2CO_3 по определению молярной концентрации равно $n(K_2CO_3) = 0,804 \text{ моль}$.

1. Рассчитаем молярную массу K_2CO_3

$$M(K_2CO_3) = 2 \cdot 39 + 12 + 3 \cdot 16 = 138 \text{ г/моль}.$$

2. Рассчитаем молярную массу эквивалентов K_2CO_3

$$f_{\text{экв}}(K_2CO_3) = \frac{1}{2};$$

$$M(\frac{1}{2}K_2CO_3) = \frac{1}{2}M(K_2CO_3) = \frac{1}{2} \cdot 138 = 69 \text{ г/моль}.$$

3. Найдём массу растворённого вещества

$$m(K_2CO_3) = M(K_2CO_3) \cdot n(K_2CO_3) = 138 \cdot 0,804 = 111 \text{ г.}$$

4. Найдём количество эквивалентов K_2CO_3 в растворе

$$n(\frac{1}{2}K_2CO_3) = \frac{n(K_2CO_3)}{f_{\text{экс}}(K_2CO_3)} = \frac{0,804}{\frac{1}{2}} = 1,608 \text{ моль.}$$

5. Найдём массу раствора

$$m_p = m(K_2CO_3) + m(H_2O) = 111 + 1000 = 1111 \text{ г.}$$

6. Найдём объем раствора

$$V_p = \frac{m_p}{\rho_p} = \frac{1111}{1,09} = 1019 \text{ мл} = 1,019 \text{ л.}$$

7. Определим количество вещества растворителя в растворе

$$n(H_2O) = \frac{m(H_2O)}{M(H_2O)} = \frac{1000}{18} = 55,556 \text{ моль.}$$

8. Найдём общее количество всех веществ в растворе

$$\sum n_i = n(K_2CO_3) + n(H_2O) = 0,804 + 55,556 = 56,360 \text{ моль.}$$

Таким образом, мы определили все необходимые для расчетов характеристики:

- для растворённого вещества:

$$m(K_2CO_3) = 111 \text{ г};$$

$$n(K_2CO_3) = 0,804 \text{ моль};$$

$$n(\frac{1}{2}K_2CO_3) = 1,608 \text{ моль};$$

- для растворителя:

$$m(H_2O) = 1000 \text{ г};$$

$$n(H_2O) = 55,556 \text{ моль};$$

- для раствора в целом:

$$m_p = 1111 \text{ г};$$

$$V_p = 1019 \text{ мл} = 1,019 \text{ л};$$

$$\sum n_i = 56,360 \text{ моль.}$$

Подставим найденные значения в формулы для расчета концентрации:

$$\omega(K_2CO_3) = \frac{m(K_2CO_3)}{m_p} = \frac{111}{1111} = 0,10 \quad (10\%);$$

$$C(K_2CO_3) = \frac{n(K_2CO_3)}{V_p} = \frac{0,804}{1,019} = 0,79 \text{ моль/л};$$

$$C(\frac{1}{2}K_2CO_3) = \frac{n(\frac{1}{2}K_2CO_3)}{V_p} = \frac{1,608}{1,019} = 1,58 \text{ моль/л};$$

$$T(K_2CO_3) = \frac{m(K_2CO_3)}{V_p} = \frac{111}{1019} = 0,109 \text{ г/мл};$$

$$\chi(K_2CO_3) = \frac{n(K_2CO_3)}{\sum n_i} = \frac{0,804}{56,360} = 0,014;$$

$$\chi(H_2O) = \frac{n(H_2O)}{\sum n_i} = \frac{55,556}{56,360} = 0,986.$$

Ответ: $\omega(K_2CO_3) = 0,10$ (10%); $C(K_2CO_3) = 0,79 \text{ моль/л}$;

$C(\frac{1}{2}K_2CO_3) = 1,58 \text{ моль/л}$; $T(K_2CO_3) = 0,109 \text{ г/мл}$;

$\chi(K_2CO_3) = 0,014$; $\chi(H_2O) = 0,986$.

Приготовить водный раствор какого-либо вещества можно в результате одной из следующих операций:

- 1) растворения безводного вещества в воде;
- 2) растворения кристаллогидрата в воде;
- 3) разбавления более концентрированного раствора;
- 4) смешения растворов разных концентраций и т.д.

Для приготовления раствора заданной концентрации необходимо произвести соответствующие расчёты.

Пример 8. Сколько граммов кристаллогидрата $CoCl_2 \cdot 6H_2O$ и воды необходимо взять для приготовления 500 г раствора с массовой долей $CoCl_2$ 0,13?

Дано:

$$m_p = 500 \text{ г}$$

$$\omega(CoCl_2) = 0,13 \text{ (13\%)}$$

$$m(CoCl_2 \cdot 6H_2O) = ?$$

$$m(H_2O) = ?$$

Решение:

1. Найдём массу $CoCl_2$ в 500 г 13%-го

раствора

$$m(CoCl_2) = \omega(CoCl_2) \cdot m_p = 0,13 \cdot 500 = 65 \text{ г.}$$

2. Рассчитаем молярную массу $CoCl_2$

$$M(CoCl_2) = 59 + 2 \cdot 35,5 = 130 \text{ г/моль.}$$

3. Найдём количество $CoCl_2$ в растворе

$$n(CoCl_2) = \frac{m(CoCl_2)}{M(CoCl_2)} = \frac{65}{130} = 0,5 \text{ моль.}$$

4. Из формулы видно, что при растворении 1 моль кристаллогидрата $CoCl_2 \cdot 6H_2O$ образуется 1 моль $CoCl_2$, т.е.

$$n(CoCl_2 \cdot 6H_2O) = n(CoCl_2) = 0,5 \text{ моль.}$$

5. Найдём молярную массу кристаллогидрата

$$M(CoCl_2 \cdot 6H_2O) = 130 + 6 \cdot 18 = 238 \text{ г/моль.}$$

6. Найдём массу $CoCl_2 \cdot 6H_2O$, необходимого для приготовления раствора

$$m(CoCl_2 \cdot 6H_2O) = M(CoCl_2 \cdot 6H_2O) \cdot n(CoCl_2 \cdot 6H_2O) = 238 \cdot 0,5 = 119 \text{ г.}$$

7. Найдём массу воды, необходимой для приготовления раствора

$$m(H_2O) = m_p - m(CoCl_2 \cdot 6H_2O) = 500 - 119 = 381 \text{ г.}$$

Ответ: 119 г $CoCl_2 \cdot 6H_2O$ и 381 г H_2O .

Пример 9. Сколько миллилитров 96%-го раствора серной кислоты с плотностью 1,84 г/мл потребуется для приготовления 2 л 0,25 М раствора?

Дано:

Имеется раствор

$$\omega^0(H_2SO_4) = 96\% (0,96)$$

$$\rho^0 = 1,84 \text{ г/мл}$$

Требуется приготовить раствор

$$V_p = 2 \text{ л}$$

$$C(H_2SO_4) = 0,25 \text{ моль/л}$$

$$V_p = ?$$

Решение:

1. Найдём массу серной кислоты, содержащейся в 2 л 0,25 М раствора

$$m(H_2SO_4) = C(H_2SO_4) \cdot M(H_2SO_4) \cdot V_p = 0,25 \cdot 98 \cdot 2 = 49 \text{ г.}$$

2. Найдём массу 96%-го раствора,

содержащего столько же растворённого вещества

$$m^0 = \frac{m(H_2SO_4)}{\omega^0(H_2SO_4)} = \frac{49}{0,96} = 51 \text{ г.}$$

3. Найдём объём 96%-го раствора, содержащего 51 г серной кислоты

$$V_p^0 = \frac{m_p^0}{\rho^0} = \frac{51}{1,84} = 27,7 \text{ мл (28 мл).}$$

Ответ: 28 мл.

Пример 10. Сколько миллилитров концентрированного раствора соляной кислоты с плотностью 1,18 г/мл следует добавить к 500 мл 5%-го раствора с плотностью 1,025 г/мл, чтобы концентрация HCl в растворе возросла до 10%?

Дано:

1-й раствор:

$$V_{1p} = 500 \text{ мл}$$

$$\omega_1(\text{HCl}) = 0,05 \text{ (5\%)}$$

$$\rho_1 = 1,025 \text{ г/мл}$$

2-й раствор:

$$\omega_2(\text{HCl}) = 0,36 \text{ (36\%)}$$

$$\rho_2 = 1,18 \text{ г/мл}$$

Полученный

3-й раствор

$$\omega_3(\text{HCl}) = 0,10 \text{ (10\%)}$$

$$V_{2p} = ?$$

Решение:

Для полученного раствора:

$$m_{3p} = m_{1p} + m_{2p};$$

$$m_3(\text{HCl}) = m_1(\text{HCl}) + m_2(\text{HCl}).$$

1. Определим для 1-го раствора:

а) массу раствора

$$m_{1p} = \rho_1 \cdot V_{1p} = 1,025 \cdot 500 = 512,5 \text{ г};$$

б) массу растворённого вещества

$$m_1(\text{HCl}) = \omega_1(\text{HCl}) \cdot m_{1p} = 0,05 \cdot 512,5 = 25,6 \text{ г}.$$

2. Обозначим объём добавленного (2-го) раствора за x

$$V_{2p} = x(\text{мл}).$$

3. Выразим для 2-го раствора:

а) массу раствора

$$m_{2p} = \rho_2 \cdot V_{2p} = 1,18 \cdot x \text{ (г)};$$

б) массу растворённого вещества

$$m_2(\text{HCl}) = \omega_2 \cdot m_{2p} = 0,36 \cdot 1,18 \cdot x = 0,42 \cdot x \text{ (г)}.$$

4. Выразим для полученного раствора:

а) массу раствора

$$m_{3p} = m_{1p} + m_{2p} = 512,5 + 1,18 \cdot x \text{ (г)};$$

б) массу растворённого вещества

$$m_3(\text{HCl}) = m_1(\text{HCl}) + m_2(\text{HCl}) = 25,6 + 0,42 \cdot x \text{ (г)}.$$

5. Запишем выражение для массовой доли полученного раствора

$$\omega(\text{HCl}) = \frac{m_3(\text{HCl})}{m_{3p}};$$
$$0,1 = \frac{25,6 + 0,42 \cdot x}{512,5 + 1,18 \cdot x}.$$

Отсюда, решая уравнение, получаем $x = 88,2$, т.е.

$$V_{2p} = 88,2 \text{ мл} \approx 88 \text{ мл}.$$

Ответ: $\approx 88 \text{ мл}$.

Контрольные задания для самостоятельной работы

Задача 1

Рассчитайте:

- а) массовую концентрацию растворенного вещества;
- б) молярную концентрацию растворенного вещества;
- в) молярную концентрацию эквивалентов;
- г) моляльность;
- д) мольную долю растворенного вещества и растворителя;
- е) титр раствора,

если:

1.1. В воде объемом 100 мл растворили $0,125$ моль йодноватой кислоты HIO_3 . Плотность полученного раствора $\rho = 1,174\text{ г/мл}$.

1.2. В воде массой $172,8\text{ г}$ растворили газообразный аммиак массой $19,2\text{ г}$ и получили нашатырный спирт, плотность которого равна $\rho = 0,96\text{ г/мл}$.

Растворенное вещество – гидроксид аммония NH_4OH .

1.3. В 2350 г раствора нитрата железа (III) плотностью $\rho = 1,175\text{ г/мл}$ содержится $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$ в количестве $1,95$ моль.

1.4. В 2 л раствора гидроксида кальция содержится $478,8\text{ г}$ $\text{Ca}(\text{OH})_2$. Плотность раствора $\rho = 1,14\text{ г/мл}$.

1.5. Растворимость сульфата алюминия при 20°C равна $36,4\text{ г}$ $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ в 100 г воды. Плотность насыщенного раствора $\rho = 1,32\text{ г/мл}$.

1.6. В 640 мл воды растворили 160 г хлорида железа (III) FeCl_3 . Плотность полученного раствора составляет $\rho = 1,032\text{ г/мл}$.

1.7. Из 108 г воды и 27 г сульфата железа (II) приготовили раствор, объем которого составил $111,2\text{ мл}$.

1.8. В растворе ортофосфорной кислоты массой 1200 г и плотностью $\rho = 1,153\text{ г/мл}$ содержится 312 г H_3PO_4 .

1.9. В растворе нитрата натрия объемом 300 мл и плотностью $\rho = 1,01\text{ г/мл}$ содержится $0,06$ моль NaNO_3 .

1.10. В $85,6\text{ мл}$ воды растворили $1,07$ моль плавиковой кислоты HF . Плотность полученного раствора $\rho = 1,070\text{ г/мл}$.

1.11. В 335 г раствора хлорида олова (II) с плотностью $\rho = 1,415\text{ г/мл}$ содержится 135 г хлорида олова (II) SnCl_2 .

1.12. В растворе хлорида кальция объемом 200 мл и плотностью $\rho = 1,12$ г/мл содержится 0,28 моль хлорида кальция CaCl_2 .

1.13. В 5,6 л воды растворили 30 моль нитрата аммония NH_4NO_3 . Плотность полученного раствора $\rho = 1,128$ г/мл.

1.14. Из 156,2 г воды и 88,0 г азотной кислоты HNO_3 приготовили раствор азотной кислоты объемом 200 мл.

1.15. В растворе сульфата железа (III) объемом 800 мл и плотностью $\rho = 1,181$ г/мл содержится 189 г $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$.

1.16. В 2450 г раствора сульфата натрия, плотность которого $\rho = 1,115$ г/мл, содержится 3,14 моль Na_2SO_4 .

1.17. В 100 мл воды растворили 25 г бромид натрия NaBr и получили раствор с плотностью $\rho = 1,175$ г/мл.

1.18. Из 4568 г воды и 1612 г гидроксида калия KOH приготовили раствор с плотностью $\rho = 1,24$ г/мл.

1.19. В 150 г раствора сульфата аммония, плотность которого $\rho = 1,057$ г/мл, содержится 1,5 г сульфата аммония $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$.

1.20. В растворе сульфата хрома (III) объемом 1800 мл и плотностью $\rho = 1,096$ г/мл содержится 0,5 моль сульфата хрома (III) $\text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3$.

1.21. Из 15 г хлорида алюминия AlCl_3 и 135 г воды приготовили раствор с плотностью $\rho = 1,090$ г/мл.

1.22. В растворе хлорида лития массой 1700 г и плотностью $\rho = 1,254$ г/мл содержится 16 моль LiCl .

1.23. В воде объемом 1040 мл растворили 260 г нитрита натрия NaNO_2 . Плотность полученного раствора $\rho = 1,137$ г/мл.

1.24. Раствор нитрата меди (II) объемом 400 мл содержит 8,12 г $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$. Плотность раствора $\rho = 1,015$ г/мл.

1.25. Растворив 112,2 г нитрата цинка $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2$ в 175,4 мл воды, получили 200 мл раствора.

Задача 2

2.1. Для раствора нитрата стронция $\text{Sr}(\text{NO}_3)_2$ с плотностью $\rho = 1,048$ г/мл и титром 0,0636 г/мл рассчитайте: массовую долю, молярную концентрацию, молярную концентрацию эквивалентов, моляльность, мольную долю растворенного вещества.

2.2. Для раствора сульфата лития с массовой долей Li_2SO_4 0,1 и плотностью $\rho = 1,086$ г/мл рассчитайте: молярную концентрацию, молярную концентрацию эквивалентов, моляльность, титр, мольную долю растворенного вещества.

2.3. Молярность раствора карбоната калия K_2CO_3 с плотностью $\rho = 1,414$ г/мл равна 4,1 моль/л. Рассчитайте: массовую долю K_2CO_3 , молярную концентрацию эквивалентов, моляльность, титр, мольную долю растворенного вещества.

2.4. Для 3,95 н. раствора хлорида аммония NH_4Cl , плотность которого $\rho = 1,056$ г/мл, рассчитайте: массовую долю, молярную концентрацию, титр, моляльность, мольную долю растворенного вещества.

2.5. Для раствора хлорида цинка $ZnCl_2$ плотностью $\rho = 1,292$ г/мл, титр которого равен 0,3876, рассчитайте: массовую долю, молярную концентрацию, молярную концентрацию эквивалентов, моляльность, мольную долю растворенного вещества.

2.6. Для 0,736 т раствора сульфата марганца (II) $MnSO_4$ плотностью $\rho = 1,102$ г/мл рассчитайте: массовую долю, молярную концентрацию, молярную концентрацию эквивалентов, титр, мольную долю растворенного вещества.

2.7. Молярная концентрация эквивалентов в растворе хлорида калия KCl плотностью $\rho = 1,023$ г/мл равна 0,55. Рассчитайте: молярную концентрацию, массовую долю, моляльность, титр, мольную долю растворенного вещества.

2.8. Рассчитайте для 0,7 М раствора хлорида натрия $NaCl$ с плотностью $\rho = 1,026$ г/мл: массовую долю, молярную концентрацию эквивалентов, моляльность, титр, мольную долю растворенного вещества.

2.9. Плотность водного раствора соды, массовая доля Na_2CO_3 в котором составляет 6%, равна $\rho = 1,060$ г/мл. Рассчитайте: молярную концентрацию, молярную концентрацию эквивалентов, моляльность, титр, мольную долю растворенного вещества.

2.10. Плотность 1,071 т раствора сульфата железа (III) равна $\rho = 1,307$ г/мл. Рассчитайте: массовую долю $Fe_2(SO_4)_3$, молярную концентрацию, молярную концентрацию эквивалентов, титр, мольную долю растворенного вещества.

2.11. Плотность водного 20%-го (по массе) раствора нитрата серебра $AgNO_3$ равна 1,194 г/мл. Рассчитайте: молярную концентрацию, молярную концентрацию эквивалентов, моляльность, титр, мольную долю растворенного вещества.

2.12. Массовая доля сульфата алюминия $Al_2(SO_4)_3$ в растворе плотностью $\rho = 1,019$ г/мл равна 0,06. Рассчитайте: молярную концентрацию, молярную концентрацию эквивалентов, моляльность, титр, мольную долю растворенного вещества.

2.13. В растворе хлорида бария плотностью $\rho = 1,034$ г/мл молярная концентрация эквивалентов $BaCl_2$ равна 0,4 моль/л. Рассчитайте: молярную концентрацию, массовую долю, моляльность, титр, мольную долю растворенного вещества.

2.14. Для раствора бихромата калия $K_2Cr_2O_7$ плотностью $\rho = 1,026$ г/мл, моляльная концентрация которого равна 0,142 моль/кг, рассчитайте: массовую долю, молярную концентрацию, молярную концентрацию эквивалентов, титр, мольную долю растворенного вещества.

2.15. Титр раствора бромида калия KBr с плотностью 1,074 г/мл равен 0,1071. Рассчитайте: массовую долю, молярную концентрацию, молярную концентрацию эквивалентов, моляльность, мольную долю растворенного вещества.

2.16. Плотность водного 0,31 М раствора хлорида алюминия $AlCl_3$ равна 1,034 г/мл. Рассчитайте: массовую долю, молярную концентрацию эквивалентов, титр, моляльность, мольную долю растворенного вещества.

2.17. Для 0,4 М раствора сульфата меди (II) $CuSO_4$ с плотностью $\rho = 1,062$ г/мл рассчитайте: массовую долю, молярную концентрацию эквивалентов, моляльность, титр, мольную долю растворенного вещества.

2.18. Плотность 2,4 н. раствора нитрата свинца (II) равна 1,328 г/мл. Рассчитайте: массовую долю, молярную концентрацию, моляльность, титр, мольную долю $Pb(NO_3)_2$ в растворе.

2.19. Моляльность раствора хлорида железа (III) плотностью $\rho = 1,015$ г/мл равна 0,126. Рассчитайте: массовую долю, молярную концентрацию, молярную концентрацию эквивалентов, титр, мольную долю $FeCl_3$ в растворе.

2.20. Для раствора перманганата калия плотностью $\rho = 1,027$ г/мл титр равен 0,0411. Рассчитайте: массовую долю,

молярную концентрацию, молярную концентрацию эквивалентов ($f_{\text{экв}} = \frac{1}{5}$), моляльность, мольную долю $KMnO_4$ в растворе.

2.21. Для 8%-го раствора иодида калия KI с плотностью $\rho = 1,059$ г/мл вычислите: молярную концентрацию, молярную концентрацию эквивалентов, титр, мольную долю растворенного вещества.

2.22. Молярная концентрация раствора ортофосфорной кислоты с плотностью $\rho = 1,153$ г/мл равна 3,06 моль/л. Рассчитайте: массовую долю, молярную концентрацию эквивалентов, моляльность, титр, мольную долю H_3PO_4 в растворе.

2.23. Нормальная концентрация раствора сульфата никеля (II) плотностью $\rho = 1,085$ г/мл равна 1,12. Рассчитайте: массовую долю, молярную концентрацию, моляльность, титр, мольную долю $NiSO_4$ в растворе.

2.24. Для раствора хлорида марганца (II) плотностью $\rho = 1,298$ г/мл и моляльностью 3,4 рассчитайте: массовую долю, молярную концентрацию, молярную концентрацию эквивалентов, титр, мольную долю $MnCl_2$ в растворе.

2.25. Плотность раствора хромата калия, имеющего титр 0,0854, равна 1,064 г/мл. Рассчитайте: массовую долю, молярную концентрацию, молярную концентрацию эквивалентов, моляльность, мольную долю K_2CrO_4 в растворе.

Задача 3

3.1. Какой объем концентрированного раствора едкого натра с массовой долей $NaOH$ 0,234 и плотностью $\rho = 1,260$ г/мл и воды потребуется для приготовления 500 мл 1 М раствора $NaOH$ ($\rho = 1,042$ г/мл)?

3.2. Какой объем 0,3 н. раствора хлорида меди (II) ($\rho = 1,017$ г/мл) можно получить из 75 мл 2,47 М раствора $CuCl_2$ ($\rho = 1,278$ г/мл)? Рассчитайте массу растворенного вещества и воды в приготовленном растворе.

3.3. Какой объем воды необходимо добавить к 45 мл концентрированного 20%-го (по массе) раствора сульфата хрома (III) ($\rho = 1,222$ г/мл), чтобы получить 0,106 М раствор ($\rho = 1,039$ г/мл)? Рассчитайте массовую долю $Cr_2(SO_4)_3$ в полученном растворе.

3.4. К 100, мл 3,3 н. раствора нитрата алюминия ($\rho = 1,175 \text{ г/мл}$) добавили 350 мл воды. Определите массовую долю $Al(NO_3)_3$ и молярную концентрацию приготовленного раствора ($\rho = 1,039 \text{ г/мл}$).

3.5. Какой объем 63%-го (по массе) раствора азотной кислоты ($\rho = 1,38 \text{ г/мл}$) и воды потребуется для приготовления 5 л 2 н. раствора HNO_3 ($\rho = 1,066 \text{ г/мл}$)?

3.6. Какой объем раствора с массовой долей $LiNO_3$ 0,04 ($\rho = 1,029 \text{ г/мл}$) можно получить из 25 мл 4,4 М раствора нитрата лития ($\rho = 1,169 \text{ г/мл}$)? Рассчитайте молярную концентрацию разбавленного раствора.

3.7. Какой объем воды необходимо добавить к 45 мл раствора хлорной кислоты с массовой долей $HClO_4$ 18% и плотностью $\rho = 1,113 \text{ г/мл}$, чтобы получить 10%-й (по массе) раствор кислоты ($\rho = 1,060 \text{ г/мл}$). Рассчитайте молярную концентрацию полученного раствора.

3.8. К 230 мл 1,53 М раствора сульфата цинка ($\rho = 1,232 \text{ г/мл}$) добавили 500 мл воды. Для приготовленного раствора ($\rho = 1,073 \text{ г/мл}$) рассчитайте массовую долю $ZnSO_4$ и молярную концентрацию эквивалентов.

3.9. Какой объем 1,29 М раствора нитрата кобальта (II) ($\rho = 1,184 \text{ г/мл}$) и воды потребуется для приготовления 200 мл 5%-го (по массе) раствора $Co(NO_3)_2$ ($\rho = 1,041 \text{ г/мл}$)?

3.10. Какой объем 0,33 М раствора нитрата свинца ($\rho = 1,094 \text{ г/мл}$) можно получить из 35 мл 1,21 М раствора $Pb(NO_3)_2$ ($\rho = 1,336 \text{ г/мл}$). Рассчитайте массовую долю растворенного вещества в полученном растворе.

3.11. Какой объем воды следует добавить к 100 мл 1,37 М раствора бромиды хрома (III) ($\rho = 1,34 \text{ г/мл}$), чтобы получить раствор с массовой долей $CrBr_3$ 0,06 ($\rho = 1,05 \text{ г/мл}$). Рассчитайте молярную концентрацию эквивалентов для получения раствора.

3.12. К 5 мл 30%-го (по массе) раствора пероксида водорода H_2O_2 ($\rho = 1,1122 \text{ г/мл}$) прилили 50 мл воды. Рассчитайте массовую долю H_2O_2 и молярную концентрацию полученного раствора ($\rho = 1,0095 \text{ г/мл}$).

3.13. Какой объем концентрированного $0,98\text{ M}$ раствора бромида алюминия ($\rho = 1,193\text{ г/мл}$) и воды потребуется для приготовления 200 мл раствора с массовой долей AlBr_3 $0,04$ ($\rho = 1,029\text{ г/мл}$)?

3.14. Какой объем раствора с массовой долей NH_4Cl $0,04$ ($\rho = 1,0107\text{ г/мл}$) можно приготовить из 150 мл 22% -го (по массе) раствора хлорида аммония ($\rho = 1,0621\text{ г/мл}$)? Рассчитайте молярную концентрацию полученного раствора.

3.15. Какой объем воды необходимо добавить к 400 мл $3,7\text{ н.}$ раствора хлорида кобальта (II) ($\rho = 1,20\text{ г/мл}$), чтобы получить раствор, молярность которого равна $0,49$ ($\rho = 1,055\text{ г/мл}$). Рассчитайте массовую долю CoCl_2 в полученном растворе.

3.16. К 15 мл раствора сульфата кадмия с массовой долей CdSO_4 $0,1$ и плотностью $\rho = 1,102\text{ г/мл}$ прилили 25 мл воды. Рассчитайте молярную концентрацию и массовую долю CdSO_4 в приготовленном растворе ($\rho = 1,038\text{ г/мл}$).

3.17. Какой объем 1 M раствора хлорида хрома (III) ($\rho = 1,1316\text{ г/мл}$) необходимо взять для приготовления $0,3\text{ л}$ $0,385\text{ н.}$ раствора CrCl_3 ($\rho = 1,0166\text{ г/мл}$)? Определите массовую долю CrCl_3 в приготовленном растворе.

3.18. Какой объем $0,6\text{ н.}$ раствора сульфата калия ($\rho = 1,039\text{ г/мл}$) можно получить из 150 мл 10% -го (по массе) раствора K_2SO_4 ($\rho = 1,081\text{ г/мл}$). Рассчитайте массу вещества и воды в приготовленном растворе.

3.19. Какой объем воды необходимо добавить к 145 мл $6,8\text{ M}$ раствора бромоводородной кислоты HBr ($\rho = 1,37\text{ г/мл}$), чтобы получить $0,51\text{ н.}$ раствор ($\rho = 1,028\text{ г/мл}$)? Рассчитайте титр полученного раствора.

3.20. К 185 мл $3,24\text{ н.}$ раствора хлорида бериллия ($\rho = 1,080\text{ г/мл}$) прилили 400 мл воды. Для приготовленного раствора рассчитайте массовую долю BeCl_2 и молярность.

3.21. Какой объем $1,63\text{ M}$ раствора нитрата хрома (III) ($\rho = 1,293\text{ г/мл}$) требуется для приготовления 250 мл $0,22\text{ M}$ раствора $\text{Cr}(\text{NO}_3)_3$ ($\rho = 1,041\text{ г/мл}$)? Рассчитайте массовую долю $\text{Cr}(\text{NO}_3)_3$ в исходном и полученном растворах.

3.22. Какой объем 8%-го (по массе) раствора ($\rho = 1,049$ г/мл) нитрата калия можно получить из 0,1 л раствора с массовой долей KNO_3 0,2 и плотностью $\rho = 1,133$ г/мл? Рассчитайте молярность приготовленного раствора.

3.23. К 36 мл 0,676 М раствора ортофосфата натрия ($\rho = 1,1083$ г/мл) прилили 10 мл воды. Рассчитайте массовую долю Na_3PO_4 и титр приготовленного раствора ($\rho = 1,085$ г/мл).

3.24. Какой объем раствора с массовой долей нитрата цезия 2% ($\rho = 1,014$ г/мл) можно приготовить из 10 мл 0,55 н. раствора $CsNO_3$ ($\rho = 1,078$ г/мл)? Рассчитайте массу вещества и воды в приготовленном растворе.

3.25. Какой объем воды следует добавить к 60 мл раствора бромид аммония с массовой долей NH_4Br 0,3 ($\rho = 1,20$ г/мл), чтобы получить раствор, молярная концентрация эквивалентов которого равна 1,55 ($\rho = 1,07$ г/мл). Найдите массовую долю NH_4Br в приготовленном растворе.

Задача 4

4.1. Какой объём 3,3 н. раствора сульфата никеля $NiSO_4$ ($\rho = 1,19$ г/мл) следует добавить к 200 мл 0,66 М раствора ($\rho = 1,08$ г/мл), чтобы получить 12%-й (по массе) раствор $NiSO_4$ ($\rho = 1,12$ г/мл)? Для полученного раствора рассчитайте: молярную концентрацию, молярную концентрацию эквивалентов, молярную концентрацию, титр.

4.2. Какой объём 0,51 М раствора ($\rho = 1,02$ г/мл) гидроксида натрия необходимо взять, чтобы при добавлении к нему 16,5 г твёрдого $NaOH$ массовая доля гидроксида натрия возросла до 11%? Для полученного раствора ($\rho = 1,12$ г/мл) рассчитайте: молярную концентрацию, молярную концентрацию эквивалентов, молярную концентрацию, титр.

4.3. К 1149 мл 2,87 М раствора соляной кислоты HCl ($\rho = 1,047$ г/мл) прилили 1047 мл 9,44 М раствора HCl ($\rho = 1,149$ г/мл). Для полученного раствора ($\rho = 1,1$ г/мл) рассчитайте: массовую долю, молярную концентрацию, молярную концентрацию эквивалентов, молярную концентрацию, титр.

4.4. В лаборатории имеются: 60%-й (по массе) раствор ($\rho = 1,5$ г/мл) и 30%-й (по массе) раствор ($\rho = 1,2$ г/мл) серной кислоты H_2SO_4 . Какой объём каждого раствора нужно взять, чтобы при их смешении получить 240 г раствора с массовой долей H_2SO_4 0,5 ($\rho = 1,4$ г/мл)? Для полученного раствора рассчитайте: молярную концентрацию, молярную концентрацию эквивалентов, моляльную концентрацию, титр.

4.5. При охлаждении насыщенного при $100^\circ C$ раствора дихромата калия $K_2Cr_2O_7$ до $20^\circ C$ выкристаллизовалось 100 г $K_2Cr_2O_7$ и получился раствор ($\rho = 1,068$ г/мл) объёмом 264 мл, массовая доля $K_2Cr_2O_7$ в котором составляет 0,1. Определите растворимость $K_2Cr_2O_7$ при $100^\circ C$ (в граммах на 100 г воды). Рассчитайте для полученного после охлаждения раствора: молярную концентрацию, молярную концентрацию эквивалентов, моляльную концентрацию, титр.

4.6. Какой объём раствора бромида цинка ($\rho = 1,2$ г/мл), титр которого равен 0,24 г/мл, необходимо добавить к 400 мл 0,56 н. раствора $ZnBr_2$ ($\rho = 1,05$ г/мл), чтобы массовая доля бромида цинка в растворе стала равной 10%? Для полученного раствора ($\rho = 1,10$ г/мл) рассчитайте: молярную концентрацию, молярную концентрацию эквивалентов, моляльную концентрацию, титр.

4.7. Какой объём 0,5 н. раствора оксалата натрия $Na_2C_2O_4$ ($\rho = 1,03$ г/мл) необходимо взять, чтобы при добавлении к нему 7,07 г $Na_2C_2O_4$ титр стал равным 0,108 г/мл? Для полученного раствора ($\rho = 1,08$ г/мл) рассчитайте: молярную концентрацию, молярную концентрацию эквивалентов, массовую долю $Na_2C_2O_4$, титр.

4.8. Смешали два раствора сульфата кадмия $CdSO_4$: 500 мл 25%-го (по массе) ($\rho = 1,289$ г/мл) и 550 мл 40%-го (по массе) ($\rho = 1,574$ г/мл). Для полученного раствора ($\rho = 1,430$ г/мл) рассчитайте: массовую долю $CdSO_4$, молярную концентрацию, моляльную концентрацию, титр.

4.9. В лаборатории имеются растворы красной кровяной соли, титр $K_3[Fe(CN)_6]$ в которых составляет 0,041 г/мл ($\rho = 1,02$ г/мл) и 0,151 г/мл ($\rho = 1,08$ г/мл). Какие объёмы растворов необходимо смешать, чтобы получился раствор объёмом 200 мл с массовой

долей $K_3[Fe(CN)_6]$ 0,1 и плотностью $\rho = 1,05$ г/мл? Для полученного раствора рассчитайте: молярную концентрацию, молярную концентрацию эквивалентов, моляльную концентрацию, титр.

4.10. При охлаждении 2,4 кг насыщенного при 45°C раствора бромида калия KBr ($\rho = 1,4$ г/мл) выделилось 400 г твёрдого KBr и получился раствор, в котором на 100 г воды приходится 50 г KBr . Рассчитайте для исходного раствора: молярную концентрацию, молярную концентрацию эквивалентов, массовую долю KBr , титр.

4.11. Какой объём раствора вольфрамата натрия ($\rho = 1,1$ г/мл), титр Na_2WO_4 в котором равен 0,11 г/мл, необходимо взять, чтобы при добавлении к нему 30 г Na_2WO_4 молярная концентрация стала равной 0,63 моль/л? Для полученного раствора ($\rho = 1,16$ г/мл) рассчитайте: массовую долю Na_2WO_4 , молярную концентрацию эквивалентов, моляльную концентрацию, титр.

4.12. В лаборатории имеются 0,84 н. ($\rho = 1,08$ г/мл) и 1,82 н. ($\rho = 1,16$ г/мл) растворы ацетата бария $Ba(CH_3COO)_2$. Какой объём каждого раствора нужно взять, чтобы после их смешения получить 250 мл 14%-го (по массе) раствора $Ba(CH_3COO)_2$ ($\rho = 1,1$ г/мл)? Для полученного раствора рассчитайте: молярную концентрацию, молярную концентрацию эквивалентов, моляльную концентрацию, титр.

4.13. К 577 мл 0,51 М раствора ($\rho = 1,04$ г/мл) перхлората натрия $NaClO_4$ прилили 336 мл раствора ($\rho = 1,19$ г/мл), титр $NaClO_4$ в котором равен 0,3094 г/мл. Для полученного раствора ($\rho = 1,09$ г/мл) рассчитайте: массовую долю $NaClO_4$, молярную концентрацию, молярную концентрацию эквивалентов, моляльную концентрацию, титр.

4.14. При упаривании 1,76 М раствора ($\rho = 1,1$ г/мл) хлорной кислоты $HClO_4$ из него испарилось 3,35 моль воды и получился 2 М раствор ($\rho = 1,113$ г/мл). Определите для исходного раствора: объём, молярную концентрацию эквивалентов, массовую долю $HClO_4$, моляльную концентрацию, титр.

4.15. Какой объём 1,3 М раствора молибдата натрия Na_2MoO_4 ($\rho = 1,217$ г/мл) нужно добавить к 150 мл 8%-го (по

массе) раствора Na_2MoO_4 ($\rho = 1,071$ г/мл), чтобы получить раствор, титр Na_2MoO_4 в котором равен $0,184$ г/мл? Для полученного раствора ($\rho = 1,15$ г/мл) рассчитайте: массовую долю Na_2MoO_4 , молярную концентрацию, молярную концентрацию эквивалентов, молярную концентрацию.

4.16. Какой объём 1%-го (по массе) раствора силиката натрия Na_2SiO_3 ($\rho = 1,007$ г/мл) необходимо взять, чтобы при добавлении к нему $1,7$ г Na_2SiO_3 получился раствор, молярность которого равна $0,167$ моль/кг H_2O ? Для полученного раствора ($\rho = 1,015$ г/мл) рассчитайте: массовую долю Na_2SiO_3 , молярную концентрацию, молярную концентрацию эквивалентов, титр.

4.17. В лаборатории имеются 20%-й (по массе) ($\rho = 1,16$ г/мл) и 12%-й (по массе) ($\rho = 1,1$ г/мл) растворы нитрата кальция $Ca(NO_3)_2$. Какие объёмы растворов необходимо взять, чтобы после их смешивания получить 100 мл 2,2 н. раствора $Ca(NO_3)_2$? Для полученного раствора ($\rho = 1,13$ г/мл) рассчитайте: массовую долю $Ca(NO_3)_2$, молярную концентрацию, молярную концентрацию, титр.

4.18. При упаривании 8%-го (по массе) раствора ($\rho = 1,067$ г/мл) хлорида железа (III) испарилось $53,5$ г воды и получился 2 н. раствор ($\rho = 1,085$ г/мл). Определите объём исходного раствора. Для раствора, полученного после упаривания, рассчитайте: массовую долю $FeCl_3$, молярную концентрацию, молярную концентрацию, титр.

4.19. К 195 мл 4%-го (по массе) раствора хлорида натрия ($\rho = 1,026$ г/мл) прибавили 428 мл 1,83 М раствора ($\rho = 1,070$ г/мл). Для полученного раствора ($\rho = 1,056$ г/мл) рассчитайте: массовую долю $NaCl$, молярную концентрацию, молярную концентрацию эквивалентов.

4.20. Какой объём 20%-го (по массе) раствора гидроксида калия KOH ($\rho = 1,176$ г/мл) необходимо добавить к 100 мл 50%-го (по массе) раствора ($\rho = 1,525$ г/мл) KOH , чтобы получить раствор с массовой долей гидроксида калия $0,25$ ($\rho = 1,229$ г/мл). Для полученного раствора рассчитайте: молярную концентрацию, молярную концентрацию эквивалентов, титр.

4.21. При охлаждении насыщенного при 80°C раствора ($\rho = 1,30 \text{ г/мл}$) нитрата аммония NH_4NO_3 выделилось $1,5 \text{ моль}$ нитрата аммония и получился раствор ($\rho = 1,34 \text{ г/мл}$) объемом 70 мл , в котором на 100 г воды приходится 192 г NH_4NO_3 . Определите растворимость нитрата аммония в воде при 80°C (в массовых долях). Для полученного, после охлаждения, раствора рассчитайте: массовую долю NH_4NO_3 , молярную концентрацию, титр, моляльную концентрацию.

4.22. Смешали 100 мл $2,6 \text{ н.}$ раствора ($\rho = 1,04 \text{ г/мл}$) и 80 мл 30% -го раствора ($\rho = 1,1 \text{ г/мл}$) карбоната аммония $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$. Для полученного раствора ($\rho = 1,07 \text{ г/мл}$) рассчитайте: массовую долю $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$, молярную концентрацию, молярную концентрацию эквивалентов, моляльную концентрацию, титр.

4.23. Какой объем 6% -го (по массе) раствора ($\rho = 1,015 \text{ г/мл}$) нитрата серебра AgNO_3 необходимо взять, чтобы при добавлении к нему $1,9 \text{ г}$ AgNO_3 молярная концентрация стала бы равной $0,37 \text{ моль/л}$? Для полученного раствора ($\rho = 1,05 \text{ г/мл}$) рассчитайте: массовую долю AgNO_3 , молярную концентрацию эквивалентов, моляльную концентрацию, титр.

4.24. Какой объем 30% -го (по массе) раствора соляной кислоты HCl ($\rho = 1,149 \text{ г/мл}$) нужно добавить к 5 л $0,5 \text{ M}$ раствора HCl ($\rho = 1,007 \text{ г/мл}$), чтобы получить одномолярный раствор соляной кислоты? Для полученного раствора ($\rho = 1,016 \text{ г/мл}$) рассчитайте: массовую долю HCl , молярную концентрацию эквивалентов, моляльную концентрацию, титр.

4.25. В лаборатории имеются $1,2 \text{ M}$ ($\rho = 1,01 \text{ г/мл}$) и $9,8 \text{ M}$ ($\rho = 1,11 \text{ г/мл}$) растворы пероксида водорода H_2O_2 . Какие объемы растворов необходимо взять, чтобы при их смешении получилось 250 г раствора, титр которого равен $0,104 \text{ г/мл}$? Для полученного раствора ($\rho = 1,04 \text{ г/мл}$) рассчитайте: массовую долю H_2O_2 , молярную концентрацию, моляльную концентрацию, мольную долю H_2O_2 .

Задача 5

5.1. Оксид серы (VI) SO_3 массой 5,4 г растворили в 50 мл воды и получили раствор с плотностью $\rho = 1,08$ г/мл. Определите массовую долю и нормальную концентрацию кислоты в полученном растворе.

5.2. Сколько граммов арсената серебра образуется при сливании 2 л 0,303 М раствора нитрата серебра $AgNO_3$ и 1,5 л 0,212 М раствора арсената натрия Na_3AsO_4 ?

5.3. Какой объём 0,5 н раствора серной кислоты H_2SO_4 необходим для нейтрализации 20 мл 11%-го (по массе) раствора гидроксида калия KOH ($\rho = 1,1$ г/мл)?

5.4. Какую массу оксалата кальция CaC_2O_4 можно растворить в 200 мл двухмолярного раствора соляной кислоты HCl ($\rho = 1,03$ г/мл)?

5.5. Какой объём 24%-го (по массе) раствора гидроксида натрия $NaOH$ ($\rho = 1,26$ г/мл) потребуется для осаждения гидроксида железа (III) из 100 мл 0,2 М раствора хлорида железа (III) $FeCl_3$?

5.6. Осадок сульфида кобальта (II) CoS массой 8,2 г растворили, добавив 180 мл раствора серной кислоты. Определите массовую долю и молярную концентрацию H_2SO_4 в использованном растворе ($\rho = 1,03$ г/мл).

5.7. При растворении гидрида кальция CaH_2 в 500 мл воды выделилось 224 мл водорода (условия нормальные). Определите массовую долю гидроксида кальция в полученном растворе.

5.8. Сколько граммов хромата бария можно получить из 150 мл раствора нитрата бария $Ba(NO_3)_2$, титр которого равен 0,063 г/мл, при взаимодействии с избытком хромата аммония $(NH_4)_2CrO_4$?

5.9. На нейтрализацию 25 мл раствора уксусной кислоты CH_3COOH ($\rho = 1,0$ г/мл) израсходовано 15 мл 1 М раствора гидроксида натрия $NaOH$. Определите массовую долю и молярную концентрацию CH_3COOH в растворе.

5.10. Какой объём 7%-го (по массе) раствора гидроксида калия ($\rho = 1,06$ г/мл) необходим для растворения 39 г гидроксида алюминия $Al(OH)_3$?

5.11. Сколько граммов оксида натрия Na_2O нужно растворить в 100 мл воды, чтобы получить 11%-й (по массе) раствор гидроксида натрия?

5.12. Из 110 мл раствора хромата натрия Na_2CrO_4 ($\rho = 1,15$ г/мл) при взаимодействии с раствором нитрата серебра $AgNO_3$ осадили 41,5 г хромата серебра. Определите массовую долю Na_2CrO_4 в исходном растворе.

5.13. К 10 мл 2 М раствора гидроксида натрия $NaOH$ ($\rho = 1,1$ г/мл) прилили 5 мл 1 М раствора ортофосфорной кислоты H_3PO_4 ($\rho = 1,05$ г/мл). Определите массовую долю полученной соли в растворе.

5.14. Какую массу лития нужно взять, чтобы при его растворении в 200 мл воды получить 5%-й (по массе) раствор гидроксида лития?

5.15. Какую массу карбоната магния можно осадить при взаимодействии 300 мл 0,5 М раствора карбоната натрия Na_2CO_3 и 112 мл 10%-го (по массе) раствора хлорида магния $MgCl_2$ ($\rho = 1,1$ г/мл)?

5.16. Какой объём 2,5 н. раствора азотной кислоты HNO_3 необходимо взять для растворения 64,7 г мрамора, массовая доля карбоната кальция $CaCO_3$ в котором составляет 85%?

5.17. Сколько граммов малорастворимого иодата лантана образуется при сливании 20 мл 0,1 н. раствора иодата натрия $NaIO_3$ и 12 мл 0,06 н. раствора нитрата лантана $La(NO_3)_3$?

5.18. Какой объём 0,074 М раствора гидроксида бария $Ba(OH)_2$ необходим для реакции с 10 мл 24%-го (по массе) раствора соляной кислоты HCl ($\rho = 1,12$ г/мл)?

5.19. Какую массу оксида марганца (II) MnO можно растворить в 100 мл 1,5 М раствора серной кислоты ($\rho = 1,1$ г/мл). Определите массовую долю полученной соли в растворе.

5.20. Какая масса кристаллогидрата $BaCl_2 \cdot 2H_2O$ потребуется для количественного осаждения сульфат-ионов из 2 л 0,16 М раствора серной кислоты?

5.21. Какую массу гидроксида цинка $Zn(OH)_2$ можно растворить в 50 мл 20%-го раствора гидроксида натрия ($\rho = 1,22$ г/мл)?

5.22. Какой объём раствора нитрата серебра $AgNO_3$ потребуется для реакции с 23 мл 0,584 н. раствора хлорида бария $BaCl_2$? Какова масса полученного осадка?

5.23. Какой объём двухмолярного раствора хлорида кальция $CaCl_2$ ($\rho = 1,16$ г/мл) потребуется для осаждения 23,2 г силиката кальция из раствора силиката калия K_2SiO_3 ?

5.24. Сколько граммов гидроксида кальция $Ca(OH)_2$ необходимо для реакции с 1,2 мл 70%-го (по массе) раствора хлорной кислоты $HClO_4$ ($\rho = 1,6$ г/мл)?

5.25. Какую массу цинка можно растворить в 125 мл 10%-го (по массе) раствора соляной кислоты HCl ($\rho = 1,05$ г/мл)? Какой объём газа при этом выделится? Условия нормальные.

2. СВОЙСТВА РАЗБАВЛЕННЫХ РАСТВОРОВ НЕЭЛЕКТРОЛИТОВ

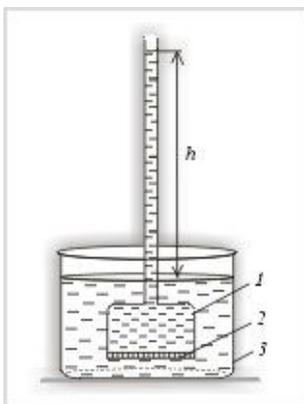
Четыре свойства разбавленных растворов неэлектролитов традиционно объединяются под названием **коллигативных свойств**: понижение давления пара растворителя; повышение температуры кипения раствора; понижение температуры замерзания раствора; явление осмотического давления.

Количественное выражение этих свойств зависит только от числа находящихся в растворе частиц растворенного вещества и количества растворителя.

2.1. Осмос. Осмотическое давление

Осмозом называют процесс односторонней диффузии растворителя через полупроницаемую перегородку (мембрану) из чистого растворителя в раствор или из раствора с меньшей концентрацией растворенного вещества в раствор с большей концентрацией (см. рисунок).

Если мембрана (например целлофан) разделяет раствор и чистый растворитель и может пропускать молекулы воды (растворителя), но не пропускает молекулы растворенного вещества, то оказывается, что скорость диффузии молекул воды через перегородку в разных направлениях будет различна. Она будет выше для потока молекул, диффундирующих из растворителя в раствор. Объем раствора при этом будет постепенно увеличиваться, а объем растворителя будет соответственно уменьшаться.



Прибор для определения осмотического давления:
1 – сосуд с раствором; 2 – полупроницаемая перегородка;
3 – сосуд с растворителем

Если сосуд 1, закрытый внизу полупроницаемой перегородкой 2 и наполненный водным раствором какого-либо вещества, поместить в сосуд 3 с водой, то вода будет проходить из сосуда 3 в сосуд 1. Через некоторое время объем раствора в сосуде 1 увеличится и его уровень поднимется выше уровня растворителя в сосуде 3 на высоту h . В результате увеличения объема раствора в сосуде 1 возникает гидростатическое давление, называемое осмотическим давлением, которое количественно оценивается высотой h подъема жидкости в сосуде 1.

Осмотическое давление π – это гидростатическое давление столба жидкости высотой h , от которого осмос прекращается.

Осмотическое давление в разбавленных растворах зависит от концентрации растворенного вещества и температуры и не зависит от природы растворителя и растворённых веществ. Эта зависимость выражается уравнением Вант-Гоффа, аналогичным уравнению Менделеева-Клапейрона для газов.

$$\pi \cdot V_p = n_B \cdot R \cdot T \quad \text{или}$$

$$\pi = \frac{m_B \cdot R \cdot T}{M_B \cdot V_p},$$

где n_B – количество растворенного вещества, *моль*;

m_B – масса растворенного вещества, *г*;

M_B – молярная масса растворенного вещества, *г/моль*;

V_p – объём раствора, *м³*;

$R = 8,31 \text{ Дж/моль} \cdot \text{К}$;

T – температура, *К*;

π – осмотическое давление, *Па*.

При выражении объёма в литрах уравнение примет следующий вид:

$$\pi = \frac{m_B \cdot R \cdot T \cdot 1000}{M_B \cdot V_p}, \quad \text{или}$$

$$\pi = C_B \cdot R \cdot T \cdot 1000,$$

где C_B – молярная концентрация вещества в растворе, *моль/л*.

Если растворы характеризуются одинаковыми осмотическими давлениями, то, по Вант-Гоффу, такие растворы называются изотоническими. Независимо от природы растворенного вещества, изотоничность является следствием одинакового числа частиц в растворе.

По значению осмотического давления раствора определяют молекулярные массы растворенных веществ. Этот метод применим даже для разбавленных растворов, что позволяет оценивать молекулярные массы растворимых высокомолекулярных соединений, в частности, биополимеров. Из уравнения Вант-Гоффа получается уравнение, позволяющее вычислять молекулярные массы растворенных веществ

$$M_B = \frac{m_B \cdot R \cdot T \cdot 1000}{\pi \cdot V_p}.$$

Пример 11. Вычислите осмотическое давление раствора сахара $C_{12}H_{22}O_{11}$, если 200 мл раствора содержит 13 г растворенного вещества при температуре 17°C.

Решение. Воспользуемся формулой

$$\pi = \frac{m_B \cdot R \cdot T \cdot 1000}{M_B \cdot V_p},$$

подставим в нее соответствующие значения и получим

$$\pi = \frac{13 \cdot 8,31 \cdot (17 + 273) \cdot 10^3}{342,3 \cdot 0,2} = 457620,5 \text{ Па} = 457,6 \text{ кПа};$$

$$M(C_{12}H_{22}O_{11}) = 342,3 \text{ г/моль}.$$

Пример 12. Осмотическое давление раствора, содержащего в 1 л 72 г маннита, равно $9,00 \cdot 10^5 \text{ Па}$ при 0°C . Определите формулу маннита, если известно, что вещество содержит 39,56% углерода, 7,69% водорода и 52,75% кислорода.

Решение. Найдем молярную массу маннита из формулы

$$\pi = \frac{m_B \cdot R \cdot T \cdot 1000}{M_B \cdot V_p}.$$

$$M_B = \frac{m_B \cdot R \cdot T \cdot 1000}{\pi \cdot V_p} = \frac{72 \cdot 8,31 \cdot 273 \cdot 10^3}{9 \cdot 10^5 \cdot 1} = 181,5 \text{ г/моль}.$$

Найдем простейшую формулу маннита, обозначив число атомов C, H, O в молекуле данного соединения соответственно x, y, z : $C_xH_yO_z$.

$$x : y : z = \frac{39,56}{12} : \frac{69,1}{1} : \frac{52,75}{16} = 3,30 : 7,69 : 3,30 = 1 : 2,3 : 1.$$

Простейшая формула $CH_{2,3}O$. Этой формуле соответствует молекулярная масса, равная $12 + 2,3 + 16 = 30,3$, что отличается от найденного выше значения в 6 раз: $\frac{181,5}{30,3} = 6$. Следовательно, истинная формула будет $C_6H_{14}O_6$.

Контрольные задания для самостоятельной работы

Задача 6

Осмотическое давление раствора, содержащего в $V(\dots)$ мл раствора $m(\dots)$ г вещества при $t(\dots)^\circ\text{C}$, составляет $\pi(\dots)$ кПа. Установите формулу этого вещества, если его состав (\dots) %.

Вариант	Состав вещества, %	$t, ^\circ\text{C}$	$V_p, \text{мл}$	$m_B, \text{г}$	$\pi, \text{кПа}$
1	C – 40,0; O – 53,3; H – 6,7	0	250	4,96	251,0
2	C – 42,1; O – 51,5; H – 6,4	12	625	7,3	83,0
3	C – 52,1; O – 34,8; H – 13,1	17	200	0,77	202,6
4	C – 39,1; O – 52,2; H – 8,7	18	200	2,3	297,8
5	C – 77,4; N – 15,1; H – 7,5	21	285	1,55	81,0
6	C – 29,0; O – 26,64; N – 46,7; H – 6,66	20	200	0,36	74,6
7	C – 40,0; O – 53,3; H – 6,7	0	671	16,2	303,9
8	C – 39,1; O – 52,2; H – 8,7	17	1000	18,4	482,2
9	C – 37,5; O – 50,0; H – 12,5	27	200	8,0	311,0
10	C – 40,0; O – 53,33; H – 6,67	17	500	3,0	481,2
11	C – 62,1; N – 24,1; H – 13,8	27	600	11,6	415,3
12	C – 62,1; O – 27,55; H – 10,35	17	200	2,9	602,7
13	C – 62,1; N – 24,1; H – 13,8	17	400	11,6	587,5
14	C – 38,7; O – 51,6; H – 9,7	20	300	6,2	810,4
15	C – 11,3; N – 13,2; Br – 75,5	27	300	10,6	830,7
16	C – 53,4; O – 35,5; H – 11,1	37	620	9,0	415,3
17	C – 92,4; H – 7,6	0	325	7,85,2	699,0
18	C – 38,7; O – 51,6; H – 9,7	17	580	3,1	207,7
19	C – 40,0; N – 46,7; H – 13,3	27	150	3,0	830,7
20	C – 54,5; O – 36,4; H – 9,1	0	200	4,4	567,3
21	C – 60,0; N – 28,0; H – 4,0	17	147	4,68	830,7
22	C – 62,1; O – 27,55; H – 10,35	27	600	5,8	415,3
23	C – 54,6; N – 31,8; H – 13,6	25	300	4,4	413,3
24	C – 40,0; O – 53,3; H – 6,7	0	1000	36,0	453,8
25	C – 39,56; O – 52,75; H – 7,69	0	1000	91,0	1134,6

2.2. Давление насыщенного пара растворителя над раствором. Первый закон Рауля

Если в каком-либо открытом сосуде находится чистый растворитель, то в результате процесса испарения над его поверхностью образуется пар и устанавливается равновесие *жидкость* \leftrightarrow *пар*, которое характеризуется давлением насыщенного пара растворителя над чистым растворителем p_0 . В чистом растворителе мольная доля растворителя χ_s равна (n_s – количество растворителя).

$$\chi_s = \frac{n_s}{n_s} = 1.$$

Если в данный растворитель ввести нелетучее растворенное вещество, переход которого в парообразную фазу невозможен, то

равновесие в системе *жидкость* \leftrightarrow *пар* нарушится вследствие уменьшения концентрации (мольной доли) растворителя.

$$\chi_s = \frac{n_s}{n(B) + n_s} < 1.$$

Тогда, в соответствии с принципом Ле Шателье, начнется процесс конденсации пара, перехода молекул растворителя из парообразной фазы в жидкую, способствующий повышению χ_s , в результате чего давление насыщенного пара растворителя над раствором p станет меньше, чем над чистым растворителем p_0 .

$$p = p_0 \cdot \chi_s.$$

Сумма мольных долей растворителя χ_s и растворенного вещества $\chi(B)$ равна

$$\chi_s + \chi(B) = \frac{n_s}{n_s + n(B)} + \frac{n(B)}{n_s + n(B)} = 1.$$

Тогда $\chi_s = 1 - \chi(B)$ и $p = p_0 \cdot (1 - \chi(B))$.

Выразив мольную долю вещества $\chi(B)$, получим

$$\chi(B) = \frac{p_0 - p}{p_0}.$$

Отношение $\frac{p_0 - p}{p_0}$ или $\frac{\Delta p}{p_0}$ называется относительным понижением давления насыщенного пара растворителя над раствором.

Первый закон Рауля. Относительное понижение давления насыщенного пара растворителя над раствором $\frac{\Delta p}{p_0}$, вызываемое присутствием растворенного вещества B , пропорционально мольной доле растворенного вещества $\chi(B)$.

Поскольку в разбавленных растворах количество растворенного вещества $n(B)$ значительно меньше количества растворителя n_s ($n(B) \ll n_s$), то при вычислениях допустимо использовать формулу

$$\frac{\Delta p}{p_0} = \frac{n(B)}{n_s} \quad \text{или} \quad \Delta p = p_0 \cdot \frac{n(B)}{n_s}.$$

Пример 13. Вычислите, каким будет при 25°C давление пара над раствором, содержащим 2 г антрахинона $(C_6H_4)_2(CO_2)_2$ в 500 г анилина $C_6H_5NH_2$, если давление пара анилина при той же температуре равно 6,79 кПа?

Решение

$$M((C_6H_4)_2(CO_2)_2) = 208,22 \frac{г}{моль}, \quad M(C_6H_5NH_2) = 93,13 \frac{г}{моль}.$$

Рассчитаем количество вещества (антрахинона) $n(B)$ и количество растворителя (анилина) n_s .

$$n(B) = \frac{m((C_6H_4)_2(CO_2)_2)}{M((C_6H_4)_2(CO_2)_2)} = \frac{2}{208,22} = 0,01 \text{ моль},$$

$$n_s = \frac{m(C_6H_5NH_2)}{M(C_6H_5NH_2)} = \frac{500}{93,13} = 5,37 \text{ моль}.$$

Подставим эти значения в формулу для расчета Δp , получим

$$\Delta p = \frac{6,79 \cdot 0,01}{5,37} = 0,013 \text{ кПа}.$$

Давление пара над раствором будет

$$p = p_0 - \Delta p = 6,790 - 0,013 = 6,777 \text{ кПа}.$$

Пример 14. Определите массовую долю нафталина $C_{10}H_8$ в бензоле C_6H_6 , если величина понижения давления пара составляет 1,5% от давления пара чистого растворителя?

Решение. Воспользуемся формулой

$$\frac{\Delta p}{p_0} = \frac{n(B)}{n_s}.$$

Из условия задачи известно, что $\frac{\Delta p}{p_0} = 0,015$, количество вещества $n(B)$ и количество растворителя n_s выразим формулами

$$n(B) = \frac{m(C_{10}H_8)}{M(C_{10}H_8)} = \frac{m(B)}{M(B)} \quad \text{и} \quad n_s = \frac{m(C_6H_6)}{M(C_6H_6)} = \frac{m_s}{M_s}.$$

Подставим эти выражения в исходную формулу

$$\frac{\Delta p}{p_0} = \frac{n(B)}{n_s} = \frac{m(B) \cdot M_s}{m_s \cdot M(B)} = 0,015.$$

Отсюда $\frac{m(B)}{m_s} = 0,015 \cdot \frac{M(B)}{M_s}$.

$$M(B) = M(C_{10}H_8) = 128,18 \text{ г/моль}, \quad M_s = M(C_6H_6) = 78,11 \text{ г/моль}.$$

Подставим эти значения и выразим $m(B)$

$$m(B) = \frac{0,015 \cdot M(B) \cdot m_s}{M_s} = \frac{0,015 \cdot 128,18 \cdot m_s}{78,11} = 0,025 \cdot m_s.$$

Вспользуемся этим выражением для расчета массовой доли нафталина.

$$\omega(C_{10}H_8) = \frac{m(B)}{m(B) + m_s} = \frac{0,025 \cdot m_s}{(0,025 \cdot m_s + m_s)} = 0,024 \text{ или } 2,4\%.$$

Контрольные задания для самостоятельной работы

Задача 7

7.1. Давление водяного пара при 25°C составляет 3167,2 Па. Вычислите для той же температуры давление пара водного раствора, в 500 г которого содержится 20 г глюкозы $C_6H_{12}O_6$.

7.2. Давление водяного пара при 20°C составляет 2338,1 Па. Сколько граммов сахара $C_{12}H_{22}O_{11}$ следует растворить в 1000 г воды для получения раствора, давление пара которого на 15,5 Па ниже давления пара воды?

7.3. Рассчитайте давление пара над раствором, содержащим 26,84 г сахара $C_{12}H_{22}O_{11}$ в 45 г воды при 65°C, если давление водяного пара при той же температуре равно 24994 Па.

7.4. При 30°C давление водяного пара составляет 4242,2 Па. На сколько понизится давление пара при той же температуре, если в 510 г воды растворить 81 г глицерина $C_3H_5(OH)_3$?

7.5. Вычислите давление пара 1%-го раствора анилина $C_6H_5NH_2$ в бензоле C_6H_6 при 15°C, если давление пара чистого бензола при той же температуре равно 8 кПа.

7.6. Вычислите давление пара 2%-го водного раствора мочевины $CO(NH_2)_2$ при 36°C. Давление водяного пара при той же температуре составляет 5,94 кПа.

7.7. Давление водяного пара при 20°C составляет $2338,1 \text{ Па}$. Сколько граммов сахара $\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$ следует растворить в 720 г воды для получения раствора, давление пара которого на $18,7 \text{ Па}$ ниже давления пара воды? Вычислите массовую долю сахара в растворе.

7.8. Давление водяного пара при 10°C составляет 1228 Па . В каком количестве воды следует растворить 23 г глицерина $\text{C}_3\text{H}_5(\text{OH})_3$ для получения раствора, давление пара которого составляет 1200 Па при той же температуре. Вычислите массовую долю глицерина в растворе.

7.9. Вычислите, каким будет при $34,8^{\circ}\text{C}$ давление пара раствора, содержащего $6,5 \text{ г}$ дифенила $(\text{C}_6\text{H}_5)_2$ в 450 г метанола CH_3OH , если давление пара метанола при той же температуре равно $26,7 \text{ кПа}$.

7.10. При 0°C давление пара эфира $(\text{C}_2\text{H}_5)_2\text{O}$ равно 2465 Па . Найдите для той же температуры: а) давление пара 5%-го раствора анилина $\text{C}_6\text{H}_5\text{NH}_2$ в эфире; б) давление пара 10%-й бензойной кислоты $\text{C}_6\text{H}_5\text{COOH}$ в эфире.

7.11. При 293 K давление насыщенного пара над водой равно $22,34 \text{ кПа}$. Сколько граммов глицерина $\text{C}_3\text{H}_5(\text{OH})_3$ надо растворить в 180 г воды, чтобы понизить давление пара на $133,3 \text{ Па}$?

7.12. Определите массовую долю (%) глюкозы $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ в водном растворе, если величина понижения давления пара составила 25% от давления пара чистого растворителя.

7.13. Понижение давления пара над раствором, содержащим $20,6 \text{ моль}$ анилина $\text{C}_6\text{H}_5\text{NH}_2$ в $4,56 \text{ кг}$ сероуглерода CS_2 при некоторой температуре, равно $1003,7 \text{ Па}$. Давление пара сероуглерода при той же температуре равно $101,33 \text{ кПа}$. Вычислите молекулярную массу сероуглерода.

7.14. Определите давление пара растворителя над раствором, содержащим $1,1 \cdot 10^{23}$ молекул неэлектролита в 100 г воды при 95°C . Давление пара воды при 95°C равно 84513 Па .

7.15. Давление пара водного раствора неэлектролита при 60°C равно 17450 Па . Какое количество воды приходится на 1 моль растворенного вещества в этом растворе? Давление водяного пара при 60°C равно 19916 Па .

7.16. Давление пара раствора неэлектролита в этаноле при 25°C равно $7,815 \text{ кПа}$. Какое количество спирта приходится на

20,08 моль растворенного вещества в этом растворе? Давление пара этанола при 25°C равно 7866 Па.

7.17. Массовая доля неэлектролита в водном растворе составляет 30%. Рассчитайте молекулярную массу этого неэлектролита, если при 40°C понижение давления пара над раствором равно 619,36 Па. Давление паров воды при данной температуре равно 7375,9 Па.

7.18. Рассчитайте давление пара раствора при 25°C, содержащего 1,25 г фталевого ангидрида $C_6H_4(CO_2)_O$ в 500 г этилового спирта, если давление паров спирта при той же температуре равно 7856 Па.

7.19. Давление паров ацетона при 25°C составляет 30,53 кПа. Сколько молей неэлектролита содержится в 200 г ацетона, если величина понижения давления пара составляет 3% от давления пара чистого растворителя?

7.20. Давление пара сероуглерода CS_2 при 20°C составляет 239,73 кПа. Сколько граммов фенантрена $C_{14}H_{10}$ следует растворить в 1000 г сероуглерода для получения раствора, давление пара которого на 0,73 кПа ниже давления пара сероуглерода?

7.21. Давление пара водного раствора неэлектролита при 38°C равно 5623,0 Па. Какая масса воды приходится на 1 моль растворенного вещества в этом растворе? Давление водяного пара при 38°C равно 6623,0 Па.

7.22. Определите массовую долю (%) антрахинона $(C_6H_4)_2(CO_2)_2$ в нитробензоле $C_6H_5NO_2$, если величина понижения давления пара составляет 2% от давления пара чистого растворителя.

7.23. Сколько молекул неэлектролита содержится в 100 г воды при 100°C, если давление пара над раствором равно 97,68 кПа, а давление пара чистого растворителя при той же температуре равно 101,33 кПа?

7.24. Массовая доля неэлектролита в этиловом спирте составляет 0,01. Какова молекулярная масса этого неэлектролита, если при 25°C давление пара над раствором равно 7,841 кПа. Давление паров чистого спирта при той же температуре 7,866 кПа.

7.25. Сколько граммов нафталина $C_{10}H_8$ надо растворить в 2100 г бензола при 25°C, чтобы понизить давление пара на 1,8%? Давление паров бензола при той же температуре составляет 212,8 кПа.

2.3. Температура замерзания и кипения растворов. Второй закон Рауля

Растворы неэлектролитов замерзают при более низкой температуре, а кипят при более высокой температуре, чем чистый растворитель.

Второй закон Рауля. Понижение температуры замерзания Δt_3 и повышение температуры кипения Δt_k раствора пропорциональны моляльной концентрации растворенного вещества $C_m(B)$.

$$\Delta t_3 = K_T \cdot C_m(B); \quad \Delta t_k = E_T \cdot C_m(B),$$

где K_T и E_T – криоскопическая и эбулиоскопическая константы соответственно, $K \cdot \text{кг}/\text{моль}$;

$C_m(B)$ – моляльная концентрация раствора, $\text{моль}/\text{кг}$.

K_T и E_T являются характеристиками растворителя и не зависят от природы растворенного вещества.

Пример 15. На сколько градусов понизится температура замерзания раствора, содержащего 1,15 г ацетамида CH_3CONH_2 в 150 г воды? Криоскопическая константа воды равна 1,86.

Решение. Определим моляльную концентрацию ацетамида в растворе по формуле

$$C_m(B) = \frac{m(B)}{M(B) \cdot m_s}$$

Молярная масса ацетамида $M(\text{CH}_3\text{CONH}_2) = 59,1 \text{ г}/\text{моль}$.

$$C_m(\text{CH}_3\text{CONH}_2) = \frac{1,15}{59,1 \cdot 0,15} = 0,13 \text{ моль}/\text{кг}.$$

Теперь вычислим, на сколько градусов понизится температура замерзания раствора.

$$\Delta t_3 = K_T \cdot C_m(\text{CH}_3\text{CONH}_2) = 1,86 \cdot 0,13 = 0,24^\circ.$$

Пример 16. Вычислите массовую долю нафталина C_{10}H_8 в бензоле, если известно, что этот раствор кипит при $82,5^\circ\text{C}$. Температура кипения бензола равна $80,1^\circ\text{C}$, эбулиоскопическая константа бензола равна $2,53 \text{ K} \cdot \text{кг}/\text{моль}$.

Решение. Повышение температуры кипения раствора составит $\Delta t_k = 82,5 - 80,1 = 2,4^\circ$.

Обозначим за x массу нафталина в 100 г раствора. Тогда масса растворителя (бензола) будет $(100 - x)$ г или $\frac{(100 - x)}{1000}$ кг.

Молярная масса нафталина $M = 92,1 \frac{\text{г}}{\text{моль}}$.

Подставив эти выражения в формулу для определения Δt_k , получим

$$\Delta t_k = E_T \cdot C_m(B) = \frac{2,53 \cdot x \cdot 1000}{92,1 \cdot (100 - x)} = 2,4,$$

отсюда определим, что $x = 8\%$, а массовая доля – $0,08$.

Контрольные задания для самостоятельной работы

Задача 8

Необходимые для решения задач значения криоскопических и эбулиоскопических констант растворителей приведены в таблице приложения.

8.1. При смешении 20 г нелетучего твердого вещества, обладающего молекулярной массой 100 , со 150 г растворителя, образуется раствор, температура кипения которого повышается от $84,0$ до $85,0^\circ\text{C}$. Вычислите эбулиоскопическую константу этого растворителя.

8.2 Если $10,0$ г глюкозы $C_6H_{12}O_6$ растворить в 450 г этанола, температура кипения спирта повышается на $0,1428^\circ\text{C}$. При растворении $2,0$ г неизвестного органического вещества в 100 г этилового спирта температура кипения повышается на $0,125^\circ\text{C}$. Вычислите молекулярную массу неизвестного вещества.

8.3. Сколько граммов фталевого ангидрида $C_6H_4(CO_2)_O$ следует добавить к $10,0$ кг этанола, чтобы повысить температуру кипения раствора до 80°C ? Температура кипения этанола $78,3^\circ\text{C}$.

8.4. Соединение, имеющее молекулярную массу $329,3$, растворено в воде; раствор содержит 300 мг соединения в 10 мл воды. Какова температура замерзания раствора?

8.5. Насыщенный раствор содержит $1,5$ г глутаминовой кислоты в 100 г воды. Температура замерзания этого раствора $0,189^\circ\text{C}$. Какова молекулярная масса глутаминовой кислоты?

8.6. Рассчитать, на сколько градусов понизится температура замерзания хлороформа, если в 50 г его растворить $1,5$ г нафталина $C_{10}H_8$?

8.7. При какой температуре будет кипеть 10%-й водный раствор сахара $C_{12}H_{22}O_{11}$?

8.8. При какой температуре будет замерзать 15%-й водный раствор глицерина $C_3H_5(OH)_3$?

8.9. Сколько моль глюкозы $C_6H_{12}O_6$ необходимо растворить в 2500 г воды, чтобы понизить температуру замерзания на $1,5^\circ\text{C}$?

8.10. В какой массе бензола следует растворить 20 г анилина $C_6H_5NH_2$, чтобы получить раствор с температурой кипения $81,5^\circ\text{C}$? Температура кипения чистого бензола равна $80,1^\circ\text{C}$.

8.11. Раствор, содержащий 6 г неэлектролита в 500 г воды, замерзает при $-0,348^\circ\text{C}$. Вычислите молекулярную массу неэлектролита.

8.12. Вычислить температуру замерзания раствора, содержащего 2,0 г этилового спирта и 700 г воды.

8.13. При растворении 0,3 моль неэлектролита в 1000 г дисульфида углерода CS_2 , температура кипения последнего повысилась на $0,7^\circ\text{C}$. Вычислите эбулиоскопическую константу растворителя.

8.14. Температура кипения ацетона $56,1^\circ\text{C}$, а его эбулиоскопическая константа равна 1,73. Вычислите температуру кипения 8%-го раствора глицерина $C_3H_5(OH)_3$ в ацетоне $(CH_3)_2CO$.

8.15. Вычислите температуру кипения 5%-го раствора нафталина $C_{10}H_8$ в бензоле. Температура кипения бензола $80,1^\circ\text{C}$.

8.16. Вычислите криоскопическую константу уксусной кислоты, зная, что раствор, содержащий 8,5 г антрацена $C_{14}H_{10}$ в 2200 г уксусной кислоты, кристаллизуется при $15,72^\circ\text{C}$. Температура кристаллизации уксусной кислоты $16,65^\circ\text{C}$.

8.17. При растворении 7629 г серы в 90 г бензола, температура кипения последнего повысилась на $0,31^\circ\text{C}$. Сколько атомов содержит молекула серы в этом растворе?

8.18. Рассчитайте, на сколько градусов понизится температура замерзания диэтилового эфира, если в 200 г его растворить 5 г фенантрена $C_{14}H_{10}$?

8.19. При какой температуре будет кипеть 2%-й раствор имидазола $C_3H_4N_2$ в этаноле? Температура кипения этанола $78,3^\circ\text{C}$.

8.20. При какой температуре будет замерзать 3,5%-й раствор пиридина C_5H_5N в бензоле? Температура замерзания бензола равна $5,5^\circ\text{C}$.

8.21. Рассчитать температуру кипения хлороформа, если в 2100 г его растворить 2,3 г ацетона $(CH_3)_2CO$? Температура кипения чистого хлороформа равна $61,2^\circ C$.

8.22. Вычислите процентную концентрацию водного раствора глицерина $C_3H_5(OH)_3$, если известно, что этот раствор кипит при $100,39^\circ C$.

8.23. Сколько граммов нитробензола $C_6H_5NO_2$ следует растворить в 10 г бензола, чтобы температура кристаллизации понизилась на $0,62^\circ C$?

8.24. Температура кипения эфира $36,4^\circ C$, а его эбулиоскопическая константа равна 2,16. Вычислите молекулярную массу бензойной кислоты, если известно, что 5%-й раствор этой кислоты в эфире кипит при $35,53^\circ C$.

3. РАСТВОРЫ ЭЛЕКТРОЛИТОВ

3.1. Степень диссоциации. Константа диссоциации слабого электролита

Экспериментально было установлено, что законы Рауля и принцип Вант-Гоффа не выполняются для растворов, которые проводят электрический ток – растворов электролитов. Обобщая полученные в ходе исследований данные, Я.Г. Вант-Гофф пришел к выводу, что растворы электролитов ведут себя так, будто они содержат больше частиц растворенного вещества, чем следует из их концентрации: экспериментально установленные для них значения повышения температуры кипения, понижения температуры замерзания, осмотического давления всегда больше, чем вычисленные по соответствующим уравнениям. Для учета этих отклонений Вант-Гофф внес в уравнение $\pi = C(B) \cdot R \cdot T$ для растворов электролитов поправку – изотонический коэффициент i .

$$\pi = i \cdot C(B) \cdot R \cdot T.$$

Аналогичная поправка вносится и в законы Рауля.

$$p = i \cdot p_0 \cdot \chi(B);$$

$$\Delta T_{\text{кин}} = i \cdot E \cdot C_m(B);$$

$$\Delta T_{\text{зам}} = i \cdot K \cdot C_m(B).$$

Изотонический коэффициент определяется следующим образом:

$$i = \frac{\pi_{\text{эксп}}}{\pi_{\text{теор}}} = \frac{\Delta T_{\text{кип}}^{\text{эксп}}}{\Delta T_{\text{кип}}^{\text{теор}}} = \frac{\Delta T_{\text{зам}}^{\text{эксп}}}{\Delta T_{\text{зам}}^{\text{теор}}} = \frac{p^{\text{эксп}}}{p^{\text{теор}}}.$$

Изотонический коэффициент i для растворов электролитов всегда больше единицы. Изотонический коэффициент показывает, во сколько раз общее число молекул и ионов в растворе больше числа молекул до диссоциации.

Для объяснения особенностей свойств растворов электролитов С. Аррениус предложил **теорию электролитической диссоциации**, основывающуюся на следующих постулатах:

1. *Электролиты в растворах распадаются на ионы – диссоциируют.*

2. *Диссоциация является обратимым равновесным процессом.*

3. *Силы взаимодействия ионов с молекулами растворителя и друг с другом малы (т.е. растворы являются идеальными).*

Для оценки полноты диссоциации в теории электролитической диссоциации вводится понятие **степень диссоциации** α , которая равна отношению числа молекул n , распавшихся на ионы, к общему числу молекул N .

$$\alpha = \frac{n}{N}.$$

Величина степени диссоциации зависит от природы растворителя и растворенного вещества, концентрации раствора и температуры. По величине степени диссоциации электролиты подразделяются на три группы: сильные ($\alpha \geq 0,3$), средней силы ($0,03 < \alpha < 0,3$) и слабые ($\alpha \leq 0,03$). К сильным электролитам относятся почти все растворимые соли (кроме $Pb(CH_3COO)_2$, $HgCl_2$, $CdCl_2$), большинство неорганических кислот и щелочей (табл. 1); к слабым – все органические кислоты, вода, NH_4OH , H_2S и т.д. Электролитами средней силы являются некоторые неорганические кислоты: HF , HCN , H_3PO_4 .

Процесс диссоциации слабых электролитов является обратимым и в системе существует динамическое равновесие, которое может быть описано константой равновесия, называемой **констан-**

той диссоциации. Для некоторого электролита A_aB_b , распадающегося в растворе на ионы в соответствии с уравнением



константа диссоциации выразится следующим соотношением:

$$K = \frac{[A^{x+}]^a \cdot [B^{y-}]^b}{[A_aB_b]}.$$

Таблица 1

Сильные электролиты

Кислоты	Основания	Соли
<i>HCl, HBr, HI,</i> <i>HNO₃, H₂SO₄, H₂SeO₄,</i> <i>HMnO₄, HClO₄, HClO₃</i>	<i>LiOH, NaOH, KOH,</i> <i>RbOH, CsOH, TlOH,</i> <i>Ca(OH)₂, Sr(OH)₂</i>	Растворимые в воде соли (см. таблицу растворимости)

Для бинарного (распадающегося на два иона) электролита константа диссоциации равна

$$K = \frac{[A^{x+}] \cdot [B^{x-}]}{[AB]}.$$

Поскольку концентрация каждого иона равна произведению степени диссоциации α на общую концентрацию электролита C

$$[A^{x+}] = [B^{x-}] = \alpha \cdot C,$$

а концентрация в растворе непродиссоциировавших молекул $C - \alpha \cdot C = (1 - \alpha) \cdot C$, то выражение для константы диссоциации в этом случае можно переписать следующим образом:

$$K = \frac{\alpha^2 \cdot C^2}{(1 - \alpha)C} = \frac{\alpha^2}{(1 - \alpha)} \cdot C.$$

Для слабых электролитов степень диссоциации α мала ($\alpha \ll 1$), поэтому можно считать, что $(1 - \alpha) \approx 1$. Тогда получаем

$$K = \alpha^2 \cdot C \quad \text{и} \quad \alpha = \sqrt{\frac{K}{C}}$$

Таким образом, степень диссоциации слабого электролита обратно пропорциональна концентрации и прямо пропорциональ-

на разбавлению раствора; выражение $\alpha = \sqrt{\frac{K}{C}}$ называют **законом разбавления Оствальда**. Степень диссоциации слабого электролита α можно связать с изотоническим коэффициентом i . Будем считать, что из N молекул электролита продиссоциировало n молекул, образовав nV ионов (V – число ионов, на которое диссоциирует молекула). Поскольку изотонический коэффициент показывает, во сколько раз общее число молекул и ионов в растворе больше числа молекул до диссоциации, получаем

$$i = N + \frac{n \cdot (v-1)}{N} = 1 + \frac{n}{N} \cdot (v-1);$$

$$i = 1 + \alpha \cdot (v-1).$$

Соотношение $i = 1 + \alpha \cdot (v-1)$ дает возможность, экспериментально определив изотонический коэффициент раствора, рассчитать степень диссоциации слабого электролита

$$\alpha = \frac{i-1}{v-1}.$$

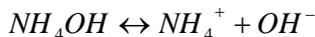
3.1.1. Вычисление концентрации ионов и степени диссоциации слабого электролита

Пример 17. Вычислите степень диссоциации и концентрацию ионов NH_4^+ и OH^- для 0,1 М раствора NH_4OH , если $K_{NH_4OH} = 1,76 \cdot 10^{-5}$.

Решение: 1) Подставим значения K и C в уравнение закона разбавления и вычислим α

$$\alpha = \sqrt{\frac{K_{NH_4OH}}{C}} = \sqrt{\frac{1,76 \cdot 10^{-5}}{0,1}} = 1,33 \cdot 10^{-2} \quad (1,33\%).$$

2) Число ионов в растворе бинарного электролита



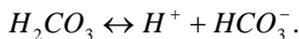
составляет $v_{NH_4^+} = v_{OH^-} = 1$. Тогда концентрация ионов равна

$$[NH_4^+] = [OH^-] = C \cdot \alpha \cdot v = 0,1 \cdot 1,33 \cdot 10^{-2} \cdot 1 = 1,33 \cdot 10^{-3} \text{ моль/л или}$$

$$[NH_4^+] = [OH^-] = \sqrt{K_{NH_4OH} \cdot C} = \sqrt{1,76 \cdot 10^{-5} \cdot 0,1} = 1,3 \cdot 10^{-3} \text{ моль/л.}$$

Пример 18. Вычислите степень диссоциации угольной кислоты по первой ступени, если константа диссоциации для $0,01$ M раствора равна $4,50 \cdot 10^{-7}$.

Решение: 1) Диссоциация кислоты по первой ступени



2) Вычислим степень диссоциации кислоты

$$\alpha = \sqrt{\frac{K}{c}} = \sqrt{\frac{4,5 \cdot 10^{-7}}{0,01}} = 6,7 \cdot 10^{-3} \quad (0,67\%).$$

3.1.2. Вычисление константы диссоциации слабого электролита

Пример 19. Степень диссоциации уксусной кислоты в 1 M растворе равна $0,42\%$. Вычислите константу диссоциации кислоты и концентрацию ионов H^+ и CH_3COO^- .

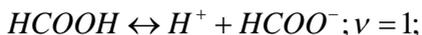
Решение: 1) Зная степень диссоциации ($\alpha = 0,0042$) и концентрацию кислоты в растворе, находим константу диссоциации

$$K_{CH_3COOH} = C \cdot \alpha^2 = 1 \cdot (0,0042)^2 = 1,76 \cdot 10^{-5}.$$

2) Концентрацию ионов H^+ и CH_3COO^- находим по формуле $[CH_3COO^-] = [H^+] = C \cdot \alpha = 1 \cdot 0,0042 = 4,2 \cdot 10^{-3}$ моль/л.

Пример 20. Концентрация H^+ в $0,2$ M растворе муравьиной кислоты равна $6 \cdot 10^{-3}$ моль/л. Вычислите степень и константу диссоциации кислоты.

Решение: 1) Находим степень диссоциации кислоты:



$$[H^+] = C \cdot \alpha \cdot \nu,$$

$$\alpha = \frac{[H^+]}{C} = \frac{6 \cdot 10^{-3}}{0,2} = 3 \cdot 10^{-2} \quad (3\%).$$

2) Зная степень диссоциации и молярную концентрацию кислоты в растворе, вычисляем K_{HCOOH} .

$$K_{HCOOH} = C \cdot \alpha^2 = 0,2 \cdot (3 \cdot 10^{-2})^2 = 1,8 \cdot 10^{-4}.$$

3.1.3. Вычисления, связанные со смещением равновесия диссоциации слабого электролита

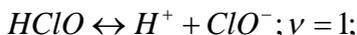
Пример 21. Вычислите степень диссоциации и концентрацию H^+ в 0,2 М растворе $HClO$, если $K_{HClO} = 5 \cdot 10^{-8}$. Во сколько раз изменится концентрация H^+ , если к 1 л 0,2 М раствора $HClO$ добавить 0,1 моль $KClO$, считая его диссоциацию полной.

Решение:

1) Степень диссоциации $HClO$ равна

$$\alpha = \sqrt{\frac{K_{HClO}}{C}} = \sqrt{\frac{5 \cdot 10^{-8}}{0,2}} = 5 \cdot 10^{-4} \quad (0,05\%).$$

2) Начальная концентрация ионов H^+ в 0,2 М растворе



$$C_0(H^+) = C \cdot \alpha \cdot \nu = 0,2 \cdot 5 \cdot 10^{-4} = 1 \cdot 10^{-4} \text{ моль/л.}$$

3) Находим концентрацию ионов H^+ в присутствии гипохлорита калия $KClO$. Введение в раствор хлорноватистой кислоты $HClO$ гипохлорита калия уменьшит концентрацию ионов H^+ за счет увеличения концентрации ионов ClO^- . Обозначим новую концентрацию H^+ через x . Тогда концентрация недиссоциированных молекул равна $0,2 - x$. Концентрация анионов ClO^- складывается из двух величин: из концентрации x , создаваемой диссоциацией хлорноватистой кислоты, и концентрации, обусловленной диссоциацией прибавленной соли (0,1 моль/л), т.е. $[ClO^-] = x + 0,1$.

Подставив значения концентраций в выражение константы диссоциации хлорноватистой кислоты $HClO$, получим

$$K_{HClO} = \frac{[H^+][ClO^-]}{[HClO]} = \frac{x(x+0,1)}{0,2-x} = 5 \cdot 10^{-8}.$$

Поскольку величина x мала по сравнению с 0,1 и 0,2, то ею можно пренебречь. Тогда получим

$$\frac{0,1x}{0,2x} = 5 \cdot 10^{-8}; \quad 0,1x = 0,2 \cdot 5 \cdot 10^{-8}; \quad x = 1 \cdot 10^{-7} \text{ моль/л.}$$

Концентрация $[H^+] = 1 \cdot 10^{-7}$ моль/л в присутствии $KClO$.

4) Находим, во сколько раз уменьшилась концентрация $[H^+]$ после прибавления гипохлорита калия.

$$n = \frac{1 \cdot 10^{-4}}{1 \cdot 10^{-7}} \approx 1000 \text{ раз.}$$

Контрольные задания для самостоятельной работы

Задача 9

Вычислите степень диссоциации и концентрации ионов в растворах следующих слабых электролитов.

Номер варианта	Электролит	Концентрация вещества в растворе	Ион	Константа диссоциации
1	HCN	0,5 М	H^+	$4,8 \cdot 10^{-10}$
2	H_3PO_4	0,1 М	H^+	$7,6 \cdot 10^{-3}$ (1 ст.)
3	HCOOH	0,01 М	H^+	$1,8 \cdot 10^{-4}$
4	CH_3COOH	0,08 М	H^+	$1,8 \cdot 10^{-5}$
5	HIO	0,05 М	H^+	$2,3 \cdot 10^{-11}$
6	NH_4OH	0,5 н.	OH^-	$1,8 \cdot 10^{-5}$
7	HVO_3	0,05 М	H^+	$3,0 \cdot 10^{-5}$
8	HBrO	0,01 н.	H^+	$2,5 \cdot 10^{-9}$
9	H_2TeO_4	0,02 М	H^+	$2,9 \cdot 10^{-7}$ (1 ст.)
10	HClO	0,01 н.	H^+	$5 \cdot 10^{-8}$
11	CH_3COOH	0,1 М	H^+	$1,8 \cdot 10^{-5}$
12	HNO_2	0,5 н.	H^+	$5,1 \cdot 10^{-4}$
13	$HClO_2$	1 М	H^+	$1,1 \cdot 10^{-2}$
14	HNO_2	0,05 М	H^+	$5,1 \cdot 10^{-4}$
15	$H_2C_2O_4$	1 М	H^+	$5,9 \cdot 10^{-2}$ (1 ст.)
16	HF	0,1 н.	H^+	$6,8 \cdot 10^{-4}$
17	HIO	0,1 М	H^+	$2,3 \cdot 10^{-11}$
18	H_2S	0,01 н.	H^+	$1,1 \cdot 10^{-7}$ (1 ст.)
19	HBrO	0,1 М	H^+	$2,5 \cdot 10^{-9}$
20	HCN	0,004 н.	H^+	$4,8 \cdot 10^{-10}$
21	CH_3COOH	1%, $\rho = 1 \text{ г/мл}$	H^+	$1,8 \cdot 10^{-5}$
22	NH_4OH	0,02 н.	OH^-	$1,8 \cdot 10^{-5}$
23	H_2CO_3	0,2 н.	H^+	$4,5 \cdot 10^{-7}$ (1 ст.)
24	HVO_3	0,1 н.	H^+	$3 \cdot 10^{-5}$
25	HIO	0,001 н.	H^+	$2,3 \cdot 10^{-11}$

Задача 10

Вычислите концентрацию H^+ и константу диссоциации в растворах следующих кислот.

Номер варианта	Кислота	Концентрация кислоты в растворе	Степень диссоциации, α , %
1	CH ₃ COOH	0,05 н.	1,9
2	HNO ₂	0,02 н.	16
3	H ₂ CO ₃	0,006 М	0,85 (1ст.)
4	H ₃ PO ₄	0,1 М	27 (1ст.)
5	H ₂ CO ₃	0,2 н.	0,2 (1ст.)
6	CH ₂ COOH	0,1 н.	1,34
7	HCN	0,05 н.	$1 \cdot 10^{-2}$
8	H ₂ SO ₃	2 н.	14 (1ст.)
9	CH ₃ COOH	0,08 н.	1,5
10	HF	0,03 н.	15
11	H ₂ C ₂ O ₄	0,15 М	31 (1ст.)
12	HF	0,02 н.	18,5
13	H ₃ PO ₄	0,1 М	26 (1ст.)
14	H ₂ CO ₃	0,01 М	0,67 (1ст.)
15	CH ₃ COOH	0,03 н.	2,45
16	HVO ₃	0,1 М	1,74
17	H ₂ CO ₃	0,1 М	0,183 (1ст.)
18	CH ₃ COOH	0,01 М	4,15
19	H ₃ PO ₄	0,3 н.	25,9 (1ст.)
20	H ₂ SO ₃	1 М	13,1
21	HJO	0,002 н.	$1,15 \cdot 10^{-2}$
22	HBrO	0,0025 н.	0,1
23	HNO ₂	0,1 н.	7,1
24	HCOOH	0,1 М	4,25
25	H ₂ S	0,1 М	0,07 (1ст.)

Задача 11

Вычислите степень диссоциации электролита A в ... растворе и концентрацию иона . . . , если константа диссоциации K_A равна . . . Во сколько раз изменится концентрация указанного иона, если к 1 л данного раствора добавить . . . вещества B считая его диссоциацию полной?

№ п/п	Электролит A	Концентрация вещества A в растворе	Ион	K_A	Добавлено	
					Количество	B
1	NH_4OH	1 н.	OH^-	$1,8 \cdot 10^{-5}$	5,35 г	NH_4Cl
2	H_2S	0,2 н.	S^{2-}	$1,1 \cdot 10^{-7}$ (1 ст.)	3,65 г	HCl
3	HCN	0,1 н.	H^+	$4,8 \cdot 10^{-10}$	0,1 моль	KCN
4	HNO_2	0,02 н.	H^+	$5,1 \cdot 10^{-4}$	2,5 г	NaNO_2
5	CH_3COOH	0,3 н.	H^+	$1,8 \cdot 10^{-5}$	0,2 моль	CH_3COONa
6	HClO	0,1 н.	ClO^-	$5 \cdot 10^{-8}$	2,8 г	KClO
7	HNO_2	0,1 н.	NO_2^-	$5,1 \cdot 10^{-4}$	0,5 моль	H_2SO_4
8	HAsO_2	0,01 н.	H^+	$5,8 \cdot 10^{-10}$	2,6 г	KAsO_2
9	HF	0,05 н.	H^+	$6,8 \cdot 10^{-4}$	0,5 моль	NaF
10	HCN	0,01 н.	CN^-	$4,8 \cdot 10^{-10}$	0,5 моль	HBr
11	CH_3COOH	1,5 %, $\rho = 1 \text{ г/мл}$	H^+	$1,8 \cdot 10^{-5}$	0,82 г	CH_3COONa
12	NH_4OH	0,1 М	NH_4^+	$1,8 \cdot 10^{-5}$	1 моль	NaOH
13	HCOOH	0,1 М	H^+	$1,8 \cdot 10^{-4}$	3,4 г	HCOONa
14	HJO	0,2 н.	JO^-	$2,3 \cdot 10^{-11}$	0,2 моль	HCl
15	HAsO_2	0,06 н.	AsO_2^-	$5,8 \cdot 10^{-10}$	0,05 моль	H_2SO_4
16	HVO_3	0,03 н.	VO_3^-	$3 \cdot 10^{-5}$	0,1 моль	HCl
17	NH_4OH	0,01 М	NH_4^+	$1,8 \cdot 10^{-5}$	5,6 г	KOH
18	CH_3COOH	0,1 н.	H^+	$1,8 \cdot 10^{-5}$	8,2 г	CH_3COONa
19	HNO_2	0,5 н.	NO_2^-	$5,1 \cdot 10^{-4}$	0,1 моль	H_2SO_4
20	H_2S	0,1 М	H^+	$1,1 \cdot 10^{-7}$ (1 ст.)	0,2 моль	Na_2S
21	CH_3COOH	0,2 н.	CH_3COO^-	$1,8 \cdot 10^{-5}$	0,08 моль	H_2SO_4
22	NH_4OH	1 н.	NH_4^+	$1,8 \cdot 10^{-5}$	4,0 г	NaOH
23	HBrO	0,02 н.	BrO^-	$2,5 \cdot 10^{-9}$	7,3 г	HCl
24	HF	0,06 н.	F^-	$6,8 \cdot 10^{-4}$	9,8 г	H_2SO_4
25	HVO_3	0,01 н.	H^+	$3 \cdot 10^{-5}$	0,2 моль	NaVO_3

3.2. Сильные электролиты. Активность. Ионная сила

В растворах сильных электролитов в результате их практически полной диссоциации создается высокая концентрация ионов.

Между катионами и анионами возникает электростатическое притяжение и эффективная (т.е. экспериментально определенная) концентрация этих ионов оказывается меньше, чем их истинная концентрация.

Для оценки способности ионов к химическому взаимодействию в растворах сильных электролитов используют понятие активности (a).

Активностью иона называют эффективную или условную концентрацию его, соответственно которой он действует в химических реакциях.

Между активностью иона (a) и его действительной концентрацией (C) существует зависимость

$$\alpha = f \cdot C,$$

где f – коэффициент активности; $f = \frac{\alpha}{C}$.

Таким образом, **коэффициент активности** – это отношение активности иона к его общей концентрации. Так как $\alpha < C$, то $f < 1$, поэтому при точных расчетах в уравнение закона действующих масс должны входить активности ионов, а не их концентрации. Если диссоциацию электролита изобразить схемой



то константа диссоциации K_a будет выражаться следующим образом:

$$K_a = \frac{a(K^+) \cdot a(A^-)}{a(KA)} = \frac{[K^+][A^-]}{[KA]} \cdot \frac{f(K^+) \cdot f(A^-)}{f(KA)}.$$

В этом случае K_a называют **термодинамической константой**.

Понятие активности применимо не только к отдельным ионам, но и к электролиту в целом. Для электролита $K_m A_n$ средняя активность и средний коэффициент активности связаны с активностями и коэффициентами активности катионов (α_+, f_+) и анионов (α_-, f_-) следующими соотношениями:

$$a_{\pm} = {}^{m+n}\sqrt{a_+^m \cdot a_-^n}; \quad f_{\pm} = {}^{m+n}\sqrt{f_+^m \cdot f_-^n}.$$

Коэффициенты активности ионов зависят не только от концентрации сильного электролита, но и от концентрации всех других ионов, присутствующих в растворе. Мерой электростатического взаимодействия между ионами является **ионная сила раствора** – I , которая вычисляется по формуле

$$I = 0,5(C_1 z_1^2 + C_2 z_2^2 + C_3 z_3^2 + \dots + C_n z_n^2),$$

где $C_1, C_2, C_3 \dots C_n$ – концентрации различных ионов, *моль/л*;

$z_1, z_2, z_3 \dots z_n$ – заряды этих ионов.

Пример 22. Определите ионную силу раствора, содержащего в 1 л одновременно 0,01 моль $BaCl_2$ и 0,1 моль $NaNO_3$.

Решение. Ионная сила раствора будет определяться присутствием в нем ионов $Ba^{2+}, Cl^-, Na^+, NO_3^-$.

$$I = 0,5(C(Ba^{2+}) \cdot 2^2 + C(Cl^-) \cdot 1^2 + C(Na^+) \cdot 1^2 + C(NO_3^-) \cdot 1^2).$$

Считая, что $BaCl_2$ и $NaNO_3$ как сильные электролиты диссоциированы в растворе нацело, найдем концентрации ионов:

$$C(Ba^{2+}) = C(BaCl_2) = 0,01 \text{ моль / л};$$

$$C(Cl^-) = 2C(BaCl_2) = 0,02 \text{ моль / л};$$

$$C(Na^+) = C(NaNO_3) = 0,1 \text{ моль / л};$$

$$C(NO_3^-) = C(NaNO_3) = 0,1 \text{ моль / л}.$$

Теперь вычислим значение I в растворе

$$I = 0,5(0,01 \cdot 2^2 + 0,02 \cdot 1^2 + 0,1 \cdot 1^2 + 0,1 \cdot 1^2) = 0,13.$$

Средний коэффициент активности сильного электролита (или его ионов) и ионная сила раствора (для ионов одинакового заряда) связаны соотношением Дебая-Гюккеля.

$$\lg(f) = -0,51z^2 \cdot \sqrt{I} / (1 + \sqrt{I}).$$

Для растворов с ионной силой $I \leq 0,01$

$$\lg(f) = -0,51z^2 \cdot \sqrt{I}.$$

Пример 23. Рассчитать активность ионов и ионную силу раствора, содержащего в 1 л 1,6 г $CoCl_2$ и 0,015 моль $Co(NO_3)_2$.

Решение. Ионная сила раствора выражается уравнением

$$I = 0,5(C(\text{Co}^{2+}) \cdot 2^2 + C(\text{Cl}^-) \cdot 1^2 + C(\text{NO}_3^-) \cdot 1^2)$$

Определим концентрации ионов в растворе: 1,6 г CoCl_2 соответствует количеству вещества n .

$$n = \frac{m(\text{CoCl}_2)}{M(\text{CoCl}_2)} = \frac{1,6}{130} = 0,012 \text{ моль.}$$

Общее число моль ионов Co^{2+} составляет $n_{\text{общ.}} = 0,012 + 0,015 = 0,027$ моль. Следовательно:

$$C(\text{Co}^{2+}) = 0,027 \text{ моль / л;}$$

$$C(\text{Cl}^-) = 2 \cdot C(\text{CoCl}_2) = 2 \cdot 0,012 = 0,024 \text{ моль / л;}$$

$$C(\text{NO}_3^-) = 2 \cdot C(\text{Co}(\text{NO}_3)_2) = 2 \cdot 0,015 = 0,03 \text{ моль / л.}$$

Рассчитаем ионную силу раствора

$$I = 0,5 \cdot (0,027 \cdot 2^2 + 0,024 \cdot 1^2 + 0,03 \cdot 1^2) = 0,081.$$

Рассчитаем значения коэффициентов активности ионов

$$\lg(f) = -0,5z^2 \cdot \sqrt{I} / (1 + \sqrt{I}).$$

Для однозарядных ионов Cl^- и NO_3^- :

$$\lg(f) = -0,5 \cdot 1^2 \cdot \sqrt{0,081} / (1 + \sqrt{0,081}) = -0,1108; \quad f = 0,77.$$

Для двухзарядного иона Co^{2+}

$$\lg(f) = -0,5 \cdot 2^2 \cdot \sqrt{0,081} / (1 + \sqrt{0,081}) = -0,4431; \quad f = 0,36.$$

Вычисляем активности ионов:

$$a(\text{Cl}^-) = f(\text{Cl}^-) \cdot C(\text{Cl}^-) = 0,77 \cdot 0,024 = 0,018;$$

$$a(\text{NO}_3^-) = f(\text{NO}_3^-) \cdot C(\text{NO}_3^-) = 0,77 \cdot 0,03;$$

$$a(\text{Co}^{2+}) = f(\text{Co}^{2+}) \cdot C(\text{Co}^{2+}) = 0,36 \cdot 0,027 = 0,01.$$

Пример 24. Рассчитайте ионную силу раствора и активность LaCl_3 0,018 М растворе.

Решение. Ионная сила раствора

$$I = 0,5(C(\text{La}^{3+}) \cdot 3^2 + C(\text{Cl}^-) \cdot 1^2) = 0,5(0,018 \cdot 9 + 3 \cdot 0,018 \cdot 1) = 0,108.$$

Определим по таблице приложения коэффициенты активности ионов La^{3+} и Cl^- : $f(\text{La}^{3+}) = 0,08$; $f(\text{Cl}^-) = 0,78$. Рассчитаем активность ионов

$$a(\text{La}^{3+}) = C(\text{La}^{3+}) \cdot f(\text{La}^{3+}) = 0,018 \cdot 8,08 = 0,0014;$$

$$a(\text{Cl}^-) = C(\text{Cl}^-) \cdot f(\text{Cl}^-) = 0,054 \cdot 0,73 = 0,042.$$

Найдем активность LaCl_3

$$a(\text{LaCl}_3) = a(\text{La}^{3+}) \cdot a(\text{Cl}^-)^3 = 0,001 \cdot (0,042)^3 = 0,74 \cdot 10^{-7}.$$

Контрольные задания для самостоятельной работы

Задача 12

а) Вычислите ионную силу и активность ионов в растворе, содержащем ... вещества A (...) и ... вещества B (...).

Данные к задаче 12,а

Вариант	Содержание вещества A	Вещество A	Содержание вещества B	Вещество B	ρ , г/мл
1	0,01 моль/л	$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$	0,01 моль/л	CaCl_2	
2	2,08 г/л	BaCl_2	5,85 г/л	NaCl	
3	0,005 моль/л	$\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$			
4	4,1 г/л	Na_3PO_4			
5	0,1%	BaCl_2			1
6	0,02 моль/л	$\text{Fe}(\text{NO}_3)_2$	0,02 моль/л	$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$	
7	0,636 г/л	CuSO_4	1,76 г/л	K_2SO_4	
8	0,03 моль/л	$\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$	0,01 моль/л	$\text{Pb}(\text{CH}_3\text{COO})_2$	
9	1%	AgNO_3			1,09
10	0,001 моль/л	KOH	0,0001 моль/л	NaOH	
11	20%	H_2SO_4			1,14
12	0,02 моль/л	Na_3PO_4			
13	0,0001 моль/л	Na_3PO_4	0,01 моль/л	NaSO_4	
14	0,015 моль/л	CrCl_3	0,003 моль/л	KCl	
15	0,02 моль/л	LaCl_3			
16	0,007 моль/л	$\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$			
17	1,49 г/л	KCl	8,44 г/л	$\text{Sr}(\text{NO}_3)_2$	
18	0,42 г/л	NaNO_3	0,05 моль/л	CuSO_4	
19	3,32 г/л	KJ			

б) Рассчитайте ионную силу раствора и активность электролита ..., если в ... мл раствора содержится ... вещества. (При решении воспользуйтесь значениями коэффициентов активности ионов, приведенными в приложении 2.)

Данные к задаче 12, б

Вариант	Электролит	Объем раствора электролита, мл	Количество или масса
20	CoCl_3	500	1,1 г
21	$\text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3$	550	0,001 моль
22	Li_2SO_4	1000	0,03 моль
23	$\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$	250	0,0125 моль
24	NaOH	1500	3,0 г
25	HNO_3	1000	0,3 моль

3.3. Сильные электролиты. Изотонический коэффициент

Диссоциация электролита приводит к тому, что общее число частиц растворенного вещества в растворе увеличивается по сравнению с раствором неэлектролита той же концентрации. Поэтому коллигативные свойства проявляются в растворах электролитов в большей степени, чем в растворах неэлектролитов. Эта разница учитывается **изотоническим коэффициентом** i , который показывает, во сколько раз экспериментально найденные величины π , Δp , Δt_3 , Δt_k раствора электролита превышают ту же величину, вычисленную для раствора неэлектролита такой же концентрации.

$$i = \frac{\pi_{\text{экс}}}{\pi_{\text{теор}}} = \frac{\Delta T_{\text{кип}}^{\text{экс}}}{\Delta T_{\text{кип}}^{\text{теор}}} = \frac{\Delta T_{\text{зам}}^{\text{экс}}}{\Delta T_{\text{зам}}^{\text{теор}}} = \frac{p^{\text{экс}}}{p^{\text{теор}}}$$

Величина i зависит от степени диссоциации α

$$i = 1 + \alpha(v - 1) \quad \text{или} \quad \alpha = \frac{i - 1}{v - 1},$$

где v – число ионов, образующихся при диссоциации электролита.

Например, для KCl $v = 2$; для BaCl_2 $v = 3$ и т.д.

Пример 25. Раствор, содержащий 0,85 г ZnCl_2 в 125 г воды, закипает при $100,06^\circ\text{C}$. Определите кажущуюся степень диссоциации ZnCl_2 , температуру замерзания раствора, давление пара растворителя над раствором при температуре 34°C , если давление водяного пара при данной температуре равно $5,318 \text{ кПа}$.

Решение. Экспериментально найденное значение повышения температуры кипения раствора составляет

$$\Delta t_{\text{кип}}^{\text{эксн}} = 100,06 - 100,00 = 0,06^{\circ}\text{C}.$$

Найдем теоретическое повышение температуры кипения раствора

$$\Delta t_{\text{кип}}^{\text{теор}} = E_T / C_m = E_T \cdot m_B / (M_B \cdot m_S) = \frac{0,52 \cdot 0,85}{136,3 \cdot 0,125} = 0,026^{\circ}\text{C};$$

$$M(\text{ZnCl}_2) = 136,3 \text{ г / моль}.$$

Вычислим изотонический коэффициент

$$i = \Delta t_{\text{кип}}^{\text{эксн}} / \Delta t_{\text{кип}}^{\text{теор}} = 0,06 / 0,026 = 2,31.$$

Определим кажущуюся степень диссоциации

$$\alpha = (i - 1) / (v - 1) = (2,31 - 1) / (3 - 1) = 0,655.$$

Найдем понижение температуры замерзания раствора

$$\Delta t_{\text{зам}}^{\text{эксн}} = i \cdot K_T \cdot C_m = 2,31 \cdot 1,86 \cdot 0,85 / (136,3 \cdot 0,125) = 0,21^{\circ}\text{C}.$$

Температура замерзания раствора составит

$$t_{\text{зам}} = 0 - 0,21 = -0,21^{\circ}\text{C}.$$

Определим понижение давления пара над раствором:

$$\Delta p^{\text{эксн}} = i \cdot p_0 \cdot \frac{n(B)}{n(B) + n(S)} = \frac{2,31 \cdot 5,318 \cdot 0,0062}{0,0062 + 6,9444} = 0,011 \text{ кПа};$$

$$n(B) = 0,85 / 136,3 = 0,0062 \text{ моль};$$

$$n(S) = 125 / 18 = 6,9444 \text{ моль}.$$

Давление пара над раствором составит

$$p = p_0 - \Delta p = 5,318 - 0,011 + 5,307 \text{ кПа}.$$

Контрольные задания для самостоятельной работы

Задача 13

Раствор, содержащий ... г вещества $A(\dots)$ в ... г воды замерзает при температуре $t_{\text{зам}} = \dots^{\circ}\text{C}$. Определите:

а) кажущуюся степень диссоциации данного соединения в растворе;

б) температуру кипения раствора;

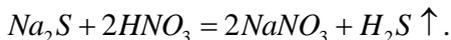
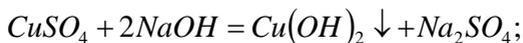
в) давление пара растворителя над раствором при температуре $t_2 = \dots^{\circ}\text{C}$, если давление пара чистой воды p_0 при данной температуре равно

Вариант	Растворено			Температура		Давление водяного пара p_0 , кПа
	Масса, г	Вещество	Масса воды, г	$t_{зам}$, °C	t_2 , °C	
1	4,9	MgCl ₂	100	-2,5	50	12,34
2	12,0	NaCl	200	-3,5	90	70,10
3	2,1	KOH	250	-0,519	25	3,17
4	17,4	K ₂ SO ₄	250	-1,52	97	90,92
5	17,1	Al ₂ (SO ₄) ₃	100	-4,19	40	7,37
6	0,834	Na ₂ SO ₄	1000			
7	3,0	NaCl	100	-0,028	50	12,34
8	1,06	Na ₂ CO ₃	200	-1,8	20	2,34
9	10,4	CaCl ₂	200	-0,22	30	4,24
10	10,0	H ₂ SO ₄	90	-2,6	60	19,92
11	0,44	AlCl ₃	100	-5,5	70	31,16
12	0,64	Na ₂ CO ₃	120	-0,14	25	3,17
13	0,67	CaCl ₂	125	-0,25	90	70,10
14	1,0	AgNO ₃	50	-0,22	100	101,32
15	272,0	ZnCl ₂	1000	-0,348	85	57,80
16	9,0	NaCl	100	-5,49	99	97,74
17	5,0	CaCl ₂	100	-5,4	95	84,50
18	10,4	MgCl ₂	200	-2,4	85	57,80
19	3,9	CuSO ₄	500	-3,1	75	38,54
20	4,5	KCl	300	-0,13	80	43,36
21	0,0855	H ₂ SO ₄	500	-0,684	55	15,73
22	3,29	K ₃ [Fe(CN) ₆]	1000	-0,0054	57	17,30
23	14,92	KCl	100	-0,062	67	27,33
24	2,67	NH ₄ Cl	500	-6,8	77	41,87
25	1,7	ZnCl ₂	250	-0,344	87	62,48

3.4. Реакции ионного обмена

3.4.1. Составление ионно-молекулярных уравнений

Реакции в водных растворах электролитов являются реакциями между ионами. Они протекают в соответствии с правилом Бертолле практически необратимо в тех случаях, когда в результате их взаимодействия образуются малорастворимые вещества (осадки или газы) или малодиссоциированные соединения (слабые электролиты, комплексные ионы, вода). В уравнениях реакций малорастворимые вещества, выпадающие в осадок, отмечаются стрелкой, направленной вниз, газообразные вещества – стрелкой, направленной вверх. Например,

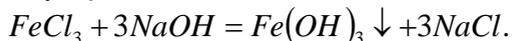


Для составления ионно-молекулярного уравнения необходимо последовательно выполнить следующие действия:

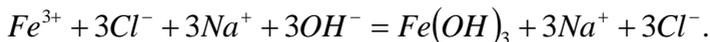
- 1) написать молекулярное уравнение реакции;
- 2) записать в виде ионов формулы сильных кислот, сильных оснований, хорошо растворимых солей (см. таблицу растворимости в приложении 4); формулы остальных веществ записать в виде молекул; полученное уравнение называют полным ионно-молекулярным уравнением;
- 3) исключить из обеих частей полного ионно-молекулярного уравнения одинаковые ионы;
- 4) записать сокращенное ионно-молекулярное уравнение в окончательном виде.

Пример 26. Составьте молекулярное и ионно-молекулярное уравнения реакций взаимодействия в растворе между $FeCl_3$ и $NaOH$.

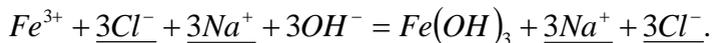
Решение. Составляем уравнение реакции взаимодействия веществ в молекулярном виде



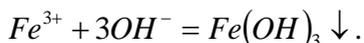
По таблице растворимости устанавливаем, что $FeCl_3$ и $NaCl$ – растворимые в воде соли, $Fe(OH)_3$ – осадок, а $NaOH$ – сильный электролит. Составим полное ионно-молекулярное уравнение, записав растворимые соли и сильные основания в виде ионов, а осадок $Fe(OH)_3$ в виде молекулы.



Исключаем из обеих частей полного ионно-молекулярного уравнения одинаковые ионы



Записываем сокращенное ионно-молекулярное уравнение реакции



Это ионно-молекулярное уравнение выражает сущность проходящей химической реакции.

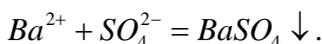
3.4.2. Составление молекулярных уравнений по ионно-молекулярным

В ионно-молекулярном уравнении ионы – это остатки сильных электролитов. Чтобы составить молекулярное уравнение по ионно-молекулярному, нужно подобрать формулу сильного электролита соответствующего каждому иону.

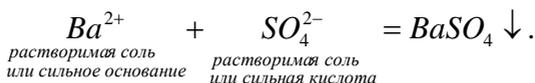
К данным в ионно-молекулярном уравнении ионам добавляю ионы противоположного знака, чтобы получить формулы сильных кислот, сильных оснований или хорошо растворимых солей. Например, к заданным ионам можно добавить следующие ионы.

Ион	Добавить
H^+	Кислотный остаток сильной кислоты: Cl^- ; NO_3^- ; SO_4^{2-} ; Br^- ; I^-
OH^-	Катионы щелочных металлов: K^+ ; Na^+ и др. или Ba^{2+} ; Sr^{2+} ; Ca^{2+}
Ba^{2+}	$2Cl^-$; $2NO_3^-$; $2OH^-$
SO_4^{2-}	$2H^+$; $2K^+$; $2Na^+$; $2NH_4^+$ и др.

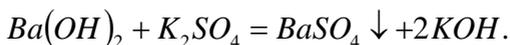
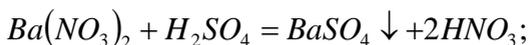
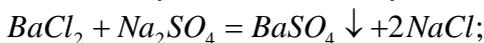
Пример 27. Составьте молекулярные уравнения реакций, которым соответствует следующее ионно-молекулярное уравнение:



В левой части данного ионно-молекулярного уравнения указаны ионы, которые образуются при диссоциации сильных электролитов. Поэтому при составлении молекулярного уравнения следует подобрать соответствующие сильные электролиты (см. выше).



Такие же ионы необходимо добавить в правую часть уравнения и соединить их между собой. Тогда получим:

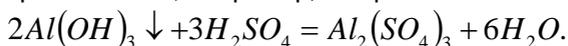


Приведённое ионно-молекулярное уравнение выражает сущность реакции. Оно относится к целой группе реакций.

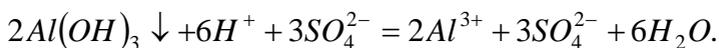
Пример 28. Составьте молекулярное и ионно-молекулярное уравнения, которые доказывают амфотерный характер гидроксида алюминия.

Решение. Для доказательства амфотерного характера гидроксида алюминия необходимо привести уравнения реакций, в которых этот гидроксид проявляет основные и кислотные свойства.

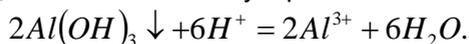
Основные свойства $Al(OH)_3$ проявляет при взаимодействии с растворами кислот, например, с серной кислотой.



При составлении полного ионно-молекулярного уравнения в виде ионов записываем сильную кислоту H_2SO_4 и растворимую соль $Al_2(SO_4)_3$



Исключив из обеих частей уравнения одинаковые ионы, получаем сокращённое ионно-молекулярное



Кислотные свойства гидроксид алюминия проявляет при взаимодействии с водными концентрированными растворами щелочей, например с $NaOH$.



Полное ионно-молекулярное уравнение имеет вид



Сокращённое ионно-молекулярное уравнение получаем после сокращения одинаковых ионов



Контрольные задания для самостоятельной работы

Задача 14

Закончите молекулярные и напишите сокращённые ионные уравнения реакций взаимодействия следующих веществ.

Вариант	Реакции
1	$NaOH + SeO_3 \rightarrow$ $CaO + H_3PO_4 \rightarrow$ $Fe_2O_3 + HCl \rightarrow$ $Sn(OH)_2 + HCl \rightarrow$ $Sn(OH)_2 + KOH \rightarrow$ $KHS + H_2SO_4 \rightarrow$ $CuSO_4 + NaOH \rightarrow$ (основная соль) $FeCl_3 + Na_2S + H_2O \rightarrow$
2	$Ca(OH)_2 + N_2O_5 \rightarrow$ $CdO + HNO_3 \rightarrow$ $NiSO_4 + LiOH \rightarrow$ $Al(OH)_3 + HBr \rightarrow$ $Al(OH)_3 + NaOH \rightarrow$ $BiOH(NO_3)_2 + KOH \rightarrow$ $H_3PO_4 + KOH \rightarrow$ (дигидрофосфат калия) $Cr_2(SO_4)_3 + Na_2S + H_2O \rightarrow$
3	$MnO + HBr \rightarrow$ $SO_2 + NaOH \rightarrow$ $AgNO_3 + FeCl_3 \rightarrow$ $Sb(OH)_3 + HNO_3 \rightarrow$ $Sb(OH)_3 + NaOH \rightarrow$ $NaHS + H_2SO_4 \rightarrow$ $Zn(OH)_2 + HCl \rightarrow$ (основная соль) $AlCl_3 + K_2CO_3 + H_2O \rightarrow$
4	$Pb(NO_3)_2 + K_2S \rightarrow$ $NaClO + H_2SO_4 \rightarrow$ $KHSO_3 + KOH \rightarrow$ $CaCO_3 + CO_2 + H_2O \rightarrow$ $ZnO + HCl \rightarrow$ $ZnO + NaOH$ (сплавление) \rightarrow $BeCl_2 + NaOH \rightarrow$ (основная соль) $MnO_3 + KOH \rightarrow$
5	$Ba(OH)_2 + HClO_4 \rightarrow$ $PbO_2 + KOH \rightarrow$ $PbO_2 + HNO_3 \rightarrow$ $Na_2O + H_3PO_4 \rightarrow$ (гидрофосфат натрия) $Ga(OH)_3 + H_2SO_4 \rightarrow$ $TeO_3 + NaOH \rightarrow$ $(NiOH)_2SO_4 + NaOH \rightarrow$ $BaCl_2 + CuSO_4 \rightarrow$

Вариант	Реакции
6	$AgNO_3 + K_2SO_4 \rightarrow$ $KOH + Bi_2(SO_4)_3 \rightarrow$ $P_2O_5 + NaOH \rightarrow$ $CaO + HNO_3 \rightarrow$ $Cr(OH)_3 + NaOH$ (реакция в растворе) \rightarrow $Cr(OH)_3 + H_2SO_4 \rightarrow$ $Cd(OH)_2 + HBr \rightarrow$ (основная соль) $Ca(HCO_3)_2 \xrightarrow{t^0}$
7	$Cr_2O_3 + KOH$ (сплавление) \rightarrow $Cr_2O_3 + KOH + H_2O$ (реакция в растворе) \rightarrow $Cr_2O_3 + HClO_4 \rightarrow$ $Sr(OH)_2 + N_2O_5 \rightarrow$ $FeS + HCl \rightarrow$ $NaHS + HClO_3 \rightarrow$ $Bi(NO_3)_3 + KOH \rightarrow$ (дигидроксонитрат висмута(III)) $Na_2Te + HNO_3 \rightarrow$ <i>разбавленная</i>
8	$H_2SO_4 + Cr(OH)SO_4 \rightarrow$ $KOH + Cr(OH)SO_4 \rightarrow$ $BeO + HCl \rightarrow$ $BeO + NaOH + H_2O$ (реакция в растворе) \rightarrow $ZnBr_2 + K_2S \rightarrow$ $H_3PO_4 + Ba(OH)_2 \rightarrow$ $H_2S + KOH \rightarrow$ (кислая соль) $CaSO_3 + HBr \rightarrow$
9	$NaOH + TeO_3 \rightarrow$ $BaO + H_3PO_4 \rightarrow$ $Fe_2O_3 + H_2SO_4 \rightarrow$ $Zn(OH)_2 + HCl \rightarrow$ $Zn(OH)_2 + KOH \rightarrow$ $KHSe + H_2SO_4 \rightarrow$ $NiSO_4 + NaOH \rightarrow$ (основная соль) $Fe(NO_3)_3 + Na_2S + H_2O \rightarrow$
10	$Ba(OH)_2 + N_2O_5 \rightarrow$ $CuO + HNO_3 \rightarrow$ $MnSO_4 + LiOH \rightarrow$ $Al(OH)_3 + H_2SO_4 \rightarrow$ $Al(OH)_3 + NaOH$ (реакция в растворе) \rightarrow $Bi(OH)_2NO_3 + KOH \rightarrow$ $H_3PO_4 + KOH \rightarrow$ (гидрофосфат калия) $Fe_2(SO_4)_3 + Na_2S + H_2O \rightarrow$

Вариант	Реакции
11	$Sb_2O_3 + HNO_3 \rightarrow$ $Sb_2O_3 + NaOH$ (сплавление) \rightarrow $Sb_2O_3 + NaOH + H_2O$ (реакция в растворе) \rightarrow $Na_2HASO_4 + HCl \rightarrow$ $WO_3 + KOH \rightarrow$ $AgNO_3 + K_2SO_3 \rightarrow$ $MgCl_2 + KOH \rightarrow$ (основная соль) $ZnSO_4 + K_3PO_4 \rightarrow$
12	$Ba(CH_3COO)_2 + HNO_3 \rightarrow$ $Nb(OH)_3 + NaOH$ (реакция в растворе) \rightarrow $Nb(OH)_3 + HNO_3 \rightarrow$ $CaHPO_4 + HCl \rightarrow$ $Co(CH_3COO)_2 + KOH \rightarrow$ (основная соль) \rightarrow $BaSO_3 + HCl \rightarrow$ $Pb(CH_3COO)_2 + K_2S \rightarrow$ $Cr_2O_3 + H_2SO_4 \rightarrow$
13	$NH_4OH + AlCl_3 \rightarrow$ $KHSO_3 + KOH \rightarrow$ $V_2O_5 + NaOH \rightarrow$ сульфат титана (III) + NaOH \rightarrow гидросульфат ... гидроксид германия (IV) + гидроксид натрия (раствор) \rightarrow $Ge(OH)_4 + HNO_3 \rightarrow$ средняя соль $La(OH)_2NO_3 + HNO_3 \rightarrow$ $SrO + H_3PO_4 \rightarrow$
14	$AgCH_3COO + K_2SO_4 \rightarrow$ $KOH + Bi_2(SO_4)_3 \rightarrow$ гидросульфат висмута (III) + ... $P_2O_5 + KOH \rightarrow$ $BaO + HNO_3 \rightarrow$ $Cr_2O_3 + NaOH + H_2O$ (реакция в растворе) \rightarrow $Cr(OH)_3 + HNO_3 \rightarrow$ $Cd(OH)_2 + HI \rightarrow$ (основная соль) $Ba(HCO_3)_2 \xrightarrow{t^0}$
15	$Co(OH)_2 + HClO_4 \rightarrow$ $GeO_2 + KOH$ (реакция в водном растворе) \rightarrow $GeO_2 + HNO_3 \rightarrow$ $Na_2O + H_3PO_4 \rightarrow$ (дигидрофосфат натрия) $Ga(OH)_3 + HBr \rightarrow$ $TeO_3 + KOH \rightarrow$ $(CoOH)_2SO_4 + NaOH \rightarrow$ $BaCl_2 + NiSO_4 \rightarrow$

Вариант	Реакции
16	$Cr_2O_3 + NaOH$ (сплавление) \rightarrow $Cr_2O_3 + NaOH + H_2O$ (реакция в растворе) \rightarrow $Cr_2O_3 + HClO_3 \rightarrow$ $Ca(OH)_2 + N_2O_5 \rightarrow$ $FeS + HCl \rightarrow$ $NaHSe + HClO_4 \rightarrow$ $Bi(NO_3)_3 + NaOH \rightarrow$ (дигидроксонитрат висмута(III)) $K_2Se + HNO_3 \rightarrow$ <i>разбавленная</i>
17	$Ca(OH)_2 + H_3PO_4 \rightarrow$ средняя соль + ... $Ca(OH)_2 + SO_2 \rightarrow$ кислая соль $Ga(OH)_3 + KOH$ (реакция в растворе) \rightarrow $Ga(OH)_3 + KOH$ (сплавление) \rightarrow $WO_3 + NaOH \rightarrow$ $NaH_2PO_3 + NaOH \rightarrow$ (средняя соль) сульфат хрома (III) + сульфид калия + вода \rightarrow хлорид бария + сульфат калия \rightarrow
18	$Cr_2(SO_4)_3 + K_2S + H_2O \rightarrow$ $SnO_2 + HNO_3 \rightarrow$ $SnO_2 + NaOH$ (сплавление) \rightarrow $SnO_2 + NaOH + H_2O$ (реакция в растворе) \rightarrow $Co(OH)_2 + SO_3 \rightarrow$ основная соль $Na_3HSiO_4 + HCl \rightarrow$ хлорид железа (II) + силикат калия \rightarrow средняя соль (тв.) + ... $MgSO_4 + NaOH \rightarrow$
19	$Ba(OH)_2 + HNO_3 \rightarrow$ $Ca(OH)_2 + CO_2 \rightarrow$ кислая соль $Sc(OH)_3 + HCl \rightarrow$ $Sc(OH)_3 + NaOH$ (реакция в водном растворе) \rightarrow $Bi(OH)_2Cl + HCl \rightarrow$ $Ag_2CO_3 + HNO_3 \rightarrow$ $Ba(NO_3)_2 + K_2CrO_4 \rightarrow$ $Pb(NO_3)_2 + KI \rightarrow$
20	$Ca(OH)_2 + H_3PO_4 \rightarrow$ (дигидрофосфат кальция) $La_2O_3 + HNO_3 \rightarrow$ $La_2O_3 + KOH + H_2O$ (реакция в растворе) $CO_2 + NaOH \rightarrow$ (средняя соль) сульфат железа (II) + сульфид калия \rightarrow сульфит таллия (I) + азотная кислота \rightarrow гидрофосфат натрия + соляная кислота \rightarrow нитрат серебра + сульфид аммония \rightarrow

Вариант	Реакции
21	$Ba(OH)_2 + H_3PO_4 \rightarrow \text{средняя соль} + \dots$ $Ba(OH)_2 + SO_2 \rightarrow \text{кислая соль}$ $Al(OH)_3 + KOH \text{ (реакция в растворе)} \rightarrow$ $Al(OH)_3 + KOH \text{ (сплавнение)} \rightarrow$ $CrO_3 + NaOH \rightarrow$ $KH_2PO_3 + KOH \rightarrow \text{(средняя соль)}$ $\text{сульфат хрома (III)} + \text{сульфид натрия} + \text{вода} \rightarrow$ $\text{хлорид стронция} + \text{сульфат калия} \rightarrow$

Задача 15

Напишите по два молекулярных уравнения к следующим ионным уравнениям реакций.

Вариант	Реакции
1	$NH_4^+ + OH^- \rightarrow NH_3 + H_2O;$ $Ba^{2+} + CO_3^{2-} \rightarrow BaCO_3.$
2	$Zn^{2+} + 2OH^- \rightarrow Zn(OH)_2;$ $H^+ + CH_3COO^- \rightarrow CH_3COOH.$
3	$H^+ + HS^- \rightarrow H_2S;$ $Cr(OH)_3 + 3H^+ \rightarrow Cr^{3+} + 3H_2O.$
4	$2H^+ + CO_3^{2-} \rightarrow CO_2 + H_2O;$ $3Ca^{2+} + 2PO_4^{3-} \rightarrow Ca_3(PO_4)_2.$
5	$Fe(OH)_3 + 3H^+ \rightarrow Fe^{3+} + 3H_2O;$ $Pb^{2+} + 2Br^- \rightarrow PbBr_2.$
6	$HCO_3^- + H^+ \rightarrow CO_2 + H_2O;$ $Ag^+ + I^- \rightarrow AgI.$
7	$3Ba^{2+} + 2PO_4^{3-} \rightarrow Ba_3(PO_4)_2;$ $2H^+ + SiO_3^{2-} \rightarrow H_2SiO_3.$
8	$Fe_2O_3 + 6H^+ \rightarrow 2Fe^{3+} + 3H_2O;$ $H^+ + HS^- \rightarrow H_2S.$
9	$CuO + 2H^+ \rightarrow Cu^{2+} + H_2O;$ $H^+ + NO_2^- \rightarrow HNO_2.$

Вариант	Реакции
10	$Sn(OH)_2 + 2OH^- \rightarrow [Sn(OH)_4]^{2-};$ $Ni^{2+} + S^{2-} \rightarrow NiS.$
11	$MgCO_3 + 2H^+ \rightarrow Mg^{2+} + CO_2 + H_2O;$ $2Ag^+ + S^{2-} \rightarrow Ag_2S.$
12	$NiS + 2H^+ \rightarrow Ni^{2+} + H_2S;$ $H_2PO_4^- + H^+ \rightarrow H_3PO_4.$
13	$NH_4^+ + OH^- \rightarrow NH_4OH;$ $Mn(OH)_2 + 2H^+ \rightarrow Mn^{2+} + 2H_2O.$
14	$NH_4OH + H^+ \rightarrow NH_4^+ + H_2O;$ $Bi^{3+} + 3OH^- \rightarrow Bi(OH)_3.$
15	<i>катион водорода + гидросульфид – ион → сероводород;</i> $Sc(OH)_3 + 3H^+ \rightarrow Sc^{3+} + 3H_2O.$
16	$2H^+ + SO_3^{2-} \rightarrow SO_2 + H_2O;$ $3Ba^{2+} + 2PO_4^{3-} \rightarrow Ba_3(PO_4)_2.$
17	$Fe(OH)_2 + 2H^+ \rightarrow Fe^{2+} + 2H_2O;$ $Pb^{2+} + 2I^- \rightarrow PbI_2.$
18	<i>катион никеля (II) + сульфит – ион → сульфит никеля (II);</i> <i>катион водорода + ацетат – ион → уксусная кислота.</i>
19	$Al(OH)_3 + 3H^+ \rightarrow Al^{3+} + 3H_2O;$ <i>катион серебра + ортофосфат – ион → средняя соль (m).</i>
20	$In(OH)_3 + 3H^+ \rightarrow In^{3+} + 3H_2O;$ <i>катион бария + фосфат – ион → фосфат бария.</i>
21	$2Ag^+ + 2OH^- \rightarrow Ag_2O + H_2O;$ <i>сульфид марганца (II) + катион водорода → сероводород ↑ +...</i>
22	$Cd^{2+} + 2OH^- \rightarrow Cd(OH)_2;$ $H^+ + CH_3COO^- \rightarrow CH_3COOH.$

3.5. Диссоциация воды. Водородный показатель

3.5.1. Ионное произведение воды

Вода является слабым электролитом и в незначительной степени диссоциирует с образованием двух противоположно заряженных ионов.



Константа диссоциации воды при $25^\circ C$ составляет

$$K_{д} = \frac{[H^+] \cdot [OH^-]}{[H_2O]} = 1,8 \cdot 10^{-16}$$

Пренебрегая незначительной долей распавшихся молекул, можно принять концентрацию недиссоциированной части воды, равной общей концентрации молекул воды H_2O , которая составляет $1000 / 18 = 55,56$ моль/л.

Тогда

$$[H^+] \cdot [OH^-] = K_{д} \cdot [H_2O] = 1,8 \cdot 10^{-16} \cdot 55,56 = 1 \cdot 10^{-14} = K_{в}.$$

Произведение концентраций ионов H^+ и OH^- – величина постоянная при данной температуре и называется ионным произведением воды ($K_{в}$).

В чистой воде и водных растворах

$$[H^+] = [OH^-] = \sqrt{10^{-14}} = 10^{-7} \text{ моль / л}$$

Кислотность или щелочность раствора определяется концентрацией ионов водорода:

в нейтральных растворах $[H^+] = [OH^-] = 1 \cdot 10^{-7}$ моль / л
при $25^\circ C$;

в кислых растворах $[H^+] > 1 \cdot 10^{-7}$ моль / л ;

в щелочных растворах $[H^+] < 1 \cdot 10^{-7}$ моль / л .

3.5.2. Водородный показатель

Для характеристики кислотности среды введен водородный показатель pH – отрицательный десятичный логарифм концентрации ионов водорода

$$pH = -\lg[H^+]$$

В нейтральных растворах $pH = 7$, в кислых растворах $pH < 7$, в щелочных растворах $pH > 7$.

Концентрация ионов OH^- может быть выражена через гидроксильный показатель pOH

$$pOH = -\lg[OH^-]$$

В любых растворах выполняется условие

$$pH + pOH = 14$$

3.5.3. Примеры решения задач

Вычисление концентрации ионов H^+ и OH^- по известному значению водородного показателя

Пример 29. Вычислить концентрацию ионов H^+ и OH^- в растворе, pH которого равен 5,25.

Решение. По значению pH определяем концентрацию ионов H^+ в растворе

$$pH = -\lg[H^+]; \quad \lg[H^+] = 5,25.$$

Следовательно, $[H^+] = 5,62 \cdot 10^{-6}$ моль/л.

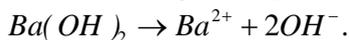
Концентрацию ионов OH^- определяют по значению ионного произведения воды

$$[OH^-] = \frac{[K_B]}{[H^+]} = \frac{1 \cdot 10^{-14}}{5,62 \cdot 10^{-6}} = 1,78 \cdot 10^{-9} \text{ моль/л}$$

Вычисление pH в растворах сильных и слабых электролитов

Пример 30. Вычислить pH раствора, содержащего в 1 л 0,855 г гидроксида бария.

Решение. Диссоциация молекулы гидроксида бария



Концентрация ионов OH^-

$$[OH^-] = C \cdot \alpha \cdot n = 0,005 \cdot 1 \cdot 2 = 0,01 \text{ моль/л},$$

где C – молярная концентрация раствора, моль/л;

α – степень диссоциации электролита (для сильных электролитов $\alpha = 1$, для слабых электролитов α рассчитывается по закону разбавления Оствальда);

n – число ионов, образующихся при диссоциации одной молекулы.

Гидроксильный показатель pOH

$$pOH = -\lg[OH^-] = -\lg 0,01 = 2.$$

Водородный показатель pH

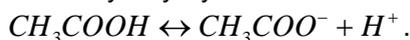
$$pH = 14 - 2 = 12.$$

Пример 31. Вычислить pH $0,01M$ раствора уксусной кислоты, если $K_{CH_3COOH} = 1,74 \cdot 10^{-5}$.

Решение. Степень диссоциации уксусной кислоты

$$\alpha = \sqrt{\frac{K_d}{C}} = \sqrt{\frac{1,74 \cdot 10^{-5}}{0,01}} = 4,17 \cdot 10^{-2} \text{ моль/л}$$

Диссоциация молекулы уксусной кислоты



Концентрация ионов $[H^+]$ в растворе

$$[H^+] = 0,01 \cdot 4,17 \cdot 10^{-2} \cdot 1 = 4,17 \cdot 10^{-4} \text{ моль/л.}$$

Водородный показатель pH

$$pH = -\lg[H^+] = -\lg 4,17 \cdot 10^{-4} = 3,38.$$

Вычисление pH при сливании растворов

Пример 32. Вычислить pH раствора, если к $25 \text{ мл } 0,01 M$ раствора KOH ($\rho = 1 \text{ г/мл}$) прибавили 500 мл воды. Плотность нового раствора 1 г/мл .

Решение:

1) Находим количество вещества KOH , содержащееся в $25 \text{ мл } 0,01 M$ раствора.

$$n(KOH) = C(KOH) \cdot V_p = 0,01 \cdot 0,025 = 2,5 \cdot 10^{-4} \text{ моль.}$$

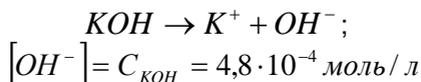
2) Вычисляем молярную концентрацию нового раствора гидроксида калия, полученного после разбавления. Поскольку плотность растворов условно принята 1 г/мл , то объем нового раствора равен

$$V_p = 25 + 500 = 525 \text{ мл} = 0,525 \text{ л.}$$

Тогда

$$C(\text{KOH}) = \frac{n(\text{KOH})}{V_p} = \frac{2,5 \cdot 10^{-4}}{0,525} = 4,8 \cdot 10^{-4} \text{ моль / л}$$

3) Находим концентрацию гидроксид-ионов



4) Находим концентрацию ионов H^+

$$[\text{H}^+] = \frac{K_B}{[\text{OH}^-]} = \frac{1 \cdot 10^{-14}}{4,8 \cdot 10^{-4}} = 2,1 \cdot 10^{-11} \text{ моль / л}$$

5) Вычисляем pH нового раствора

$$pH = -\lg[\text{H}^+] = -\lg 2,1 \cdot 10^{-11} = 11 - \lg 2,1 = 11 - 0,3 = 10,7$$

Пример 33. К 20 мл 0,04 н. раствора HCl добавили 35 мл 0,02 н. раствора NaOH . Вычислить pH полученного раствора.

Решение:

1) В исходном растворе находим количества веществ эквивалентов.

$$n_{\text{эк}}(\text{HCl}) = C_{\text{эк}}(\text{HCl}) \cdot V_{p(\text{HCl})} = 0,04 \cdot 0,02 = 0,0008 \text{ моль};$$

$$n_{\text{эк}}(\text{NaOH}) = C_{\text{эк}}(\text{NaOH}) \cdot V_{p(\text{NaOH})} = 0,02 \cdot 0,035 = 0,0007 \text{ моль}$$

По закону эквивалентов $n_{\text{эк}}(\text{HCl}) = n_{\text{эк}}(\text{NaOH})$.

2) Раствор в избытке содержит

$$n_{\text{эк}}(\text{HCl}) = 0,0008 - 0,0007 = 0,0001 \text{ моль.}$$

3) Находим концентрацию ионов $[\text{H}^+]$ в растворе

$$V_{\text{общ}} = 20 + 35 = 55 \text{ мл} = 0,055 \text{ л};$$

$$C_{\text{HCl}} = \frac{n_{\text{HCl}}}{V_p} = \frac{0,0001}{0,055} = 1,82 \cdot 10^{-3} \text{ моль / л}$$

4) Вычисляем pH нового раствора:



$$[\text{H}^+] = C(\text{HCl}) = 1,82 \cdot 10^{-3} \text{ моль / л};$$

$$pH = -\lg[\text{H}^+] = -\lg 1,82 \cdot 10^{-3} = 2,74 .$$

Контрольные задания для самостоятельной работы

Задача 16

Вычислить pH следующих растворов электролитов:

Номер варианта	Электролит	Концентрация раствора	Константа диссоциации K_d	Степень диссоциации α
1	HCl	0,001 М	-	1
	Zn(OH) ₂	0,1М	$4,4 \cdot 10^{-5}$	-
2	NaOH	0,05 н.	-	1
	HNO ₂	0,15 н.	$4,6 \cdot 10^{-4}$	-
3	HNO ₃	0,063 г/л	-	1
	NH ₄ OH	1 н.	$1,8 \cdot 10^{-5}$	-
4	KOH	0,0056 г/л	-	1
	HF	1 н.	-	0,07
5	HBr	0,0001 н.	-	1
	H ₂ S	0,1 М	$1,1 \cdot 10^{-7}$	-
6	RbOH	0,03 н.	-	1
	H ₂ S	0,1 М	-	0,0007
7	H ₂ SO ₄	0,0001 н.	-	1
	HNO ₂	0,025 н.	$4,6 \cdot 10^{-4}$	-
8	CsOH	0,15 г/л	-	1
	HBrO	0,2 М	$2,1 \cdot 10^{-9}$	-
9	HClO ₄	0,001 н.	-	1
	NH ₄ OH	0,03 М	$1,8 \cdot 10^{-5}$	-
10	HNO ₃	0,0001 н.	-	1
	HCN	1М	$7,9 \cdot 10^{-2}$	-
11	NaOH	0,0001 н.	-	1
	H ₂ CO ₃	0,1 М	-	0,0017
12	H ₂ SO ₄	0,0098 г/л	-	1
	CH ₃ COOH	0,0001 н.	-	0,306
13	KOH	0,1%	-	1
	HCOOH	0,2 М	$1,8 \cdot 10^{-4}$	-
14	HCl	0,01%	-	1
	CH ₃ COOH	0,1 н.	-	0,004
15	NaOH	0,0004 г/л	-	1
	H ₂ CO ₃	0,1 М	$4,5 \cdot 10^{-7}$	-
16	HNO ₃	0,01%	-	1
	NH ₄ OH	0,02 н.	$1,8 \cdot 10^{-5}$	-
17	KOH	0,0001 н.	-	1
	HF	0,1 н.	$6,6 \cdot 10^{-4}$	-
18	HBr	1 г/л	-	1
	CH ₃ COOH	0,001 н.	-	0,118

Окончание таблицы

Номер варианта	Электролит	Концентрация раствора	Константа диссоциации K_d	Степень диссоциации α
19	RbOH	0,0001 н.	-	1
	HCOOH	0,1 М	$1,8 \cdot 10^{-4}$	-
20	H ₂ SO ₄	0,0196 г/л	-	1
	HNO ₂	0,01М	$4,6 \cdot 10^{-4}$	-
21	Ca(OH) ₂	0,1 г/л	-	1
	H ₂ SiO ₃	0,1 М	$2,2 \cdot 10^{-10}$	-
22	HClO ₄	0,0005 н.	-	1
	H ₂ CO ₃	0,006 М	-	0,85
23	HNO ₃	0,05%	-	1
	HBrO	0,001 н.	$2,1 \cdot 10^{-9}$	-
24	NaOH	0,001 н.	-	1
	HClO	0,005 н.	$5 \cdot 10^{-8}$	-
25	H ₂ SO ₄	0,0005 н.	-	1
	NH ₄ OH	0,5 н.	$1,8 \cdot 10^{-5}$	-

Задача 17

Вычислить концентрацию ионов H^+ и OH^- в растворе, а также концентрацию электролита, pH которого равен

Вариант	pH	Электролит	Вариант	pH	Электролит
1	5	H ₂ SO ₄	14	2,6	HNO ₃
2	2,5	HCl	15	5,2	HBr
3	3	H ₂ SO ₄	16	8	Ba(OH) ₂
4	9	Ca(OH) ₂	17	5,4	HCl
5	3,5	HNO ₃	18	3,6	HNO ₃
6	5,5	HCl	19	2,8	HClO ₄
7	6,3	HNO ₃	20	3	H ₂ SO ₄
8	11	Ba(OH) ₂	21	4,1	HCl
9	4	H ₂ SO ₄	22	5,3	HNO ₃
10	4,5	HClO ₄	23	4	H ₂ SO ₄
11	10	Ca(OH) ₂	24	3,7	HBr
12	3,2	HBr	25	11	Ca(OH) ₂
13	2,8	HNO ₃	26	2,5	HNO ₃

Задача 18

Вычислить pH раствора, если к V_1 (. . .) мл раствора A прибавлено V_2 (. . .) мл воды. Плотности растворов принять равными 1 г/мл.

Номер варианта	Раствор А			Объем воды V_2 , мл	Номер варианта	Раствор А			Объем воды V_2 , мл
	Объем V_1 , мл	Концентрация	Растворенное вещество			Объем V_1 , мл	Концентрация	Растворенное вещество	
1	50,0	0,01 н.	H ₂ SO ₄	750	14	10,0	0,05 н.	H ₂ SO ₄	200
2	30,0	0,05 М	NaOH	400	15	20,0	0,01 н.	NaOH	900
3	15,0	0,08 н.	HCl	100	16	2,0	0,003 н.	HCl	350
4	60,0	0,1 н.	KOH	500	17	2,0	0,002М	KOH	400
5	25,0	0,4 н.	HNO ₃	800	18	1,0	0,5 М	HNO ₃	800
6	40,0	0,05 н.	Ba(OH) ₂	600	19	25,0	0,01 н.	Ba(OH) ₂	700
7	20,0	0,002М	HClO ₄	200	20	1,0	0,005М	HClO ₄	100
8	10,0	0,005М	Ca(OH) ₂	300	21	15,0	0,001 н.	Ca(OH) ₂	400
9	50,0	0,06 н.	H ₃ PO ₄	700	22	50,0	0,001 н.	H ₃ PO ₄	250
10	10,0	0,05 н.	LiOH	450	23	20,0	0,1 н.	LiOH	800
11	35,0	0,01 М	HBr	900	24	1,0	0,003 н.	HBr	150
12	20,0	0,02 н.	NaOH	850	25	10,0	0,08 М	NaOH	650
13	30,0	0,01 М	H ₂ SO ₄	970	26	1,0	0,005 н.	H ₂ SO ₄	500

Задача 19

Определить pH раствора, полученного при сливании растворов A и B .

№ п/п	Раствор А			Раствор В		
	Объем, мл	Концентрация	Растворенное вещество	Объем, мл	Концентрация	Растворенное вещество
1	25	0,2 н.	HCl	25	0,1 н.	NaOH
2	30	0,05 М	HClO ₄	30	0,03 н.	KOH
3	50	0,25 М	HCl	50	0,05 н.	NaOH
4	35	0,6 н.	HNO ₃	35	0,4 н.	KOH
5	100	0,02 М	HCl	100	0,006 М	NaOH
6	10	0,1 н.	HNO ₃	10	6% $\rho=1,07$ г/мл	NaOH
7	50	0,06 М	Ba(OH) ₂	50	0,08 н.	H ₂ SO ₄

Окончание таблицы

№ п/п	Раствор А			Раствор В		
	Объем, мл	Концентрация	Растворенное вещество	Объем, мл	Концентрация	Растворенное вещество
8	20	0,075 н.	HClO ₄	20	0,055 н.	KOH
9	60	0,1 н.	H ₂ SO ₄	60	0,1 н.	NaOH
10	100	0,2 н.	HCl	100	3% ρ=1,03 г/мл	KOH
11	80	0,02 н.	HBr	80	0,04 М	NaOH
12	70	0,2 М	HNO ₃	70	0,2 н.	Ca(OH) ₂
13	25	0,2 М	H ₂ SO ₄	25	0,6 н.	CsOH
14	40	0,004 М	HNO ₃	40	0,001 н.	Ca(OH) ₂
15	10	6 М	HBr	10	2 н.	NaOH
16	35	0,03 М	HNO ₃	35	0,05 М	KOH
17	50	1,0 М	HCl	50	0,095 н.	NaOH
18	20	0,1 н.	HNO ₃	20	0,1 н.	NaOH
19	19	0,1 н.	HCl	19	0,2 н.	Ca(OH) ₂
20	15	0,1 н.	H ₂ SO ₄	15	0,1 н.	NaOH
21	20	0,15 н.	HCl	20	0,075 н.	KOH
22	5	0,05 н.	HNO ₃	5	0,02 н.	Ba(OH) ₂
23	20	0,4 н.	HClO ₄	20	0,4 н.	KOH
24	30	0,2 н.	HBr	30	0,3 н.	NaOH
25	50	0,1 н.	HCl	50	6% ρ=1,07 г/мл	NaOH

3.6. Гидролиз солей

Гидролиз – реакция ионного обмена между различными веществами и водой. Процессу гидролиза подвергаются соли, углеводы, белки, эфиры, жиры и т.д.

Гидролиз соли – это взаимодействие между ионами соли и ионами воды, приводящее к образованию слабого электролита.

Гидролиз солей обусловлен взаимной электролитической диссоциацией солей и воды, а также образующихся в результате гидролиза кислот, оснований и солей. Гидролиз протекает с образованием малодиссоциированных, летучих или малорастворимых веществ. В процессе гидролиза один или оба иона незначительно диссоциирующей воды связываются ионами подвергающейся гидролизу соли, вследствие чего все новые и новые молекулы воды вовлекаются в реакцию. Гидролизу подвергаются соли, образованные:

- слабым основанием и сильной кислотой (например, NH_4Cl , $ZnSO_4$);

- сильным основанием и слабой кислотой (например, CH_3COONa , Na_2CO_3);

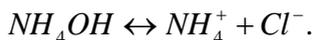
- слабым основанием и слабой кислотой (например, Fe_2S_3 ; CH_3COONH_4).

Рассмотрим три случая гидролиза.

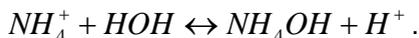
1. Соли, образованные слабым основанием и сильной кислотой, гидролизуются по катиону.

Например, соль NH_4Cl образована слабым основанием NH_4OH и сильной кислотой HCl .

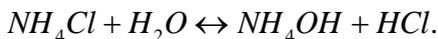
В водном растворе соль диссоциирует на катионы NH_4^+ и анионы Cl^- .



Гидролиз идет по иону слабого электролита, т.е. по катиону NH_4^+ .



Это сокращенное молекулярно-ионное уравнение данного процесса. Для составления молекулярного уравнения катионы NH_4^+ и высвобождающийся ион водорода нужно объединить с анионом сильной кислоты (Cl^-).



Накопление ионов H^+ приводит к тому, что реакция среды становится кислой, $pH < 7$.

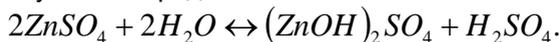
Если соль образована сильной кислотой и слабым многокислотным основанием, гидролиз протекает ступенчато. Например, соль $ZnSO_4$ образована слабым двухкислотным основанием $Zn(OH)_2$ и сильной кислотой H_2SO_4 . В водном растворе эта соль диссоциирует.



Возможны две степени гидролиза:

1 ступень. $Zn^{2+} + HOH \leftrightarrow ZnOH^+ + H^+$; $pH < 7$.

Для составления молекулярного уравнения, образовавшиеся положительно заряженные ионы ($ZnOH^+$, H^+) нужно объединить с анионами сильной кислоты (SO_4^{2-}) и составить формулы соединений с учетом зарядов ионов.



2 ступень: $ZnOH^+ + HOH \leftrightarrow Zn(OH)_2 + H^+$; $pH < 7$.

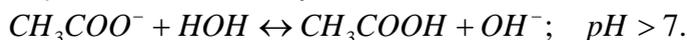


Практически (преимущественно) гидролиз идет только по первой ступени.

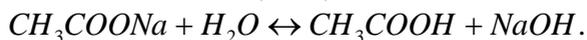
2. Соли, образованные сильным основанием и слабой кислотой, гидролизуются по аниону. Например, соль CH_3COONa образована сильным основанием $NaOH$ и слабой кислотой CH_3COOH . Ее диссоциация



Гидролиз идет по аниону

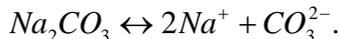


Для составления молекулярного уравнения высвобождающийся гидроксид ион (OH^-) и ион CH_3COO^- нужно объединить с катионом сильного основания (Na^+).



Накапливание ионов OH^- создает щелочную реакцию среды ($pH > 7$).

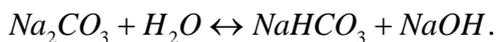
Гидролиз солей слабых многоосновных кислот протекает ступенчато. Например, соль Na_2CO_3 образована сильным основанием $NaOH$ и слабой двухосновной кислотой H_2CO_3 . Ее диссоциация



Возможны две ступени гидролиза:



Чтобы составить молекулярное уравнение нужно все отрицательно заряженные ионы объединить с катионами сильного основания (Na^+) и составить формулы соединений

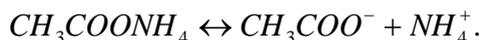


2 ступень. $HCO_3^- + HOH \leftrightarrow H_2CO_3 + OH^-$; $pH > 7$.

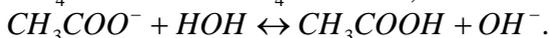
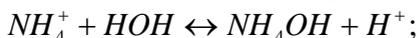


Практически (преимущественно) гидролиз идет только по первой ступени

3. Соли, образованные слабым основанием и слабой кислотой, гидролизуются и по катиону, и по аниону. Например, соль CH_3COONH_4 образована слабым основанием NH_4OH и слабой кислотой CH_3COOH . Ее диссоциация



Гидролизуют катион и анион, получим:

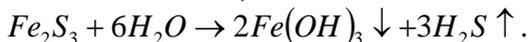


Суммируя процессы гидролиза по катиону и аниону, и учитывая, что $H^+ + OH^- \rightarrow H_2O$, получим суммарное уравнение гидролиза по катиону и по аниону

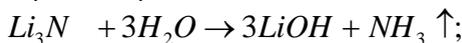


Реакция среды в этом случае близка к нейтральной, т.к. не происходит заметного накопления избытка ионов H^+ или OH^- ($pH \approx 7$).

Если кислота и основание, образующие соль, не только слабые электролиты, но и малорастворимы или неустойчивы, то гидролиз сопровождается полным разложением соли



Полному гидролизу в водных растворах подвергаются также нитриды, фосфиды, карбиды и силициды металлов:



нитрид лития

аммиак



фосфид кальция

фосфин



карбид алюминия

метан



силицид магния

силан

Соли, образованные сильным основанием и сильной кислотой, например $NaCl$, гидролизу не подвергаются, среда остается нейтральной ($pH = 7$).

3.6.1. Количественные характеристики процесса гидролиза

Количественно процесс гидролиза солей может быть охарактеризован с помощью степени гидролиза h и константы гидролиза K_z .

Степень гидролиза – это отношение числа гидролизованых молекул $N_{гидр.}$ к общему числу растворенных молекул $N_{общ.}$

$$h = \frac{N_{гидр.}}{N_{общ.}}$$

Константа гидролиза определяется из выражения константы равновесия реакции гидролиза. Например, гидролиз соли CH_3COONa :

$CH_3COO^- + H_2O \leftrightarrow CH_3COOH + OH^-$ (ионное уравнение), характеризуется константой равновесия K

$$K = \frac{[CH_3COOH] \cdot [OH^-]}{[CH_3COO^-] \cdot [H_2O]}$$

Концентрация воды в растворе практически постоянна, поэтому величину $[H_2O]$ можно объединить с K

$$K \cdot [H_2O] = \frac{[CH_3COOH] \cdot [OH^-]}{[CH_3COO^-]} = K_z \text{ – константа гидролиза.}$$

Но из ионного произведения воды $[OH^-] = \frac{K_{H_2O}}{[H^+]}$,

где K_{H_2O} – ионное произведение воды, равное

$$K_{H_2O} = [H^+] \cdot [OH^-] = 1 \cdot 10^{-14} \text{ (при } 25^\circ C), \text{ тогда}$$

$$K_z = \frac{[CH_3COOH] \cdot K_{H_2O}}{[CH_3COO^-] \cdot [H^+]} = \frac{K_{H_2O}}{K_k},$$

где K_k – константа диссоциации слабой кислоты (в данном случае уксусной кислоты).

$$K_k = \frac{[H^+] \cdot [CH_3COO^-]}{[CH_3COOH]}$$

Константа гидролиза K_z связана со степенью гидролиза h следующим уравнением:

$$K_z = \frac{C \cdot h^2}{1 - h},$$

где C – концентрация соли, моль/л.

Так как величина $h \ll 1$, то можно принять $(1 - h) \approx 1$, тогда

$$K_z = C \cdot h^2, \text{ и } h = \sqrt{\frac{K_z}{C}}.$$

Изменение pH раствора соли, происходящее в результате ее гидролиза, может быть вычислено, если известны константа гидролиза или степень гидролиза и концентрация соли. Для рассматриваемого примера имеем

$$K_z = \frac{[CH_3COOH] \cdot [OH^-]}{[CH_3COO^-]},$$

но $[CH_3COOH] = [OH^-]$ в соответствии с ионным уравнением,

$$[CH_3COO^-] = C \cdot (1 - h) \approx C, \text{ т.к. } h \ll 1, \text{ тогда } K_z = \frac{[OH^-]^2}{C};$$

$$[OH^-] = \sqrt{\frac{K_z}{C}} = \sqrt{C \cdot h^2 \cdot C} = C \cdot h, \quad pH = 14 - pOH = 14 - \lg(C \cdot h).$$

Аналогично можно вывести формулы для расчета K_z , h и pH для оставшихся двух типов гидролиза. Эти формулы приведены в табл. 2.

Таблица 2

Формулы для расчета K_z , h

Соль образована	K_z	h	Кислотность раствора, (моль/л)
Сильное основание и слабая кислота	K_{H_2O} / K_k	$\sqrt{K_z / C}$	$[OH^-] = \sqrt{K_z \cdot C} = C \cdot h$
Слабое основание и сильная кислота	K_{H_2O} / K_o	$\sqrt{K_z / C}$	$[H^+] = \sqrt{K_z \cdot C} = C \cdot h$
Слабое основание и слабая кислота	$\frac{K_{H_2O}}{K_o \cdot K_k}$	$\sqrt{K_z}$	$[H^+] = \sqrt{K_{H_2O} \frac{K_z}{K_o}}$

3.6.2. Примеры решения задач

Пример 34. Вычислить K_z , h и pH для 0,2 М раствора $ZnCl_2$, ограничиваясь только первой ступенью гидролиза.

Решение. Соль образована слабым основанием и сильной кислотой. Молекулярно-ионное уравнение гидролиза соли по 1 ступени: $Zn^{2+} + HOH \leftrightarrow ZnOH^+ + H^+$.

Для расчета значений требуемых величин воспользуемся соответствующими формулами из таблицы.

$$\text{Константа гидролиза } K_z = \frac{K_{H_2O}}{K_o} = \frac{1 \cdot 10^{-14}}{4,0 \cdot 10^{-5}} = 2,5 \cdot 10^{-10}.$$

$$K_o = K(ZnOH^+) = 4,0 \cdot 10^{-5} \text{ (2 ступень диссоциации } Zn(OH)_2 \text{)}.$$

Степень гидролиза h :

$$h = \sqrt{\frac{K_z}{C}} = \sqrt{\frac{2,5 \cdot 10^{-10}}{0,2}} = 3,5 \cdot 10^{-5}.$$

$$[H^+] = C \cdot h = 0,2 \cdot 3,5 \cdot 10^{-5} = 0,7 \cdot 10^{-5} \text{ моль / л.}$$

$$pH = -\lg [H^+] = -\lg 0,7 \cdot 10^{-5} = 5,15.$$

Контрольные задания для самостоятельной работы Задача 20

Какие из солей A (... , ... , ...) подвергаются гидролизу? Составьте для них молекулярные и ионные уравнения гидролиза, во всех случаях укажите pH среды (>7 , <7 , $=7$).

Номер варианта	Формула соли A		
1	NaClO	SnJ ₂	Rb ₂ SO ₄
2	Na ₂ HPO ₄	Pb(NO ₃) ₂	NH ₄ ClO
3	Li ₂ SO ₃	AlCl ₃	(NH ₄) ₂ CO ₃
4	Ca(HS) ₂	ZnJ ₂	Cu(CH ₃ COO) ₂
5	Ca(CN) ₂	NiSO ₄	Na ₂ CrO ₄
6	Na ₃ PO ₄	MnBr ₂	(NH ₄) ₂ S
7	Ca(CH ₃ COO) ₂	Fe ₂ (SO ₄) ₃	Al ₂ S ₃
8	Na ₂ WO ₄	Cu(NO ₃) ₂	Pb(CH ₃ COO) ₂
9	Rb ₂ S	(NH ₄) ₂ SO ₄	NaJO ₄
10	K ₂ SiO ₃	Bi(NO ₃) ₃	HCOONH ₄
11	NaNO ₃	SnCl ₂	NH ₄ VO ₃

Номер варианта	Формула соли <i>A</i>		
	12	$\text{Sr}(\text{CH}_3\text{COO})_2$	CrJ_3
13	NaVO_3	$\text{Mn}(\text{ClO}_4)_2$	$\text{Zn}(\text{CH}_3\text{COO})_2$
14	CH_3COOK	$\text{Ce}(\text{SO}_4)_2$	$(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$
15	$\text{K}_2\text{C}_2\text{O}_4$	TeBr_4	LiCl
16	NaHSO_3	MnSO_4	$\text{Fe}(\text{CH}_3\text{COO})_3$
17	KCN	CuCl_2	NaClO_4
18	KHSO_3	CoSO_4	HCOONa
19	Na_2SiO_3	NH_4NO_3	$\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$
20	KReO_4	FeCl_3	$\text{Al}(\text{CH}_3\text{COO})_3$
21	NaCN	$\text{Zn}(\text{NO}_3)_2$	$\text{Mg}(\text{CH}_3\text{COO})_2$
22	NaF	$\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$	NH_4HCO_3
23	$\text{Ba}(\text{CH}_3\text{COO})_2$	$\text{Be}(\text{NO}_3)_2$	KBr
24	Na_2HAsO_4	SbCl_3	NH_4CN
25	$\text{Ba}(\text{NO}_2)_2$	$(\text{NH}_4)_2\text{CrO}_4$	CaCl_2

Задача 21

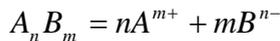
Составьте ионно-молекулярные и молекулярные уравнения гидролиза соли *B* (...). Рассчитайте константу гидролиза, степень гидролиза и *pH* ... *M* раствора этой соли. Расчет произведите, учитывая только первую степень гидролиза. Значения констант диссоциации кислот и оснований представлены в приложении 3.

Номер варианта	Формула соли <i>B</i>	Молярная концентрация раствора соли <i>B</i>
1	$\text{C}_6\text{H}_5\text{COONa}$	0,05
2	NH_4CN	0,1
3	KCN	0,0004
4	Na_2CO_3	0,02
5	$\text{C}_6\text{H}_5\text{COOK}$	0,03
6	NH_4J	0,01
7	Na_3PO_4	0,3
8	K_2SO_3	0,02
9	HCOOK	0,1
10	CH_3COONa	0,001
11	$\text{CH}_3\text{COONH}_4$	0,01
12	K_2SiO_3	0,0001
13	NaCN	0,04
14	NaHCO_3	0,25

Номер варианта	Формула соли B	Молярная концентрация раствора соли B
15	LiNO_3	0,01
16	AlCl_3	0,0004
17	BeSO_4	0,0025
18	$\text{Ni}(\text{NO}_3)_2$	0,36
19	$\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$	0,0001
20	$\text{Zn}(\text{NO}_3)_2$	0,5
21	Na_3AsO_4	0,1
22	Na_2MoO_4	0,01
23	$(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$	0,15
24	$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$	0,25
25	Li_2S	0,005

3.7. Произведение растворимости

В насыщенном растворе малорастворимого электролита непрерывно протекают два противоположно направленных процесса: растворение осадка и кристаллизация. В определенный момент времени устанавливается гетерогенное равновесие между твердой фазой и водным раствором, при этом скорость растворения осадка равна скорости кристаллизации. Так, для насыщенного раствора электролита A_nB_m ,



Поскольку этот процесс гетерогенный, т.е. протекает на поверхности осадка, то константа равновесия этого процесса будет определяться только произведением концентраций ионов. В насыщенном растворе произведение молярных концентраций ионов малорастворимого электролита, взятых в степенях, равных их стехиометрическим коэффициентам, есть величина постоянная при данной температуре и называется произведением растворимости (PP).

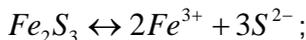
$$PP(A_nB_m) = [A^{m+}]^n \cdot [B^{n-}]^m$$

где $[A^{m+}]$ – концентрация катиона, моль/л;

$[B^{n-}]$ – концентрация аниона, моль/л;

n и m – стехиометрические коэффициенты.

Например, для малорастворимого электролита Fe_2S_3



$$PP(Fe_2S_3) = [Fe^{3+}]^2 \cdot [S^{2-}]^3.$$

PP зависит от природы растворителя и растворенного вещества, от температуры, и не зависит от концентрации ионов в растворе. Произведение растворимости и растворимость являются характеристиками малорастворимого вещества.

Растворимость – концентрация насыщенного раствора электролита, выражается в моль/л, г/л, г/100 г H_2O . Молярная растворимость (S) совпадает с молярной концентрацией насыщенного раствора и связана с PP .

$$PP(A_n B_m) = [A^{m+}]^n \cdot [B^{n-}]^m = \\ (mS)^n \cdot (nS)^m = m^n \cdot n^m \cdot S^{n+m}.$$

Для двухионных электролитов типа $BaSO_4$, $AgCl$ ($m=1$, $n=1$).

$$PP(BaSO_4) = [Ba^{2+}] \cdot [SO_4^{2-}] = S^2.$$

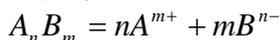
Для трехионных электролитов типа CaF_2 , Ag_2S ($m=1$, $n=2$ или $m=2$, $n=1$).



$$PP(CaF_2) = [Ca^{2+}] \cdot [F^{-}]^2 = S \cdot 2S^2 = 4S^3.$$

По известной растворимости вещества можно найти значение PP и наоборот.

Зная концентрации ионов малорастворимого электролита в растворе, можно рассчитать, выпадет ли в данном случае осадок. Если при смешивании двух растворов, содержащих ионы малорастворимого электролита, оказывается, что произведение фактических концентраций ионов (PK) меньше PP этого малорастворимого электролита, то осадок не образуется. Если PK больше PP , то в таком растворе образуется осадок.



$$PK(A_n B_m) = (C_{A^{m+}})^n \cdot (C_{B^{n-}})^m$$

Таким образом:

$PK > PP$ – условие образования осадка;

$PK < PP$ – условие растворения осадка.

Вычисление произведения растворимости малорастворимого электролита

Пример 35. Растворимость оксалата серебра равна $3,27 \cdot 10^{-3}$ г/100 г H_2O . Определите произведение растворимости $Ag_2C_2O_4$.

Решение. Молярная масса $Ag_2C_2O_4$ равна

$$M(Ag_2C_2O_4) = 304 \text{ г/моль.}$$

Для перехода растворимости, выраженной в г/100 г H_2O , к молярной концентрации, можно принять объем насыщенного раствора ≈ 100 мл, учитывая малую растворимость электролита в H_2O .

Молярная растворимость $Ag_2C_2O_4$ равна

$$S = \frac{3,27 \cdot 10^{-3} \cdot 1000}{304 \cdot 100} = 1,076 \cdot 10^{-4} \text{ моль / л}$$

В насыщенном растворе оксалата серебра устанавливается гетерогенное равновесие



из которого следует, что при диссоциации 1 моль $Ag_2C_2O_4$ образуется 2 моль ионов Ag^+ и 1 моль ионов $C_2O_4^{2-}$. Равновесные молярные концентрации ионов будут равны

$$[Ag^+] = 1,076 \cdot 10^{-4} \cdot 2 = 2,15 \cdot 10^{-4} \text{ моль/л;}$$

$$[C_2O_4^{2-}] = 1,076 \cdot 10^{-4} \text{ моль/л.}$$

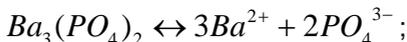
$$\text{Тогда } PP(Ag_2C_2O_4) = [Ag^+]^2 \cdot [C_2O_4^{2-}];$$

$$PP(Ag_2C_2O_4) = (2,15 \cdot 10^{-4})^2 \cdot 1,076 \cdot 10^{-4} = 5 \cdot 10^{-12}.$$

Вычисление растворимости и концентрации ионов малорастворимого электролита в его насыщенном растворе

Пример 36. Произведение растворимости фосфата бария равно $6 \cdot 10^{-39}$. Вычислить растворимость (моль/л и г/л) и концентрации ионов в его насыщенном водном растворе.

Решение. Гетерогенное равновесие в насыщенном растворе $Ba_3(PO_4)_2$



$$PP(Ba_3(PO_4)_2) = [Ba^{2+}]^3 \cdot [PO_4^{3-}]^2.$$

Обозначим концентрацию насыщенного раствора $Ba_3(PO_4)_2$ через S моль/л. Концентрация ионов в растворе пропорциональна молярной концентрации малорастворимого электролита и числу ионов, полученных при диссоциации молекулы. Тогда

$$\begin{aligned} [Ba^{2+}] &= 3S \text{ моль/л;} \\ [PO_4^{3-}] &= 2S \text{ моль/л.} \end{aligned}$$

Подставим эти величины в выражение $PP(Ba_3(PO_4)_2)$.

$$\begin{aligned} PP(Ba_3(PO_4)_2) &= (3S)^3 \cdot (2S)^2; \\ 6 \cdot 10^{-39} &= 108 S^5. \end{aligned}$$

Решая уравнение относительно S , получим

$$S = 0,89 \cdot 10^{-8} \text{ моль/л.}$$

Концентрации ионов равны

$$\begin{aligned} [Ba^{2+}] &= 3 \cdot 0,89 \cdot 10^{-8} = 2,7 \cdot 10^{-8} \text{ моль/л;} \\ [PO_4^{3-}] &= 2 \cdot 0,89 \cdot 10^{-8} = 1,8 \cdot 10^{-8} \text{ моль/л.} \end{aligned}$$

Молярная растворимость $Ba_3(PO_4)_2$ равна $0,89 \cdot 10^{-8}$ моль/л.

Чтобы от молярной растворимости перейти к растворимости в г/л, необходимо молярную растворимость умножить на молярную массу вещества.

$$M(Ba_3(PO_4)_2) = 310 \text{ г/моль.}$$

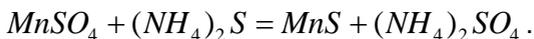
Растворимость в г/л равна $310 \cdot 0,89 \cdot 10^{-8} = 2,76 \cdot 10^{-6}$ г/л.

Ответ: $0,89 \cdot 10^{-8}$ моль/л; $2,76 \cdot 10^{-6}$ г/л.

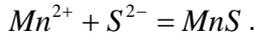
Вычисление возможности образования осадка

Пример 37. Произведение растворимости сульфида марганца(II) равно $5,6 \cdot 10^{-16}$. Выпадет ли осадок при смешивании 4 мл 0,04 н. $MnSO_4$ и 6 мл 0,01 М $(NH_4)_2S$?

Решение. Молекулярное уравнение реакции



Ионно-молекулярное уравнение реакции



Для определения условия образования осадка необходимо рассчитать *ПК*.

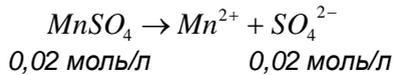
$$ПК(MnS) = [Mn^{2+}] \cdot [S^{2-}].$$

Для определения концентраций ионов Mn^{2+} нужно перевести молярную концентрацию эквивалента $MnSO_4$ в молярную.

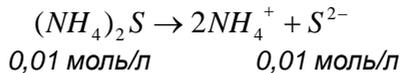
$$C(MnSO_4) = C_{\text{экв}}(MnSO_4) \cdot f_{\text{экв}}(MnSO_4),$$

$$C(MnSO_4) = 0,04 \cdot 1 / 2 = 0,02 \text{ моль / л.}$$

Определим концентрации ионов до сливания растворов.



$$[Mn^{2+}] = 0,02 \text{ моль/л.}$$



$$[S^{2-}] = 0,01 \text{ моль/л.}$$

При смешивании растворов $MnSO_4$ и $(NH_4)_2S$ объем смеси стал 10 мл.

Концентрации ионов после смешивания растворов

$$[Mn^{2+}] = (0,02 \cdot 4) / 10 = 0,008 \text{ моль/л.}$$

$$[S^{2-}] = (0,01 \cdot 6) / 10 = 0,006 \text{ моль/л.}$$

$$ПК(MnS) = [Mn^{2+}] \cdot [S^{2-}] = 0,008 \cdot 0,006 = 4,8 \cdot 10^{-5}.$$

Сравниваем *ПК* с *ПП*.

$$4,8 \cdot 10^{-5} > 5,6 \cdot 10^{-16}, \text{ т.е. } ПК > ПП.$$

Следовательно, при сливании 4 мл 0,04 н. раствора $MnSO_4$ и 6 мл 0,01 М раствора $(NH_4)_2S$ образуется осадок MnS .

Исходные данные и результаты расчета заносим в таблицу.

Ионы	Концентрация до сливания растворов, моль/л	Концентрация после сливания растворов, моль/л	$ПК = [Mn^{2+}] \cdot [S^{2-}]$
$[Mn^{2+}]$	0,02	$(0,02 \cdot 4) / 10 = 0,008$	$ПК = 0,008 \cdot 0,006 = 4,8 \cdot 10^{-5}$
$[S^{2-}]$	0,01	$(0,01 \cdot 6) / 10 = 0,006$	$4,8 \cdot 10^{-5} > 5,6 \cdot 10^{-16}$

Контрольные задания для самостоятельной работы

Задача 22

22.1. При комнатной температуре растворимость фосфата кальция $Ca_3(PO_4)_2$ равна $1,7 \cdot 10^{-3}$ г/л. Чему равно произведение растворимости этой соли при той же температуре?

22.2. Растворимость иодида свинца (II) при $25^\circ C$ равна $6,5 \cdot 10^{-4}$ моль/л. Рассчитайте произведение растворимости иодида свинца (II).

22.3. Вычислите произведение растворимости хромата серебра Ag_2CrO_4 , если в 500 мл воды растворяется 0,011 г Ag_2CrO_4 при $25^\circ C$.

22.4. Рассчитайте произведение растворимости карбоната серебра Ag_2CO_3 в насыщенном растворе при $25^\circ C$, если массовая доля этой соли равна 0,0086% (плотность раствора принять равной 1 г/мл).

22.5. Найдите значение произведения растворимости карбоната магния $MgCO_3$, если растворимость $MgCO_3$ при $25^\circ C$ равна $6,67 \cdot 10^{-2}$ г/л.

22.6. В 1 л насыщенного раствора фосфата свинца $Pb_3(PO_4)_2$ при $25^\circ C$ содержится $1,2 \cdot 10^{-6}$ г растворенной соли. Вычислите произведение растворимости соли.

22.7. В 100 мл насыщенного раствора иодида свинца содержится при $20^\circ C$ 0,0268 г свинца в виде ионов. Вычислите произведение растворимости иодида свинца (II).

22.8. Растворимость сульфида мышьяка (III) при $25^\circ C$ равна $8,1 \cdot 10^{-7}$ моль/л. Вычислите произведение растворимости As_2S_3 .

22.9. В 500 мл насыщенного раствора фторида свинца при $22^\circ C$ содержится 0,245 г растворенного вещества. Вычислите произведение растворимости PbF_2 .

22.10. Концентрация ионов Fe^{2+} в насыщенном растворе FeS при $25^\circ C$ равна $6 \cdot 10^{-10}$ моль/л. Вычислите произведение растворимости FeS .

22.11. Насыщенный раствор $AgIO_3$ объемом 3 л при $25^\circ C$ содержит в виде ионов 0,176 г серебра. Вычислите произведение растворимости иодата серебра.

22.12. В 100 мл воды при 25°C растворяется $8,78 \cdot 10^{-3}$ г пирофосфата бария. Вычислите произведение растворимости $\text{Ba}_2\text{P}_2\text{O}_7$.

22.13. Найдите произведение растворимости, зная, что концентрация гидроксида кобальта (II) $\text{Co}(\text{OH})_2$ при 18°C равна $0,4 \cdot 10^{-5}$ моль/л.

22.14. Чему равно произведение растворимости бромида свинца, если растворимость при 25°C PbBr_2 равна $0,427$ г?

22.15. Рассчитайте произведение растворимости вольфрамата серебра, если массовая доля Ag_2WO_4 в насыщенном растворе при 22°C равна $0,00012$ (плотность раствора принять равной 1 г/мл).

22.16. Определите произведение растворимости фторида магния, если растворимость в воде при 25°C MgF_2 равна $0,001$ моль/л.

22.17. Растворимость гидроксида железа (III) при 22°C равна $1,9 \cdot 10^{-10}$ моль/л. Вычислите произведение растворимости $\text{Fe}(\text{OH})_3$.

22.18. Растворимость фосфата серебра в воде при 20°C равна $0,0065$ г/л. Рассчитайте произведение растворимости Ag_3PO_4 .

22.19. В 200 мл воды при 22°C растворяется $0,35$ г AgBrO_3 . Определите произведение растворимости этой соли.

22.20. Рассчитайте произведение растворимости гидроксида железа (II), если растворимость $\text{Fe}(\text{OH})_2$ при 18°C равна $0,5 \cdot 10^{-5}$ моль/л.

22.21. Концентрация ионов Sr^{2+} в насыщенном растворе при 22°C равна $5,9 \cdot 10^{-3}$ моль/л. Вычислите произведение растворимости сульфата стронция.

22.22. В 6 л насыщенного раствора сульфата свинца содержится при 20°C в виде ионов $0,186$ г свинца. Вычислите произведение растворимости PbSO_4 .

22.23. Растворимость хлорида свинца при 22°C равна $10,58$ г/л. Вычислите произведение растворимости PbCl_2 .

22.24. Растворимость бромида серебра при 20°C равна

$1 \cdot 10^{-5}$ г/100 г H_2O . Определите произведение растворимости $AgBr$.

22.25. Чему равно произведение растворимости гидроксида цинка $Zn(OH)_2$, если при $22^\circ C$ его растворимость равна $2,2 \cdot 10^{-5}$ г/100 г H_2O .

Задача 23

23.1. Произведение растворимости сульфата бария равно $1,1 \cdot 10^{-10}$ при $25^\circ C$. Вычислите растворимость $BaSO_4$ в моль/л и г/л.

23.2. Произведение растворимости сульфата кальция составляет $9,1 \cdot 10^{-6}$ при $22^\circ C$. Рассчитайте растворимость $CaSO_4$ в моль/л. Сколько граммов кальция в виде ионов содержится в 300 мл насыщенного раствора?

23.3. При $25^\circ C$ произведение растворимости фосфата свинца $Pb_3(PO_4)_2$ равно $1,5 \cdot 10^{-32}$. Каковы растворимость этой соли в г/л и молярная концентрация ионов соли в насыщенном растворе?

23.4. При $25^\circ C$ произведение растворимости сульфида меди (I) равно $2 \cdot 10^{-47}$. Рассчитайте растворимость Cu_2S в моль/л, г/л и концентрацию ионов Cu^+ .

23.5. При комнатной температуре произведение растворимости гидроксида никеля (II) равно $1,6 \cdot 10^{-14}$. Какова растворимость $Ni(OH)_2$ в моль/л?

23.6. Вычислите концентрации ионов в моль/л и г/л и молярную растворимость гидроксида магния в насыщенном растворе, если произведение растворимости $Mg(OH)_2$ при $25^\circ C$ равно $3,2 \cdot 10^{-11}$.

23.7. Произведение растворимости карбоната кальция при $20^\circ C$ равно $4,8 \cdot 10^{-9}$. Рассчитайте растворимость $CaCO_3$ в моль/л и концентрации ионов в моль/л и г/л.

23.8. Вычислите растворимость карбоната серебра Ag_2CO_3 в насыщенном растворе, если его произведение растворимости при $25^\circ C$ равно $5,0 \cdot 10^{-12}$. Сколько граммов серебра в виде ионов содержится в 500 мл насыщенного раствора?

23.9. Произведение растворимости хлорида серебра при $100^\circ C$

равно $1,4 \cdot 10^{-4}$. Найдите растворимость $AgCl$ в кипящей воде в *моль/л*.

23.10. В насыщенном растворе фосфата магния объемом 10 л содержится 3 г $Mg_3(PO_4)_2$. Вычислите растворимость и концентрации ионов соли в *моль/л*.

23.11. Чему равны концентрация ионов Pb^{2+} и SO_4^{2-} в насыщенном растворе сульфата свинца и его растворимость, выраженная в *моль/л* и *г/л*? Произведение растворимости $PbSO_4$ при $25^\circ C$ равно $2,2 \cdot 10^{-8}$.

23.12. Концентрация йодид-ионов в насыщенном растворе иодида свинца (II) равна $1,3 \cdot 10^{-3}$ *моль/л*. Определите растворимость в *моль/л* и *г/л* и концентрацию Pb^{2+} в этом растворе.

23.13. Произведение растворимости Ag_3AsO_4 составляет $1 \cdot 10^{-22}$. В каком объеме насыщенного раствора содержится 6,4 мг этой соли?

23.14. Вычислите растворимость фосфата серебра в *моль/л* и *г/л*. Произведение растворимости Ag_3PO_4 при $25^\circ C$ равно $1,8 \cdot 10^{-18}$.

23.15. Вычислите растворимость AgI в *моль/л* и *г/л* и концентрации ионов. Произведение растворимости иодида серебра равно $8,3 \cdot 10^{-17}$.

23.16. Произведение растворимости фторида свинца PbF_2 при $18^\circ C$ равно $3,2 \cdot 10^{-8}$. Сколько граммов свинца в виде ионов содержится в 400 мл насыщенного раствора?

23.17. Рассчитайте концентрации ионов Ca^{2+} и PO_4^{3-} в насыщенном растворе $Ca_3(PO_4)_2$ при $25^\circ C$, если произведение растворимости при этой температуре равно $1 \cdot 10^{-25}$.

23.18. При $15^\circ C$ произведение растворимости иодида свинца (II) равно $8,7 \cdot 10^{-9}$. Вычислите концентрации ионов Pb^{2+} и I^- в насыщенном растворе иодида свинца (II).

23.19. Вычислите концентрации ионов в *моль/л* и *г/л* и растворимость CaF_2 в *моль/л* в насыщенном растворе. Произведение растворимости CaF_2 при $21^\circ C$ равно $3,2 \cdot 10^{-11}$.

23.20. Рассчитайте равновесную молярную концентрацию ио-

нов Ag^+ в насыщенном растворе Ag_2CrO_4 при $25^\circ C$. Произведение растворимости хромата серебра равно $1,2 \cdot 10^{-12}$.

23.21. Произведение растворимости $AgCl$ равно $1,6 \cdot 10^{-10}$. Вычислить концентрацию насыщенного раствора $AgCl$ в моль/л и г/л.

23.22. Вычислите концентрации ионов в моль/л и г/л и молярную растворимость $BaCO_3$ в насыщенном растворе. Произведение растворимости $BaCO_3$ при $21^\circ C$ равно $1,9 \cdot 10^{-9}$.

23.23. Вычислите концентрацию ионов Cd^{2+} в насыщенном водном растворе карбоната кадмия $CdCO_3$, если произведение растворимости $CdCO_3$ при $25^\circ C$ равно $2,5 \cdot 10^{-14}$.

23.24. Рассчитайте концентрации ионов Mn^{2+} и S^{2-} в насыщенном растворе MnS при $25^\circ C$, если произведение растворимости при этой температуре равно $1,1 \cdot 10^{-15}$.

23.25. Произведение растворимости $AgCl$ равно $1,6 \cdot 10^{-10}$. Вычислить концентрацию насыщенного раствора $AgCl$ в моль/л и г/л.

Задача 24

Образуется ли осадок при сливании растворов A и B с указанными объемами и концентрациями.

Вариант	Раствор A	Раствор B	Осадок	IP
1	10 мл 0,01 н. $CuSO_4$	15 мл 0,02 н. Na_2S	CuS	$4 \cdot 10^{-38}$
2	6 мл 0,04 н. $LaCl_3$	9 мл 0,04 н. KOH	$La(OH)_3$	$5 \cdot 10^{-21}$
3	10 мл 0,01 М $CaCl_2$	5 мл 0,1 н. K_2CrO_4	$CaCrO_4$	$2,3 \cdot 10^{-2}$
4	10 мл 0,005 М $BaCl_2$	6 мл 0,1 н. Na_2SO_4	$BaSO_4$	$1,1 \cdot 10^{-10}$
5	50 мл 0,01 н. $Pb(NO_3)_2$	30 мл 0,001 М H_2SO_4	$PbSO_4$	$2,2 \cdot 10^{-8}$
6	15 мл 0,01 н. $Ca(NO_3)_2$	5 мл 0,2 н. $(NH_4)_2CO_3$	$CaCO_3$	$4,4 \cdot 10^{-9}$
7	10 мл 0,1 н. $MgSO_4$	2 мл 0,02 н. $NaOH$	$Mg(OH)_2$	$1,9 \cdot 10^{-12}$
8	15 мл 0,05 н. $Pb(NO_3)_2$	5 мл 0,04 М HCl	$PbCl_2$	$1,7 \cdot 10^{-5}$
9	6 мл 0,002 н. $CuSO_4$	6 мл 0,001 М $NaOH$	$Cu(OH)_2$	$5,6 \cdot 10^{-20}$
10	20 мл 0,05 н. $CaCl_2$	10 мл 0,005 М Na_2CO_3	$CaCO_3$	$4,8 \cdot 10^{-9}$

Окончание таблицы

Вариант	Раствор А	Раствор В	Осадок	ИП
11	2 мл 0,08 М AgNO ₃	6 мл 0,02 М K ₂ CO ₃	Ag ₂ CO ₃	5·10 ⁻¹²
12	5 мл 0,006 М FeCl ₂	2 мл 0,004 М NaOH	Fe(OH) ₂	7,9·10 ⁻¹⁶
13	3 мл 0,01 н. SrCl ₂	3 мл 0,01 М K ₂ SO ₄	SrSO ₄	2,1·10 ⁻⁷
14	15 мл 0,004н. Mg(NO ₃) ₂	10 мл 0,0006 н. Na ₂ S	MgS	2·10 ⁻¹⁵
15	50 мл 0,1н. Cd(NO ₃) ₂	40 мл 0,01 М Na ₂ S	CdS	7,1·10 ⁻²³
16	10 мл 0,05 М AgNO ₃	5 мл 0,0005 н. K ₂ Cr ₂ O ₇	Ag ₂ Cr ₂ O ₇	2·10 ⁻⁷
17	5 мл 0,003 М Pb(NO ₃) ₂	5 мл 0,003 н. K ₂ C ₂ O ₄	PbC ₂ O ₄	7,3·10 ⁻⁴
18	15 мл 0,004н. CdCl ₂	6 мл 0,002 М NaOH	Cd(OH) ₂	4,3·10 ⁻¹⁵
19	2 мл 0,05н. ZnSO ₄	4 мл 0,005 М Na ₂ S	ZnS	7,9·10 ⁻²⁴
20	6 мл 0,002 М MnSO ₄	2 мл 0,001 М NaOH	Mn(OH) ₂	2,3·10 ⁻¹³
21	1 мл 0,003 н. CaCl ₂	1 мл 0,005 н. Na ₃ PO ₄	Ca ₃ (PO ₄) ₂	1·10 ⁻²⁵
22	2 мл 0,001н. AgNO ₃	5 мл 0,01 н. K ₃ PO ₄	Ag ₃ PO ₄	1,8·10 ⁻¹⁸
23	5 мл 0,0002 н. CoCl ₂	5 мл 0,0001 М NaOH	Co(OH) ₂	1,6·10 ⁻¹⁵
24	10 мл 0,0023 М AgNO ₃	15 мл 0,0023 н. KBr	AgBr	5·10 ⁻¹³
25	2 мл 0,005 н. NiCl ₂	8 мл 0,0001 М NaOH	Ni(OH) ₂	1,4·10 ⁻⁸

4. КОМПЛЕКСНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ

Комплексные соединения – соединения высшего порядка, образующиеся в результате координации ионов или нейтральных молекул атомом или ионом химического элемента.

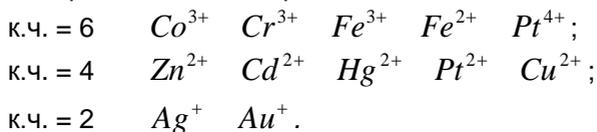
4.1. Основные положения координационной теории

Комплексные соединения имеют центральное строение. Центром любого комплексного соединения является центральный атом или комплексообразователь. Как правило, в роли центрального атома выступают катионы металлов, обычно d-элементов, реже p-элементов.

Вокруг центрального атома-комплексообразователя – координированы анионы или нейтральные молекулы, которые называются лигандами: простые анионы: F⁻, Cl⁻, Br⁻, I⁻, S²⁻; сложные

анионы: циан – CN^- , тиоциан – SCN^- , нитрит – NO_2^- , оксалат – $C_2O_4^{2-}$, карбонат – CO_3^{2-} , сульфат – SO_4^{2-} , тиосульфат – $S_2O_3^{2-}$ и др., нейтральные полярные молекулы аква – H_2O , аммин– NH_3 , гидразин– N_2H_4 , пиридин – C_5H_5N , этилендиамин (En) – $NH_2CH_2CH_2NH_2$ и др.

Количество связей, которые центральный атом может образовать с лигандами, называется координационным числом (к.ч.). Наиболее часто встречающиеся значения координационных чисел для некоторых комплексообразователей:



Центральный атом вместе с лигандами образуют внутреннюю координационную сферу комплексного соединения, которая заключается в квадратные скобки. Заряд внутренней сферы равен алгебраической сумме зарядов комплексообразователя и всех лигандов.

Ионы, которые не входят в состав внутренней сферы, образуют внешнюю координационную сферу. Заряд внешней координационной сферы или комплексного иона нейтрализует заряд внутренней сферы.

Число связей, которые образует лиганд с комплексообразователем, называется дентатностью. Если лиганд образует одну связь с центральным атомом, то он называется монодентатным (однозарядные анионы и нейтральные молекулы). Если лиганд образует несколько связей – то полидентатным (например, дидентатные $C_2O_4^{2-}$, SO_4^{2-}).

Во внутренней сфере сначала пишут комплексообразователь, затем нейтральные лиганды – молекулы, затем отрицательные лиганды – анионы.

Например, в молекуле $K_3[AlF_6]$:

Al^{3+} – комплексообразователь;

F^- – лиганды,

6 – координационное число;

$[AlF_6]^-$ – внутренняя сфера;

K^+ – ионы внешней сферы.

4.2. Номенклатура комплексных соединений

В настоящее время принята рациональная номенклатура, основанная на рекомендациях Международного союза по чистой и прикладной химии (ИЮПАК).

При составлении названий комплексных соединений вначале указывается анион в именительном падеже, а затем в родительном падеже – катион. Называя комплексные соединения, перечисляют все его составные части справа налево: первыми называют все лиганды и последним комплексообразователь. Число лигандов обозначают греческими приставками (ди-, три-, тетра-, пента-, гекса- и т.д.). Название внутренней сферы пишется одним словом.

Если лиганды – нейтральные молекулы, то они называются следующим образом: H_2O – аква, NH_3 – аммин, CO – карбонил, NO – нитрозил. Если лиганды – анионы, то к их названию добавляется окончание «о»: Cl^- – хлоро, F^- – фторо, OH^- – гидроксо, CN^- – циано, $C_2O_4^{2-}$ – оксалато и др.

В комплексных анионах к латинскому названию комплексообразователя добавляется суффикс «ат»: Al – алюминат, Fe – феррат, Cu – купрат, Ag – аргентат, Hg – меркурат и др. В скобках римской цифрой указывается степень окисления центрального атома. Например, $K_3[Fe(CN)_6]$ – гексацианоферрат (III) калия, $[Fe(NH_3)_6]Cl_3$ – хлорид гексаамминжелеза (III).

В случае нейтральных комплексных соединений название строится в именительном падеже и степень окисления комплексообразователя не указывается. Например, $[Ni(CO)_4]$ – тетракарбонилникель.

4.3. Природа химической связи в комплексных соединениях

Установлено, что связи между центральным атомом и лигандами преимущественно ковалентные, а механизм их образования – донорно-акцепторный. Лиганды должны иметь неподеленные электронные пары и выступают в роли доноров. В электронных оболочках комплексообразователя должны быть вакантные орбитали, и он является акцептором электронов.

Большинство лигандов предоставляет одну электронную пару и число координированных лигандов, т.е. координационное число

комплексообразователя зависит от числа свободных электронных орбиталей. Связь между внутренней и внешней сферами преимущественно ионная.

4.4. Классификация комплексных соединений

С точки зрения электролитической диссоциации комплексные соединения делят на электролиты ($[Co(NH_3)_6]Cl_3$, $K_3[Fe(CN)_6]$) и неэлектролиты ($[Fe(CO)_5]$).

Электролиты бывают двух типов:

- катионного типа – $[Cu(NH_3)_4]SO_4$;
- анионного типа – $Na[Al(OH)_4]$.

По химическим свойствам различают следующие классы комплексных соединений:

- Основания – $[Cu(NH_3)_4](OH)_2$.
- Кислоты – $H_2[HgI_4]$.
- Соли – $[Ni(NH_3)_6]Cl_3$.

По современной номенклатуре комплексные соединения по типу лигандов делят на следующие классы:

1. Комплексные соединения, содержащие монодентатные лиганды:

- аквакомплексы (лиганды – H_2O) – $[Cr(H_2O)_6]Cl_3$;
- аммиакаты (лиганды – NH_3) – $[Co(NH_3)_6]Cl_3$;
- карбонилы (лиганды – CO) – $[Ni(CO)_6]$.

2. Комплексные соединения, содержащие в качестве лигандов анионы:

- ацидокомплексы (лиганды – кислотные остатки) – $K_2[HgI_4]$;
- гидроксокомплексы (лиганды – OH^-) – $Na[Al(OH)_4]$.

3. Комплексные соединения, содержащие полидентатные лиганды, которые образуют циклы с комплексообразователем,



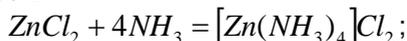
4. Комплексные соединения смешанного типа
 $[Pt(OH)_2(NH_3)_4]SO_4$.

5. Полиядерные комплексные соединения содержат несколько комплексообразователей $[(NH_3)_5 - Cr - O - Cr - (NH_3)_5]Cl_4$.

4.5. Образование комплексных соединений

Образование комплексных соединений в реакциях обмена:

1) из растворов веществ



2) из малорастворимых веществ



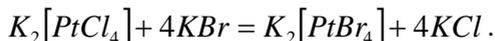
Действием избытка комплексообразующего реагента на катион комплексообразователя



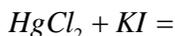
При взаимодействии щелочей с амфотерными основаниями образуются гидроксокомплексы



Для получения комплексных соединений часто используют реакции замещения



Порядок составления уравнений реакций комплексообразования на примере реакции



1) записать комплексообразователь Hg – и указать его степень окисления Hg^{2+} ;

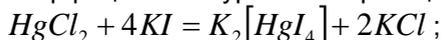
2) приписать лиганды – ионы I^- – из формулы другого вещества – KI – в количестве, равном *К.Ч.* комплексообразователя $К.Ч.(Hg^{2+}) = 4$;

3) заключив в квадратные скобки комплексообразователь и лиганды $[HgI_4]^{2-}$, определить заряд внутренней сферы комплексного соединения;

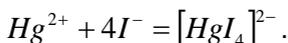
4) добавить ионы внешней сферы – ионы K^+ – с зарядом, противоположным заряду внутренней сферы в количестве, нейтрализующем заряд внутренней сферы (сумма степеней окисления всех частиц соединения равна нулю) – $K_2[HgI_4]$;

5) написать формулу второго продукта реакции KCl ;

6) расставить коэффициенты в уравнении реакции



7) ионное уравнение реакции образования тетраиодомеркурата (2) калия:



Константа равновесия реакции образования комплекса называется константой устойчивости $K_{\text{уст}}$.

$$K_{\text{уст}} = \frac{[\text{HgI}_4]^{2-}}{[\text{Hg}^{2+}] \cdot [\text{I}^-]^4}.$$

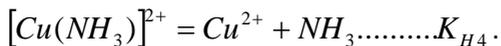
Константа устойчивости характеризует устойчивость комплекса: чем больше константа устойчивости, тем устойчивее комплекс.

4.6. Диссоциация комплексных соединений

Диссоциация комплексных соединений при их растворении в воде протекает в две стадии. На первой стадии комплексные кислоты, основания и соли как сильные электролиты полностью распадаются на ионы внутренней и внешней сферы



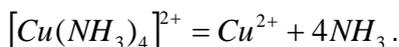
На второй стадии комплексные ионы (внутренняя координационная сфера) диссоциируют частично и обратимо по типу слабых электролитов. Число ступеней диссоциации равно координационному числу.



Каждой ступени диссоциации соответствует константа диссоциации, которая называется ступенчатой константой нестойкости. Произведение ступенчатых констант нестойкости также является константой и называется общей константой нестойкости

$$K_H = K_{H1} \cdot K_{H2} \cdot K_{H3} \cdot K_{H4}.$$

Для иона $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]^{2+}$ суммарное уравнение диссоциации



Общая константа нестойкости

$$K_{\mu} = \frac{[Cu^{2+}] \cdot [NH_3^-]^4}{[Cu(NH_3)_4]^{2+}}$$

Константа нестойкости характеризует устойчивость комплексного иона: чем меньше константа нестойкости, тем прочнее комплексный ион.

4.7. Примеры решения задач

Пример 38. Определить заряд комплексного иона, координационное число и степень окисления комплексообразователя в соединении $[Pt(NH_3)_3NO_2]Cl$.

Решение. Внешняя сфера комплексного соединения $[Pt(NH_3)_3NO_2]Cl$ состоит из одного аниона (Cl^-), следовательно, ее общий заряд составляет (1-). Отсюда следует, что заряд комплексного катиона равен (1+), т.е. $[Pt(NH_3)_3NO_2]^+$. Координационное число равно числу лигандов, т.е. $3(NH_3) + 1(NO_2^-) = 4$.

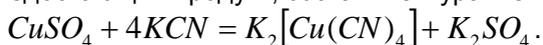
Степень окисления комплексообразователя определяется исходя из того, что сумма степеней окисления всех составных частиц комплексного иона равна его заряду. Заряд нейтральных молекул (NH_3) равен нулю, а заряд кислотного остатка (NO_2^-) равен (1-). Обозначив степень окисления платины через x , приравняем сумму степеней окисления частиц заряду иона.

$$x + 3 \cdot 0 + 1 \cdot (1-) = (1-), \text{ откуда } x = 2+.$$

Пример 39. Закончить уравнение реакции образования комплексной соли $CuSO_4 + KCN = \dots$. Написать уравнение диссоциации соли и выражение константы нестойкости комплексного иона.

Решение. Комплексообразователем может служить ион меди (переходный элемент), его заряд равен 2+ (находим по формуле из исходной соли).

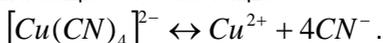
Лигандами являются цианид-ионы CN^- . Координационное число меди равно 4 (вдвое больше заряда комплексообразователя). Составляем внутреннюю сферу комплекса и определяем ее заряд $[Cu(CN)_4]^{2-}$. Внешней сферой должны быть положительные ионы, в данном случае – два иона калия, т.е. $K_2[Cu(CN)_4]$. Дописывая недостающий продукт, составляем уравнение реакции



Растворимая комплексная соль, являясь сильным электролитом, в водном растворе диссоциирует необратимо на ионы внешней и внутренней сфер.



Комплексный ион диссоциирует обратимо и в незначительной степени на составляющие его частицы



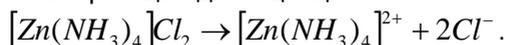
Константа нестойкости комплексного иона (K_n)

$$K_n = \frac{[Cu^{2+}] \cdot [CN^-]^4}{[[Cu(CN)_4]^{2-}]}$$

Пример 40. Определить ионный состав 0,1 M раствора комплексной соли $[Zn(NH_3)_4]Cl_2$, если константа нестойкости комплексного иона равна $2,6 \cdot 10^{-10}$.

Решение:

1. Найдем концентрацию ионов внешней сферы. Для этого запишем уравнение реакции диссоциации комплексной соли



Из данного уравнения видно, что из 1 моль $[Zn(NH_3)_4]Cl_2$ образуется 2 моль ионов Cl^- , тогда из 0,1 моль образуется x моль Cl^- .

Отсюда $x = 0,2$ моль, т.е. $[Cl^-] = 0,2$ моль/л.

2. Найдем концентрацию комплексообразователя и лигандов. Предварительно рассчитаем концентрацию комплексных ионов, образующихся при диссоциации комплексной соли.

Из 1 моль $[Zn(NH_3)_4]Cl_2$ образуется 1 моль $[Zn(NH_3)_4]^{2+}$, тогда из 0,1 моль $[Zn(NH_3)_4]Cl_2$ — x моль $[Zn(NH_3)_4]^{2+}$.

Отсюда $x = 0,1$ моль, т.е. $[Zn(NH_3)_4]^{2+} = 0,1$ моль/л.

Комплексный ион диссоциирует



Пусть из 0,1 моль комплексных ионов образуется x моль ионов Zn^{2+} , тогда $[NH_3] = 4x$ (т.к. молекул аммиака образуется в 4 раза больше, чем ионов цинка). Концентрация недиссоциированной части комплексного иона составит 0,1 моль/л.

Запишем выражение константы нестойкости

$$K_n = \frac{[Zn^{2+}] \cdot [NH_3]^4}{[[Zn(NH_3)_4]^{2+}} .$$

Подставим в него цифровые данные и введенные обозначения

$$2,6 \cdot 10^{-10} = \frac{x \cdot (4x)^4}{0,1}$$

Решив уравнение относительно x , получим

$$x = 1.003 \cdot 10^{-2} .$$

Следовательно, $[Zn^{2+}] = 0,01$ моль/л; $[NH_3] = 0,04$ моль/л.

Контрольные задания для самостоятельной работы

Задача 25

Определить заряд комплексного иона в соединении, указать координационное число и величину заряда комплексообразователя. Написать уравнения диссоциации комплексного соединения, выражение константы нестойкости комплексного иона и назвать комплексное соединение.

Вариант	Комплексное соединение	Вариант	Комплексное соединение
1	а) $K_4[Mo(CN)_7]$ б) $[Pt(NH_3)_3Cl_3]Cl$	14	а) $[Pt(OH)_2(NH_3)_4]SO_4$ б) $Na_2[Co(SCN)_4]$
2	а) $K_2[MnF_6]$ б) $[Co(NH_3)_5SO_4]Cl$	15	а) $Na_2[CuCl_4]$ б) $K[Au(CN)_2]_2$
3	а) $K_4[TiCl_8]$ б) $[Pt(NH_3)_3SCN]Cl_3$	16	а) $[Pt(NH_3)_4Br_2]SO_4$ б) $K[Cr(C_2O_4)_2(NH_3)_4]$
4	а) $[Cr(H_2O)_3(NH_3)_3]Cl_3$ б) $K[Au(CN)_2Br_2]$	17	а) $K_3[Co(NO_2)_6]$ б) $[Cr(H_2O)_4Cl_2]Cl$
5	а) $Na_2[HgBr_4]$ б) $[Pt(NH_3)_3NO_2]Cl$	18	а) $K_3[Fe(CN)_6]$ б) $[Co(NH_3)_4(H_2O)(CN)]SO_4$
6	а) $[Co(NH_3)_6]Cl_3$ б) $K_2[PtI_6]$	19	а) $[Ag(NH_3)_2]Cl$ б) $K_2[PtCl_4(OH)_2]$
7	а) $K[AgCl_2]$ б) $[Cr(H_2O)_3(NH_3)_2]Cl_3$	20	а) $[Co(H_2O)_2(NH_3)_4]Cl_3$ б) $Na_3[Cu(CN)_4]$
8	а) $K_2[CuCl_4]$ б) $[Cr(C_2O_4)(NH_3)_5]Cl$	21	а) $[Pt(NH_3)_5SCN]Cl_3$ б) $K_3[Co(NO_2)_6]$
9	а) $(NH_4)_2[PtCl_4(OH)_2]$ б) $[Cu(NH_3)_4]SO_4$	22	а) $[Co(NH_3)_5SO_4]NO_3$ б) $Na_2[PtI_4(OH)_2]$
10	а) $Na_3[FeF_6]$ б) $[Ni(NH_3)_6(OH)_2]$	23	а) $Na_3[Co(NO_2)_6]$ б) $[Cr(H_2O)_3(NH_3)_3]Cl$
11	а) $[Cr(H_2O)_4Cl_2]NO_3$ б) $K[Co(NO_2)_4(NH_3)_2]$	24	а) $[Pt(NH_3)_6](SO_4)_2$ б) $Na[Au(CN)_2Cl_2]$

12	а) $K_3[Cr(SCN)_6]$ б) $[Co(NH_3)_5Cl]Cl_2$	25	а) $Na[Cr(H_2O)_4Cl_2]$ б) $[Co(NH_3)_5SCN]SO_4$
13	а) $[Cr(H_2O)_4Cl_2]Cl$ б) $K_3[Co(NO_2)_6]$	26	а) $K[Co(NO_2)_4(NH_3)_2]$ б) $[Ag(NH_3)_2]NO_3$

Задача 26

Составить молекулярное и сокращенное ионно-молекулярное уравнения реакции образования комплексного соединения, если в качестве исходных взяты растворы веществ *A* и *B*, а также задано координационное число комплексообразователя. Назвать комплексное соединение.

Вариант	Вещество <i>A</i>	Вещество <i>B</i>	К.Ч.
1	$Al_2(SO_4)_3$	$NaOH$	4
2	$FeSO_4$	KCN	6
3	$FeCl_3$	KCN	6
4	NaF	$AlCl_3$	6
5	KCN	$ZnSO_4$	4
6	$CdCl_2$	KI	4
7	$HgCl_2$	KI	4
8	NH_4OH	$CoSO_4$	6
9	$CuCl_2$	NH_4OH	4
10	$Hg(NO_3)_2$	KBr	4
11	NH_4OH	$AgNO_3$	2
12	KCN	$Hg(NO_3)_2$	4
13	$CdSO_4$	NH_4OH	4
14	$ZnSO_4$	$Na_2C_2O_4$	4
15	$NiSO_4$	NH_4OH	4
16	$NaOH$	$ZnSO_4$	4
17	$HgCl_2$	KBr	4
18	$NiCl_2$	NH_4OH	4
19	$Al_2(SO_4)_3$	NaF	6
20	$CdSO_4$	KI	4
21	KCN	$HgCl_2$	4
22	NH_4OH	$CoCl_3$	6
23	$AgNO_3$	KCN	2
24	$Fe_2(SO_4)_3$	KCN	6
25	NH_4OH	$ZnSO_4$	4
26	$CuSO_4$	NH_4OH	4

Задача 27

Рассчитать ионный состав раствора комплексной соли, если известны молярная концентрация раствора и константа нестойкости (K_H) комплексного иона.

Вариант	Молярная концентрация соли, моль/л	Комплексная соль	Константа нестойкости
1	0,1	$K[Ag(CN)_2]$	$1,0 \cdot 10^{-21}$
2	0,05	$[Ag(NH_3)_2]Cl$	$6,8 \cdot 10^{-8}$
3	0,2	$[Co(NH_3)_6]Cl_3$	$3,1 \cdot 10^{-23}$
4	0,1	$K[AgBr_2]$	$7,8 \cdot 10^{-8}$
5	0,05	$[Cu(NH_3)_4]SO_4$	$2,14 \cdot 10^{-13}$
6	0,2	$K_2[Zn(OH)_4]$	$3,6 \cdot 10^{-16}$
7	0,02	$[Zn(NH_3)_4]SO_4$	$3,46 \cdot 10^{-10}$
8	0,1	$Na_2[Cu(OH)_4]$	$7,6 \cdot 10^{-11}$
9	0,06	$K_2[CdI_4]$	$8,0 \cdot 10^{-7}$
10	0,3	$K[Ag(SCN)_2]$	$2,7 \cdot 10^{-8}$
11	0,08	$Na_3[AlF_6]$	$1,44 \cdot 10^{-20}$
12	0,04	$Na_2[Hg(SCN)_4]$	$1,0 \cdot 10^{-22}$
13	0,1	$[Cu(NH_3)_4]Cl_2$	$2,14 \cdot 10^{-13}$
14	0,1	$K_2[Zn(SO_4)_2]$	$1,7 \cdot 10^{-8}$
15	0,4	$[Zn(NH_3)_4]Cl_2$	$3,46 \cdot 10^{-10}$
16	0,5	$Na_3[AlF_6]$	$2,0 \cdot 10^{-28}$
17	0,1	$[Co(NH_3)_6]Cl_2$	$8,0 \cdot 10^{-6}$
18	0,05	$K_2[PtCl_4]$	$1,0 \cdot 10^{-16}$
19	0,2	$K_3[Fe(CN)_6]$	$1,0 \cdot 10^{-44}$
20	0,4	$K_4[Fe(CN)_6]$	$1,0 \cdot 10^{-37}$
21	0,1	$[Zn(NH_3)_4]SO_4$	$4,0 \cdot 10^{-10}$
22	0,04	$K_2[Zn(CN)_4]$	$6,3 \cdot 10^{-18}$
23	0,02	$[Cd(NH_3)_4]Cl_2$	$7,6 \cdot 10^{-8}$
24	0,5	$K_2[HgBr_4]$	$1,0 \cdot 10^{-21}$
25	0,05	$K_2[CdI_4]$	$8,0 \cdot 10^{-7}$
26	0,1	$[Ni(NH_3)_6]SO_4$	$1,9 \cdot 10^{-9}$

Задача 28

Написать формулы комплексных соединений а и б.

Вариант	Название комплексной соли
1	а) дицианocupрат (I) калия б) хлорид тетраамминмеди (II)
2	а) гексатиоцианатованадат (III) калия б) нитрат гексаамминкобальта (II)
3	а) дихлоротетрацианоплатинат (IV) натрия б) хлорид аквапентаамминкобальт (III)
4	а) хлорид гептааквамарганца (II) б) тетрацианоникелат (II) калия
5	а) тетраиододиамминплатина (4) б) гексахлороникелат (III) водорода
6	а) дихлоротетрафтороцирконат (IV) натрия б) нитрат гексаамминкобальта (III)
7	а) тетрасульфатотитанат (III) калия б) сульфат дихлоротетраамминплатины (IV)
8	а) хлоротрицианocupрат (II) бария б) гексафтороферрат (II) калия
9	а) трихлоротриамминкобальт (III) б) тетраиодовисмутат (III) калия
10	а) гексанитроаурат (III) калия б) хлорид тетрааквадиамминхрома (III)
11	а) сульфат дихлоротетраамминмолибдена (IV) б) трибромотрихлороферрат (III) калия
12	а) хлорид дихлородиаквадиамминхрома (III) б) пентацианонитритоферрат (III) натрия
13	а) нитрат тиоцианопентааммин кобальта (III) б) трихлороамминплатинат (II) калия
14	а) бромид бромотриамминплатины (II) б) гексафторохромат (III) натрия
15	а) хлорид сульфатопентаамминкобальта (III) б) гексацианокобальтат (III) натрия
16	а) бромид гексаамминносмия (III) б) тетрацианодиаквакобальтат (III) калия
17	а) нитрат дихлоротетраамминродия (III) б) тетрафтородиамминхромат (III) калия
18	а) гидроксид диамминмеди (I) б) октафторостаннат (IV) калия

Вариант	Название комплексной соли
19	а) сульфат тетрахлородинитродиаминоплатины (IV) б) трихлорокупрат (I) калия
20	а) дикарбонатобериллат (II) калия б) иодид пентаамминакваиридия (III)
21	а) хлорид нитрохлоротетраамминплатины (IV) б) гексацианоферрат (III) кобальта (III)
22	а) гидроксид тетрахлородиiodокобальта (III) б) хлорид триакватриамминхрома (III)
23	а) тетрахлороплатинат (II) калия б) хлорид хлоридиаминаквапалладия (II)
24	а) хлорид хлоропентаамминплатины (IV) б) гексацианохромат (III) натрия
25	а) гексанитрокобальтат (III) калия б) тетраиододиаминоплатина (IV)
26	а) дихлоротетрафтороцирконат (IV) калия б) хлорид гексаамминкобальта (III)

5. КОЛЛОИДНО-ДИСПЕРСНЫЕ СИСТЕМЫ

5.1. Классификация коллоидных систем

Дисперсные системы – это гетерогенные системы, состоящие из двух фаз. Одна из фаз находится в сильно измельченном (диспергированном) состоянии в виде мельчайших твердых частиц, капелек жидкости, пузырьков газа и называется дисперсной фазой. Вторая фаза – это среда, в которой распределены частицы диспергированного вещества, называется дисперсионной средой. Обязательным условием получения дисперсных систем является взаимная нерастворимость диспергируемого вещества и дисперсионной среды. Существует несколько различных классификаций дисперсных систем: по размеру частиц, по агрегатному состоянию дисперсной фазы и дисперсионной среды, по характеру взаимодействия частиц дисперсной фазы с молекулами дисперсионной среды и др.

В зависимости от размеров частиц дисперсной фазы, дисперсные системы делятся на:

- грубодисперсные системы или взвеси (размер частиц 10^5 – 10^7 м);

- высокодисперсные (коллоидные) системы (размер частиц $10^{-7} - 10^{-9}$ м).

Таким образом, коллоидные растворы занимают промежуточное положение между грубодисперсными системами и истинными растворами (размер частиц 10^{-10} м). Типичными коллоидными растворами являются золи, в которых дисперсная фаза – твердое вещество, а дисперсионная среда – жидкость.

Дисперсные системы можно классифицировать по агрегатному состоянию дисперсной фазы и дисперсионной среды (табл. 3).

Таблица 3

Типы дисперсных систем

Дисперсионная среда	Дисперсная фаза	Тип дисперсной системы	Примеры
Газ	Жидкая	Аэрозоль	Туман, облака
	Твердая	Аэрозоль	Дым, пыль
Жидкая	Газ	Пена	Мыльная пена, пена газированной воды
	Жидкая	Эмульсия	Молоко, майонез
	Твердая	Суспензия, золь	Краски, глина, паста
Твердая	Газ	Твердая пена	Пемза, пенопласт
	Жидкая	Твердая эмульсия	Жемчуг, опал
	Твердая	Твердый золь	Сплавы, рубиновые стекла

По взаимодействию дисперсной фазы с дисперсионной средой коллоидные системы разделяют на:

- *лиофильные* – для них характерно сильное межмолекулярное взаимодействие дисперсной фазы со средой. Это взаимодействие приводит к образованию сольватных (гидратных в случае воды) оболочек из молекул дисперсионной среды вокруг частиц дисперсной фазы, которые делают коллоидную систему устойчивой. К ним относятся растворы белков, высокомолекулярных соединений и др.;
- *лиофобные* – взаимодействие дисперсной фазы с дисперсионной средой не играет существенной роли. Эти системы тер-

модинамически неустойчивы. К ним относятся золи металлов, труднорастворимых гидроксидов и солей.

По взаимодействию между частицами дисперсной фазы дисперсные системы классифицируют на:

- свобододисперсные – частицы дисперсной фазы не связаны между собой (суспензии, аэрозоли и др.);
- связнодисперсные (структурированные) – частицы дисперсной фазы связаны между собой и образуют пространственную сетку (пены).

Важнейшей отличительной особенностью коллоидного состояния вещества является большая площадь поверхности раздела фаз. В поверхностном слое частица вещества обладает существенно иными свойствами, отличными от свойств частицы вещества в объеме фазы. Частицы, находящиеся в поверхностном слое, обладают избыточной свободной энергией, что обуславливает термодинамическую неустойчивость коллоидной системы. Уменьшение свободной энергии в растворах может быть достигнуто за счет уменьшения поверхностного натяжения в результате повышения или понижения концентрации растворенного вещества в поверхностном слое. Самопроизвольное изменение концентрации растворенного вещества в поверхностном слое, по сравнению с концентрацией в объеме фазы, называется адсорбцией. В коллоидных растворах (золях) на границе твердое тело-раствор вещество адсорбируется в виде ионов.

5.2. Получение коллоидных систем

Коллоидные растворы могут быть получены двумя принципиально различными способами: *диспергационными* и *конденсационными*. Диспергационные методы заключаются в дроблении более крупных частиц вещества до частиц коллоидных размеров. В зависимости от вида внешней работы, затрачиваемой на измельчение частиц, диспергационные методы можно разделить на:

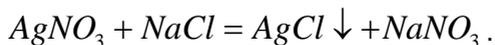
- механическое диспергирование (раздавливание, истирание, удар, расщепление) в коллоидных мельницах;
- ультразвуковое диспергирование. При прохождении ультразвуковой волны высокой частоты возникают быстро чередующиеся сжатия и расширения вещества, что приводит к его разрушению;
- электрическое диспергирование. Этим методом получают золи металлов путем распыления в вольтовой дуге электродов из соответствующего металла, погруженного в дисперсионную среду.

Конденсационные методы заключаются в объединении молекул или ионов в агрегаты коллоидных размеров. К ним относятся:

- конденсация паров при понижении температуры;
- метод замены растворителя: дисперсная фаза возникает вследствие меньшей растворимости вещества в новом растворителе;
- химические методы, в основе которых лежат различные химические реакции (обмена, гидролиза, окисления-восстановления и др.): коллоидные частицы образуются путём агрегации отдельных молекул или ионов.

5.3. Строение коллоидных частиц

Рассмотрим процесс образования золя и строение его дисперсных частиц на примере золя хлорида серебра $AgCl$, который образуется при медленном приливании раствора хлорида натрия $NaCl$ к водному раствору нитрата серебра $AgNO_3$, взятому в избытке.

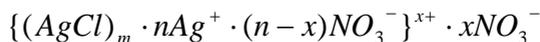


При постепенном введении раствора $NaCl$ в раствор $AgNO_3$ в системе в первый момент образуются кристаллические агрегаты $(AgCl)_m$ из ионов Ag^+ и Cl^- , расположенных в том же порядке, что и в решетке кристалла $AgCl$. Кристаллический агрегат называется ядром дисперсной частицы. Агрегат $(AgCl)_m$ адсорбирует на своей поверхности те ионы, которые находятся в растворе в избытке и входят в состав кристаллической решетки. Этим условиям отвечают ионы серебра Ag^+ . Ионы Ag^+ в количестве n прочно адсорбируются на поверхности ядра, благодаря чему поверхность приобретает положительный заряд. Эти ионы называются потенциалопределяющими. К заряженному ядру притягиваются оставшиеся в растворе ионы противоположного заряда - NO_3^- , которые называются противоионами. Часть противоионов в количестве $(n - x)$, примыкающая к ядру, образует адсорбционный слой противоионов. Другая часть противоионов в количестве x остается в жидкой фазе, образуя диффузный слой.

Ядро вместе с потенциалопределяющими ионами и противоионами адсорбционного слоя составляют коллоидную частицу

или гранулу. Коллоидная частица всегда заряжена, знак заряда соответствует заряду потенциалоопределяющих ионов. Коллоидная частица вместе с противоионами диффузного слоя называется мицеллой. Мицелла, в отличие от коллоидной частицы, электро-нейтральна.

Формула мицеллы золя хлорида серебра



Заряд коллоидной частицы равен сумме зарядов потенциа-лоопределяющих ионов и противоионов адсорбционного слоя.

5.4. Устойчивость коллоидных систем

Наличие у коллоидных частиц одноименных электрических зарядов вызывает их взаимное отталкивание и тем самым препятствует объединению коллоидных частиц и росту кристаллов. Способность коллоидной системы сохранять первоначальную дисперсность называется *агрегативной устойчивостью*.

Агрегативная устойчивость обусловлена наличием в системе ионного стабилизатора – электролита, взятого в избытке при получении коллоидного раствора. Адсорбция ионов стабилизатора приводит к появлению на коллоидных частицах зарядов одного знака, препятствующих слипанию частиц при их столкновении. Наличие гидратных оболочек у частиц дисперсной фазы также повышает агрегативную устойчивость.

Уменьшение абсолютной величины заряда коллоидных частиц приведет к потере агрегативной устойчивости и при столкновениях частицы будут слипаться и укрупняться. Такой процесс называется *коагуляцией*.

Укрупнение частиц в результате коагуляции приводит к нарушению *седиментационной устойчивости* – способности системы противостоять силе тяжести. Достигнув определенной величины, коллоидные частицы уже не способны удерживаться во взвешенном состоянии и оседают под действием силы тяжести. Этот процесс называется седиментацией.

Коагуляция может быть вызвана самыми разнообразными причинами и, прежде всего, добавкой электролита. При этом существует ряд общих правил:

1. Коагулирующим действием обладает не весь электролит, а только тот ион, который имеет заряд, противоположный заряду коллоидной частицы. Он называется ионом-коагулятором.

2. Минимальная концентрация электролита, вызывающая коагуляцию золя, называется порогом коагуляции (C_k):

$$C_{\kappa} = \frac{C_{\circ} \cdot V_{\circ} \cdot 10^3}{V_{\circ} + V_{\text{з}}} = \left[\frac{\text{ммоль}}{\text{л}} \right],$$

где C_{\circ} — молярная концентрация электролита, моль/л;

V_{\circ} — объем электролита, л;

$V_{\text{з}}$ — объем золя, л.

3. Величина, обратная порогу коагуляции, называется коагулирующей способностью (V_{κ}).

$$V_{\kappa} = \frac{1}{C_{\kappa}} = \left[\frac{\text{л}}{\text{ммоль}} \right].$$

Коагулирующая способность иона тем больше, чем выше его заряд. Эмпирически установлено, что порог коагуляции обратно пропорционален шестой степени заряда (Z) иона-коагулятора (правило Шульце-Гарди).

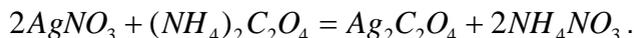
$$C_{\kappa} = \frac{1}{Z^6}.$$

Значения порогов коагуляции для одно-, двух- и трехзарядных ионов относятся как числа 729 : 11 : 1.

5.5. Примеры решения задач

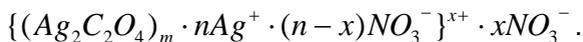
Пример 41. Золь оксалата серебра $Ag_2C_2O_4$ образуется при медленном приливании водного раствора оксалата аммония $(NH_4)_2C_2O_4$ к водному раствору нитрата серебра $AgNO_3$. Напишите формулу мицеллы и укажите знак электрического заряда коллоидной частицы этого золя.

Решение. Образование золя $Ag_2C_2O_4$ происходит по реакции



Строение мицеллы и заряд коллоидной частицы зависят от способа получения коллоидного раствора. Поскольку раствор $AgNO_3$ взят в избытке, то на поверхности агрегата $Ag_2C_2O_4$ будут адсорбироваться ионы Ag^+ . Противоионы NO_3^- будут об-

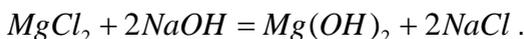
разовывать адсорбционный и диффузный слои. Формула мицеллы будет следующая:



Коллоидная частица приобретает положительный заряд.

Пример 42. Золя гидроксида магния получен путем смешивания 0,02 л 0,01 н. раствора $MgCl_2$ и 0,028 л 0,005 н. раствора $NaOH$. Определите заряд частиц полученного золя и напишите формулу его мицеллы.

Решение. При смешивании растворов $MgCl_2$ и $NaOH$ протекает реакция



Количество моль-эквивалентов ($n_{эк}$) $MgCl_2$ и $NaOH$, участвующих в реакции, определяем по формуле

$$n_{эк} = C_{эк} \cdot V.$$

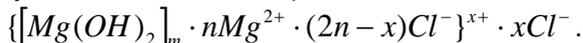
$$n_{эк}(MgCl_2) = 0,01 \cdot 0,02 = 2,0 \cdot 10^{-4} \text{ моль / л.}$$

$$n_{эк}(NaOH) = 0,005 \cdot 0,028 = 1,4 \cdot 10^{-4} \text{ моль / л.}$$

$$n_{эк}(MgCl_2) > n_{эк}(NaOH).$$

Из этого следует, что в избытке будет раствор $MgCl_2$. Он будет ионным стабилизатором. На ядре коллоидной частицы золя $Mg(OH)_2$ будут адсорбироваться ионы Mg^{2+} и частица золя приобретет положительный заряд. Противоионами являются ионы Cl^- .

Формула мицеллы золя гидроксида магния имеет вид



Пример 43. В каждую из трех колб налито по 0,01 л золя хлорида серебра. Для коагуляции золя в первую колбу добавлено 0,002 л 1М раствора $NaNO_3$, во вторую – 0,012 л 0,01 М $Ca(NO_3)_2$, в третью – 0,007 л 0,001 М $Al(NO_3)_3$. Вычислите пороги коагуляции электролитов, определите знак заряда частиц золя.

Решение. Порог коагуляции вычисляется по формуле

$$C_k = \frac{C_э \cdot V_э \cdot 10^3}{V_э + V_3}.$$

Вычисляем пороги коагуляции добавляемых электролитов:

$$C_{к(NaNO_3)} = \frac{C_3 \cdot V_3 \cdot 10^3}{V_9 + V_3} = \frac{0.002 \cdot 1 \cdot 10^3}{0.002 + 0.01} = 166.7 \left[\frac{\text{ммоль}}{\text{л}} \right];$$

$$C_{к(Ca(NO_3)_2)} = \frac{0.012 \cdot 0.01 \cdot 10^3}{0.012 + 0.01} = 5.45 \left[\frac{\text{ммоль}}{\text{л}} \right];$$

$$C_{к(Al(NO_3)_3)} = \frac{0.012 \cdot 0.01 \cdot 10^3}{0.012 + 0.01} = 0.41 \left[\frac{\text{ммоль}}{\text{л}} \right].$$

Добавляемые электролиты содержат анион NO_3^- и катионы Na^+ , Ca^{2+} и Al^{3+} разной зарядности. Наименьший порог коагуляции у $Al(NO_3)_3$, следовательно, частицы золя хлорида серебра заряжены отрицательно.

Пример 44. Порог коагуляции раствора KNO_3 для золя гидроксида алюминия, частицы которого заряжены положительно, равен $60,0$ ммоль/л. Рассчитайте порог коагуляции $K_3[Fe(CN)_6]$ для этого золя.

Решение.

Коагуляцию золя вызывает тот из ионов прибавленного электролита, заряд которого противоположен заряду коллоидной частицы. Коагулирующая способность иона определяется его зарядом: чем больше заряд иона, тем выше его коагулирующая способность. Значение порогов коагуляции электролитов с одно-, двух- и трехзарядными ионами относятся как числа $729:11:1$. Следовательно, порог коагуляции $K_3[Fe(CN)_6]$ будет в 729 раз меньше, чем у KNO_3 , т.е.:

$$C_k(K_3[Fe(CN)_6]) = 60,0 / 729 = 0,082 \text{ ммоль} / \text{л}.$$

Контрольные задания для самостоятельной работы

Задача 29

Составьте формулу мицеллы золя, полученного путем смешивания растворов *A* и *B* указанных объемов (*V*) и концентраций (*C*).

Вариант	Золь	Раствор А	V _А , мл	С, моль/л	Раствор В	V _В , мл	С, моль/л
1	PbSO ₄	Pb(NO ₃) ₂	20	0,001 н.	K ₂ SO ₄	10	0,04 М
2	AgCl	KCl	12	0,02 М	AgNO ₃	100	0,005 М
3	Zn(OH) ₂	NaOH	2	0,05 М	ZnCl ₂	10	0,04 н.
4	BaSO ₄	BaCl ₂	20	0,002 н.	H ₂ SO ₄	3	0,005 М
5	As ₂ S ₃	H ₂ S	100	0,06 н.	AsCl ₃	50	0,001 н.
6	Ni(OH) ₂	NaOH	5	0,001 М	NiCl ₂	10	0,004 н.
7	CuS	CuCl ₂	30	0,002 н.	H ₂ S	10	0,0 М
8	AgBr	AgNO ₃	20	0,008 М	NaBr	20	0,009 М
9	SrSO ₄	Sr(NO ₃) ₂	10	0,0005 н.	K ₂ SO ₄	5	0,004 н.
10	Al(OH) ₃	AlCl ₃	20	0,06 н.	NaOH	10	0,08 М
11	PbCl ₂	KCl	5	0,05 М	Pb(NO ₃) ₂	20	0,01 н.
12	CaSO ₄	CaCl ₂	9	0,002 н.	Al ₂ (SO ₄) ₂	30	0,01 н.
13	H ₂ SiO ₃	K ₂ SiO ₃	40	0,001 М	HCl	10	0,05 М
14	AgI	AgNO ₃	20	0,04 М	KI	30	0,01 М
15	Fe(OH) ₃	NaOH	100	0,002 н.	Fe ₂ (SO ₄) ₃	100	0,0001 н.
16	ZnS	ZnCl ₂	30	0,001 н.	(NH ₄) ₂ S	20	0,003 н.
17	PbI ₂	KI	15	0,0023 М	Pb(NO ₃) ₂	35	0,003 н.
18	AgCl	HCl	20	0,05 М	AgNO ₃	1	0 004 М
19	Hg ₂ SO ₄	Hg ₂ (NO ₃) ₂	5	0,001 н.	H ₂ SO ₄	20	0,001 н.
20	Co(OH) ₂	NaOH	20	0,04 М	CoCl ₂	5	0,004 М
21	AgI	KI	40	0,01 М.	AgNO ₃	30	0,1 М
22	MnS	MnCl ₂	30	0,05 н.	(NH ₄) ₂ S	25	0,1 н.
23	Ag ₂ CrO ₄	K ₂ CrO ₄	2	0,05 н.	AgNO ₃	10	0,04 М
24	PbSO ₄	K ₂ SO ₄	10	0,001 н.	Pb(NO ₃) ₂	15	0,02 н.
25	H ₂ SiO ₃	HCl	10	0,003 М	K ₂ SiO ₃	25	0,1 н.
26	Co(OH) ₂	Co(NO ₃) ₂	20	0,02 н.	KOH	40	0,05 М

Задача 30

Напишите уравнение реакции получения коллоидного раствора, строение мицеллы которого изображается условной формулой. Укажите заряд коллоидной частицы и ионный стабилизатор.

Вариант	Формула мицеллы
1	$\{[\text{Cr}(\text{OH})_3]_m \cdot n\text{Cr}^{3+} \cdot (3n-x)\text{Cl}^-\} \cdot x\text{Cl}^-$
2	$\{[\text{AgCl}]_m \cdot n\text{Ag}^+ \cdot (n-x)\text{NO}_3^-\} \cdot \text{NO}_3^-$
3	$\{[\text{BaSO}_4]_m \cdot n\text{SO}_4^{2-} \cdot (2n-x)\text{Na}^+\} \cdot x\text{Na}^+$
4	$\{[\text{Fe}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]_3]_m \cdot n[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{4-} \cdot (4n-x)\text{K}^+\} \cdot x\text{K}^+$
5	$\{[\text{AgBr}]_m \cdot n\text{Ag}^+ \cdot (n-x)\text{NO}_3^-\} \cdot \text{NO}_3^-$
6	$\{[\text{Ni}(\text{OH})_2]_m \cdot n\text{Ni}^{2+} \cdot (2n-x)\text{Cl}^-\} \cdot x\text{Cl}^-$
7	$\{[\text{PbI}_2]_m \cdot n\text{I}^- \cdot (n-x)\text{K}^+\} \cdot x\text{K}^+$
8	$\{[\text{Sb}_2\text{S}_3]_m \cdot n\text{HS}^- \cdot (n-x)\text{H}^+\} \cdot x\text{H}^+$
9	$\{[\text{AgCl}]_m \cdot n\text{Cl}^- \cdot (n-x)\text{K}^+\} \cdot x\text{K}^+$
10	$\{[\text{H}_2\text{SiO}_3]_m \cdot n\text{SiO}_3^{2-} \cdot (2n-x)\text{Na}^+\} \cdot x\text{Na}^+$
11	$\{[\text{Al}(\text{OH})_3]_m \cdot n\text{Al}^{3+} \cdot (3n-x)\text{Cl}^-\} \cdot x\text{Cl}^-$
12	$\{[\text{As}_2\text{S}_3]_m \cdot n\text{HS}^- \cdot (n-x)\text{H}^+\} \cdot x\text{H}^+$
13	$\{[\text{SrSO}_4]_m \cdot n\text{Sr}^{2+} \cdot (2n-x)\text{Cl}^-\} \cdot x\text{Cl}^-$
14	$\{[\text{PbCl}_2]_m \cdot n\text{Cl}^- \cdot (n-x)\text{K}^+\} \cdot x\text{K}^+$
15	$\{[\text{Zn}(\text{OH})_2]_m \cdot n\text{Zn}^{2+} \cdot (2n-x)\text{Cl}^-\} \cdot x\text{Cl}^-$
16	$\{[\text{Cu}_2[\text{Fe}(\text{CN})_6]]_m \cdot n\text{Cu}^{2+} \cdot (2n-x)\text{Cl}^-\} \cdot x\text{Cl}^-$
17	$\{[\text{BaSO}_4]_m \cdot n\text{Ba}^{2+} \cdot (2n-x)\text{Cl}^-\} \cdot x\text{Cl}^-$
18	$\{[\text{Fe}(\text{OH})_3]_m \cdot n\text{Fe}^{3+} \cdot (3n-x)\text{NO}_3^-\} \cdot x\text{NO}_3^-$
19	$\{[\text{SrSO}_4]_m \cdot n\text{SO}_4^{2-} \cdot (2n-x)\text{H}^+\} \cdot x\text{H}^+$
20	$\{[\text{Fe}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]_2]_m \cdot n[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{4-} \cdot (4n-x)\text{K}^+\} \cdot x\text{K}^+$
21	$\{[\text{AgBr}]_m \cdot n\text{Br}^- \cdot (n-x)\text{Na}^+\} \cdot x\text{Na}^+$
22	$\{[\text{Co}(\text{OH})_2]_m \cdot n\text{Co}^{2+} \cdot (2n-x)\text{Cl}^-\} \cdot x\text{Cl}^-$
23	$\{[\text{AgI}]_m \cdot n\text{Ag}^+ \cdot (n-x)\text{NO}_3^-\} \cdot \text{NO}_3^-$
24	$\{[\text{ZnS}]_m \cdot n\text{HS}^- \cdot (n-x)\text{H}^+\} \cdot x\text{H}^+$
25	$\{[\text{Ni}(\text{OH})_2]_m \cdot n\text{Ni}^{2+} \cdot (2n-x)\text{Cl}^-\} \cdot x\text{Cl}^-$

Задача 31

Напишите формулу мицеллы золя, полученного при постепенном приливании к водному раствору первой соли, взятой в избытке, разбавленного раствора второй соли. Укажите знак заряда коллоидной частицы. Какой из электролитов является наиболее экономичным коагулятором этого золя?

Вариант	Раствор 1	Раствор 2	Коагулятор
1	AgNO ₃	KI	NH ₄ Cl; K ₂ SO ₄ ; FeCl ₃
2	AgNO ₃	HCl	NaF; Ca(NO ₃) ₂ ; K ₂ SO ₄
3	AgNO ₃	CaCl ₂	KCH ₃ COO; ZnCl ₂ ; AlCl ₃
4	AsCl ₃	Na ₂ S	Na ₂ SO ₄ ; CaCl ₂ ; KNO ₃
5	NiCl ₂	H ₂ S	Ba(NO ₃) ₂ ; NaCH ₃ COO; K ₂ SO ₄
6	FeCl ₃	NaOH	Na ₂ SO ₄ ; KNO ₃ ; CaCl ₂
7	FeCl ₃	Na ₂ S	SrCl ₂ ; NaNO ₃ ; K ₃ PO ₄
8	FeCl ₃	Na ₂ CO ₃	(NH ₄) ₂ SO ₄ ; NaCl; Ca(NO ₃) ₂
9	FeCl ₃	K ₄ [Fe(CN) _s]	BaBr ₂ ; K ₂ SO ₄ ; NaCl
10	BaCl ₂	Na ₂ SO ₄	Na ₂ SO ₄ ; KNO ₃ ; MgCl ₂
11	ZnSO ₄	(NH ₄) ₂ S	NH ₄ Cl; AlCl ₃ ; Na ₃ PO ₄
12	H ₃ AsO ₃	H ₂ S	Na ₂ SO ₄ ; Al(NO ₃) ₃ ; NH ₄ Cl
13	KI	AgNO ₃	NH ₄ NO ₃ ; MgBr ₂ ; Na ₂ SO ₄
14	HCl	AgNO ₃	Al(NO ₃) ₃ ; NH ₄ NO ₃ ; K ₂ SO ₄
15	CaCl ₂	AgNO ₃	Zn(NO ₃) ₂ ; KCH ₃ COO; K ₃ PO ₄
16	Na ₂ S	AsCl ₃	Ca(CH ₃ COO) ₂ ; KNO ₃ ; K ₃ [Fe(CN) ₆]
17	H ₂ S	NiCl ₂	FeCl ₃ ; KBr; Na ₂ SO ₄
18	NaOH	FeCl ₃	K ₃ [Fe(CN) ₆]; ZnCl ₂ ; NH ₄ Cl
19	Na ₂ S	FeCl ₃	NaNO ₃ ; (NH ₄) ₂ SO ₄ ; MgCl ₂
20	Na ₂ CO ₃	FeCl ₃	Na ₂ C ₂ O ₄ ; KCl; Cu(NO ₃) ₂
21	K ₄ [Fe(CN) ₃]	FeCl ₃	NH ₄ Cl; Na ₂ SO ₄ ; CaCl ₂
22	Na ₂ SO ₄	BaCl ₂	Al(NO ₃) ₃ ; KBr; K ₃ PO ₄
23	(NH ₄) ₂ S	ZnSO ₄	NaCl; K ₂ SO ₄ ; CuCl ₂
24	H ₂ S	H ₃ AsO ₃	K ₂ C ₂ O ₄ ; AlCl ₃ ; NH ₄ CH ₃ COO
25	KI	Pb(NO ₃) ₂	Ba(NO ₃) ₂ ; NH ₄ NO ₃ ; K ₃ [Fe(CN) ₆]
26	BaCl ₂	Na ₂ SO ₄	Na ₂ SO ₄ ; KNO ₃ ; MgCl ₂

Задача 32

32.1. Вычислить порог коагуляции раствора сульфата натрия, если добавление $0,003 \text{ л } 0,1 \text{ н. } Na_2SO_4$ вызывает коагуляцию $0,015 \text{ л}$ золя?

32.2. Как изменится величина порога коагуляции, если для коагуляции 10 л золя AgI вместо $1,5 \text{ л } 1 \text{ н. } KNO_3$ взять $0,5 \text{ л } 0,1 \text{ н. } Ca(NO_3)_2$?

32.3. Коагуляция 100 мл золя протекает при добавлении $10,5 \text{ мл } 1 \text{ н.}$ раствора KCl либо $37,0 \text{ мл } 0,001 \text{ н.}$ раствора Na_3PO_4 . Вычислить порог коагуляции электролитов и определить знак заряда частиц золя.

32.4. Для коагуляции $0,05 \text{ л}$ золя сульфида мышьяка можно добавить один из следующих растворов электролитов: $0,005 \text{ л } 2 \text{ н. } NaCl$; $0,005 \text{ л } 0,03 \text{ н. } Na_2SO_4$; $0,004 \text{ л } 0,0005 \text{ н. } Na_4[Fe(CN)_6]$.

У какого из приведенных электролитов наименьший порог коагуляции?

32.5. Золь сульфида кадмия получен смешиванием равных объемов растворов Na_2S и $Cd(NO_3)_2$. Пороги коагуляции для различных электролитов имеют следующие значения (ммоль/л): $C(Ca(NO_3)_2) = 265$; $C(NaCl) = 250$; $C(MgCl_2) = 290$; $C(Na_3PO_4) = 0,4$; $C(Na_2SO_4) = 15$; $C(AlCl_3) = 300$. Какой из электролитов – Na_2S или $Cd(NO_3)_2$ – взят в избытке для приготовления золя? Вычислить коагулирующие способности электролитов.

32.6. В три колбы налито по $0,1 \text{ л}$ золя $Fe(OH)_3$. Для того, чтобы вызвать коагуляцию золя, потребовалось добавить в первую колбу $0,01 \text{ л } 1 \text{ н. } NH_4Cl$, во вторую – $0,063 \text{ л } 0,01 \text{ н. } Na_2SO_4$, в третью – $0,037 \text{ л } 0,001 \text{ н. } Na_3PO_4$. Вычислить порог коагуляции каждого электролита и определить знак заряда частиц золя.

32.7. Пороги коагуляции для различных электролитов и золя иодида серебра имеют следующие значения (ммоль/л): $C(Ca(NO_3)_2) = 315$; $C(NaCl) = 320$; $C(MgCl_2) = 320$; $C(Na_3PO_4) = 0,6$; $C(Na_2SO_4) = 20$; $C(AlCl_3) = 930$. Какой из электролитов (иодид калия или нитрат серебра) взят в избытке для приготовления золя?

32.8. Какой объем $0,0002 \text{ М } Fe(NO_3)_3$ требуется для коагуляции $0,025 \text{ л}$ золя сульфида мышьяка, если порог коагуляции $C(Fe(NO_3)_3) = 0,067 \text{ ммоль / л}$?

32.9. Коагуляция золя иодида серебра, частицы которого заряжены отрицательно, вызывается катионами добавляемых электролитов. Порог коагуляции $LiNO_3$ для этого золя равен 165 ммоль/л. Вычислить порог коагуляции $Ba(NO_3)_2$ и $Al(NO_3)_3$ для этого золя.

32.10. Как изменится порог коагуляции электролита для золя бромида серебра, частицы которого заряжены положительно, если для коагуляции 0,1 л золя вместо 0,0015 л 0,1 н. K_2SO_4 взят раствор K_3PO_4 ?

32.11. Чтобы вызвать коагуляцию золя $Fe(OH)_3$ к 10 мл золя добавлено в первом случае 1,05 мл 1н. KCl , во втором – 6,25 мл 0,01 н. Na_2SO_4 и в третьем случае 3,7 мл 0,001 н. Na_3PO_4 . Определить знак заряда частиц золя и вычислить порог коагуляции каждого электролита.

32.12. Какое количество электролита $K_2Cr_2O_7$ нужно добавить к 1 л золя Al_2O_3 , чтобы вызвать его коагуляцию? Концентрация электролита 0,01 моль/л, порог коагуляции равен 0,63 ммоль/л.

32.13. Пороги коагуляции электролитов для золя AgI :

электролит	KCl	KNO_3	$Ba(NO_3)_2$	$Sr(NO_3)_2$	$Al(NO_3)_3$
C_k , ммоль/л	256	260	6,0	7,0	0,067.

Каков знак заряда коллоидных частиц? Вычислить коагулирующую способность каждого электролита.

32.14. Как изменится порог коагуляции золя As_2S_3 , если для коагуляции 0,5 л золя вместо 0,005 л 0,01н. $MgCl_2$ взять 0,005 л 0,001 н. $CrCl_3$?

32.15. В колбы налито по 25 мл золя $Al(OH)_3$. Для того, чтобы вызвать коагуляцию золя, потребовалось добавить: в первую – 2,65 мл 1н. раствора KCl , во вторую – 9,35 мл 0,001 н. раствора K_3PO_4 . Вычислить пороги коагуляции и определить знак заряда золя.

32.16. Какое количество раствора $Al_2(SO_4)_3$ концентрацией 0,01 моль/л требуется для коагуляции 1 л золя As_2S_3 ? Порог коагуляции – $9,6 \cdot 10^2$ ммоль/л.

- 32.17. Пороги коагуляции электролитов для некоторого золя оказались равными (ммоль/л): $MgSO_4 - 0,81$; $AlCl_3 - 0,093$; $Al(NO_3)_3 - 0,095$. Определить коагулирующие способности этих электролитов и знак заряда частиц золя.
- 32.18. Коагуляция золя $Fe(OH)_3$ вызывается анионами добавляемых электролитов. Порог коагуляции KCl для этого золя равен 260 ммоль/л. Вычислить пороги коагуляции K_2SO_4 и $K_3[Fe(CN)_6]$ для этого золя.
- 32.19. Для явной коагуляции 50 мл золя $Al(OH)_3$ потребовалось $5,3$ мл 1 н. KCl , $31,5$ мл $0,01$ н. Na_2SO_4 или $18,7$ мл $0,001$ н. Na_3PO_4 . Вычислить пороги коагуляции электролитов. Проверить справедливость правила Шульце-Гарди.
- 32.20. Коагуляция золя Sb_2S_3 вызывается катионами. Пороги коагуляции для электролитов KNO_3 и $AlCl_3$ соответственно равны $50,0$ и $0,093$ ммоль/л. Как относятся между собой коагулирующие способности катионов добавляемых электролитов?
- 32.21. Какой объем $0,005$ М Na_2SO_4 требуется для коагуляции $0,015$ л золя бромида серебра, если порог коагуляции $C(Na_2SO_4) = 0,055$ ммоль/л?
- 32.22. Пороги коагуляции электролитов для золя $AgCl$ ммоль/: $Ca(NO_3)_2 - 315$; $Na_3PO_4 - 0,6$; $NaCl - 300$; $AlCl_3 - 330$; $Na_2SO_4 - 20$. Каков знак заряда коллоидных частиц? Согласуются ли опытные данные с правилом Шульце-Гарди?
- 32.23. Пороги коагуляции золя $Fe(OH)_3$ для электролитов KI и $K_2Cr_2O_7$ соответственно равны $9,0$ и $0,17$ ммоль/л. Во сколько раз коагулирующая способность $K_2Cr_2O_7$ больше, чем у KI ?
- 32.24. Вычислить порог коагуляции раствора хлорида магния, если добавление $0,006$ л $0,01$ н. $MgCl_2$ вызывает коагуляцию $0,003$ л золя?
- 32.25. В две колбы налито по 200 мл золя. Для начала коагуляции необходимо добавить 125 мл $0,01$ н. Na_2SO_4 или 74 мл $0,001$ н. Na_3PO_4 . Вычислить пороги коагуляции и определить знак заряда золя.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Коровин Н.В. Общая химия. – М.: Высш. шк., 2007.
2. Гельфман М.И., Юстратов В.П. Химия. – СПб.: Лань, 2008.
3. Угай Я.А. Общая и неорганическая химия. – М.: Высш. шк., 2007.
4. Ахметов Н.С. Общая и неорганическая химия. – М.: Высш. шк., 2008.
5. Вольхин В.В. Общая химия. Основной курс: учеб. пособие. – СПб.: Лань, 2008.
6. Коровин Н.В. Задачи и упражнения по общей химии: учеб. пособие. – М.: Высш. шк., 2009.
7. Ахметов Н.С. Лабораторные и семинарские занятия по общей и неорганической химии: Учеб. пособие. – М.: Высш. шк., 2003.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение 1

Криоскопические (K_T) и эбулиоскопические (E_T)
константы некоторых растворителей

Растворитель	$K_T, \text{кг} \cdot \text{К} / \text{моль}$	$E_T, \text{кг} \cdot \text{К} / \text{моль}$
Анилин	5,87	3,22
Бензол	5,12	2,53
Вода	1,86	0,52
Диэтиловый эфир	1,73	
Камфора	40,0	6,09
Хлороформ	4,9	3,63
Четыреххлористый углерод	2,98	5,3
Этиловый спирт	-	3,89

Приложение 2

Приближенные значения коэффициентов активности ионов
в зависимости от ионной силы раствора

Ионная сила раствора	Коэффициенты активности ионов			
	1-зарядных	2-зарядных	3-зарядных	4-зарядных
$1 \cdot 10^{-3}$	0,96	0,86	0,73	0,56
$2 \cdot 10^{-3}$	0,95	0,81	0,64	0,45
$5 \cdot 10^{-3}$	0,92	0,72	0,52	0,30
$1 \cdot 10^{-2}$	0,89	0,63	0,39	0,19
$2 \cdot 10^{-2}$	0,87	0,57	0,28	0,12
$5 \cdot 10^{-2}$	0,81	0,44	0,15	0,04
0,1	0,78	0,33	0,08	0,01
0,2	0,70	0,24	0,04	0,003
0,3	0,66			

Приложение 3

Константы диссоциации некоторых кислот и оснований
при T=298 К

Название	Формула	K_a
Азотистая	HNO_2	$5,1 \cdot 10^{-4}$
Молибденовая	H_2MoO_4	$K_1 = 2,9 \cdot 10^{-3}$ $K_2 = 1,4 \cdot 10^{-4}$
Ортомышьяковая	H_3AsO_4	$K_1 = 5,6 \cdot 10^{-3}$ $K_2 = 1,7 \cdot 10^{-7}$ $K_3 = 2,9 \cdot 10^{-12}$
Фтороводородная	HF	$6,6 \cdot 10^{-4}$
Родановодородная	$HSCN$	$1,4 \cdot 10^{-1}$
Сернистая	H_2SO_3	$K_1 = 1,4 \cdot 10^{-2}$ $K_2 = 6,2 \cdot 10^{-3}$
Сероводородная	H_2S	$K_1 = 1,0 \cdot 10^{-7}$ $K_2 = 2,5 \cdot 10^{-13}$
Угльная	H_2CO_3	$K_1 = 4,5 \cdot 10^{-7}$ $K_2 = 4,7 \cdot 10^{-11}$
Ортофосфорная	H_3PO_4	$K_1 = 7,3 \cdot 10^{-3}$ $K_2 = 6,2 \cdot 10^{-8}$ $K_3 = 5,0 \cdot 10^{-13}$
Хлорноватистая	$HClO$	$3,0 \cdot 10^{-8}$
Бензойная	C_6H_5COOH	$6,3 \cdot 10^{-5}$
Муравьиная	$HCOOH$	$1,8 \cdot 10^{-4}$
Уксусная	CH_3COOH	$1,7 \cdot 10^{-5}$
Щавелевая	$H_2C_2O_4$	$K_2 = 5,4 \cdot 10^{-5}$
Гидроксид аммония	NH_4OH	$1,8 \cdot 10^{-5}$
Гидроксид алюминия	$Al(OH)_3$	$K_3 = 1,38 \cdot 10^{-9}$
Гидроксид бериллия	$Be(OH)_2$	$K_2 = 5,0 \cdot 10^{-11}$
Гидроксид кадмия	$Cd(OH)_2$	$K_2 = 5,0 \cdot 10^{-5}$

Окончание прил. 3

Название	Формула	K_a
Гидроксид меди(II)	$Cu(OH)_2$	$K_2 = 3,4 \cdot 10^{-7}$
Гидроксид никеля(II)	$Ni(OH)_2$	$K_2 = 2,5 \cdot 10^{-5}$
Гидроксид свинца(II)	$Pb(OH)_2$	$K_1 = 9,9 \cdot 10^{-4}$ $K_2 = 3,0 \cdot 10^{-8}$
Гидроксид хрома(III)	$Cr(OH)_3$	$K_3 = 1,02 \cdot 10^{-10}$
Гидроксид цинка	$Zn(OH)_2$	$K_2 = 4,0 \cdot 10^{-5}$
Циановодородная	HCN	$5,0 \cdot 10^{-10}$
Селеноводородная	H_2Se	$K_1 = 1,3 \cdot 10^{-4}$ $K_2 = 1,0 \cdot 10^{-11}$

Приложение 4

Растворимость ионных соединений в воде

Соли	Анион	Хорошо растворимые	Малорастворимые
Нитраты	NO_3^-	Все	Нет
Ацетаты	CH_3COO^-	Все	Нет
Перхлораты	ClO_4^-	Все	Нет
Хлораты	ClO_3^-	Все	Нет
Сульфаты	SO_4^{2-}	Все, кроме	$Ag_2SO_4, PbSO_4, BaSO_4, CaSO_4, SrSO_4$
Хлориды	Cl^-	Все, кроме	$AgCl, PbCl_2, CuCl, Hg_2Cl_2$
Бромиды	Br^-	Все, кроме	$AgBr, PbBr_2$
Иодиды	I^-	Все, кроме	AgI, PbI_2
Сульфиды	S^{2-}	$(NH_4)_2S, K_2S, Na_2S, BaS, CaS, SrS$	Все остальные
Сульфиты	SO_3^{2-}	$(NH_4)_2SO_3, K_2SO_3, Na_2SO_3, Li_2SO_3$	Все остальные
Карбонаты	CO_3^{2-}	$(NH_4)_2CO_3, K_2CO_3, Na_2CO_3, Li_2CO_3$	Все остальные

Окончание прил. 4

Соли	Анион	Хорошо растворимые	Малорастворимые
Фосфаты	PO_4^{3-}	$(NH_4)_3PO_4, K_3PO_4, Na_3PO_4, Li_3PO_4$	Все остальные
Силикаты	SiO_3^{2-}	K_2SiO_3, Na_2SiO_3	Все остальные
Хроматы	CrO_4^{2-}	$(NH_4)_2CrO_4, K_2CrO_4, Na_2CrO_4$	Все остальные
Фториды	F^-	KF, NaF, NH_4F	Все остальные

Учебное текстовое электронное издание

ВАРЛАМОВА Ирина Александровна
КОЛЯДА Людмила Григорьевна

РАСТВОРЫ. ДИСПЕРСНЫЕ СИСТЕМЫ

Учебное пособие

Редактор Т.А.Колесникова
Оператор компьютерной правки Е.А.Назарова

0,81 Мб
1 электрон. опт. диск

г. Магнитогорск, 2012 год
ФГБОУ ВПО «МГТУ»
Адрес: 455000, Россия, Челябинская область, г. Магнитогорск,
пр. Ленина 38

ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный
технический университет им. Г.И. Носова»
Кафедра химии, технологии упаковочных производств
Центр электронных образовательных ресурсов и
дистанционных образовательных технологий
e-mail: ceor_dot@mail.ru