

РАСТВОРЫ

РАСТВОРЫ

- ЭТО ОДНОФАЗНЫЕ СИСТЕМЫ, СОСТОЯЩИЕ ИЗ ДВУХ ИЛИ НЕСКОЛЬКИХ КОМПОНЕНТОВ
- КОМПОНЕНТ- ЭТО ТАКАЯ СОСТАВНАЯ ЧАСТЬ СИСТЕМЫ, КОТОРАЯ ЯВЛЯЕТСЯ ХИМИЧЕСКИ ОДНОРОДНЫМ ВЕЩЕСТВОМ, МОЖЕТ БЫТЬ ВЫДЕЛЕНА ИЗ СИСТЕМЫ И МОЖЕТ СУЩЕСТВОВАТЬ В ИЗОЛИРОВАННОМ СОСТОЯНИИ В ТЕЧЕНИИ ДЛИТЕЛЬНОГО ВРЕМЕНИ.
- КОМПОНЕНТАМИ РАСТВОРА ЯВЛЯЮТСЯ *РАСТВОРИТЕЛЬ И РАСТВОРЁННОЕ ВЕЩЕСТВО*, РАВНОМЕРНО РАСПРЕДЕЛЁННОЕ В РАСТВОРИТЕЛЕ В ВИДЕ МОЛЕКУЛ ИЛИ ИОНОВ

Процесс растворения – это физико-химический процесс, так при растворении происходит взаимодействие частиц растворяемого вещества с частицами растворителя с образованием соединений, называемых *сольватами*. В случае, если в качестве растворителя выступает вода, то такие соединения называются *гидратами*.

Процесс растворения кристаллических веществ в воде состоит из двух последовательных стадий, каждая из которых сопровождается тепловым эффектом:

1 стадия – разрушение кристаллической решетки растворяемого вещества на отдельные частицы – идет с поглощением теплоты ($\Delta H_1 > 0$);

2 стадия – взаимодействие частиц растворенного вещества с молекулами воды (гидратация) – идет с выделением теплоты ($\Delta H_2 < 0$).

Таким образом, тепловой эффект растворения ΔH является алгебраической суммой двух тепловых эффектов: $\Delta H = \Delta H_1 + \Delta H_2$. Следовательно, экзотермический процесс ($\Delta H < 0$) возможен в том случае, когда при гидратации выделяется теплоты больше, чем расходуется на разрушение кристаллической решетки, а эндотермический процесс ($\Delta H > 0$) в том случае, если на разрушение кристаллической решетки расходуется теплоты больше, чем выделяется при гидратации.

Энтальпией растворения вещества называется количество теплоты, поглотившейся (или выделившейся) при растворении одного моля вещества в большом количестве воды, достаточном для получения раствора (обычно на 1 моль растворяемого вещества приходится 200...800 молей воды).

СПОСОБЫ ВЫРАЖЕНИЯ КОНЦЕНТРАЦИИ РАСТВОРА

- ПРОЦЕНТНАЯ КОНЦЕНТРАЦИЯ ИЛИ МАССОВАЯ ДОЛЯ, ПОКАЗЫВАЕТ СКОЛЬКО ГРАММОВ РАСТВОРЁННОГО ВЕЩЕСТВА ПРИХОДИТСЯ НА 100 Г РАСТВОРА. ПРОЦЕНТ (ОТ ЛАТ. PRO CENTUM – НА СОТНЮ) – СОТАЯ ДОЛЯ КАКОГО-ЛИБО ЧИСЛА. НАПРИМЕР, 20% РАСТВОР НАТРИЯ ХЛОРИДА ОЗНАЧАЕТ, ЧТО В 100Г ЭТОГО РАСТВОРА СОДЕРЖИТСЯ 20 Г НАТРИЯ ХЛОРИДА.
- МОЛЬНЫЕ ПРОЦЕНТЫ (МОЛ. %) – ЭТО ЧИСЛО МОЛЕЙ РАСТВОРЁННОГО ВЕЩЕСТВА ОТНЕСЁННОЕ К ОБЩЕМУ ЧИСЛУ МОЛЕЙ РАСТВОРЁННОГО ВЕЩЕСТВА А И РАСТВОРИТЕЛЯ В

$$x_A = n_A / (n_A + n_B)$$

n_A n_B – КОЛИЧЕСТВО ВЕЩЕСТВА И РАСТВОРИТЕЛЯ

СПОСОБЫ ВЫРАЖЕНИЯ КОНЦЕНТРАЦИИ РАСТВОРА

- МОЛЯРНОСТЬ РАСТВОРА (М) – ЭТО ЧИСЛО МОЛЕЙ РАСТВОРЁННОГО ВЕЩЕСТВА В 1 ЛИТРЕ РАСТВОРА.
- РАСТВОР, СОДЕРЖАЩИЙ 1 МОЛЬ РАСТВОРЁННОГО ВЕЩЕСТВА В 1 ЛИТРЕ РАСТВОРА НАЗЫВАЕТСЯ **ОДНОМОЛЯРНЫМ**, 2 МОЛЬ – **ДВУХМОЛЯРНЫМ**, 0,1 М – **ДЕЦИМОЛЯРНЫМ** И Т. Д.

$$C = n/V$$

Растворимость

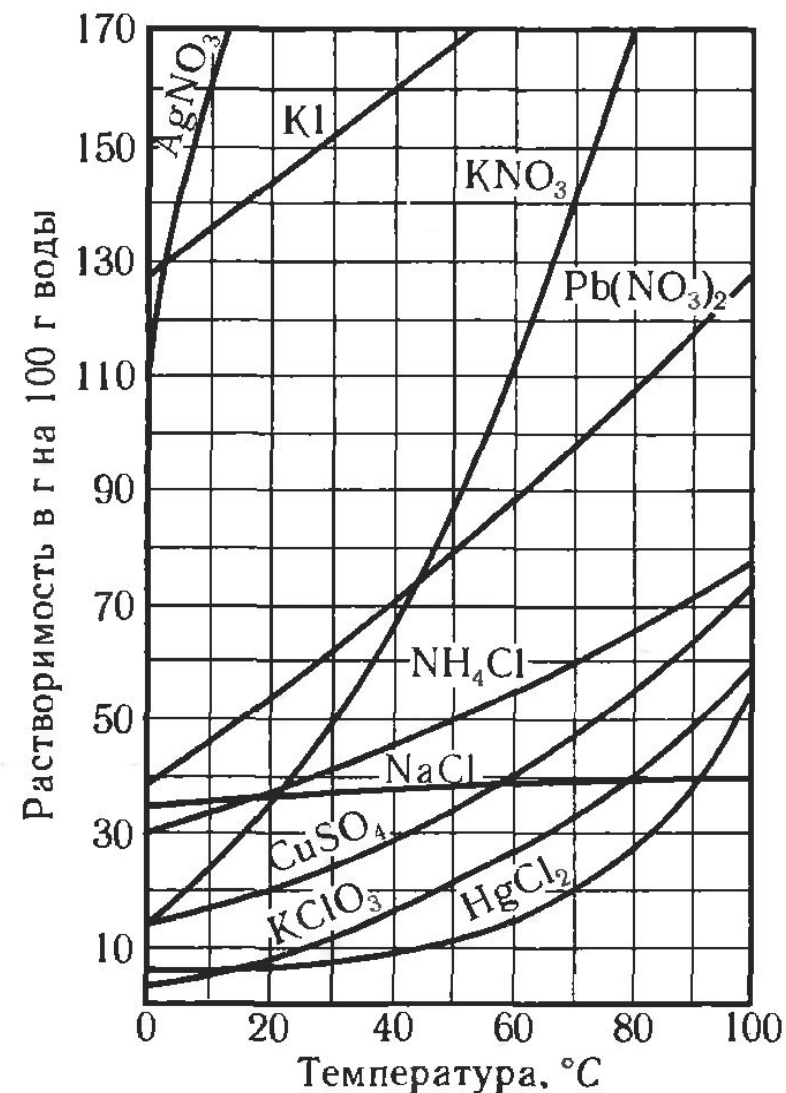
- ◆ Растворимость — это способность вещества растворяться в данном растворителе при заданной температуре.
- ◆ Количественно растворимость измеряется как **концентрация насыщенного раствора**.

РАСТВОРИМОСТЬ ЖИДКОСТЕЙ В ЖИДКОСТЯХ

- ВОЗМОЖНЫ 3 ВАРИАНТА РАСТВОРИМОСТИ:
 1. НЕОГРАНИЧЕННАЯ РАСТВОРИМОСТЬ (СПИРТ В ВОДЕ, МУРАВЬИНАЯ КИСЛОТА В ВОДЕ, БЕНЗОЛ В ЭФИРЕ)
 2. ОГРАНИЧЕННАЯ РАСТВОРИМОСТЬ (АНИЛИН В ВОДЕ, ФЕНОЛ В ВОДЕ)
 3. ПРАКТИЧЕСКИ ПОЛНАЯ НЕРАСТВОРИМОСТЬ (ДИЭТИЛОВЫЙ ЭФИР В ВОДЕ, УГЛЕВОДОРОДЫ, ВЫСШИЕ СПИРТЫ И КАРБОНОВЫЕ КИСЛОТЫ И ТД)
- **ТЕМПЕРАТУРА**, ПРИ ЕЁ ПОВЫШЕНИИ ВЗАИМНАЯ РАСТВОРИМОСТЬ ЖИДКОСТЕЙ ДРУГ В ДРУГЕ УВЕЛИЧИВАЕТСЯ (ТЕМПЕРАТУРА, ПРИ КОТОРОЙ ПРОИСХОДИТ ПЕРЕХОД ИЗ ОГРАНИЧЕННОЙ РАСТВОРИМОСТИ ЖИДКОСТЕЙ ДРУГ В ДРУГЕ В НЕОГРАНИЧЕННУЮ, НАЗЫВАЕТСЯ КРИТИЧЕСКОЙ ТЕМПЕРАТУРОЙ)
- **ДАВЛЕНИЕ**, ЕГО ИЗМЕНЕНИЕ ПРАКТИЧЕСКИ НЕ ВЛИЯЕТ НА РАСТВОРИМОСТЬ ЖИДКОСТЕЙ ДРУГ В ДРУГЕ
- **НАЛИЧИЕ ПРИМЕСЕЙ** ПОНИЖАЕТ РАСТВОРИМОСТЬ МНОГИХ ЖИДКОСТЕЙ В ВОДЕ, ДАННОЕ ЯВЛЕНИЕ НАЗЫВАЕТСЯ **ВЫСАЛИВАНИЕМ**, ОНО ОБУСЛОВЛЕНО ТЕМ, ЧТО ПРОИСХОДИТ СОЛЬВАТАЦИЯ СОЛЕЙ (ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ СОЛЕЙ С

ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА РАСТВОРИМОСТЬ ТВЁРДЫХ ВЕЩЕСТВ

- ТЕМПЕРАТУРА, ПО РАЗНОМУ ВЛИЯЕТ НА РАСТВОРИМОСТЬ ТВЁРДЫХ ВЕЩЕСТВ (ЗАВИСИТ ОТ ЗНАКА И ВЕЛИЧИНЫ ТЕПЛОВОГО ЭФФЕКТА); ДЛЯ БОЛЬШИНСТВА ВЕЩЕСТВ С ПОВЫШЕНИЕМ ТЕМПЕРАТУРЫ РАСТВОРИМОСТЬ УВЕЛИЧИВАЕТСЯ, ТАК КАК МНОГО ЭНЕРГИИ РАСХОДУЕТСЯ НА РАЗРУШЕНИЕ КРИСТАЛЛИЧЕСКОЙ РЕШЁТКИ, ЧТО ОБЫЧНО НЕ КОМПЕНСИРУЕТСЯ ТОЙ ЭНЕРГИЕЙ, КОТОРАЯ ВЫДЕЛЯЕТСЯ В ПРОЦЕССЕ ОБРАЗОВАНИЯ ГИДРАТОВ.
- НА ДИАГРАММЕ ПРЕДСТАВЛЕНА РАСТВОРИМОСТЬ НЕКОТОРЫХ ТВЁРДЫХ ВЕЩЕСТВ В ВОДЕ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ТЕМПЕРАТУРЫ.
- ИЗМЕНЕНИЕ ДАВЛЕНИЯ ПРАКТИЧЕСКИ НЕ ОКАЗЫВАЕТ ВЛИЯНИЕ НА РАСТВОРИМОСТЬ ТВЁРДЫХ ВЕЩЕСТВ, НАПРИМЕР, ЛИШЬ ПРИ ДАВЛЕНИИ 10^9 ПА РАСТВОРИМОСТЬ НИТРАТА АММОНИЯ СНИЖАЕТСЯ



Зависимость растворимости некоторых солей в воде от температуры.

ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА РАСТВОРИМОСТЬ ГАЗОВ В ЖИДКОСТЯХ

- ДАВЛЕНИЕ, ПРИ ЕГО УВЕЛИЧЕНИИ ПОВЫШАЕТ РАСТВОРИМОСТЬ ГАЗОВ В ВОДЕ И НАОБОРОТ – ПРИ ПОНИЖЕНИИ ДАВЛЕНИЯ РАСТВОРИМОСТЬ ГАЗОВ В ВОДЕ УМЕНЬШАЕТСЯ
- ТЕМПЕРАТУРА, ПРИ ЕЁ ПОВЫШЕНИИ РАСТВОРИМОСТЬ ГАЗОВ В ВОДЕ УМЕНЬШАЕТСЯ И НАОБОРОТ – ПРИ ПОНИЖЕНИИ ТЕМПЕРАТУРЫ РАСТВОРИМОСТЬ ГАЗОВ В ВОДЕ УВЕЛИЧИВАЕТСЯ, ТАК КАК ПРОЦЕСС РАСТВОРЕНИЯ ГАЗОВ В ВОДЕ СОПРОВОЖДАЕТСЯ ВЫДЕЛЕНИЕМ ТЕПЛОТЫ
- РАСТВОРИМОСТЬ ГАЗОВ В ОРГАНИЧЕСКИХ РАСТВОРИТЕЛЯХ УВЕЛИЧИВАЕТСЯ С ПОВЫШЕНИЕМ ТЕМПЕРАТУРЫ, ТАК ДАННЫЙ ПРОЦЕСС ЧАСТО СОПРОВОЖДАЕТСЯ ПОГЛОЩЕНИЕМ ТЕПЛОТЫ, КОТОРАЯ РАСХОДУЕТСЯ НА РАЗРЫВ СВЯЗЕЙ МЕЖДУ МОЛЕКУЛАМИ РАСТВОРИТЕЛЯ И ВНЕДРЕНИЕ ТУДА МОЛЕКУЛ ГАЗА

ЗАКОН ГЕНРИ

- РАСТВОРИМОСТЬ ГАЗОВ В ЖИДКОСТЯХ ОПИСЫВАЕТСЯ ЗАКОНОМ ГЕНРИ:

масса газа, растворяющегося при постоянной температуре в данном объеме жидкости, прямо пропорциональна парциальному давлению газа.

$$\omega_B = k \cdot p,$$

где ω_B — массовая доля газа в насыщенном растворе ³⁾; p — парциальное давление; k — коэффициент пропорциональности, называемый *константой Генри*.

КЛАССИФИКАЦИЯ РАСТВОРОВ ПО НАСЫЩЕННОСТИ

- **НЕНАСЫЩЕННЫЕ РАСТВОРЫ** – ЭТО РАСТВОРЫ, В КОТОРЫХ КОНЦЕНТРАЦИЯ ВЕЩЕСТВА НИЖЕ ЕГО ВОЗМОЖНОЙ РАСТВОРИМОСТИ ПРИ ДАННЫХ УСЛОВИЯХ
- **НАСЫЩЕННЫЕ РАСТВОРЫ** – ЭТО РАСТВОРЫ, В КОТОРЫХ КОНЦЕНТРАЦИЯ ВЕЩЕСТВА РАВНА ЕГО ВОЗМОЖНОЙ РАСТВОРИМОСТИ ПРИ ДАННЫХ УСЛОВИЯХ, ТО ЕСТЬ ТВЁРДАЯ РАСТВОРЯЕМОГО ВЕЩЕСТВА И ЖИДКАЯ ФАЗА РАСТВОРИТЕЛЯ НАХОДЯТСЯ В ДИНАМИЧЕСКОМ РАВНОВЕСИИ
- **ПЕРЕСЫЩЕННЫЕ РАСТВОРЫ** – ЭТО РАСТВОРЫ, В КОТОРЫХ КОНЦЕНТРАЦИЯ ВЕЩЕСТВА ВЫШЕ КОНЦЕНТРАЦИИ НАСЫЩЕННОГО РАСТВОРА ПРИ ДАННЫХ УСЛОВИЯХ (ПЕРЕСЫЩЕННЫЕ РАСТВОРЫ ПОЛУЧАЮТ ПУТЁМ МЕДЛЕННОГО ОХЛАЖДЕНИЯ НАСЫЩЕННЫХ РАСТВОРОВ, ПОЛУЧЕННЫХ ПРИ БОЛЕЕ ВЫСОКОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ).

КЛАССИФИКАЦИЯ ВЕЩЕСТВ ПО РАСТВОРИМОСТИ В ВОДЕ

- **Р** - ХОРОШО РАСТВОРИМЫЕ (БОЛЕЕ 1,0 Г НА 100 Г ВОДЫ);
М - МАЛОРАСТВОРИМЫЕ (0,1 Г - 1,0 Г НА 100 Г ВОДЫ);
Н - НЕРАСТВОРИМЫЕ (МЕНЕЕ 0,1 Г НА 100 Г ВОДЫ).

ЗАКОН РАУЛЯ

- *ОТНОСИТЕЛЬНОЕ ПОНИЖЕНИЕ ДАВЛЕНИЯ НАСЫЩЕННОГО ПАРА РАСТВОРА РАВНО МОЛЬНОЙ ДОЛЕ РАСТВОРЁННОГО ВЕЩЕСТВА*

$$(p_0 - p)/p_0 = x_B$$

- *p_0 – ДАВЛЕНИЕ НАСЫЩЕННОГО ПАРА НАД ЧИСТЫМ РАСТВОРИТЕЛЕМ, p – ДАВЛЕНИЕ НАСЫЩЕННОГО ПАРА НАД РАСТВОРОМ, x_B – МОЛЯРНАЯ ДОЛЯ РАСТВОРЁННОГО ВЕЩЕСТВА*

СЛЕДСТВИЕ ИЗ ЗАКОНА РАУЛЯ

- ПОВЫШЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ КИПЕНИЯ И ПОНИЖЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ЗАТВЕРДЕВАНИЯ РАСТВОРА ПРЯМО ПРОПОРЦИОНАЛЬНЫ МОЛЯРНОЙ КОНЦЕНТРАЦИИ РАСТВОРЁННОГО ВЕЩЕСТВА

$$\Delta T_{\text{кип}} = K_{\text{эб}} \cdot C_m;$$

$$\Delta T_3 = K_{\text{кр}} \cdot C_m,$$

где $K_{\text{эб}}$ – эбуллиоскопическая постоянная; $K_{\text{кр}}$ – криоскопическая постоянная; C_m – моляльная концентрация раствора (т. е. число молей растворенного вещества, приходящееся на 1000 г растворителя).

ДОМАШНЕЕ ЗАДАНИЕ

СОСТАВИТЬ КОНСПЕКТ, ПО ПРЕЗЕНТАЦИИ. РЕШИТЬ ЗАДАЧИ, ПРЕДОСТАВИВ
РАЗВЁРНУТЫЕ РЕШЕНИЯ И ОБЪЯСНЕНИЯ К НИМ

5.15. Определите молярность водного раствора сульфата меди (II), в 20 мл которого содержится 16 г CuSO_4 .

(Ответ: 5 моль/л)

5.21. Из 200 г 20%-ного раствора серной кислоты выпариванием удалили 100 г воды. Определите процентную концентрацию оставшегося раствора.

(Ответ: 40%)

5.22. Сколько граммов 30%-ного раствора хлорида натрия нужно добавить к 30 г воды, чтобы получить 10%-ный раствор?

(Ответ: 15 г)

5.23. Какую массу (кг) 20%-ного раствора гидроксида калия надо добавить к 1 кг 50%-ного раствора для получения 25%-ного раствора?

(Ответ: 5 кг)

ПРИМЕРЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ(ПРЕПИСЫВАТЬ НЕ НУЖНО)

Пример 1. Вычислите давление насыщенного пара над раствором, содержащим 7,5 г нафталина в 100 граммах бензола при 20 °С. Давление насыщенного пара над бензолом при данной температуре составляет 9953,82 Па.

Решение. По первому закону Рауля:

$$X_2 = \frac{P_1^0 - P}{P_1^0},$$

где P_1^0 – давление насыщенного пара над растворителем;

P – давление насыщенного пара над раствором;

X_2 – мольная доля растворенного вещества, которая определяется по формуле:

$$X_2 = \frac{n_2}{n_1 + n_2},$$

n_1 и n_2 – количества вещества растворителя и растворенного вещества соответственно.

Определим количества бензола (C_6H_6) и нафталина ($C_{10}H_8$):

$$n = \frac{m}{M}$$

$$n_1 = \frac{100}{78} = 1,28 \text{ моль}$$

$$n_2 = \frac{7,5}{128} = 0,06 \text{ моль}$$

$$X_2 = \frac{n_2}{n_1 + n_2} = \frac{0,06}{1,28 + 0,06} = 0,045$$

Т.к.

$$X_2 = \frac{P_1^0 - P}{P_1^0},$$

то

$$P = P_1^0 - X_2 P_1^0 = 9953,82 - 0,045 \cdot 9953,82 = 9506 \text{ Па}$$

Ответ: давление пара над раствором составляет 9506 Па.

Пример 2. Вычислите температуру кипения и замерзания водного раствора, содержащего 200 г фруктозы в 2 кг воды.

Решение. По следствию из закона Рауля:

$$\Delta T_{\text{кип}} = EC_m = E \frac{m_{\text{в-ва}}}{M_{\text{в-ва}} m_{\text{р-ля}}, \text{ КГ}}$$

$$\Delta T_{\text{зам}} = KC_m = K \frac{m_{\text{в-ва}}}{M_{\text{в-ва}} m_{\text{р-ля}}, \text{ КГ}}$$

где E – эбулиоскопическая константа растворителя, $\text{КГ} \cdot \text{К} / \text{моль}$,
 $E(\text{H}_2\text{O}) = 0,52 \text{ КГ} \cdot \text{К} / \text{моль}$;

K – криоскопическая константа растворителя, $\text{КГ} \cdot \text{К} / \text{моль}$, $K(\text{H}_2\text{O}) = 1,86 \text{ КГ} \cdot \text{К} / \text{моль}$.

Формула фруктозы $C_6H_{12}O_6$. Определим ее молярную массу:

M (фруктозы) = $12 \cdot 6 + 12 + 16 \cdot 6 = 180 \text{ г/моль}$.

Обратим внимание, что все массы в формуле берутся в г, лишь масса растворителя – в кг.

$$\Delta T_{\text{кип}} = E \frac{m_{\text{в-ва}}}{M_{\text{в-ва}} m_{\text{р-ля}}, \text{ КГ}} = 0,52 \frac{200}{180 \cdot 2} = 0,289 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$T_{\text{кип}} = 100 + 0,289 = 100,289 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\Delta T_{\text{зам}} = K \frac{m_{\text{в-ва}}}{M_{\text{в-ва}} m_{\text{р-ля}}, \text{ КГ}} = 1,86 \frac{200}{180 \cdot 2} = 1,033 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$T_{\text{зам}} = 0 - 1,033 = -1,033 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Ответ: раствор фруктозы закипит при $100,289 \text{ } ^\circ\text{C}$, а замерзнет при $-1,033 \text{ } ^\circ\text{C}$.

Пример 3. Для понижения температуры замерзания воды, используемой для охлаждения двигателей автомашин (антифриз) в воду добавляется неэлектролит. Сколько молей неэлектролита на 1000 граммов воды нужно взять, чтобы понизить температуру замерзания антифриза на 6°C ? Какое количество этиленгликоля для этого необходимо ($M = 62$ г/моль)?

Решение. Введение 1 моля неэлектролита понижает температуру замерзания водного раствора на $1,86^{\circ}\text{C}$ (следствие из закона Рауля). Тогда для понижения температуры замерзания на 6°C нужно $6/1,86 = 3,23$ моля. Масса этиленгликоля, необходимая для понижения температуры на 6°C составляет:

$$m = 3,23 \cdot 62 = 200 \text{ г.}$$

Ответ: $n_{\text{этиленгликоля}} = 3,23$ моль; $m_{\text{этиленгликоля}} = 200$ г.

Пример 6. Рассчитайте молярную массу неэлектролита, если его массовая доля в водном растворе составляет 2 %, и раствор замерзает при $-0,252^{\circ}\text{C}$.

Решение. По следствию из закона Рауля:

$$\Delta T_{\text{зам}} = K C_m = K \frac{m_{\text{в-ва}}}{M_{\text{в-ва}} m_{\text{р-ля}}, \text{ кг}}$$

Формула для расчета массовой доли:

$$\omega = \frac{m_{\text{в-ва}}}{m_{\text{р-ра}}} = 0,02$$

Примем, что масса раствора равна 100 г, тогда масса растворенного вещества – 2 г, а масса растворителя – 98 г. Подставим эти значения в формулу для расчета молярной массы:

$$M_{\text{в-ва}} = K \frac{m_{\text{в-ва}}}{\Delta T_{\text{зам}} m_{\text{р-ля}}, \text{ кг}} = 1,86 \frac{2}{0,252 \cdot 0,098} = 151 \text{ г/моль}$$

Ответ: $M = 151$ г/моль.



1. Какое количество глюкозы (в граммах) необходимо растворить в воде массой 500 г для повышения температуры кипения раствора на 1,04 градуса. Эбулиоскопическая константа воды 0,52 кг·К/моль. Ответ: 180 г.
2. Какова молярная масса вещества при растворении 2,3 г которого в 100 г воды, температура кипения раствора относительно температуры кипения воды повышается на 0,26 °С? Эбулиоскопическая константа воды 0,52 кг·К/моль. Ответ: 46 г/моль.
3. При 20 °С давление насыщенных паров ацетона равно 150 кПа. Чему равно давление насыщенного пара над раствором ацетона ($M = 58$ г/моль), в 63,5 г которого содержится 5,6 г муравьиной кислоты ($M = 46$ г/моль)? Ответ: 135 кПа.
4. Водный раствор неэлектролита замерзает при -2,68°С. Какова моляльная концентрация неэлектролита в растворе, если криоскопическая константа 1,86 кг·К/моль. Ответ: 1,44 моль/кг.