

МЕЖГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра «Технологии металлов»

# ХИМИЯ

*Методические рекомендации к практическим занятиям  
для студентов всех специальностей  
дневной и заочной форм обучения*

**КОНЦЕНТРАЦИИ РАСТВОРОВ.  
СВОЙСТВА РАСТВОРОВ НЕЭЛЕКТРОЛИТОВ.  
ВТОРОЙ ЗАКОН РАУЛЯ**



Могилев 2019

УДК 54  
ББК 24.1  
Х 46

Рекомендовано к изданию  
учебно-методическим отделом  
Белорусско-Российского университета

Одобрено кафедрой «Технологии металлов» «19» апреля 2019 г.,  
протокол № 9

Составитель канд. биол. наук, доц. И. А. Лисовая

Рецензент канд. техн. наук, доц. М. Н. Миронова

В методических рекомендациях представлены основные понятия темы, способы выражения концентраций растворов, второй закон Рауля. Приведены примеры решения задач и задачи для самостоятельного решения.

Учебно-методическое издание

ХИМИЯ

Ответственный за выпуск	Д. И. Якубович
Технический редактор	А. А. Подошевка
Компьютерная верстка	Н. П. Полевничая

Подписано в печать . Формат 60×84/16. Бумага офсетная. Гарнитура Таймс.  
Печать трафаретная. Усл. печ. л. . Уч.-изд. л. . Тираж 56 экз. Заказ №

Издатель и полиграфическое исполнение:  
Межгосударственное образовательное учреждение высшего образования  
«Белорусско-Российский университет».

Свидетельство о государственной регистрации издателя,  
изготовителя, распространителя печатных изданий  
№ 1/156 от 07.03.2019.  
Пр-т Мира, 43, 212022, Могилев.

© Белорусско-Российский  
университет, 2019



## Содержание

Введение.....	4
1 Способы выражения состава растворов. Концентрации.....	5
1.1 Примеры решения задач.....	7
1.2 Задачи для самостоятельного решения.....	9
2 Свойства растворов неэлектролитов.....	10
2.1 Понижение давления пара.....	10
2.2 Повышение температуры кипения, понижение температуры замерзания растворов. Второй закон Рауля.....	11
2.3 Примеры решения задач.....	13
2.4 Задачи для самостоятельного решения.....	15
Список литературы.....	15



## Введение

*Раствором называется термодинамически устойчивая однофазная (гомогенная) система переменного состава, состоящая из двух или более веществ (компонентов).*

По характеру агрегатного состояния растворы могут быть газообразными, жидкими и твердыми.

Раствор состоит из растворителя и растворенного вещества. Обычно растворителем считают компонент, который в данных условиях находится в том же агрегатном состоянии, что и образующийся раствор (например, в водном растворе соли растворителем является вода). В случае одинакового агрегатного состояния компонентов (например, вода и спирт) растворителем считают тот компонент, который преобладает в растворе.

Жидкие растворы имеют чрезвычайно большое практическое значение, в них протекают многие химические реакции, в том числе технически и жизненно важные, лежащие в основе обмена веществ в живых организмах. Так как на равновесие и кинетику этих реакций оказывает влияние растворитель, то *процессы в жидких растворах имеют свои особенности* – наличие сил взаимодействия между молекулами растворителя и частицами растворенного вещества, а также возможность перемещения частиц относительно друг друга. *Материалы, излагаемые далее в методических рекомендациях, относятся к жидким растворам.*

Наиболее широко применяемым неорганическим растворителем является вода. Растворы с другими растворителями называются неводными, например: раствор нафталина в бензоле, раствор гидроксида калия в спирте и др.

Растворимостью называется способность того или иного вещества растворяться в том или ином растворителе. *Раствор, находящийся в равновесии с растворяемым веществом, называется насыщенным, а концентрация такого раствора – растворимостью. Растворы с меньшей концентрацией, чем в насыщенном, называются ненасыщенными, с большей – пересыщенными.*

Растворимость большинства веществ уменьшается с понижением температуры и при охлаждении горячих насыщенных растворов избыток растворенного вещества обычно выделяется. Однако если охлаждение производить осторожно и медленно, исключив попадание твердых частиц извне, то выделение вещества из раствора может и не произойти. Получается раствор, содержащий значительно больше растворенного вещества, чем требуется для насыщения при данной температуре, или пересыщенный.

Растворимость веществ зависит от их природы, природы растворителя, а также от внешних условий (давления, температуры и т. д.) и колеблется в значительных пределах.



## 1 Способы выражения состава растворов. Концентрации

Концентрацией раствора называется отношение количества или массы вещества, содержащегося в растворе, к определенной массе или определенному объему раствора или растворителя.

Введем обозначения:

$m_{B-BA}$  – масса растворенного вещества, г (в СИ – кг). Здесь и далее указаны размерности величин, которые наиболее часто встречаются при химических расчетах. Жирным шрифтом выделены наиболее часто используемые размерности:

$m_{P-PA}$  – масса раствора, г, кг;

$m_{P-ЛЯ}$  – масса растворителя, г, кг;

$V_{P-PA}$  – объем раствора, мл, л (или соответственно: см<sup>3</sup>, дм<sup>3</sup>);

$V_{P-ЛЯ}$  – объем растворителя, мл, л (соответственно: см<sup>3</sup>, дм<sup>3</sup>);

$\rho_{P-PA}$  – плотность раствора, г/мл, кг/л (соответственно: г/см<sup>3</sup>, кг/дм<sup>3</sup>);

$\rho_{P-ЛЯ}$  – плотность растворителя, г/мл, кг/л (соответственно: г/см<sup>3</sup>, кг/дм<sup>3</sup>);

$M_{B-BA}$  – молярная масса растворенного вещества, г/моль;

$M_{P-ЛЯ}$  – молярная масса растворителя, г/моль;

$M_{ЭК}$  – молярная масса эквивалентов растворенного вещества, г/моль;

$n_{B-BA}$  – количество растворенного вещества, моль;

$n_{ЭК}$  – количество эквивалентов вещества, моль;

$n_{P-ЛЯ}$  – количество растворителя, моль.

Взаимный пересчет параметров раствора, растворителя и растворенного вещества проводят с учетом следующих соотношений (для двухкомпонентного раствора: одно вещество и растворитель, если веществ несколько, то необходимо учитывать массы всех веществ):

$$m_{P-PA} = m_{B-BA} + m_{P-ЛЯ};$$

$$m_{P-PA} = \rho_{P-PA} \cdot V_{P-PA}; \quad m_{P-ЛЯ} = \rho_{P-ЛЯ} \cdot V_{P-ЛЯ};$$

$$n_{B-BA} = \frac{m_{B-BA}}{M_{B-BA}}; \quad n_{P-ЛЯ} = \frac{m_{P-ЛЯ}}{M_{P-ЛЯ}}; \quad n_{ЭК} = \frac{m_{B-BA}}{M_{ЭК}};$$

$$V_{P-PA(2)} \neq V_{P-PA(1)} + V_{P-ЛЯ}; \quad V_{P-PA(3)} \neq V_{P-PA(1)} + V_{P-PA(2)}.$$

Приведем наиболее часто употребляемые в химии способы выражения содержания растворенного вещества в растворе. В нижеприведенных формулах объемы взяты в литрах, массы – в граммах. При использовании указанных формул для решения задач, в условиях которых объемы и массы взяты в других единицах измерения, их предварительно пересчитывают.

**Массовая доля**  $\omega$  – безразмерная величина, равная отношению массы компонента в растворе к массе всего раствора (размерности масс одинаковы):

$$\omega = \frac{m_{B-BA}}{m_{P-PA}}.$$



**Процентная концентрация  $C\%$**  – показывает, сколько граммов растворенного вещества содержится в 100 г раствора:

$$C\% = \frac{m_{B-BA}}{m_{P-PA}} \cdot 100\% .$$

**Молярная концентрация  $C_M$**  – отношение количества вещества, содержащегося в растворе, к объему раствора, моль/л (сокращенное обозначение молярной концентрации в задачах – М, например: 2М – двумолярный раствор, т. е.  $C_M = 2$  моль/л):

$$C_M = \frac{m_{B-BA}}{M_{B-BA} \cdot V_{P-PA}} = \frac{n_{B-BA}}{V_{P-PA}} .$$

**Молярная концентрация эквивалентов (эквивалентная  $C_{ЭК}$ , или нормальная концентрация  $C_N$ )** – это отношение количества эквивалентов вещества, содержащегося в растворе, к объему этого раствора, моль/л (сокращенное обозначение – н):

$$C_N = \frac{m_{B-BA}}{M_{ЭК} \cdot V_{P-PA}} = \frac{n_{ЭК}}{V_{P-PA}} .$$

Молярные массы эквивалентов веществ рассчитываются по формуле

$$M_{ЭК} = f_{ЭК} \cdot M_{B-BA},$$

где  $f_{ЭК}$  – фактор эквивалентности:

– для кислоты

$$f_{ЭК} = \frac{1}{n_H} ,$$

где  $n_H$  – основность кислоты, или число атомов водорода;

– для основания

$$f_{ЭК} = \frac{1}{n_{ОН}} ,$$

где  $n_{ОН}$  – кислотность основания, или число гидроксильных групп;

– для соли

$$f_{ЭК} = \frac{1}{n \cdot B} ,$$

где  $n$  – число атомов металла в формульной единице соли;

$B$  – валентность металла.

Для растворов с нормальной концентрацией справедлива формула, которая вытекает из закона эквивалентов:

$$n_{ЭК(1)} = n_{ЭК(2)} ,$$

следовательно,



$$C_{H(1)} \cdot V_{P-PA(1)} = C_{H(2)} \cdot V_{P-PA(2)}.$$

**Моляльность  $C_m$** , моль/кг – определяется количеством вещества в 1 кг (1000 г) растворителя:

$$C_m = \frac{m_{B-BA} \cdot 1000}{M_{B-BA} \cdot m_{P-ЛЯ}} = \frac{n_{B-BA} \cdot 1000}{m_{P-ЛЯ}}.$$

**Молярная (молярная) доля растворенного вещества  $N$**  – отношение количества растворенного вещества к общему количеству всех вещества, составляющих раствор, включая растворитель:

$$N = \frac{n_{B-BA(i)}}{\sum_{i=1}^i n_{B-BA}}$$

Молярная доля может быть выражена в долях единицы, в процентах. Сумма молярных долей всех компонентов раствора равна единице.

В случае двухкомпонентного раствора

$$N_{B-BA} = \frac{n_{B-BA}}{n_{B-BA} + n_{P-ЛЯ}} = \frac{\frac{m_{B-BA}}{M_{B-BA}}}{\frac{m_{B-BA}}{M_{B-BA}} + \frac{m_{P-ЛЯ}}{M_{P-ЛЯ}}}.$$

**Титр раствора  $C_T$  или  $T$**  (г/мл или г/см<sup>3</sup>) – масса вещества, содержащаяся в одном миллилитре раствора:

$$T = \frac{m_{B-BA}}{V_{P-PA} \cdot 1000}.$$

Массовые концентрации (массовая доля, процентная, молярная) не зависят от температуры; объемные концентрации относятся к определенной температуре.

### 1.1 Примеры решения задач

**Пример 1** – На нейтрализацию 50 см<sup>3</sup> раствора кислоты израсходовано 25 см<sup>3</sup> 0,5 н раствора щелочи. Чему равна нормальность кислоты?

*Решение*

Так как вещества взаимодействуют между собой в эквивалентных соотношениях, то растворы равной нормальности реагируют в равных объемах. При разных нормальностях объемы растворов реагирующих веществ обратно пропорциональны их нормальностям, т. е.



$$\frac{V_{P-PA(1)}}{V_{P-PA(2)}} = \frac{C_{H(2)}}{C_{H(1)}}$$

или

$$C_{H(1)} \cdot V_{P-PA(1)} = C_{H(2)} \cdot V_{P-PA(2)}; \quad 50 \cdot C_{H_1} = 25 \cdot 0,5 \Rightarrow C_{H_1} = \frac{25 \cdot 0,5}{50} = 0,25 \text{ н.}$$

**Пример 2** – Определите моляльность 8-процентного раствора гидроксида натрия.

*Решение*

Моляльность выражается числом молей растворенного вещества в 1000 г растворителя:

$$C_m = \frac{m_{B-BA} \cdot 1000}{M_{B-BA} \cdot m_{P-ЛЯ}}$$

Поскольку соотношение между веществом и растворителем для заданного раствора не зависит от его массы, то необходимые для решения данные вводим в условие задачи. Пусть масса раствора равна 100 г. Тогда из определения процентной концентрации следует, что в 100 г 8-процентного раствора содержится 8 г вещества и  $100 - 8 = 92$  г растворителя. Молярная масса NaOH равна 40 г/моль. Тогда

$$C_m = \frac{8 \cdot 1000}{40 \cdot 92} = 2,17 \text{ моль/кг.}$$

**Пример 3** – К 1 л 10-процентного раствора KOH (плотность 1,092 г/см<sup>3</sup>) прибавили 0,5 л 5-процентного раствора KOH (плотность 1,045 г/см<sup>3</sup>). Объем смеси довели до 2 л. Вычислите молярную концентрацию полученного раствора.

*Решение*

Масса 1 л 10-процентного раствора KOH

$$m_{P-PA} = \rho_{P-PA} \cdot V_{P-PA} \cdot 1000 = 1,092 \cdot 1 \cdot 1000 = 1092 \text{ г.}$$

В этом растворе содержится

$$m_{B-BA} = \frac{m_{P-PA} \cdot C_{\%}}{100} = \frac{1092 \cdot 10}{100} = 109,2 \text{ г KOH.}$$

Масса 0,5 л 5-процентного раствора KOH

$$m_{P-PA} = \rho_{P-PA} \cdot V_{P-PA} \cdot 1000 = 1,045 \cdot 0,5 \cdot 1000 = 522,5 \text{ г.}$$





В этом растворе содержится

$$m_{B-BA} = \frac{m_{P-PA} \cdot C_{\%}}{100} = \frac{522,5 \cdot 5}{100} = 26,125 \text{ г КОН.}$$

В полученном растворе (2 л) содержится  $109,2 + 26,125 = 135,325$  г КОН.  
Отсюда молярность этого раствора

$$C_M = \frac{m_{B-BA}}{M_{B-BA} \cdot V_{P-PA}} = \frac{135,325}{2 \cdot 56} = 1,2 \text{ М.}$$

**Пример 4** – Какой объем 96-процентной серной кислоты плотностью  $1,84 \text{ г/см}^3$  потребуется для приготовления 3 л 0,4 н раствора?

*Решение*

Молярная масса эквивалента

$$M_{\text{ЭК}}(\text{H}_2\text{SO}_4) = \frac{M}{2} = \frac{98}{2} = 49 \text{ г/моль.}$$

Для приготовления 3 л 0,4 н раствора требуется

$$m_{B-BA} = C_H \cdot M_{\text{ЭК}} \cdot V_{P-PA} = 0,4 \cdot 49 \cdot 3 = 58,8 \text{ г H}_2\text{SO}_4.$$

Масса  $1 \text{ см}^3$  96-процентной  $\text{H}_2\text{SO}_4$  равна 1,84 г. В этом растворе содержится

$$m_{B-BA} = \frac{m_{P-PA} \cdot C_{\%}}{100} = \frac{1,84 \cdot 96}{100} = 1,766 \text{ г H}_2\text{SO}_4.$$

Следовательно, для приготовления 3 л 0,4 н раствора надо взять  $58,8 : 1,766 = 33,3 \text{ см}^3$  раствора этой кислоты.

## 1.2 Задачи для самостоятельного решения

**Задача 1.** На нейтрализацию  $31 \text{ см}^3$  0,16 н раствора щелочи требуется  $217 \text{ см}^3$  раствора  $\text{H}_2\text{SO}_4$ . Чему равны нормальность и титр раствора  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ?

**Задача 2.** Смешали  $10 \text{ см}^3$  10-процентного раствора  $\text{HNO}_3$  ( $\rho = 1,056 \text{ г/см}^3$ ) и  $100 \text{ см}^3$  30-процентного раствора  $\text{HNO}_3$  ( $\rho = 1,184 \text{ г/см}^3$ ). Вычислите массовую долю азотной кислоты в полученном растворе.

**Задача 3.** Из 400 г 50-процентного по массе раствора серной кислоты выпариванием удалили 100 г воды. Чему равны массовая доля и молярная концентрация кислоты в полученном растворе?



**Задача 4.** Из 400 г 20-процентного (по массе) раствора при охлаждении выделилось 50 г растворенного вещества. Чему равна массовая доля этого вещества в оставшемся растворе?

**Задача 5.** Плотность 40-процентного раствора гидроксида калия  $1,4 \text{ г/см}^3$ . Сколько граммов гидроксида потребуется для приготовления 500 мл 40-процентного раствора? Какова нормальная концентрация этого раствора?

**Задача 6.** Чему равны нормальность и титр 30-процентного раствора гидроксида натрия плотностью  $1,328 \text{ г/см}^3$ ? К 1 л этого раствора прибавили 5 л воды. Вычислите процентную концентрацию полученного раствора.

**Задача 7.** К 3 л 10-процентного раствора азотной кислоты, плотность которого  $1,054 \text{ г/см}^3$ , прибавили 5 л 2-процентного раствора азотной кислоты с плотностью  $1,009 \text{ г/см}^3$ . Вычислите процентную, моляльную и молярную концентрации полученного раствора, если считать, что его объем равен 8 л.

## 2 Свойства растворов неэлектролитов

Неэлектролиты – это вещества, растворы которых не проводят электрический ток. В растворенном состоянии они сохраняют молекулярную структуру. Как правило, это органические соединения (спирты, глюкоза, камфора, бензол и т. д.).

Некоторые свойства раствора зависят от числа частиц (атомов, молекул, ионов) в нем и не зависят от его состава. Такими свойствами, которые называются *коллигативными*, обладают разбавленные растворы неэлектролитов, концентрация которых не более чем 0,2 моль/л. К коллигативным свойствам относятся понижение давления пара, понижение температуры замерзания, повышение температуры кипения растворителя в присутствии в нем растворенного вещества, осмотическое давление.

### 2.1 Понижение давления пара

Рассмотрим двухкомпонентный раствор, свойства которого близки к идеальному. Это означает, что между компонентами раствора практически отсутствует взаимодействие. Пусть растворитель – летучее вещество, растворенный в нем неэлектролит – нелетучее.

Равновесное состояние между жидкостью и паром характеризуется давлением насыщенного пара. Пусть давление насыщенного пара над чистым растворителем –  $p^0$ , а давление насыщенного пара над раствором –  $p$ .

Молекулы нелетучего растворенного компонента препятствуют улетучиванию из раствора молекул растворителя (какая-то часть поверхности просто занята ими), т. е.  $p^0 > p$ . **Таким образом, давление насыщенного пара растворителя над раствором всегда ниже, чем над чистым растворителем при той же температуре.**



Понижение давления пара над раствором находит отражение на диаграмме состояния.

Поясним, что такое диаграмма состояния. На ней отображены области существования твердой, жидкой и газообразной фаз вещества (в данном случае воды) в зависимости от температуры  $T$  и давления  $P$ . Кривая  $O-A$  – кривая кипения, отделяет область газа от области жидкого состояния. Каждая точка кривой показывает пары значений  $P$  и  $T$ , при которых жидкость и газ находятся в состоянии равновесия. Кривая  $O-B$  – кривая равновесия твердого состояния и газообразного или кривая сублимации. Кривые пересекаются в точке  $O$ . Координаты этой точки – это единственная пара значений  $P$  и  $T$ , при которой в равновесии могут находиться все три фазы. Она носит название тройной точки и соответствует температуре плавления или кристаллизации.

На рисунке 1 изображена  $P$ - $T$ -диаграмма воды, на которой нанесены линии зависимости давления пара воды над растворами различной концентрации. Линия  $O-A$  соответствует давлению пара над чистой водой, а линия  $O^*-A^*$  – давлению пара воды над раствором с концентрацией  $C_1$ . Согласно первому закону Рауля, при одной и той же температуре давление пара над раствором меньше на величину  $\Delta P$ . При увеличении концентрации растворенного вещества ( $C_2 > C_1$ ) давление продолжает понижаться, линия  $O^{**}-A^{**}$  лежит ниже линии  $O^*-A^*$ .

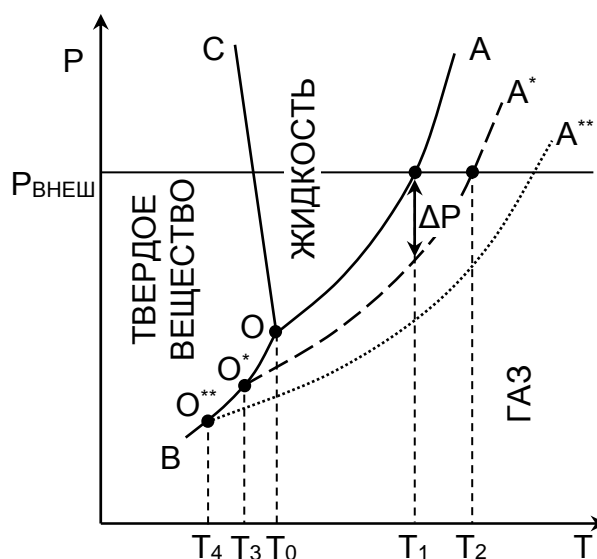


Рисунок 1 – Диаграмма состояния воды и растворов неэлектролитов

## 2.2 Повышение температуры кипения, понижение температуры замерзания растворов. Второй закон Рауля

Из графика (см. рисунок 1) видно, что температура кипения раствора выше температуры кипения чистого растворителя. *Под температурой кипения подразумеваются та температура, при которой давление насыщенного пара равно внешнему давлению.* Поэтому она различна: для чистой воды – это темпера-

тура  $T_1$ , а для раствора –  $T_2$ .

Для разбавленных растворов при понижении температуры (см. рисунок 1) первым начинает кристаллизоваться чистый растворитель. Это происходит тогда, когда давление пара над раствором станет равно насыщенному пару над кристаллом (линия  $O-B$ ). Температура начала кристаллизации для раствора состава  $C_1$  соответствует температуре  $T_3$ , а для состава  $C_2-T_4$ . При увеличении концентрации растворенного вещества температура замерзания уменьшается, что также хорошо видно на  $P-T$ -диаграмме (см. рисунок 1).

Изучая замерзание и кипение растворов, Рауль установил, что для разбавленных растворов неэлектролитов повышение температуры кипения и понижение температуры замерзания пропорциональны концентрации раствора.

**Второй закон Рауля:** *повышение температуры кипения (понижение температуры замерзания) раствора, по сравнению с температурой кипения (замерзания) растворителя, пропорционально моляльной концентрации растворенного вещества:*

$$\Delta t_{\text{КИП}} = K_{\text{Э}} \cdot C_m ;$$

$$\Delta t_{\text{ЗАМ}} = K_{\text{КР}} \cdot C_m ,$$

где  $K_{\text{Э}}$  – эбулиоскопическая (от лат. *ebullire* – кипеть) постоянная растворителя;

$K_{\text{КР}}$  – криоскопическая (от греч. *σιος* – холод) постоянная растворителя;

$\Delta t_{\text{КИП}}$  – повышение температуры кипения;

$\Delta t_{\text{ЗАМ}}$  – понижение температуры замерзания;

$C_m$  – моляльная концентрация растворенного вещества.

Если расписать  $C_m$ , то формулы примут следующий вид:

$$\Delta t_{\text{КИП}} = \frac{K_{\text{Э}} \cdot 1000 \cdot m_{B-BA}}{M_{B-BA} \cdot m_{P-ЛЯ}} ;$$

$$\Delta t_{\text{ЗАМ}} = \frac{K_{\text{КР}} \cdot 1000 \cdot m_{B-BA}}{M_{B-BA} \cdot m_{P-ЛЯ}} .$$

**Физический смысл** эбулиоскопической и криоскопической постоянных определяется следующим образом. Их числовые значения показывают, на сколько градусов выше кипит и на сколько градусов ниже замерзает одномоляльный раствор (содержащий 1 моль растворенного вещества в 1000 г растворителя) по сравнению с температурами кипения и замерзания чистого растворителя. Единицы измерения –  $1 \text{ град} \cdot \text{моль}^{-1} \cdot \text{кг}$ .

Эбулиоскопическая и криоскопическая константы не зависят от природы растворенного вещества, а являются характеристиками растворителя. Их значения для некоторых растворителей приведены в таблице 1.

На измерениях температур кипения и замерзания растворов основаны эбулиоскопический и криоскопический методы определения молекулярных



масс веществ. Эти два метода широко используются в химии, т. к., применяя различные растворители, можно определять молекулярные массы разнообразных веществ.

Таблица 1 – Криоскопические и эбулиоскопические константы некоторых растворителей

Растворитель	$t_{кип}$ , °С	$K_{э}$ , град·моль <sup>-1</sup> ·кг	$t_{зам}$ , °С	$K_{кр}$ , град·моль <sup>-1</sup> ·кг
Вода H <sub>2</sub> O	100	0,52	0	1,86
Бензол C <sub>6</sub> H <sub>6</sub>	80,1	2,53	5,5	5,12
Хлороформ CHCl <sub>3</sub>	61,7	3,63	-63,5	4,70
Сероуглерод CS <sub>2</sub>	46,2	2,34	-111,5	3,83
Тетрахлорид углерода CCl <sub>4</sub>	76,5	5,03	-23	30

Способность растворов замерзать при более низкой температуре, чем растворитель, используется при приготовлении низкотемпературных растворов, которые называются *антифризами*. Ими заменяют воду в радиаторах автомобильных и авиационных моторов в зимнее время. В качестве основных компонентов могут быть использованы так называемые многоатомные спирты – этиленгликоль и глицерин. Водный раствор этиленгликоля (58-процентный по массе), например, замерзает только при температуре минус 50 °С.

### 2.3 Примеры решения задач

Перед решением задач следует уяснить следующее:

– температура замерзания раствора ниже температуры замерзания растворителя:

$$\Delta t_{зам\ P-PA} = t_{зам\ P-ЛЯ} - t_{зам\ P-PA};$$

– температура кипения раствора выше температуры кипения растворителя:

$$\Delta t_{кип\ P-PA} = t_{кип\ P-ЛЯ} + t_{кип\ P-PA};$$

– величина  $\Delta t$  всегда положительная и изменения температуры по шкале Цельсия  $\Delta t$  и термодинамической шкале Кельвина  $\Delta T$  численно совпадают, т. е.  $\Delta T_{зам} = \Delta t_{зам}$  и  $\Delta T_{кип} = \Delta t_{кип}$ .

#### **Пример 1. Определение температуры кипения и температуры замерзания неэлектролита.**

Определите температуру кипения и температуру замерзания 2-процентного раствора нафталина C<sub>10</sub>H<sub>8</sub> в бензоле.



*Решение*

На основании второго закона Рауля можно записать следующее:

$$\Delta t_{\text{КИП}} = \frac{K_{\text{Э}} \cdot 1000 \cdot m_{\text{В-ВА}}}{M_{\text{В-ВА}} \cdot m_{\text{Р-ЛЯ}}}$$

Значение эбулиоскопической константы бензола, а также температуры кипения и замерзания бензола возьмем из таблицы 1.  $M(\text{C}_{10}\text{H}_8) = 128$  г/моль. Вспомним, что процентная концентрация показывает число граммов растворенного вещества в 100 г раствора, значит, масса нафталина составляет 2 г, а масса растворителя, т. е. бензола,  $100 - 2 = 98$  г. Тогда, подставив известные величины в уравнение, получим

$$\Delta t_{\text{КИП}} = \frac{2,53 \cdot 1000 \cdot 2}{128 \cdot 98} = 0,4 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Поскольку чистый бензол кипит при  $80,1 \text{ } ^\circ\text{C}$ , а повышение температуры составляет  $0,4 \text{ } ^\circ\text{C}$ , то температура кипения раствора нафталина в бензоле –  $80,5 \text{ } ^\circ\text{C}$ .

Температура замерзания этого раствора определяется таким же образом:

$$\Delta t_{\text{ЗАМ}} = \frac{K_{\text{КР}} \cdot 1000 \cdot m_{\text{В-ВА}}}{M_{\text{В-ВА}} \cdot m_{\text{Р-ЛЯ}}} = \frac{5,12 \cdot 2 \cdot 1000}{128 \cdot 98} = 0,8 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Температура замерзания бензола –  $5,5 \text{ } ^\circ\text{C}$ . Понижение температуры составляет  $0,8$  град, следовательно, температура замерзания 2-процентного раствора нафталина в бензоле –  $4,7 \text{ } ^\circ\text{C}$ .

**Пример 2. Определение концентрации неэлектролита по температуре кристаллизации (кипения) растворов.**

Определите массовую долю сахарозы  $\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$  в воде, если известно, что температура замерзания этого раствора составляет минус  $0,21 \text{ } ^\circ\text{C}$ .

*Решение*

Из данных задачи следует, что  $\Delta t_{\text{ЗАМ}} = 0 - (-0,21) = 0,21$  град. Для определения массовой доли сахарозы в растворе воспользуемся уравнением

$$\Delta t_{\text{ЗАМ}} = \frac{K_{\text{КР}} \cdot 1000 \cdot m_{\text{В-ВА}}}{M_{\text{В-ВА}} \cdot m_{\text{Р-ЛЯ}}},$$

в которое подставим известные величины:  $K_{\text{КР}}$  – криоскопическую константу,  $K_{\text{КР}} = 1,86$  град·моль<sup>-1</sup>·кг,  $\Delta t_{\text{ЗАМ}}$  и молярную массу сахарозы  $M(\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}) = 342$  г/моль. Отношение



$$m_{B-BA} = \frac{\Delta t_{3AM} \cdot M_{B-BA}}{K_{KP}}$$

представляет собой массу растворенного вещества, приходящуюся на 1000 г растворителя. Тогда

$$m_{B-BA} = \frac{0,21 \cdot 342}{1,86} = 38,6 \text{ г.}$$

На 1000 г растворителя приходится 38,6 г сахарозы, поэтому для определения массовой доли растворенного вещества можно воспользоваться формулой

$$\omega = \frac{m_{B-BA}}{m_{P-PA}}$$

или составить пропорцию:

1038,6 г раствора содержит 38,6 г сахарозы;

100 г раствора – x г сахарозы.

Следовательно, массовая доля растворенного вещества составляет 3,71 %.

#### 2.4 Задачи для самостоятельного решения

**Задача 1.** Вычислите массовую долю метанола  $\text{CH}_3\text{OH}$  в водном растворе, температура замерзания которого равна минус 2,79 °С.

**Задача 2.** Определите температуру кипения раствора 1 г нафталина  $\text{C}_{10}\text{H}_8$  в 20 г эфира, если температура кипения эфира равна 35,6 °С,  $K_D = 2,16$  °С.

**Задача 3.** Раствор 1,05 г неэлектролита в 30 г воды замерзает при минус 0,7 °С. Вычислите молекулярную массу неэлектролита.

**Задача 4.** Вычислите количество этиленгликоля  $\text{C}_2\text{H}_4(\text{OH})_2$ , которое необходимо прибавить на каждый килограмм воды для приготовления антифриза с точкой замерзания минус 15 °С.

**Задача 5.** Для приготовления антифриза на 30 л воды взято 9 л глицерина  $\text{C}_3\text{H}_5(\text{OH})_3$ . Чему равна температура замерзания приготовленного антифриза? Плотность глицерина равна 1261 кг/м<sup>3</sup>.

### Список литературы

1 **Глинка, Н. Л.** Задачи и упражнения по общей химии: учебное пособие для вузов / Н. Л. Глинка; под ред. В. А. Рабиновича, Х. М. Рубиной. – Москва: Интеграл-Пресс, 2015. – 240 с.

2 **Коровин, Н. В.** Общая химия: учебник для технических направлений и специальностей вузов / Н. В. Коровин. – Москва: Высшая школа, 2014. – 558 с.

3 **Жарский, И. М.** Теоретические основы химии: сборник задач / И. М. Жарский, А. Л. Кузьменко, С. Е. Орехова. – Минск: Аверсэв, 2017. – 397 с.: ил.

