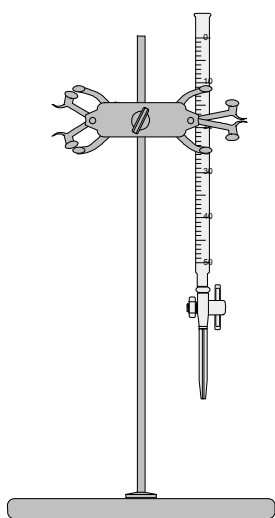


**Винницкий национальный медицинский университет
им. Н.И. Пирогова**

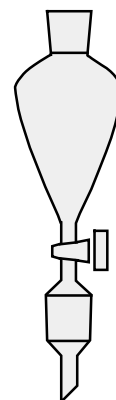
Кафедра общей и биологической химии

**СБОРНИК ЗАДАЧ И УПРАЖНЕНИЙ
ПО МЕДИЦИНСКОЙ ХИМИИ
Часть 1**

Модуль № 1 «Кислотно – основные равновесия и
комплексобразование в биологических жидкостях»



Составитель: Смирнова О.В., доцент кафедры
общей и биологической химии ВНМУ
им. Н.И.Пирогова



Для студентов медицинского, стоматологического факультетов и факультета
медицинской психологии ВНМУ им. Н.И.Пирогова

Винница 2009

Сборник утвержден на Центральном методкоме ВНМУ им. Н.И. Пирогова
(протокол № 6 от 23.04.2009г.)

Рецензенты:

Азаров А.С. – к.х.н., доцент кафедры
фармацевтической
химии ВНМУ
им. Н.И. Пирогова
Рыбак П.Г. – к.б.н., доцент,
заведующий кафедрой
естественных наук
ВНМУ им. Н.И.Пирогова

Содержание:

1. Способы выражения концентрации растворов	4
2. Объемный анализ	14
3. Реакция среды водных растворов – рН	25
4. Буферные системы	31
5. Коллигативные свойства растворов. Осмос. Криометрия	39

СПОСОБЫ ВЫРАЖЕНИЯ КОНЦЕНТРАЦИИ РАСТВОРОВ

Наиболее часто используют такие способы выражения концентрации растворов.

1. **Массовая доля ω** - это отношение массы растворенного вещества m_x (г) к массе раствора $m_{p-ра}$ (г):

$$\omega = \frac{m_x}{m_{p-ра}} \cdot 100\%$$

Единицы измерения массовой доли – проценты или в частях.

Масса раствора связана с объемом и плотностью:

$$m_{p-ра} = V \cdot \rho,$$

где $m_{p-ра}$ – масса раствора в г;

V - объем раствора в мл;

ρ - плотность раствора в г/мл.

Массу раствора можно найти как сумму массы воды и массы растворенного вещества: $m_{p-ра} = m_{\text{воды}} + m_x$.

2. **Молярная концентрация C_X** – это количество растворенного вещества ν в единице объема раствора:

$$C_X = \frac{\nu}{V}; \quad \text{выражаем } \nu = \frac{m_x}{M_X}, \text{ тогда}$$

$$C_X = \frac{m_x}{M_X \cdot V}$$

где, m_x - масса вещества в г,

V - объем раствора в л.

Единицы измерения – моль/л или ммоль/л.

Из формулы молярной концентрации можно найти массу растворенного вещества или навеску: $m_x = C_X \cdot M_X \cdot V$.

3. Но вещества реагируют не в молярном соотношении, а в эквивалентном.

Эквивалент – это частица вещества X, которая эквивалентна одному протону или одному электрону. Для нахождения эквивалента необходимо знать **фактор эквивалентности** $f_{\text{э.кв.}}$. – это число, которое показывает, какая частица вещества X эквивалентна одному протону или одному электрону. Фактор эквивалентности находят по формуле:

$$f_{\text{э.кв.}} = \frac{1}{z},$$

где z находят для каждого класса соединений:

а) z для кислот – это число протонов, которое замещается на металл:

например, $f_{\text{ЭКВ.}}(\text{HCl}) = \frac{1}{1}$; $f_{\text{ЭКВ.}}(\text{H}_2\text{SO}_4) = \frac{1}{2}$ или $\frac{1}{1}$, если замещается только один протон.

б) z для оснований – это число оксигрупп:

например, $f_{\text{ЭКВ.}}(\text{NaOH}) = \frac{1}{1}$; $f_{\text{ЭКВ.}}(\text{Ca}(\text{OH})_2) = \frac{1}{2}$;

в) z для солей – это суммарная валентность металла (произведение валентности металла на его количество):

например, $f_{\text{ЭКВ.}}(\text{Na}_2\text{SO}_4) = \frac{1}{2}$; $f_{\text{ЭКВ.}}(\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3) = \frac{1}{6}$;

г) z для окислительно – восстановительных реакций – это число электронов, которое отдает восстановитель или принимает окислитель:

например, для реакции $\text{Fe}^{+2} - 1e \rightarrow \text{Fe}^{+3}$ $f_{\text{ЭКВ.}}(\text{Fe}^{+2}) = \frac{1}{1}$;

для реакции $\text{Mn}^{+7} + 5e = \text{Mn}^{+2}$ $f_{\text{ЭКВ.}}(\text{Mn}^{+7}) = \frac{1}{5}$.

Используя фактор эквивалентности можно вычислить молярную массу эквивалента: $M_{f_{\text{ЭКВ.}}X} = f_{\text{ЭКВ.}} \cdot M_X$.

Зная молярную массу эквивалента, можно вычислить **молярную концентрацию эквивалента** $C_{f_{\text{ЭКВ.}}X}$ (раньше нормальная концентрация C_N) – это количество вещества эквивалента в единице объема раствора:

$$C_N = \frac{m_X}{M_X \cdot f_{\text{ЭКВ.}X} \cdot V}$$

где m_X – масса вещества в г,
 V – объем раствора в л.

Единицы измерения моль/л или ммоль/л.

Из формулы молярной концентрации эквивалента можно найти массу растворенного вещества или навеску: $m_X = C_X \cdot M_X \cdot f_{\text{ЭКВ.}} \cdot V$.

4) **Моляльная концентрация** b_X – количество вещества ν_X в 1 кг растворителя:

$b_X = \frac{\nu_X}{m_{\text{растворителя}}} = \frac{m_X}{M_X \cdot m_{\text{растворителя}}}$. Единицы измерения моль/кг растворителя.

5) **Титр раствора** t – это масса растворенного вещества в 1 мл раствора:

$t = \frac{m_X}{V}$. Единицы измерения г/мл.

б) Для вычисления концентрации растворов по данным титрования используют **закон эквивалентов – произведение молярной**

концентрации раствора на объем раствора есть величина постоянная:

$$C_{H1} \cdot V_1 = C_{H2} \cdot V_2.$$

7) Для вычисления концентрации растворов используют формулы, которые связывают различные способы выражения концентрации:

$$C_x = \frac{\varpi\% \cdot \rho \cdot 10}{M_x};$$

$$C_H = \frac{\varpi\% \cdot \rho \cdot 10}{M_x \cdot f_{ЭКВ.}}$$

Примеры решения типовых задач на приготовление растворов.

А. Приготовление растворов с массовой долей.

Если в задаче дается массовая доля или ее надо найти, решение начинают с формулы массовой доли.

1) Рассчитать навеску для приготовления 5л. физиологического раствора ($\rho = 1,03$).

$$\begin{aligned} V_{p-ра} &= 5\text{л}; \\ \rho_{p-ра} &= 1,03; \\ \varpi(\text{NaCl}) &= 0,9\%. \\ \varpi(\text{NaCl}) &= 0,9\%. \end{aligned}$$

$$m_x - ?$$

Физиологический раствор - это 0,9% NaCl.
Для расчета используем формулу массовой доли:

$$\varpi = \frac{m(x)}{m(p-ра)} 100\%; \quad m(p-ра) = v \rho;$$

1) Находим массу раствора:

$$m(p-ра) = 5000 \cdot 1,03 = 5150(\text{г});$$

2) Находим массу растворенного вещества:

$$m(x) = \frac{\varpi \cdot m(p-ра)}{100\%} = \frac{0,9 \cdot 5150}{100} = 46,35(\text{г}).$$

Ответ: 46,35г NaCl необходимо взять и добавить воду до 5л.

2) Сколько мл 37% -го раствора HCl ($\rho = 1,18$) необходимо взять для приготовления 2л фармакопейного препарата HCl с массовой долей 8,2% ($\rho = 1,04$).

$$\begin{aligned} \varpi_1(\text{HCl}) &= 37\%; \\ \rho_1 &= 1,18; \\ \varpi_2(\text{HCl}) &= 8,2\%; \\ \rho_2 &= 1,04; \\ V_2 &= 2\text{л} \end{aligned}$$

$$V_1 = ?$$

Задачу можно решать двумя способами.
I способ.

Обозначим параметры исходного 37%-го раствора цифрой 1, а раствора, который надо приготовить цифрой 2.

Для расчета используем формулу массовой доли:

$$\varpi = \frac{m(x)}{m(p-pa)} 100\%; \quad m(p-pa) = V \rho;$$

- 1) Данных первого раствора недостаточно для расчета по формуле массовой доли, поэтому используем эту формулу для нахождения массы второго раствора:

$$m_2(p-pa) = 2000 \cdot 1,04 = 2080(\text{г});$$

- 2) Находим массу растворенного вещества в этом растворе:

$$m_{x2} = \frac{\varpi_2 \cdot m_{p-pa2}}{100} = \frac{8,2 \cdot 2080}{100} = 170,56\text{г}(\text{HCl});$$

- 3) Масса растворенного вещества одинакова в обоих растворах,

$$\text{т.е.} \quad m_{x1} = m_{x2};$$

- 4) Находим массу первого раствора:

$$m_{p-pa1} = \frac{m_{x1}}{\varpi_1} \cdot 100\% = \frac{170,56 \cdot 100}{37} = 460,97\text{г};$$

- 5) Находим объем первого раствора:

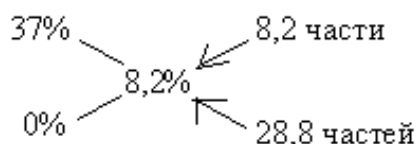
$$V_1 = \frac{m_{p-pa1}}{\rho_1} = \frac{460,97}{1,18} = 390,65\text{мл}.$$

Ответ: необходимо взять 390,65мл 37% - го раствора HCl и добавить воду до 2л.

II способ.

Решаем по правилу креста:

1)



- 2) Всего частей: $8,2 + 28,8 = 37$ частей;

- 3) Находим $m_{p-pa2} = 2000 \cdot 1,04 = 2080\text{г};$

- 4) Находим массу раствора, которая приходится на 1 часть раствора:

$$2080 : 37 = 56,22\text{г};$$

- 5) Находим массу первого раствора:

$$m_{p-pa1} = 56,22 \cdot 8,2 = 460,97\text{г};$$

- 6) Находим объем первого раствора:

$$V_1 = \frac{m_{p-pa1}}{\rho_1} = \frac{460,97}{1,18} = 390,65\text{мл}.$$

Ответ: необходимо взять 390,65мл 37% - го раствора HCl и добавить воду до 2л.

3) В каком объеме воды необходимо растворить 1 моль КОН для приготовления 5%-го раствора.

$v = 1 \text{ моль КОН};$	1) Находим массу растворенного вещества:
$\omega = 5\%;$	
$V(\text{H}_2\text{O}) = ?$	2) Записываем формулу массовой доли:

$$\omega = \frac{m(x)}{m(p-pa)} 100\%; \quad \text{отсюда масса раствора: } m_{p-pa} = \frac{m_x}{\omega} 100\% = 1120 \text{ г};$$

3) Рассчитываем массу воды: $m_{\text{ВОДЫ}} = m_{p-pa} - m_{\text{В-ВА}} = 1120 - 56 = 1064 \text{ г}$.
Ответ: необходимо взять 1064 г воды.

4) Больному необходимо ввести 100 мг бемегида. Сколько мл 0,5%-го раствора его надо взять?

$m_x = 100 \text{ мг};$	Для расчета используем формулу массовой доли:
$\omega = 0,5\%;$	
$\omega = 0,5\%;$	1) Переводим массу вещества в г:

$$\omega = \frac{m(x)}{m(p-pa)} 100\%; \quad m(p-pa) = V \rho;$$

1) Переводим массу вещества в г:

$$m_x = 100 \text{ мг} = 0,1 \text{ г};$$

2) Находим массу раствора бемегида:

$$m_{p-pa} = \frac{m_x}{\omega} 100\% = \frac{0,1 \cdot 100}{0,5} = 20 \text{ г}.$$

3) Находим объем раствора бемегида:

$$V = \frac{m_{p-pa}}{\rho} = \frac{20}{1} = 20 \text{ мл}.$$

Ответ: 20 мл.

5). Ребенку, который родился в асфиксии, вводят этимизол в расчете 1 мг этимизола на 1 кг массы тела ребенка. Сколько мл 1,5%-го раствора этого препарата необходимо для ребенка массой 2800.

$m_{\text{ребенка}} = 2800 \text{ г};$	Для расчета используем формулу массовой доли:
доза = 1 мг/кг массы;	
$\omega = 1,5\%;$	2) Находим массу раствора этимизола:
$V_{p-pa} - ?$	3) Так как плотность раствора не дается, то принимаем ее за 1:

$$\omega = \frac{m(x)}{m(p-pa)} 100\%; \quad m(p-pa) = V \rho;$$

1) Находим массу этимизола, которую надо ввести ребенку:

1 мг этимизола — на 1 кг массы тела

X мг — на 2,8 кг массы тела

$$X = 2,8 \text{ мг} = 0,0028 \text{ г};$$

2) Находим массу раствора этимизола:

$$m_{p-pa} = \frac{m_x}{\omega} 100\% = \frac{0,0028}{1,5} 100 = 0,187 \text{ г} = 0,19 \text{ г};$$

3) Так как плотность раствора не дается, то принимаем ее за 1:

Тогда, объем раствора этимизола равен его массе, т.е. 0,19мл.

Ответ : необходимо ввести 0, 19мл раствора этимизола.

б) Сколько грамм оксалатной (щавелевой) кислоты надо растворить в 200мл воды для получения 10%-го раствора ?

$V_{\text{воды}} = 200\text{мл};$ $\omega = 10\%;$	I способ. 1) Если обозначить массу вещества m_X , тогда масса раствора $m_{p-pa} = 200 + m_X$; ($200\text{мл H}_2\text{O} = 200\text{г H}_2\text{O}$); 2) Используем формулу массовой доли:
$m_X = ?$	$\omega = \frac{m(x)}{m(p-pa)} 100\%; \quad 10 = \frac{m_X}{200 + m_X} 100\%$

В результате расчетов получаем $m_X = 22,2\text{г}$.

Ответ: необходимо взять 22,2г щавелевой кислоты.

II способ

1) Какова массовая доля воды в растворе?

$$\omega(\text{H}_2\text{O}) = 100\% - 10\% = 90\%;$$

2) Найдем массу раствора:

$$m_{p-pa} = \frac{m(\text{H}_2\text{O})}{\omega} 100\% = \frac{200}{90} 100 = 222,2\text{г};$$

3) Находим массу щавелевой кислоты:

$$4) 222,2 - 200 = 22,2\text{г}.$$

Ответ: необходимо взять 22,2г щавелевой кислоты.

7)) В каком соотношении необходимо взять 30%-ный раствор перекиси водорода и воды для приготовления 3%-го раствора?

Раствор надо разбавить в 10 раз. Т.е. надо взять 1мл 30%-го раствора и 9мл воды.

Б. Приготовление растворов с молярной концентрацией C_X .

Если в задаче дается молярная концентрация или ее надо найти, решение начинают с формулы молярной концентрации.

1) Рассчитать навеску NaOH для приготовления 2л 0,3М раствора его.

$C_{X(\text{NaOH})} = 0,3\text{моль/л};$ $V = 2\text{л};$	1) Записываем формулу молярной концентрации: $C_X = \frac{m_X}{M_X \cdot V}$
$m_X = ?$	2) Из этой формулы находим m_X : $m_X = C_X \cdot M_X \cdot V = 0,3 \cdot 40 \cdot 2 = 24\text{г}.$

Ответ: необходимо взять 24г NaOH.

2) Вычислить молярную концентрацию раствора KOH, если в 3л раствора содержится 10г вещества.

$$m_{X(\text{KOH})} = 10\text{г};$$

$$V = 3\text{л};$$

$$C_X = ?$$

1) Записываем формулу молярной концентрации:

$$C_X = \frac{m_X}{M_X \cdot V}$$

2) Вычисляем C_X

$$C_X = \frac{100}{56 \cdot V} = 0,59 \text{ моль / л.}$$

Ответ: молярная концентрация — 0,59 моль/л.

3) Рассчитать объем 15% раствора H_2SO_4 ($\rho = 1,105$) необходимого для приготовления 4л 0,5М раствора?

$$\omega_1 = 15\%;$$

$$\rho_1 = 1,105;$$

$$V_2 = 4\text{л};$$

$$C_{X2} = 0,5 \text{ моль/л};$$

$$V_1 = ?$$

1) Данных первого раствора недостаточно для расчета по формуле массовой доли, поэтому используем формулу молярной концентрации для нахождения массы растворенного вещества m_X :

$$C_X = \frac{m_X}{M_X \cdot V}, \quad \text{отсюда}$$

$$m_X = C_X \cdot M_X \cdot V = 0,5 \cdot 98 \cdot 4 = 196\text{г};$$

2) Масса растворенного вещества одинакова в обоих растворах, т.е. $m_{X1} = m_{X2}$;

3) Используя формулу массовой доли, находим массу исходного раствора 1:

$$\omega = \frac{m(x)}{m(p-pa)} 100\%, \quad \text{отсюда} \quad m_{(p-pa)} = \frac{m_X}{\omega} 100\% = \frac{196}{15} 100 = 1306,7\text{г};$$

4) Находим объем исходного раствора: $V = \frac{m_{(p-pa)}}{\rho} = \frac{1306,7}{1,105} = 1182,5 \text{ мл.}$

Ответ: необходимо взять 1182,5мл 15% - го раствора и довести водой до 4л.

4) Какой молярной концентрации соответствует раствор соляной кислоты в желудочном соке, если массовая доля HCl в нем 0,5-0,54%?

$$\omega (\text{HCl}) = 0,5-0,54\%;$$

$$C_X = ?$$

I способ.

1) Находим средне арифметическое содержание соляной кислоты в желудочном соке:

$$\omega_{cp} = \frac{0,5 + 0,54}{2} = 0,52\%;$$

2) Пусть имеется 100г желудочного сока. В нем содержится 0,52г HCl. Молярная концентрация рассчитывается на 1000мл раствора. Принимая плотность желудочного сока за 1, находим массу соляной кислоты в 1000мл раствора:

в 100г раствора - 0,52г HCl

в 1000г(мл) - X

$$X = \frac{1000 \cdot 0,52}{100} = 5,2 \text{ г HCl};$$

3) Находим молярную концентрацию C_X :

$$C_X = \frac{5,2}{36,5 \cdot 1} = 0,142 \text{ моль / л.}$$

Ответ: молярная концентрация соляной кислоты в желудочном соке составляет 0,142 моль/л.

II способ.

1) Находим средне арифметическое содержание соляной кислоты в желудочном соке:

$$\omega_{CP} = \frac{0,5 + 0,54}{2} = 0,52\%;$$

2) Используем формулу, которая связывает два способа выражения концентрации раствора C_X и ω :

$$C_X = \frac{\omega\% \cdot \rho \cdot 10}{M_X} = \frac{0,52 \cdot 1 \cdot 10}{36,5} = 0,142 \text{ моль / л.}$$

Ответ: молярная концентрация соляной кислоты в желудочном соке составляет 0,142 моль/л.

V. Приготовление растворов с молярной концентрацией эквивалента C_H .

Если в задаче дается молярная концентрация эквивалента или ее надо найти, решение начинают с формулы молярной концентрации эквивалента.

1) В 250мл раствора содержится 26,5г Na_2CO_3 . Вычислить C_H .

$V = 250 \text{ мл};$
$m_X = 26,5 \text{ г};$
$C_H = ?$

1) Записываем формулу молярной концентрации эквивалента и вычисляем ее (объем раствора выражаем в л):

$$C_H = \frac{m_X}{M_X \cdot f_{ЭКВ.X} \cdot V} = \frac{26,5}{106 \cdot 1/2 \cdot 0,25} = 2 \text{ моль/л.}$$

Ответ: молярная концентрация эквивалента раствора соды – 2 моль/л.

2) Сколько г $KMnO_4$ необходимо для приготовления 2л. раствора с $C_H = 0,1$ моль/л, если $f_{ЭКВ. KMnO_4} = 1/5$?

$C_H = 0,1 \text{ моль/л};$
$V = 2 \text{ л};$
$f_{ЭКВ. KMnO_4} = 1/5;$
$m(KMnO_4) = ?$

1) Записываем формулу молярной концентрации эквивалента:

$$C_H = \frac{m_X}{M_X \cdot f_{ЭКВ.X} \cdot V}$$

$$\begin{aligned} \text{Отсюда: } m_X &= C_H \cdot M_X \cdot f_{ЭКВ.} \cdot V = \\ &= 0,1 \cdot 158 \cdot 1/5 \cdot 2 = 31,6 \text{ г.} \end{aligned}$$

Ответ: масса $KMnO_4$ составляет 31,6г.

3) Вычислить C_H раствора H_2SO_4 с $w=30\%$ ($\rho=1,22$, $f_{\text{экв.}}=1/2$).

$$w = 30\%;$$

$$\rho = 1,22;$$

$$f_{\text{экв.}} = 1/2;$$

1) Используем формулу, которая связывает C_H и w :

$$C_H = \frac{w\% \cdot \rho \cdot 10}{M_X \cdot f_{\text{экв.}}} = \frac{30 \cdot 1,22 \cdot 10}{98 \cdot 1/2} = 7,47 \text{ моль/л.}$$

Ответ: 30%-му раствору соответствует раствор с $C_H = 7,47$ моль/л.

$$C_H = ?$$

4) Какой объем 30%-го раствора H_3PO_4 ($\rho=1,18$) необходимо для приготовления 5л раствора с $C_H=2$ моль/л если фосфатная кислота реагирует полностью?

$$w_1 = 30\%;$$

$$\rho_1 = 1,18;$$

$$V_2 = 5\text{л};$$

$$C_{H2} = 2 \text{ моль/л}$$

$$V_1 = ?$$

Обозначим параметры исходного 30%-го раствора цифрой 1, а раствора, который надо приготовить, т.е. 2Н-го - цифрой 2

1) Данных первого раствора недостаточно для расчета по формуле массовой доли, поэтому используем формулу молярной концентрации эквивалента C_H для нахождения массы вещества во втором растворе

$$C_H = \frac{m_X}{M_X \cdot f_{\text{экв.}X} \cdot V}, \quad \text{отсюда} \quad m_{X2} = C_H \cdot M_X \cdot f_{\text{экв.}} \cdot V =$$

$= 0,2 \cdot 98 \cdot 1/3 \cdot 5 = 326,6\text{г.}$ (так как фосфатная кислота реагирует полностью, т.е. все три атома водорода замещаются металлом, то фактор эквивалентности равен 1/3).

2) Масса растворенного вещества одинакова в обоих растворах, т.е.

$$m_{X1} = m_{X2}.$$

3) Используя формулу массовой доли, находим массу первого раствора:

$$w = \frac{m(x)}{m(p-pa)} 100\%; \quad \text{отсюда} \quad m_{(p-pa)} = \frac{m_X}{w} 100\% = \frac{326,6}{30} 100 = 1088\text{г};$$

5) Находим объем 30-го раствора:

$$V = \frac{m_{p-pa}}{\rho} = \frac{1088}{1,18} = 922\text{мл.}$$

Ответ: необходимо взять 922мл 30-ого раствора и долить водой до 5л.

6) Как изменится концентрация раствора HCl с $C_H=0,2$ моль/л, если к 50мл его долить 100мл воды?

$$C_{H1} (HCl) = 0,2 \text{ моль/л};$$

$$V_{p-pa} = 50\text{мл};$$

$$V_{\text{ВОДЫ}} = 100\text{мл.}$$

$$C_{H2} (HCl) = ?$$

1) Объем раствора после добавления воды:

$$50 + 100 = 150\text{мл};$$

2) Согласно закону эквивалентов:

$$C_{H1} \cdot V_1 = C_{H2} \cdot V_2;$$

3) Находим концентрацию после добавления

ВОДЫ:

$$C_{H_2} = \frac{C_{H_1} \cdot V_1}{V_2} = \frac{0,2 \cdot 50}{150} = 0,067 \text{ моль/л.}$$

Ответ: 0,067 моль/л.

Задачи для самостоятельного решения.

- 1) Рассчитать навеску NaCl для приготовления 4л. гипертонического раствора с $\omega = 10\%$ (ответ: 42,8 г)
- 2) Сколько мл. 30%-го раствора H_2O_2 ($\rho = 1,11$) необходимо взять для приготовления 2л. фармакопейного препарата с $\omega(H_2O_2) = 3\%$ ($\rho = 1,007$)? (ответ: 181 мл)
- 3) Детям вводят но-шпу из расчета 2мг/кг массы тела ($\rho = 1,04$). Сколько мл 2%-го раствора этого препарата необходимо ввести ребенку массой 25кг? (ответ: 0,2 мл)
- 4) Известно, что 1 ЕД инсулина способствует усвоению в организме 5г глюкозы. Сколько единиц инсулина необходимо добавить к 500 мл 5% - го раствора глюкозы? (ответ: 5 ЕД)
- 5) Больному массой 76 кг необходимо ввести раствор $NaHCO_3$ из расчета 0,66 ммоль/кг массы тела. Сколько мл 4,2% -го раствора его надо взять? (ответ: 100 мл)
- 6) В каком объеме воды надо растворить 2 моль NaOH, чтобы получить 10% -ный раствор? (ответ: 320 г)
- 7) Раствор эуфиллина выпускают в виде 2,4% - 10 мл раствора. Сколько мг чистого вещества в 1 ампуле? (ответ: 240 мг)
- 8) Для введения больного в наркоз используют оксибутират натрия (ГОМК), который выпускают по 20% - 10 мл. Масса тела больного 60 кг. Препарат вводят из расчета 70 мг/кг. Сколько мл раствора необходимо ввести больному? (ответ: 21мл)
- 9) Рассчитать навеску NaOH для приготовления 2 л раствора с $C_H = 1$ моль/л, который используется в фармации для установления титра фосфорной кислоты. (ответ: 80 г)
- 10) Какой объем 20% -го раствора H_3PO_4 ($\zeta = 1,18$) необходим для приготовления 4 л раствора её с $C_H = 1,5$ моль/л ($f_{екв} = 1/3$). (ответ: 553,67 мл)
- 11) Рассчитать навеску для приготовления 0,5 л раствора аскорбиновой кислоты с массовой долей её 5% ($\rho = 1,08$). (ответ: 27 г)
- 12) Приготовить 3 л физиологического раствора ($\rho = 1,03$) (сделать необходимые расчеты). (ответ 27,8г)
- 13) Сколько мл 10% -го раствора H_2SO_4 ($\rho = 1,065$) необходимо для приготовления 5 л её раствора с $C_H = 0,1$ моль/л ($f_{екв} = 0,5$). (ответ: 230 мл)
- 14) Рассчитать навеску для приготовления 4л раствора $FeSO_4$ с $C_H = 0,1$ моль/л, если в реакция идет по схеме: $Fe^{+2} \rightarrow Fe^{+3}$. (ответ: 60,8г)

- 15) Рассчитать навеску для приготовления 3л 0,1М раствора HCl.
(ответ: 10,96г)
- 16) Рассчитать C_x раствора, который содержит 30г NaOH в 2л раствора.
(ответ: 0,375моль/л)
- 17) В каком объеме воды необходимо растворить 1,5моль NaOH для получения 5%-го раствора?
(ответ: 1140мл)
- 18) В каком соотношении надо взять 37%-ный раствор HCl и воду для приготовления 8,2%-го раствора (фармакопейный препарат).
(ответ: 1мл 37%-ный раствора HCl и 3,5мл воды)
- 19) Сколько мл воды надо добавить к 50г 2%-го раствора NaCl для приготовления 0,9%-го раствора?
(ответ: 48,9мл воды)
- 20) Больному массой тела 60кг необходимо ввести 0,1%-ный раствор адреналина из расчета 0,5мкг/кг. Сколько мл этого раствора надо взять?
- 21) При отравлении соединениями мышьяка вводят унитиол из расчета 56мг вещества на 10кг веса человека. Вычислить объем 5%-го раствора унитиола, который необходимо ввести больному весом 60кг. (ρ раствора 1,12).
(ответ: 6мл)

ОБЪЕМНЫЙ АНАЛИЗ

Объемный или титриметрический анализ основан на точном измерении объема титрованного раствора, затраченного на реакцию с исследуемым веществом.

Титрованным называют раствор с точно известной концентрацией.

Исходными называют вещества, из которых можно приготовить раствор по точной навеске.

Индикаторы – это слабые органические кислоты или основания, которые изменяют свою окраску в зависимости от pH раствора.

Интервал перехода окраски индикатора – это интервал pH, в котором индикатор меняет свою окраску.

Индикатор	Окраска в кислой среде	Интервал перехода окраски (pH)	Окраска в щелочной среде
Метилоранж	розовая	3,1 – 4,4	желтая
Фенолфталеин	бесцветный	8,2 – 10,5	малиновая
Метилловый красный	красная	4,2 – 6,2	желтая
Лакмус	красная	5 - 8	синяя

Метод нейтрализации

Метод нейтрализации - это метод объемного анализа, в котором используют титрованные растворы кислот и щелочей.

В основе метода лежит реакция нейтрализации:



В зависимости от титрованного раствора метод нейтрализации делят на алкалометрию и ацидиметрию.

Алкалиметрия - это метод определения кислот и солей, дающих при гидролизе кислую реакцию, с помощью титрованного раствора щелочи. Титрованные растворы щелочей NaOH и KOH готовят по приблизительной навеске, а затем устанавливают их титр, т.е. точную концентрацию, по исходным веществам — оксалату (щавелевая кислота) $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ и сукцинату (янтарная кислота) $\text{HOOC}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{COOH}$. Растворы щелочей готовят приблизительно такой же концентрации как и исходное вещество, т.е. навеску щелочи рассчитывают зная концентрацию исходного вещества.

Задачи на приготовление растворов в алкалиметрии

1) Рассчитать навеску для приготовления 2л раствора NaOH, если титр его будут устанавливать по 0,1Н раствору оксалата(щавелевой кислоты).

$$\begin{array}{l} V = 2\text{л}; \\ C_{\text{H}}(\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4) = 0,1\text{моль/л}; \\ \hline m(\text{NaOH}) = ? \end{array}$$

1) Так как титр щелочи будут устанавливать по 0,1Н раствору $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$, то раствор щелочи должен быть тоже 0,1Н-ным.

2) Для расчета массы щелочи используем формулу C_{H} :

$$C_{\text{H}} = \frac{m_{\text{X}}}{M_{\text{X}} \cdot f_{\text{ЭКВ.Х}} \cdot V}$$

отсюда $m_{\text{X}} = C_{\text{H}} \cdot M_{\text{X}} \cdot f_{\text{ЭКВ.Х}} \cdot V = 0,1 \cdot 40 \cdot 1 \cdot 2 = 8\text{г.}$

Ответ: масса щелочи 8г.

2) Рассчитать навеску для приготовления 1л 0,15Н раствора KOH.

$$\begin{array}{l} V = 1\text{л}; \\ C_{\text{H}} = 0,15\text{моль/л}; \\ \hline m(\text{KOH}) = ? \end{array}$$

1) Для расчета запишем формулу C_{H}

$$C_{\text{H}} = \frac{m_{\text{X}}}{M_{\text{X}} \cdot f_{\text{ЭКВ.Х}} \cdot V}$$

отсюда $m_{\text{X}} = C_{\text{H}} \cdot M_{\text{X}} \cdot f_{\text{ЭКВ.Х}} \cdot V = 0,15 \cdot 56 \cdot 1 \cdot 1 = 8,4\text{г.}$

Ответ: масса щелочи 8,4г.

3) Рассчитать навеску для приготовления 2л раствора KOH, если титр его будут устанавливать по 0,1Н раствору янтарной кислоты.

$$\begin{array}{l} V = 2\text{л}; \\ C_{\text{H}}(\text{C}_4\text{H}_6\text{O}_4) = 0,1\text{моль/л}; \\ \hline m(\text{KOH}) = ? \end{array}$$

1) Так как титр щелочи будут устанавливать по 0,1Н раствору $\text{C}_4\text{H}_6\text{O}_4$, то раствор ее должен быть тоже 0,1Н-ным.

2) Для расчета массы щелочи используем формулу C_{H} :

$$C_H = \frac{m_X}{M_X \cdot f_{\text{ЭКВ.Х}} \cdot V}$$

отсюда $m_X = C_H \cdot M_X \cdot f_{\text{ЭКВ.Х}} \cdot V = 0,1 \cdot 56 \cdot 1 \cdot 2 = 11,2\text{г.}$

Ответ: масса щелочи 11,2г.

4) Какой объем 30%-го раствора H_2SO_4 ($\rho = 1,18$) необходимо для приготовления 2л рабочего раствора с $C_H = 0,1$ моль/л, если кислота реагирует полностью?

$\omega_1 = 30\%$;

$\rho_1 = 1,18$;

$V_2 = 2\text{л}$;

$C_{H2} = 0,1$ моль/л;

$V_1 = ?$

Обозначим параметры исходного 30%-го раствора цифрой 1, а раствора, который надо приготовить — 0,1Н-го - цифрой 2.

1) Данных первого раствора недостаточно для расчета по формуле массовой доли, поэтому используем формулу молярной концентрации эквивалента C_H для нахождения массы вещества во втором растворе:

$$C_H = \frac{m_X}{M_X \cdot f_{\text{ЭКВ.Х}} \cdot V}, \quad \text{отсюда} \quad m_{X2} = C_H \cdot M_X \cdot f_{\text{ЭКВ.Х}} \cdot V =$$

$= 0,1 \cdot 98 \cdot 1/2 \cdot 2 = 9,8\text{г.}$ (так как серная кислота реагирует полностью, т.е. все два атома водорода замещаются металлом, то фактор эквивалентности равен 1/2).

2) Масса растворенного вещества одинакова в обоих растворах, т.е.

$$m_{X1} = m_{X2}$$

3) Используя формулу массовой доли, находим массу первого раствора:

$$\omega = \frac{m(x)}{m(p - pa)} 100\%;$$

$$\text{отсюда} \quad m_{p-pa} = \frac{m_X}{\omega} 100\% = \frac{9,8}{30} 100\% = 32,7.$$

7) Находим объем 30-го раствора:

$$V = \frac{m_{p-pa}}{\rho} = \frac{32,7}{1,18} = 27,68\text{мл.}$$

Ответ: необходимо взять 27,68мл 30%-го раствора и долить водой до 2л.

Задачи для самостоятельного решения:

- 1) Сколько мл 50%-го раствора H_2SO_4 ($\rho = 1,7$) необходимо для приготовления 3л рабочего раствора с $C_H = 0,1$ моль/л, если кислота реагирует полностью? (16,66г)
- 2) Вычислить навеску КОН для приготовления 3л раствора, если титр его устанавливают по 0,1Н раствора оксалата. (16,8г)
- 3) Вычислить C_H соляной кислоты, если на титрование 5мл ее раствора израсходовано 5,1мл 0,1Н раствора КОН. (0,1 моль/л)
- 4) Вычислить навеску оксалата для приготовления 4л 0,1Н раствора. (18г)

- 5) Вычислить навеску фосфатной кислоты для приготовления 2л 0,1Н раствора, если она реагирует полностью. (6,53г)

Ацидиметрия - это метод определения оснований и солей, дающих при гидролизе щелочную реакцию, с помощью титрованного раствора кислоты.

Титрованные растворы кислот HCl и H₂SO₄ готовят по приблизительной навеске, а затем устанавливают их титр, т.е. точную концентрацию, по исходным веществам — натрий карбонату Na₂CO₃, натрий тетраборату (бура) Na₂B₄O₇ · 10 H₂O и натрий оксалату Na₂C₂O₄. Растворы кислот готовят приблизительно такой же концентрации как и исходное вещество, т.е. навеску кислоты рассчитывают зная концентрацию исходного вещества.

Задачи на приготовление растворов в ацидиметрии

- 1) **Вычислить массу соляной кислоты, необходимой для приготовления 3л раствора, если титр его будут устанавливать по 0,1Н раствору натрий карбоната.**

$$V = 3\text{л};$$

$$C_{\text{H}}(\text{Na}_2\text{CO}_3) = 0,1\text{ моль/л};$$

$$m(\text{HCl}) = ?$$

- 1) Так как титр соляной кислоты будут устанавливать по 0,1Н раствору Na₂CO₃, то раствор кислоты должен быть тоже 0,1Н-ным.

- 2) Для расчета массы кислоты

используем формулу C_H:

$$C_{\text{H}} = \frac{m_{\text{X}}}{M_{\text{X}} \cdot f_{\text{ЭКВ.Х}} \cdot V}$$

отсюда $m_{\text{X}} = C_{\text{H}} \cdot M_{\text{X}} \cdot f_{\text{ЭКВ.Х}} \cdot V = 0,1 \cdot 36,5 \cdot 1 \cdot 3 = 10,5\text{г.}$

Ответ: масса кислоты 10,5г.

- 2) **Вычислить молярную концентрацию H₂SO₄, если в 400мл раствора содержится 49г кислоты.**

$$V = 400\text{мл};$$

$$m(\text{H}_2\text{SO}_4) = 49\text{г};$$

$$C_{\text{X}} = ?$$

- 1) Записываем формулу молярной концентрации:

$$C_{\text{X}} = \frac{m_{\text{X}}}{M_{\text{X}} \cdot V} = \frac{49}{98 \cdot 0,4} = 1,25\text{ моль/л.}$$

Ответ: C_X (H₂SO₄) = 1,25 моль/л.

3. **Вычислить навеску Na₂CO₃ для приготовления 1л титрованного раствора с C_H = 0,1 моль/л.**

$$V = 1\text{л};$$

$$C_{\text{H}}(\text{Na}_2\text{CO}_3) = 0,1\text{ моль/л};$$

$$m(\text{Na}_2\text{CO}_3) = ?$$

- 1) Для расчета массы Na₂CO₃ используем формулу C_H:

$$C_{\text{H}} = \frac{m_{\text{X}}}{M_{\text{X}} \cdot f_{\text{ЭКВ.Х}} \cdot V}$$

$$\begin{aligned} \text{отсюда } m_X &= C_H \cdot M_X \cdot f_{\text{ЭКВ.}} \cdot V = \\ &= 0,1 \cdot 106 \cdot 1/2 \cdot 1 = 5,3\text{г.} \end{aligned}$$

Ответ: масса карбоната 5,3г.

4. Вычислить массу фосфатной кислоты, необходимой для приготовления 2л раствора, если титр его будут устанавливать по 0,1Н раствору буры.

$$\begin{array}{|l} V = 2\text{л;} \\ C_H(\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7) = 0,1\text{моль/л;} \\ \hline m(\text{H}_3\text{PO}_4) = ? \end{array}$$

1) Так как титр фосфатной кислоты будут устанавливать по 0,1Н раствору буры, то раствор кислоты должен быть тоже 0,1Н-ным.

2) Для расчета массы кислоты

используем формулу C_H :

$$C_H = \frac{m_X}{M_X \cdot f_{\text{ЭКВ.}} \cdot V}$$

$$\text{отсюда } m_X = C_H \cdot M_X \cdot f_{\text{ЭКВ.}} \cdot V = 0,1 \cdot 202 \cdot 1/2 \cdot 2 = 20,2\text{г.}$$

Ответ: масса кислоты 20,2г.

Задачи для самостоятельного решения:

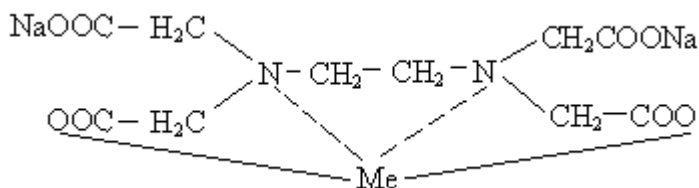
- 1) Вычислить навеску буры для приготовления 0,5л титрованного раствора с $C_H = 0,1$ моль/л. (4,55г)
- 2) Вычислить C_H раствора фосфатной кислоты, если в 1,5л его содержится 7,5г кислоты. (0,15моль/л)
- 3) Вычислить молярную концентрацию соляной кислоты, если в 700мл раствора содержится 3,5г ее. ((0,13моль/л)
- 4) Вычислить молярную концентрацию эквивалента серной кислоты, если в 600мл раствора содержится 5,5г ее.. (0,18моль/л)
- 5) Вычислить C_H раствора соляной кислоты, если в 200мл раствора содержится 15г кислоты. (0,2моль/л)

КОМПЛЕКСОНОМЕТРИЯ

Комплексонометрия – это метод объемного анализа, в котором используют титрованные растворы комплексонов.

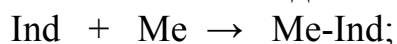
Комплексоны – аминополикарбоновые кислоты и их производные.

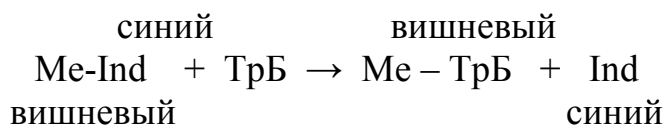
Чаще используют **трилон Б**, который с катионами металлов дает хелаты:



Для определения конца титрования используют индикаторы – мурексид, эриохром черный Т, хромоген синий и др.

Химизм метода:





Исходные вещества метода: MgO; CaCO₃, Zn.

Примеры решения задач

1) Сколько грамм трилона Б необходимо для приготовления 250мл раствора с C_H = 0,05моль/л?

$$\begin{array}{l} V = 250\text{мл}; \\ C_H = 0.05\text{моль/л}; \end{array}$$

$$M_X = ?$$

1) Так как в задаче дается молярная концентрация эквивалента C_H, то решение начинаем с формулы C_H:

$$C_H = \frac{m_X}{M_X \cdot f_{\text{ЭКВ.Х}} \cdot V}$$

отсюда $m_X = C_H \cdot M_X \cdot f_{\text{ЭКВ.Х}} \cdot V = 0,05 \cdot 372 \cdot 1/2 \cdot 0,25 = 2,3\text{г.}$

Ответ: масса ТрБ 2,3г.

2) На титрование 10мл раствора MgCl₂ с C_H = 0,1моль/л израсходовано 11,9мл рабочего раствора трилона Б. Вычислить концентрацию раствора трилона Б.

$$\begin{array}{l} V(\text{MgCl}_2) = 10\text{мл}; \\ C_H(\text{MgCl}_2) = 0,1\text{моль/л}; \\ V(\text{Тр Б}) = 11,9\text{мл}; \end{array}$$

$$C_H(\text{Тр Б}) = ?$$

1) Для решения используем закон эквивалентности:

$$C_H(\text{MgCl}_2) \cdot V(\text{MgCl}_2) = C_H(\text{Тр Б}) \cdot V(\text{Тр Б});$$

отсюда $C_H(\text{Тр Б}) = \frac{C_H(\text{MgCl}_2) \cdot V(\text{MgCl}_2)}{V(\text{ТрБ})} =$

$$= \frac{0,1 \cdot 10}{11,9} = 0,084\text{моль/л.}$$

Ответ: C_H(Тр Б) = 0,084моль/л.

3) Вычислить общую жесткость воды, если на титрование 30мл ее израсходовано 2,7мл 0,1Н трилона Б.

$$\begin{array}{l} V(\text{H}_2\text{O}) = 30\text{мл}; \\ V(\text{ТрБ}) = 2,7\text{мл}; \\ C(\text{ТрБ}) = 0,1\text{моль/л}; \end{array}$$

$$C(\text{H}_2\text{O}) = ?$$

Для решения используем закон эквивалентности:

$$C_H(\text{H}_2\text{O}) \cdot V(\text{H}_2\text{O}) = C_H(\text{Тр Б}) \cdot V(\text{Тр Б}),$$

отсюда $C_H(\text{H}_2\text{O}) = \frac{C_H(\text{ТрБ}) \cdot V(\text{ТрБ})}{V(\text{H}_2\text{O})} =$

$$= \frac{0,1 \cdot 2,7}{30} = 0,009 = 9\text{моль/л.}$$

Ответ: общая жесткость воды 9моль/л.

4) Вычислить навеску трилона Б для приготовления 1л раствора его, если титр (точная концентрация) будет устанавливаться по 0,1Н раствору исходного вещества MgO.

$$V(\text{ТрБ}) = 1\text{мл};$$

1) Так как титр ТрБ будут устанавливать по

$$C(\text{MgO}) = 0,1 \text{ моль/л};$$

$$m(\text{MgO}) = ?$$

0,1Н раствору исходного вещества MgO, то навеску ТрБ рассчитываем также исходя из концентрации 0,1 моль/л. Так как в задаче дается молярная концентрация эквивалента C_H , то решение начинаем с формулы C_H :

$$C_H = \frac{m_X}{M_X \cdot f_{\text{ЭКВ.Х}} \cdot V}$$

отсюда $m_X = C_H \cdot M_X \cdot f_{\text{ЭКВ.Х}} \cdot V =$
 $= 0,1 \cdot 372 \cdot 1/2 \cdot 1 = 18,6 \text{ г.}$

Ответ: масса ТрБ 18,6г.

5) Вычислить навеску цинк сульфата для приготовления 200г раствора с массовой долей соли 1,5% .

$$m_{\text{р-ра}} = 200 \text{ г};$$
$$\omega(\text{ZnSO}_4) = 1,5\%;$$

$$m(\text{ZnSO}_4) = ?$$

1) Так как в задаче дается массовая доля , то используем формулу:

$$\omega = \frac{m(x)}{m(p - \text{ра})} 100\%;$$

отсюда $m_X = \frac{\omega \cdot m_{\text{р-ра}}}{100\%} = \frac{1,5\% \cdot 200}{100} = 3 \text{ г.}$

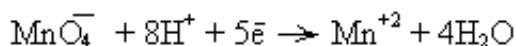
Ответ: навеска ZnSO_4 – 3г.

Задачи для самостоятельного решения:

- 1) Вычислить навеску трилона Б для приготовления 0,5л раствора его , если титр (точная концентрация) будет устанавливаться по 0,1Н раствору исходного вещества CaCO_3 . (ответ: 9,3г)
- 2) Вычислить навеску никель сульфата для приготовления 400г раствора с массовой долей соли 1,5% . (ответ: 6г)
- 3) Сколько грамм трилона Б необходимо для приготовления 250мл раствора с $C_H = 0,05 \text{ моль/л}$? (ответ: 2,325г)
- 4) Вычислить навеску ртути (II) нитрата для приготовления 500мл 0,1Н раствора. (ответ: 6,575г)

МЕТОД ПЕРМАНГАНОМЕТРИИ

Перманганометрия – это метод объемного анализа, в котором используют титрованный раствор калий перманганата KMnO_4 .
Основная реакция метода:



Титрованный раствор KMnO_4 готовят по приблизительной навеске, а затем титр устанавливают по исходным веществам – $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$ или $\text{Na}_2\text{C}_2\text{O}_4$. Титрование проводят в кислой среде. Конец титрования устанавливают по появлению розовой окраски при добавлении одной лишней капли раствора KMnO_4 .

Примеры решения задач

1) Вычислить навеску для приготовления 400мл раствора KMnO_4 , если титр его будут устанавливать по 0,1Н раствору исходного вещества $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$.

$$\begin{array}{l} V_{(\text{P-PA})} = 400\text{мл}; \\ C(\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4) = 0,1\text{моль/л}; \\ \hline m(\text{KMnO}_4) = ? \end{array}$$

1) Так как титр раствора KMnO_4 будут устанавливать по 0,1Н раствору $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$, то концентрация раствора KMnO_4 также должна 0,1моль/л. Используем формулу молярной концентрации эквивалента:

$$C_H = \frac{m_X}{M_X \cdot f_{\text{ЭКВ.Х}} \cdot V};$$

отсюда $m_X = C_H \cdot M_X \cdot f_{\text{ЭКВ.}} \cdot V = 0,1 \cdot 158 \cdot 1/5 \cdot 0,4 = 12,64\text{г.}$

Ответ: масса KMnO_4 12,64г.

2) В лаборатории есть 10%-ный раствор KMnO_4 ($\rho = 1,4$).

Вычислить C_H .

$$\begin{array}{l} \omega(\text{KMnO}_4) = 10\%; \\ \rho = 1,4; \\ \hline C_H = ? \end{array}$$

1) Используем формулу, которая связывает C_H и ω :

$$C_H = \frac{\omega\% \cdot \rho \cdot 10}{M_X \cdot f_{\text{ЭКВ.}}} = \frac{10\% \cdot 1,4 \cdot 10}{158 \cdot 1/5} = 4,43\text{моль/л.}$$

Ответ: $C_H(\text{KMnO}_4) = 4,43\text{моль/л.}$

3) Вычислить навеску $\text{Na}_2\text{C}_2\text{O}_4$ для приготовления 500мл 0,1Н раствора.

$$\begin{array}{l} V_{(\text{P-PA})} = 500\text{мл}; \\ C_H = 0,1\text{Н}; \\ \hline m(\text{Na}_2\text{C}_2\text{O}_4) - ? \end{array}$$

1) Используем формулу молярной концентрации

эквивалента: $C_H = \frac{m_X}{M_X \cdot f_{\text{ЭКВ.Х}} \cdot V}.$

отсюда $m_X = C_H \cdot M_X \cdot f_{\text{ЭКВ.}} \cdot V = 0,1 \cdot 134 \cdot 1/2 \cdot 0,5 = 3,35\text{г.}$

Ответ: масса $\text{Na}_2\text{C}_2\text{O}_4$ 3,35г.

4) Сколько грамм феррум(II) сульфата необходимо для приготовления 100мл раствора, если имеется титрованный раствор KMnO_4 с $C_H = 0,08$ моль/л.

$$V_{(\text{P-PA})} = 100\text{мл};$$

1) Так как титрование проводится 0,08Н

$$C_H(\text{KMnO}_4) = 0,08 \text{ моль/л};$$

$$m(\text{FeSO}_4) = ?$$

раствором KMnO_4 , то раствор FeSO_4 необходимо приготовить такой же концентрации. Используем формулу молярной концентрации

эквивалента C_H :
$$C_H = \frac{m_X}{M_X \cdot f_{\text{ЭКВ.Х}} \cdot V}$$

отсюда $m_X = C_H \cdot M_X \cdot f_{\text{ЭКВ.Х}} \cdot V = 0,08 \cdot 152 \cdot 1 \cdot 0,1 = 1,216 \text{ г.}$

Ответ: масса FeSO_4 1,216 г.

3) Вычислить объем 30%-го раствора H_2O_2 ($\rho = 1,27$) для приготовления 2 л раствора, если титрование проводится 0,09Н раствором KMnO_4 в кислой среде.

$$\omega_1(\text{H}_2\text{O}_2) = 30\%;$$

$$\rho_1 = 1,27;$$

$$V_{\text{P-PA } 2}(\text{H}_2\text{O}_2) = 2 \text{ л};$$

$$C_H(\text{KMnO}_4) = 0,09 \text{ моль/л};$$

$$V_{(\text{P-PA}) 1}(\text{H}_2\text{O}_2) = ?$$

1) Так как титрование проводится 0,09Н раствором KMnO_4 , то раствор H_2O_2 необходимо приготовить такой же концентрации. Используя формулу молярной концентрации эквивалента C_H , находим массу H_2O_2 в 200мл 0,09Н

раствора:
$$C_H = \frac{m_X}{M_X \cdot f_{\text{ЭКВ.Х}} \cdot V}$$

отсюда $m_X = C_H \cdot M_X \cdot f_{\text{ЭКВ.Х}} \cdot V = 0,09 \cdot 34 \cdot 1/2 \cdot 2 = 3,06 \text{ г};$

2) Масса пероксида одинакова в растворах 1 и 2:

$$m_{X1} = m_{X2};$$

3) Используя формулу массовой доли, находим массу раствора 1:

$$\varpi = \frac{m(x)}{m(p-pa)} 100\%;$$

отсюда
$$m_{p-pa1} = \frac{m_{x1}}{\varpi_1} \cdot 100\% = \frac{3,06 \cdot 100}{30} = 10,2 \text{ г};$$

4) Находим объем раствора 1:

$$V = \frac{m_{p-pa}}{\rho} = \frac{10,2}{1,27} = 8,03 \text{ мл.}$$

Ответ: объем 30%-го раствора пероксида водорода 8,03 мл.

Задачи для самостоятельного решения:

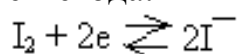
1) Вычислить навеску для приготовления 400мл раствора KMnO_4 , если титр его будут устанавливать по 0,1Н раствору исходного вещества $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$. (ответ: 1,26г)

- 2) Вычислить C_H раствора H_2O_2 , если на титрование 5мл его израсходовано 4,8мл 0,09Н раствора $KMnO_4$ (титрование проводится в кислой среде). (ответ: 0,086)
- 3) В лаборатории имеется 5%-ный раствор калий перманганата ($\rho = 1,15$). Сколько мл этого раствора необходимо для приготовления 1л 0,1Н раствора калий перманганата? (ответ: 54,96г)
- 4) Сколько мл 5%-го раствора $Na_2C_2O_4$ ($\rho = 1,1$) необходимо для приготовления 200мл 0,1Н раствора? (ответ: 24,36мл)

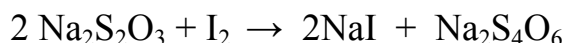
МЕТОД ИОДОМЕТРИИ

Иодометрия – это метод объемного анализа, в котором используют титрованные растворы I_2 или I^- .

Основное уравнение метода:



Так как титрование иодом идет медленно, то к исследуемому раствору добавляют избыток иода, а остаток оттитровывают натрий тиосульфатом $Na_2S_2O_3$:



Исходное вещество метода - I_2 .

Титрование проводят в кислой или нейтральной средах. Индикатором является крахмал. Конец титрования устанавливают по исчезновению синей окраски иода с крахмалом.

Примеры решения задач

1) Вычислить навеску иода для приготовления 500мл 0,1Н раствора.

$$\begin{array}{l} V_{(P-PA)} = 500\text{мл}; \\ C_H = 0,1\text{Н}; \end{array}$$

1) Так как в задаче дается молярная концентрация эквивалента C_H' то используем формулу:

$$m(I_2) = ?$$

$$C_H = \frac{m_X}{M_X \cdot f_{ЭКВ.X} \cdot V};$$

отсюда $m_X = C_H \cdot M_X \cdot f_{ЭКВ.} \cdot V = 0,1 \cdot 254 \cdot 1/2 \cdot 0,5 = 6,35\text{г};$

Ответ: навеска иода 6,35г.

2) Вычислить навеску $Na_2S_2O_3 \cdot 5H_2O$ для приготовления 200мл раствора, если титр его устанавливают по 0,1Н раствору I_2 .

$$\begin{array}{l} V_{(P-PA)} = 200\text{мл}; \\ C_H(I_2) = 0,2\text{моль/л}; \end{array}$$

1) Так как титр $Na_2S_2O_3$ устанавливается по 0,1Н раствора иода, то концентрация тиосульфата должна быть примерно такой же концентрации. Так как в задаче дается тиосульфата должна быть примерно такой же концентрации. Так как в задаче дается молярная концентрация эквивалента C_H' то используем формулу:

$$m(Na_2S_2O_3 \cdot 5H_2O) - ?$$

$$C_H = \frac{m_X}{M_X \cdot f_{\text{ЭКВ.Х}} \cdot V};$$

отсюда $m_X = C_H \cdot M_X \cdot f_{\text{ЭКВ.Х}} \cdot V = 0,1 \cdot 248 \cdot 1 \cdot 0,2 = 4,96\text{г};$

Ответ: навеска $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ 4,96г.

3) Для установления титра раствора $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ используют также калий дихромат $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$. Вычислить C_H раствора тиосульфата, если на титрование 5мл его ушло 4,8мл 0,1Н раствора калий дихромата.

$$\begin{aligned} V_{\text{р-ра}}(\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3) &= 5\text{мл}; \\ C_H(\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7) &= 0,1\text{моль/л}; \\ V_{\text{р-ра}}(\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7) &= 4,8\text{мл}; \end{aligned}$$

$$C_H(\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3) = ?$$

1) Используем уравнение закона эквивалентности:

$$\begin{aligned} C_H(\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3) \cdot V(\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3) &= \\ &= C_H(\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7) \cdot V(\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7), \end{aligned}$$

отсюда
$$C_H(\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3) = \frac{C_H(\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7) \cdot V(\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7)}{V(\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3)} =$$

$$= \frac{0,1 \cdot 4,8}{5} = 0,096\text{моль/л.}$$

Ответ: $C_H(\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3) = 0,096\text{моль/л.}$

4) В лаборатории имеется 5%-ный раствор иода ($\rho = 1,15$).

Сколько мл этого раствора необходимо для приготовления 1л 0,1Н раствора иода?

$$\begin{aligned} \omega_1 &= 5\%; \\ \rho_1 &= 1,15; \\ V_2 &= 1\text{л}; \\ C_{H2} &= 0,1\text{моль/л}; \end{aligned}$$

1) Данных для расчета V_1 по массовой доле недостаточно, поэтому используем формулу молярной концентрации эквивалента C_H для нахождения массы вещества в растворе:

$$C_H = \frac{m_X}{M_X \cdot f_{\text{ЭКВ.Х}} \cdot V};$$

отсюда
$$m_X = C_H \cdot M_X \cdot f_{\text{ЭКВ.Х}} \cdot V = 0,1 \cdot 254 \cdot 1/2 \cdot 1 =$$

$$= 12,7\text{г.}$$

2) Масса иода в обоих растворах одинакова:

$$m_{X1} = m_{X2};$$

3) Используя формулу массовой доли, находим массу раствора 1:

$$\omega = \frac{m(x)}{m(p-pa)} 100\%$$

отсюда:
$$m_{\text{р-ра}1} = \frac{m_{x1}}{\omega_1} \cdot 100\% = \frac{12,7 \cdot 100}{5} = 254\text{г}$$

4) Находим объем раствора 1:

$$V = \frac{m_{\text{р-ра}}}{\rho} = \frac{254}{1,15} = 220,87\text{мл.}$$

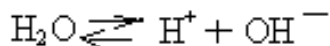
Ответ: объем 5%-го раствора иода 220,87мл.

Задачи для самостоятельного решения.

- 1) Вычислить навеску $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ для приготовления 400мл раствора, с $C_{\text{H}} = 0,05$ моль/л. (ответ: 4,96г)
- 2) Вычислить навеску иода для приготовления 1000мл 0,1Н раствора. (ответ: 12,7г)
- 3) Сколько мл 10%-ного раствора йода ($\rho = 1,32$) необходимо для приготовления 500мл 0,1Н раствора иода?
- 4) Вычислить навеску $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$, для определения точной концентрации $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ (приблизительная концентрация которого 0,1 моль/л). Объем раствора $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ – 200мл. Титрование проводят в кислой среде. (ответ: 1,96г.)

РЕАКЦИЯ СРЕДЫ ВОДНЫХ РАСТВОРОВ – pH

Вода – слабый электролит – диссоциирует по уравнению:

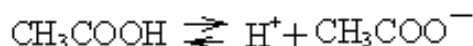


Ионное произведение воды – это произведение концентрации ионов водорода(протонов) на концентрацию гидроксид-ионов:

$$\boxed{[\text{H}^+] \cdot [\text{OH}^-] = 10^{-14}}$$

Это величина постоянная при данной температуре.

Диссоциация кислот идет по схеме:



Активная кислотность – это концентрация протонов.

Потенциальная кислотность – это концентрация недиссоциированных молекул кислоты.

Общая кислотность – это общая концентрация кислоты в моль экв.

Сумма активной и потенциальной кислотностей равна общей кислотности.

При титровании определяется общая кислотность.

Общая щелочность – это концентрация гидроксид – анионов.

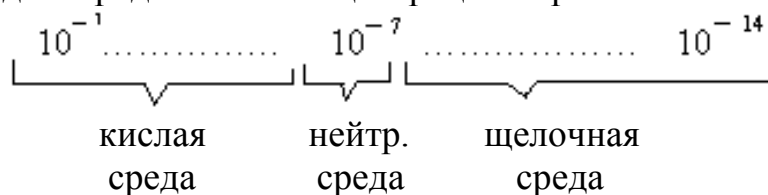
Потенциальная щелочность – это концентрация недиссоциированных молекул основания.

Общая щелочность – это общая концентрация щелочи в моль экв.

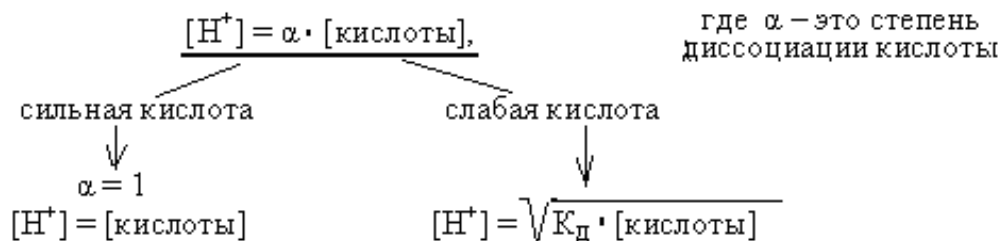
Сумма активной и потенциальной щелочностей равна общей щелочности.

При титровании определяется общая щелочность.

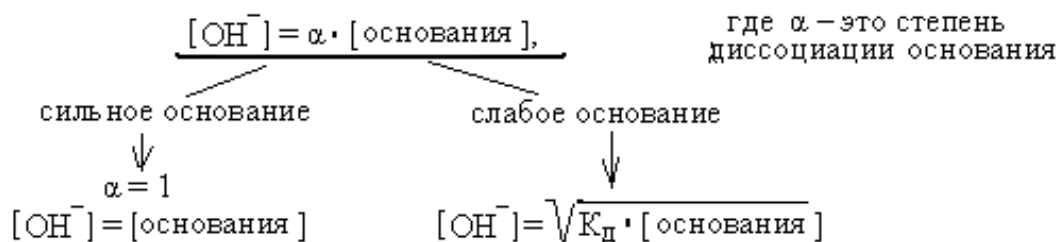
Реакция среды определяется концентрацией протонов.



Концентрацию протонов в растворе кислоты вычисляют по формуле:



При диссоциации основания образуются гидроксид-анионы, концентрацию которых вычисляют по формуле:



Реакцию среды раствора удобнее выражать через рН.

рН – это отрицательный десятичный логарифм концентрации водородных ионов:

$$\boxed{pH = -\lg [H^+]}$$

Аналогично можно вычислить величину рОН:

$$\boxed{pOH = -\lg [OH^-]}$$

Исходя из отрицательного десятичного логарифма ионного произведения воды находим:

$$pH + pOH = 14.$$

$$pH \text{ крови} = 7,36;$$

$$pH \text{ желудочного сока} = 0,9 - 1,5.$$

Примеры решения задач

А. Вычисление рН растворов сильных и слабых кислот и оснований.

1). Вычислить рН, если $[H^+] = 10^{-2}$.

$$pH = -\lg [H^+] = -\lg 10^{-2} = 2.$$

2) Вычислить рОН, если $[OH^-] = 10^{-5}$.

$$pOH = -\lg [OH^-] = -\lg 10^{-5} = 5.$$

3) Вычислить рН, если $[OH^-] = 10^{-4}$.

$$pOH = -\lg [OH^-] = -\lg 10^{-4} = 4.$$

$$pH = 14 - pOH = 14 - 4 = 10.5$$

4) **Вычислить pH раствора с концентрацией H^+ -ионов $3,7 \cdot 10^{-5}$ моль/л.**

$[H^+] = 3,7 \cdot 10^{-5}$	$pH = -\lg [H^+] = -\lg 3,7 \cdot 10^{-5} = -\lg 3,7 - \lg 10^{-5} =$
pH - ?	$= 5 - 0,57 = 4,43.$

Ответ: pH = 4,43.

5) **Вычислить pH раствора HCl с $C_n = 0,1$ моль/л.**

$C_n(HCl) = 0,1$ моль/л;	1) Для вычисления pH раствора необходимо знать $[H^+]$. Так как HCl <u>сильная кислота</u> , то $[H^+] = [кислоты] = 0,1$ моль/л = 10^{-1} ;
pH - ?	2) Находим pH раствора: $pH = -\lg [H^+] = -\lg 10^{-1} = 1.$

Ответ: pH = 1.

6) **Вычислить pH 0,0001N раствора HCl.**

$$pH = -\lg [HCl] = -\lg [H^+] = -\lg 10^{-4} = 4.$$

7) **Вычислить pH раствора NaOH с $C_n = 0.2$ моль /л.**

$C_n(NaOH) = 0.2$ моль /л.	1) Так как по условию дается основание, то сначала находим $[OH^-]$. В растворе <u>сильного основания</u>
pH = ?	$[OH^-] = [основания] = 0,2 = 2 \cdot 10^{-1}$;
	2) Находим pOH:

$$pOH = -\lg [OH^-] = -\lg 2 \cdot 10^{-1} = -\lg 2 - \lg 10^{-1} = 1 - 0.3 = 0,7.$$

3) Находим pH: $pH = 14 - pOH = 14 - 0,7 = 13,3.$

Ответ: pH = 13,3.

8) **Вычислить pH 0,001N раствора NaOH.**

$$pOH = -\lg [NaOH] = -\lg [OH^-] = -\lg 10^{-3} = 3.$$

$$pH = 14 - pOH = 14 - 3 = 11.$$

9) **Вычислить pH раствора HCOOH с $C_n = 0,1$ моль/л ($K_d = 1,8 \cdot 10^{-5}$)**

$C_n(HCOOH) = 0,1$ моль/л; $K_d = 1,8 \cdot 10^{-5}$	1) Для вычисления pH раствора необходимо знать $[H^+]$. Так как HCOOH <u>слабая кислота</u> , то используем формулу:
pH = ?	$[H^+] = \sqrt{K_d \cdot [кислоты]} = \sqrt{1,8 \cdot 10^{-5} \cdot 0,1} = 4,24 \cdot 10^{-3}$
	2) Находим pH: $pH = -\lg 4,24 \cdot 10^{-3} = -\lg 4,24 - \lg 10^{-3} = 3 - 0,63 = 2,37.$

Ответ: pH = 2,37.10

10) Вычислить pH раствора NH_4OH с $C_H = 0,15$ моль/л ($K_d = 1,85 \cdot 10^{-5}$).

$$C_H(NH_4OH) = 0,15 \text{ моль/л};$$

$$K_d = 1,85 \cdot 10^{-5};$$

pH - ?

1) Так как по условию дается основание, то сначала находим $[OH^-]$.

В растворе слабого основания:

$$[OH^-] = \sqrt{K_d \cdot [основания]} = \sqrt{1,8 \cdot 10^{-5} \cdot 0,15} = 1,64 \cdot 10^{-3}$$

2) Находим pOH

$$pOH = -\lg 1,64 \cdot 10^{-3} = -\lg 1,64 - \lg 10^{-3} = 3 - 0,21 = 2,79.$$

3) Находим pH: $pH = 14 - pOH = 14 - 2,79 = 11,21$.

Ответ: pH = 11,21.

11) Вычислить pH раствора H_2SO_4 с $w = 3\%$ ($\rho = 1,1$; $f_{эkv.} = 1/2$).

$$w = 3\%;$$

$$\rho = 1,1;$$

$$f_{эkv.} = 1/2;$$

pH = ?

1) Переводим массовую долю в нормальную концентрацию эквивалента, используя формулу, которая связывает C_H и w :

$$C_H = \frac{w\% \cdot \rho \cdot 10}{M_x \cdot f_{эkv.}} = \frac{3 \cdot 1,22 \cdot 10}{98 \cdot 1/2} = 0,73 \text{ моль/л};$$

2) Находим $[H^+]$ и pH:

$$[H^+] = [\text{кислоты}] = 0,73 = 7,3 \cdot 10^{-1};$$

$$pH = -\lg[H^+] = -\lg 7,3 \cdot 10^{-1} = -\lg 7,3 - \lg 10^{-1} = 1 - 0,86 = 0,14$$

Ответ: 0,14

Б. Определение pH растворов после разбавления их водой.

12) Как изменится pH раствора HNO_3 , если к 40мл 0,1N раствора ее добавить 20мл воды?

$$V_1(HNO_3) = 40 \text{ мл};$$

$$C_{H1} = 0,1 \text{ моль/л};$$

$$V(H_2O) = 20 \text{ мл};$$

$\Delta pH(HNO_3) = ?$

$$1) \Delta pH = pH_1 - pH_2,$$

где pH_1 – это pH раствора HNO_3 до добавления воды,

pH_2 – это pH раствора HNO_3 после добавления воды;

2) Находим pH_1 : для вычисления pH раствора

необходимо знать $[H^+]$. Так как HNO_3 сильная кислота, то

$$[H^+]_1 = [\text{кислоты}] = 0,1 \text{ моль/л} = 10^{-1};$$

3) Находим pH_1 раствора: $pH_1 = -\lg[H^+] = -\lg 10^{-1} = 1;$

4) При разбавлении водой концентрация кислоты уменьшается. Находим ее используя закон эквивалентов:

$$C_{H1} \cdot V_1 = C_{H2} \cdot V_2; \text{ где } V_2 \text{ – объем раствора после добавления воды,}$$

$$V_2 = 40 + 20 = 60 \text{ мл};$$

$$\text{Отсюда: } C_{H2} = \frac{C_{H1} \cdot V_{H1}}{V_2} = \frac{0,1 \cdot 40}{60} = 0,067 = 6,7 \cdot 10^{-2};$$

5) Находим pH_2 : $[H^+]_2 = [\text{кислоты}] = 6,7 \cdot 10^{-2};$

$$pH_2 = -\lg[H^+] = -\lg 6,7 \cdot 10^{-2} = -\lg 6,7 - \lg 10^{-2} = 2 - 0,83 = 1,17;$$

6) $\Delta pH = 1,17 - 1 = 0,17$.

Ответ: 0,83.

13) Как изменится pH раствора NH_4OH , если к 50мл 0,1N раствора его добавить 30мл воды? ($K_d = 1,85 \cdot 10^{-5}$).

$$\begin{aligned} V(NH_4OH) &= 50\text{мл}; \\ C_H(NH_4OH) &= 0,1\text{моль/л}; \\ K_d &= 1,85 \cdot 10^{-5}; \\ V(H_2O) &= 30\text{мл}; \end{aligned}$$

$\Delta pH = ?$

1) $\Delta pH = pH_1 - pH_2$,
где pH_1 – это pH раствора NH_4OH до добавления воды;
 pH_2 – это pH раствора NH_4OH после добавления воды;

Так как по условию дается основание, то сначала находим $[OH^-]$.

В растворе слабого основания:

$$[OH^-] = \sqrt{K_d \cdot [\text{основания}]} = \sqrt{1,8 \cdot 10^{-5} \cdot 10^{-1}} = 1,34 \cdot 10^{-3}$$

2) Находим pOH_1 : $pOH_1 = -\lg 1,34 \cdot 10^{-3} = -\lg 1,34 - \lg 10^{-3} = 3 - 0,127 = 2,87$;
 $pH_1 = 14 - 2,87 = 11,13$.

3) При разбавлении водой концентрация основания уменьшается. Находим ее используя закон эквивалентов:

$$C_{H1} \cdot V_1 = C_{H2} \cdot V_2; \text{ где } V_2 - \text{объем раствора после добавления воды,}$$

$$V_2 = 50 + 30 = 80\text{мл};$$

$$C_{H2} = \frac{C_{H1} \cdot V_{H1}}{V_2} = \frac{0,1 \cdot 50}{80} = 0,0625 = 6,25 \cdot 10^{-2};$$

4) Находим pOH_2 :

$$[OH^-] = \sqrt{K_d \cdot [\text{основания}]} = \sqrt{1,8 \cdot 10^{-5} \cdot 6,25 \cdot 10^{-2}} = 1,06 \cdot 10^{-3};$$

$$pOH_2 = -\lg 1,06 \cdot 10^{-3} = -\lg 1,06 - \lg 10^{-3} = 3 - 0,025 = 2,975;$$

$$pH_2 = 14 - 2,975 = 11,025.$$

5) Находим ΔpH : $\Delta pH = 11,13 - 11,025 = 0,105$.

Ответ: 0,105.

14) Как изменится pH воды, если к 80 мл ее добавить 20 мл раствор $NaOH$ с $C_H = 0,1$ моль/л, ($\alpha = 1$).

$$\begin{aligned} V(H_2O) &= 80\text{мл}; \\ C_H(NaOH) &= 0,1\text{ моль/л}; \\ V(NaOH) &= 20\text{мл}; \end{aligned}$$

$\Delta pH(H_2O) = ?$

1) $pH H_2O = 7$;
2) После добавления к воде раствора $NaOH$ получается раствор основания, концентрацию которого находим по закону эквивалентов:

$$V_1 \cdot C_{H1} = V_2 \cdot C_{H2};$$

$$V_2 = 80 \text{ мл} + 20 \text{ мл} = 100 \text{ мл}.$$

3) Находим концентрацию щелочи в растворе C_{H2} , $[OH^-]$, pOH и pH :

$$C_{H2} = \frac{V_1 \cdot C_{H1}}{V_2} = \frac{20 \cdot 0,1}{100} = 0,02 = 2 \cdot 10^{-2} - \text{концентрация } NaOH \text{ в растворе.}$$

$$[OH^-] = [\text{основания}] = 2 \cdot 10^{-2}.$$

$$pOH = -\lg [OH^-] = -\lg 2 \cdot 10^{-2} = -\lg 2 - \lg 10^{-2} = 2 - 0,3 = 1,7.$$

$$pH = 14 - 1,7 = 12,3$$

4) Находим изменение рН воды: $\Delta pH = 12,3 - 7 = 5,3.$

Ответ: 5,3.

В) Определение рН после сливания растворов кислот и щелочей.

15). Определить рН раствора, полученного после смешивания равных объемов растворов HCl с $C_H = 0,3$ моль/л и NaOH

с $C_H = 0,1$ моль/л.

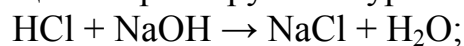
$$C_H(HCl) = 0,3 \text{ моль/л};$$

$$C_H(NaOH) = 0,1 \text{ моль/л};$$

$$V(HCl) = V(NaOH);$$

$$pH = ?$$

1) При смешивании растворов кислота и щелочь реагируют по уравнению:



Из уравнения видно, что кислота и щелочь реагируют в соотношении 1 : 1. Так

кислоты было взято 0,3 моль, то после реакции в растворе осталось кислоты: $0,3 - 0,1 = 0,2$ моль. Так как объем смеси увеличился в 2 раза, то концентрация кислоты в растворе: $0,2 / 2 = 0,1$ моль/л;

2) Находим рН образовавшегося раствора:

$$[H^+] = [\text{кислоты}] = 0,1 = 10^{-1}.$$

$$pH = -\lg [H^+] = -\lg 10^{-1} = 1.$$

Ответ: pH = 1.

16) Определить рН раствора, полученного после смешивания равных объемов растворов H_2SO_4 с $C_H = 0,2$ моль/л и NaOH с $C_H = 0,6$ моль/л.

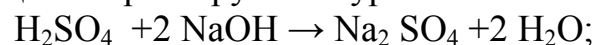
$$C_H(H_2SO_4) = 0,2 \text{ моль/л};$$

$$C_H(NaOH) = 0,6 \text{ моль/л};$$

$$V(H_2SO_4) = V(NaOH);$$

$$pH = ?$$

1) При смешивании растворов кислота и щелочь реагируют по уравнению:



Из уравнения видно, что кислота и щелочь реагируют в соотношении 1 : 2. Так

кислоты было взято 0,2 моль, то:

$$\left. \begin{array}{l} 1 \text{ моль } H_2SO_4 - 2 \text{ моль } NaOH \\ 0,2 \text{ моль } H_2SO_4 - X \text{ моль } NaOH \end{array} \right\} X = 0,4 \text{ моль } NaOH.$$

По условию задачи дано 0,6 моль NaOH, значит после реакции осталось $0,6 - 0,4 = 0,2$ моль NaOH. Так как объем смеси увеличился в 2 раза, то концентрация NaOH в растворе: $0,2 / 2 = 0,1$ моль/л;

2) Находим $[OH^-]$, pOH, pH образовавшегося раствора:

$$[OH^-] = [\text{основания}] = 0,1 = 10^{-1}.$$

$$pOH = -\lg [OH^-] = -\lg 10^{-1} = 1.$$

$$pH = 14 - pOH = 14 - 1 = 13.$$

Ответ: pH = 13.

Г. Вычисление $[H^+]$ по заданной величине рН и рОН.

17) Вычислить $[H^+]$ в крови, если рН = 7,36 .

$$\begin{array}{l|l} \text{рН} = 7,36; & [H^+] = \text{ant lg рН} = \text{ant lg } 7,36 = \text{ant lg}[8 - 0,64] = \\ & = 4,36 \cdot 10^{-8} \text{ моль / л} \end{array}$$

$$\frac{[H^+] = ?}{\text{рН} = 7,36;} \quad \text{Ответ: } 4,36 \cdot 10^{-8} \text{ моль / л}$$

18) Вычислить $[H^+]$ раствора, если рОН = 4,29 .

$$\begin{array}{l|l} \text{рОН} = 4,29; & 1) \text{ Находим рН:} \\ & \text{рН} = 14 - \text{рОН} = 14 - 4,29 = 9,71; \\ & [H^+] = \text{ant lgpH} = \text{ant lg } 9,71 = \text{ant lg}[10 - 0,29] = \\ & = 1,95 \cdot 10^{-10} \text{ моль/л.} \end{array}$$

$$\frac{[H^+] = ?}{\text{рОН} = 4,29;} \quad \text{Ответ: } 1,95 \cdot 10^{-10} \text{ моль/л.}$$

Ответ: $1,95 \cdot 10^{-10}$ моль/л.

Задачи для самостоятельного решения

1. Вычислить рН раствора HCl с массовой долей 2% . (ответ: 0,26)
2. Вычислить рН раствора NH₄OH с C_H = 0,3 моль / л (K_d=1,8·10⁻⁵) (ответ: 11,37)
3. Как изменится рН раствора HNO₃ с C_H = 0,3 моль/л, если к 20мл раствора ее долить 80 мл воды? (ответ: 0,7)
4. Как изменится рН раствора, полученного после смешивания равных объемов растворов H₂SO₄ с C_H = 0,8 моль/л и NaOH с C_H = 0,2 моль/л? (ответ: 0,46)
5. Вычислить рН 4%-го раствора KOH. (ответ: 13,75)
6. Как изменится рН воды, если к 50мл ее добавить 20 мл 0,1N раствор NaOH. (ответ: 5,45)
7. Вычислить $[H^+]$, если рОН раствора 3,58.

БУФЕРНЫЕ СИСТЕМЫ

Буферными называют системы, которые достаточно стойко сохраняют рН при добавлении небольшого количества сильной кислоты или щелочи, а также при разведении..

Существует два типа буферных систем:

- а) кислотные — состоящие из слабой кислоты и ее соли, образованной сильным основанием. Например, ацетатный буфер: CH₃COOH + CH₃COONa.
- б) основные — состоящие из слабого основания и его соли, образованной сильной кислотой. Например, аммиачный буфер: NH₄OH + NH₄Cl.

Основные уравнения буферных систем

кислотный тип

$$\boxed{[H^+] = K_d \frac{[\text{кислоты}]}{[\text{соли}]}}$$

основный тип

$$\boxed{[OH^-] = K_d \frac{[\text{основания}]}{[\text{соли}]}}$$

Уравнения Гендерсона – Гассельбаха

кислотный тип

$$\boxed{pH = pK_d - \lg \frac{[\text{кислоты}]}{[\text{соли}]}}$$

основный тип

$$\boxed{pOH = pK_d - \lg \frac{[\text{основания}]}{[\text{соли}]}}$$

где $pK_d = -\lg K_d$.

Буферная емкость – это число моль эквивалентов сильной кислоты или сильного основания, которое нужно добавить к 1л буферной системы, чтобы сместить pH на 1.

Буферную емкость определяют титрованием.

Формулы вычисления буферной емкости:

по кислоте

$$B_k = \frac{C}{pH_o - pH_1};$$

$$pH_1 = 4,4$$

по щелочи

$$B_{щ} = \frac{C}{pH_1 - pH_o}.$$

$$pH_1 = 8,2$$

Примеры решения задач

A. Вычисление pH буферных систем

1) Вычислить pH ацетатного буфера, состоящего из 50мл 0,1N раствора CH_3COOH и 40мл 0,15N раствора CH_3COONa ($K_d(CH_3COOH) = 1,8 \cdot 10^{-5}$).

50мл 0,1N CH_3COOH ;
40мл 0,15N CH_3COONa ;
 $K_d(CH_3COOH) = 1,8 \cdot 10^{-5}$;

pH - ?

1) Для нахождения pH буферных систем рациональнее сначала найти концентрацию H^+ по основному уравнению буферных систем кислотного типа

$$[H^+] = K_d \frac{[\text{кислоты}]}{[\text{соли}]} = 1,8 \cdot 10^{-5} \frac{50 \cdot 0,1}{40 \cdot 0,15} = 1,13 \cdot 10^{-5};$$

$$2) \text{pH} = -\lg [\text{H}^+] = -\lg 1,13 \cdot 10^{-5} = -\lg 1,13 - \lg 10^{-5} = 5 - 0,053 = 4,947.$$

Ответ: pH = 4,947.

2) Вычислить pH аммиачного буфера, состоящего из 60мл 0,1N раствора NH_4Cl и 30мл 0,2N раствора NH_4OH

$$(K_d(\text{NH}_4\text{OH}) = 1,8 \cdot 10^{-5}).$$

60мл 0,1N NH_4Cl ;
30мл 0,2N NH_4OH ;
 $K_d(\text{NH}_4\text{OH}) = 1,8 \cdot 10^{-5}$

1) Чтобы найти pH буферной системы основного типа, сначала нужно найти pOH. Для нахождения pOH рациональнее сначала найти концентрацию OH^- по основному уравнению буферных систем основного типа:

$$[\text{OH}^-] = K_d \frac{[\text{основания}]}{[\text{соли}]} = 1,8 \cdot 10^{-5} \frac{30 \cdot 0,2}{60 \cdot 0,1} = 1,8 \cdot 10^{-5};$$

$$\text{pOH} = -\lg 1,8 \cdot 10^{-5} = -\lg 1,8 - \lg 10^{-5} = 5 - 0,25 = 4,75;$$

$$\text{pH} = 14 - \text{pOH} = 14 - 4,75 = 9,25.$$

Ответ: pH = 9,25.

Б. Вычисление соотношения компонентов буферных систем

3) Вычислить соотношение компонентов фосфатного буфера с pH = 6,3, если концентрации компонентов 0,1моль/л ($K_d(\text{KH}_2\text{PO}_4) = 1,6 \cdot 10^{-7}$).

pH = 6,3;
 $K_d(\text{KH}_2\text{PO}_4) = 1,6 \cdot 10^{-7}$;
 $C_H = 0,1$ моль/л;

1) Для вычисления соотношения компонентов лучше использовать уравнение Гендерсона-Гассельбаха для буферных систем кислотного типа:

$$\text{pH} = \text{p}K_d - \lg \frac{[\text{кислоты}]}{[\text{соли}]} =$$

$$= -\lg K_d - \lg \frac{C_H(\text{NaH}_2\text{PO}_4) \cdot V(\text{NaH}_2\text{PO}_4)}{C_H(\text{Na}_2\text{HPO}_4) \cdot V(\text{Na}_2\text{HPO}_4)};$$

$$\text{p}K_d(\text{KH}_2\text{PO}_4) = -\lg 1,6 \cdot 10^{-7} = -\lg 1,6 - \lg 10^{-7} = 7 - 0,2 = 6,8;$$

3) Подставляем данные в уравнение Гендерсона – Гассельбаха и находим соотношение:

$$6,3 = 6,8 - \lg \frac{V(\text{NaH}_2\text{PO}_4)}{V(\text{Na}_2\text{HPO}_4)}; \quad \lg \frac{V(\text{NaH}_2\text{PO}_4)}{V(\text{Na}_2\text{HPO}_4)} = 6,8 - 6,3 = 0,5;$$

$$\frac{V(\text{NaH}_2\text{PO}_4)}{V(\text{Na}_2\text{HPO}_4)} = \text{ant lg } 0,5 = 3.$$

Ответ: $\frac{V(\text{NaH}_2\text{PO}_4)}{V(\text{Na}_2\text{HPO}_4)} = 3.$

4)) Вычислить соотношение компонентов аммиачного буфера с pH = 8,6, если концентрации компонентов 0,1моль/л ($K_d(\text{NH}_4\text{OH}) = 1,8 \cdot 10^{-5}$).

$\begin{aligned} \text{pH} &= 8,6 \\ K_{\text{д}}(\text{NH}_4\text{OH}) &= 1,8 \cdot 10^{-5} \\ C_{\text{н}} &= 0,1 \text{ моль/л;} \end{aligned}$	1) Для вычисления соотношения компонентов лучше использовать уравнение Гендерсона-Гассельбаха для буферных систем основного типа:
$\frac{V(\text{NH}_4\text{OH})}{V(\text{NH}_4\text{Cl})} = ?$	$\text{pOH} = \text{p}K_{\text{д}} - \lg \frac{[\text{основания}]}{[\text{соли}]}$

2) Находим pOH из условия задачи:
 $\text{pOH} = 14 - \text{pH} = 14 - 8,6 = 5,4;$

3) Находим величину pK_д:

$$\text{p}K_{\text{д}}(\text{NH}_4\text{OH}) = -\lg 1,6 \cdot 10^{-7} = -\lg 1,6 - \lg 10^{-7} = 7 - 0,2 = 6,8;$$

4) Подставляем данные в уравнение Гендерсона – Гассельбаха и находим соотношение компонентов:

$$5,4 - 4,75 - \lg \frac{V(\text{NH}_4\text{OH})}{V(\text{NH}_4\text{Cl})}; \quad \lg C = 4,75 - 5,4 = -0,65;$$

Под знаком lg меняем числитель и знаменатель, чтобы логарифм имел положительное значение:

$$\lg \frac{V(\text{NH}_4\text{Cl})}{V(\text{NH}_4\text{OH})} = 0,65; \quad \frac{V(\text{NH}_4\text{Cl})}{V(\text{NH}_4\text{OH})} = \text{ant} \lg 0,65 = 4,5.$$

Ответ: $\frac{V(\text{NH}_4\text{Cl})}{V(\text{NH}_4\text{OH})} = 4,5.$

V. Вычисление изменения pH (Δ pH) при добавлении сильной кислоты или щелочи

5) Как изменится pH ацетатного буфера, состоящего из 50мл 0,1Н раствора CH₃COONa и 80мл 0,1Н раствора CH₃COOH (K_д(CH₃COOH) = 1,8 · 10⁻⁵), при добавлении к нему 10мл 0,1Н раствора NaOH.

$\begin{aligned} &80\text{мл } 0,1\text{Н } \text{CH}_3\text{COOH}; \\ &50\text{мл } 0,15\text{Н } \text{CH}_3\text{COONa}; \\ &K_{\text{д}}(\text{CH}_3\text{COOH}) = 1,8 \cdot 10^{-5}; \\ &10\text{мл } 0,1\text{Н } \text{NaOH}; \end{aligned}$	1) Так добавляем щелочь, то pH должен сдвинуться в щелочную сторону, поэтому Δ pH = pH ₂ – pH ₁ , где pH ₂ – это pH раствора после добавления щелочи, а pH ₁ – до добавления щелочи, т.е. это pH исходного буферного раствора.
---	--

$$\Delta \text{pH} = ?$$

2) Для нахождения pH буферных систем рациональнее сначала найти концентрацию H⁺ по основному уравнению буферных систем кислотного типа:

$$[H^+]_1 = K_{\text{д}} \frac{[\text{кислота}]}{[\text{соли}]} = 1,8 \cdot 10^{-5} \frac{80 \cdot 0,1}{50 \cdot 0,1} = 2,8 \cdot 10^{-5};$$

$$\text{pH}_1 = -\lg [H^+]_1 = -\lg 2,8 \cdot 10^{-5} = -\lg 2,8 - \lg 10^{-5} = 5 - 0,45 = 4,55.$$

3) Щелочь, которая добавляется к буферной системе, реагирует с кислотой по уравнению: CH₃COOH + NaOH = CH₃COONa + H₂O. Таким образом, концентрация кислоты уменьшается, а концентрация соли увеличивается на количество добавленной щелочи, т.е. на 10 · 0,1.

4) Исходя из этого находим $[H]$, а затем pH_2 :

$$[H^+]_2 = K_d \frac{[кислоты] - [щелочи]}{[соли] + [щелочи]} = 1,8 \cdot 10^{-5} \frac{80 \cdot 0,1 - 10 \cdot 0,1}{50 \cdot 0,1 + 10 \cdot 0,1} = 2,1 \cdot 10^{-5} ;$$

$$pH_2 = -\lg [H^+]_2 = -\lg 2,1 \cdot 10^{-5} = -\lg 2,1 - \lg 10^{-5} = 5 - 0,32 = 4,68.$$

5) Находим ΔpH :

$$\Delta pH = 4,68 - 4,55 = 0,13.$$

Ответ: $\Delta pH = 0,13$.

б) Как изменится pH аммиачного буфера, состоящего из 30мл 0,15N раствора NH_4OH ($K_d = 1,8 \cdot 10^{-5}$) и 40мл 0,1N раствора NH_4NO_3 , при добавлении к нему 5мл 0,1N раствора HNO_3 ?

30мл 0,15N NH_4OH ;
40мл 0,1N NH_4NO_3 ;
 $K_d(NH_4OH) = 1,8 \cdot 10^{-5}$;
5мл 0,1N HNO_3 ;

$\Delta pH = ?$

1) Так добавляем кислоту, то pH должен сдвинуться в кислую сторону, поэтому $\Delta pH = pH_1 - pH_2$, где pH_2 – это pH раствора после добавления кислоты, а pH_1 – до добавления кислоты, т.е. это pH исходного буферного раствора.

2) Для буферной системы основного типа рациональнее сначала найти концентрацию OH^- по основному уравнению буферных систем основного типа:

$$[OH^-]_1 = K_d \frac{[основания]}{[соли]} = 1,8 \cdot 10^{-5} \frac{30 \cdot 0,15}{40 \cdot 0,1} = 2,02 \cdot 10^{-5} ;$$

$$pOH_1 = -\lg [OH^-]_1 = -\lg 2,02 \cdot 10^{-5} = -\lg 2,02 - \lg 10^{-5} = 5 - 0,3 = 4,7$$

$$pH_1 = 14 - pOH = 14 - 4,7 = 9,3.$$

3) Кислота, которая добавляется к буферной системе, реагирует с основанием по уравнению: $HNO_3 + NH_4OH = NH_4NO_3 + H_2O$.

Таким образом, концентрация основания уменьшается, а концентрация соли увеличивается на количество добавленной кислоты, т.е. на $5 \cdot 0,1$.

4) Исходя из этого находим $[OH^-]_2$, а затем pH_2 :

$$[OH^-]_2 = K_d \frac{[основания] - [кислоты]}{[соли] + [кислоты]} = 1,8 \cdot 10^{-5} \frac{30 \cdot 0,15 - 5 \cdot 0,1}{40 \cdot 0,1 + 5 \cdot 0,1} = 1,6 \cdot 10^{-5} ;$$

$$pOH_2 = -\lg [OH^-]_2 = -\lg 1,6 \cdot 10^{-5} = -\lg 1,6 - \lg 10^{-5} = 5 - 2 = 4,8;$$

$$pH_2 = 14 - 4,8 = 9,2;$$

5) Находим ΔpH :

$$\Delta pH = 9,3 - 9,2 = 0,1.$$

Ответ: $\Delta pH = 0,1$.

Г. Вычисление буферной емкости

7) Вычислить буферную емкость гидрокарбонатного буфера, который состоит из 70мл 0,1N раствора H_2CO_3 ($K_d = 3,3 \cdot 10^{-7}$) и 50мл 0,1N раствора $NaHCO_3$, если на титрование 5мл этого буфера ушло 4,8мл 0,1N раствора $NaOH$.

70мл 0,1N H_2CO_3 ;
50мл 0,1N $NaHCO_3$;

1) Буферную емкость по щелочи вычисляют по формуле:

$$K_d = 3,3 \cdot 10^{-7};$$

$$V_{\text{буф.сист.}} = 5\text{мл};$$

$$V_{\text{щ}} = \frac{C}{pH_1 - pNo} \dots$$

4,8мл 0,1N NaOH;

2) Вычисляем pH_0 :

$$pH_0 = -\lg [H^+];$$

$$V_{\text{щ}} = ? \quad [H^+]_1 = K_d \frac{[\text{кислоты}]}{[\text{соли}]} = 3,3 \cdot 10^{-7} \frac{70 \cdot 0,1}{50 \cdot 0,1} = 4,62 \cdot 10^{-7};$$

$$pH_0 = -\lg [H^+] = -\lg 4,62 \cdot 10^{-7} = -\lg 4,62 - \lg 10^{-7} = 7 - 0,66 = 6,34;$$

3) $pH_1 = 8,2$, так как титрование щелочью заканчивают при появлении малиновой окраски;

4) Буферная емкость рассчитывается на 1л буферной системы, поэтому находим, сколько пошло бы щелочи на титрование 1л или 1000мл буферной системы:

$$\left. \begin{array}{l} \text{на 5мл буферной системы} \quad - \quad 4,8\text{мл NaOH} \\ \text{на 1000мл} \quad \ll \quad - \quad X\text{мл} \end{array} \right\} X = 960\text{мл};$$

5) Вычислим количество моль эквивалентов щелочи, которое пошло бы на титрование 1л буферной системы:

$$\left. \begin{array}{l} \text{в 1000мл NaOH} \quad - \quad 0,1\text{моль NaOH} \\ \text{в 960мл NaOH} \quad - \quad X \end{array} \right\} X = 0,096 \text{ моль экв.}$$

6) Вычисляем буферную емкость:

$$V_{\text{щ}} = \frac{0,096}{8,2 - 6,34} = 0,05 \frac{\text{моль экв.}}{\text{ед. pH}}$$

Ответ: буферная емкость по щелочи $0,05 \frac{\text{моль экв.}}{\text{ед. pH}}$

8) Вычислить буферную емкость фосфатного буфера, который состоит из 100мл 0,1N раствора Na_2HPO_4 и 80мл 0,1N раствора NaH_2PO_4 ($K_d = 1,6 \cdot 10^{-7}$), если на титрование 10мл этого буфера ушло 7,8мл 0,1N раствора HCl.

100мл 0,1N Na_2HPO_4
80мл 0,1N NaH_2PO_4 ;

$$K_d = 1,6 \cdot 10^{-7};$$

$$V_{\text{буф.сист.}} = 10\text{мл};$$

7,8мл 0,1N HCl;

1) Буферную емкость по кислоте вычисляют по формуле:

$$V_k = \frac{C}{pNo - pH_1};$$

2) Вычисляем pH_0 :

$$pH_0 = -\lg [H^+]_0;$$

$$V_k = ? \quad [H^+]_0 = K_d \frac{[\text{кислоты}]}{[\text{соли}]} = 1,6 \cdot 10^{-7} \frac{80 \cdot 0,1}{100 \cdot 0,1} = 1,28 \cdot 10^{-7};$$

$$pH_0 = -\lg [H^+] = -\lg 1,28 \cdot 10^{-7} = -\lg 1,28 - \lg 10^{-7} = 7 - 0,107 = 6,89;$$

3) $pH_1 = 4,4$, так как титрование кислотой заканчивают при смене желтой окраски на розовую;

4) Буферная емкость рассчитывается на 1л буферной системы, поэтому находим, сколько пошло бы кислоты на титрование 1л или 1000мл буферной системы:

$$\left. \begin{array}{l} \text{на 10мл буферной системы} \quad - \quad 7,8\text{мл HCl} \\ \text{на 1000мл} \quad \ll \quad - \quad \text{Xмл} \end{array} \right\} X = 780\text{мл};$$

5) Вычислим количество моль эквивалентов кислоты, которое пошло бы на титрование 1л буферной системы:

$$\left. \begin{array}{l} \text{в 1000мл HCl} \quad - \quad 0,1\text{моль HCl} \\ \text{в 780мл HCl} \quad - \quad X \end{array} \right\} X = 0,078 \text{ моль экв.}$$

6) Вычисляем буферную емкость:

$$V_k = \frac{0,078}{6,89 - 4,4} = 0,03 \frac{\text{моль экв.}}{\text{ед.рН}}$$

Ответ: буферная емкость по кислоте $0,03 \frac{\text{моль экв.}}{\text{ед.рН}}$.

9) Вычислить буферную емкость аммиачного буфера, который состоит из 40мл 0,1Н раствора NH_4OH ($K_d = 1,8 \cdot 10^{-5}$) и 30мл 0,2Н раствора NH_4Cl , если на титрование 7мл его расходуется 5,5 мл 0,1Н раствора HCl .

40мл 0,1Н NH_4OH ;
30мл 0,2Н NH_4Cl ;

($K_d = 1,8 \cdot 10^{-5}$);

$V(\text{буф.сист.})=7\text{мл}$;
5,5 мл 0,1Н HCl ;

1) Буферную емкость по кислоте вычисляют по формуле:

$$V_k = \frac{C}{\text{pH}_0 - \text{pH}_1};$$

2) Чтобы найти рН буферной системы основного типа, сначала нужно найти рОН. Для нахождения рОН рациональнее сначала найти концентрацию OH^- по основному уравнению буферных систем основного типа:

$$[\text{OH}^-] = K_d \frac{[\text{основания}]}{[\text{соли}]} = 1,8 \cdot 10^{-5} \frac{40 \cdot 0,1}{30 \cdot 0,2} = 1,2 \cdot 10^{-5};$$

$$\text{pOH} = -\lg 1,2 \cdot 10^{-5} = -\lg 1,2 - \lg 10^{-5} = 5 - 0,08 = 4,92;$$

$$\text{pH}_0 = 14 - \text{pOH} = 14 - 4,92 = 9,08.$$

3) $\text{pH}_1 = 4,4$, так как титрование кислотой заканчивают при смене желтой окраски на розовую;

4) Буферная емкость рассчитывается на 1л буферной системы, поэтому находим, сколько пошло бы кислоты на титрование 1л или 1000мл буферной системы:

$$\left. \begin{array}{l} \text{на 7мл буферной системы} \quad - \quad 5,5\text{мл HCl} \\ \text{на 1000мл} \quad \ll \quad - \quad \text{Xмл} \end{array} \right\} X = 785,7\text{мл};$$

5) Вычислим количество моль эквивалентов кислоты, которое пошло бы на титрование 1л буферной системы:

$$\left. \begin{array}{l} \text{в 1000мл HCl} \quad - \quad 0,1\text{моль HCl} \\ \text{в 785,7мл HCl} \quad - \quad X \end{array} \right\} X = 0,07857 \text{ моль экв.}$$

6) Вычисляем буферную емкость:

$$V_k = \frac{0,07857}{9,08 - 4,4} = 0,017 \frac{\text{моль экв.}}{\text{ед.рН}}$$

Ответ: буферная емкость по кислоте $0,017 \frac{\text{моль экв.}}{\text{ед.рН}}$

10) Вычислить буферную емкость сыворотки крови по кислоте, если на титрование 5мл ее ушло 7,5мл 0,1Н раствора HCl.

$$V_{\text{(СЫВОРОТКИ)}} = 5\text{мл};$$

$$7,5\text{мл } 0,1\text{Н HCl};$$

1) Буферную емкость по кислоте вычисляют по формуле:

$$V_k = \frac{C}{\text{pH}_0 - \text{pH}_1};$$

$$V_k = ?$$

2) pH_0 – это рН сыворотки крови = 7,36;

pH_1 – это рН раствора после окончания

титрования, т.е. 4.4, так как в сыворотке окраска метилоранжа желтая, а при титровании кислотой меняет окраску на розовую при $\text{pH} = 4,4$.

3) Буферная емкость рассчитывается на 1л буферной системы, поэтому находим, сколько пошло бы кислоты на титрование 1л или 1000мл буферной системы:

на 5мл буферной системы	–	7,5мл HCl	}	$X = 1500\text{мл};$
на 1000мл	«	Xмл		

5) Вычислим количество моль эквивалентов кислоты, которое пошло бы на титрование 1л буферной системы:

$$\text{в } 1000\text{мл HCl} \text{ – } 0,1\text{моль HCl}$$

$$\text{в } 1500\text{мл HCl} \text{ – } X$$

$$X = 0,15 \text{ моль экв.}$$

6) Вычисляем буферную емкость:

$$V_k = \frac{0,15}{7,36 - 4,4} = 0,05 \frac{\text{моль экв.}}{\text{ед.рН}}$$

Ответ: буферная емкость по кислоте $0,05 \frac{\text{моль экв.}}{\text{ед.рН}}$

Задачи для самостоятельного решения

- 1) Вычислить рН фосфатного буфера, который состоит из 60мл 0,1Н раствора однозамещенной соли и 40мл 0,1Н раствора двузамещенной соли ($K_d = 1,6 \cdot 10^{-7}$). (ответ: 6,62)
- 2) Вычислить рН аммиачного буфера, который состоит из 70мл 0,15Н раствора NH_4NO_3 и 50мл 0,1Н раствора NH_4OH ($K_d = 1,8 \cdot 10^{-5}$). (ответ: 8,93)
- 3) Вычислить соотношение компонентов ацетатного буфера с $\text{pH} = 5,7$, если концентрации компонентов 0,1моль/л ($K_d(\text{CH}_3\text{COOH}) = 1,8 \cdot 10^{-5}$). (ответ: $V(\text{соли}) / V(\text{кислоты}) = 9$).
- 4) Вычислить соотношение компонентов аммиачного буфера с $\text{pH} = 9,3$, если концентрация основания соли 0,2моль/л ($K_d(\text{NH}_4\text{OH}) = 1,8 \cdot 10^{-5}$). (ответ: $V(\text{основания}) / V(\text{соли}) = 1,1$).

- 5) Как изменится рН цитратного буфера, который состоит из 50мл 0,1Н раствора лимонной кислоты ($K_d(\text{кислоты}) = 1,2 \cdot 10^{-3}$) и 60мл 0,1Н раствора калий цитрата, при добавлении 15мл 0,1Н раствора HCl.
(ответ: 0,24)
- 6) Как изменится рН боратного буфера, который состоит из 90мл 0,2Н раствора H_3BO_3 ($K_d(H_3BO_3) = 6 \cdot 10^{-10}$) и 60мл 0,15Н раствора $Na_2B_4O_7$, при добавлении 10мл 0,2Н раствора NaOH.
(ответ: 0,14)
- 7) Как изменится рН аммиачного буфера, состоящего из 100мл 0,15Н раствора NH_4OH ($K_d = 1,8 \cdot 10^{-5}$) и 80мл 0,1Н раствора NH_4Cl , при добавлении к нему 15мл 0,1Н раствора HCl?
(ответ: 0,15)
- 8) Как изменится рН аммиачного буфера, состоящего из 70мл 0,1Н NH_4NO_3 и 45мл 0,1Н раствора NH_4OH ($K_d = 1,8 \cdot 10^{-5}$), при добавлении к нему 20мл 0,1Н раствора NaOH?
(ответ: 0,31)
- 9) Вычислить буферную емкость ацетатного буфера, который состоит из 90мл 0,15Н раствора CH_3COOH ($K_d = 1,8 \cdot 10^{-5}$) и 70мл 0,12Н раствора CH_3COONa , если на титрование 5мл его расходуется 3,5 мл 0,1Н раствора NaOH.
(ответ: 0,018)
- 10)) Вычислить буферную емкость аммиачного буфера, который состоит из 150мл 0,1Н раствора NH_4OH ($K_d = 1,8 \cdot 10^{-5}$) и 120мл 0,1Н раствора NH_4Cl , если на титрование 10мл его расходуется 8,2 мл 0,1Н раствора HCl.
(ответ: 0,16)
- 11) Вычислить буферную емкость сыворотки крови по кислоте, если на титрование 20мл ее ушло 3,6мл 0,1Н раствора HCl; рН сыворотки при этом изменился до 7,0.
(ответ: 0,05моль экв./ед. рН)

КОЛЛИГАТИВНЫЕ СВОЙСТВА РАСТВОРОВ. ОСМОС. КРИОМЕТРИЯ.

Коллигативными называют свойства растворов, обусловленные тепловым движением и количеством кинетических частиц системы.

Осмоз это самопроизвольная односторонняя диффузия молекул растворителя через полупроницаемую мембрану в сторону раствора с большей концентрацией.

Полупроницаемой называется мембрана, которая пропускает молекулы только растворителя. Примеры : природные – животные и растительные мембраны клеток, стенки кишечника; искусственные – коллодий, целлофан, желатин, пергамент, стенки глиняного сосуда, заполненные осадочной мембраной.

Осмотическое давление это избыточное гидростатическое давление, которое останавливает осмос.

Осмотическая **концентрация** это концентрация всех кинетических частичек растворенного вещества в растворе.

Закон Вант – Гоффа – осмотическое давление разбавленного раствора электролита равно тому газовому давлению, которое производило бы

растворенное вещество, находясь в газообразном состоянии, занимая объем раствора при той же температуре.

Уравнение осмотического давления для неэлектролитов:

$$P_{\text{осм.}} = CRT$$

где C = концентрация раствора в моль/л;

R – универсальная газовая постоянная $0,082 \text{ л} \cdot \text{атм/град} \cdot \text{моль}$;

T – температура по Кельвину.

Уравнение осмотического давления для электролитов:

$$P_{\text{осм.}} = i CRT$$

где i – изотонический коэффициент Вант-Гоффа.

Изотонический коэффициент Вант-Гоффа i показывает, во сколько раз осмотическое давление электролита, осмотическая концентрация электролита больше, чем осмотическое давление и осмотическая концентрация неэлектролита, при одинаковой молярной концентрации.

$$i = \frac{P_{\text{осм.эл.}}}{P_{\text{осм.неэл.}}} = \frac{C_{\text{осм.эл.}}}{C_{\text{осм.неэл.}}}$$

Изотонический коэффициент Вант-Гоффа связан со степенью диссоциации α уравнением:

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

где v - число ионов, на которое диссоциирует электролит.

Изотоническими называют растворы с одинаковым осмотическим давлением.

Гипотоническим называют раствор с меньшим осмотическим давлением.

Гипертоническим называют раствор с большим осмотическим давлением.

Гемолиз это разрушение клеточной мембраны при помещении клетки в гипотонический раствор.

Плазмолиз это сморщивание клетки при помещении ее в гипертонический раствор.

Тургор это упругое состояние клеточной мембраны.

Осмотическое давление крови = $7,7 \text{ атм}$.

Онкотическое давление крови это часть осмотического давления обусловленное ВМС и равно $0,04 \text{ атм}$.

Осмотическое довление 1 М раствора неэлектролита = $22,4 \text{ атм}$.

Примеры решения задач

1) Вычислить осмотическое давление $0,1 \text{ М}$ раствора мочевины.

$$C_{\text{Х(мочевины)}} = 0,1 \text{ моль/л}$$

1) Мочевина это неэлектролит, поэтому $P_{\text{осм.}}$

находим по формуле:

$$P_{\text{ОСМ. НЕЭЛ.}} = CRT = 0,1 \cdot 0,082 \cdot 273 = 2,24 \text{ атм.}$$

$$P_{\text{ОСМ.}} = ?$$

Ответ: 2,24 атм.

2) Вычислить осмотическое давление 0,2М раствора калий хлорида.

$$C_X(\text{KCl}) = 0,2 \text{ моль/л;}$$

1) Так как KCl это электролит, то $P_{\text{ОСМ}}$ вычисляем по формуле:

$$P_{\text{ОСМ. ЭЛ.}} = i CRT.$$

2) Для нахождения i используем формулу:

$$i = 1 + \alpha(v - 1),$$

где $\alpha = 1$, так как KCl это сильный электролит и диссоциирует на два иона, значит $v = 2$. Отсюда: $i = 1 + 1(2 - 1) = 2$;

3) Вычисляем осмотическое давление:

$$P_{\text{ОСМ. ЭЛ.}} = 2 \cdot 0,2 \cdot 0,082 \cdot 273 = 8,95 \text{ атм.}$$

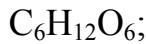
Ответ: 8,95 атм.

3) Вычислить осмотическое давление 4%-го раствора глюкозы.

$$\omega = 4\%;$$

1) Переводим массовую долю в молярную концентрацию:

$$C_H = \frac{\omega\% \cdot \rho \cdot 10}{M_X} = \frac{4 \cdot 1,1 \cdot 10}{180} = 0,24 \text{ моль/л.};$$



2) Находим $P_{\text{ОСМ.}} \text{ глюкозы}$ как неэлектролита:

$$P_{\text{ОСМ.}} = ?$$

$$P_{\text{ОСМ. НЕЭЛ.}} = CRT = 0,24 \cdot 0,082 \cdot 273 = 5,47 \text{ атм.}$$

Ответ: 5,47 атм.

4) Вычислить осмотическое давление 10%-го раствора натрий хлорида

$$(\rho = 1,2.$$

$$\omega = 10\%;$$

1) Переводим массовую долю в молярную концентрацию:



$$C_H = \frac{\omega\% \cdot \rho \cdot 10}{M_X} = \frac{10 \cdot 1,12 \cdot 10}{58,5} = 1,91 \text{ моль/л.}$$

$$P_{\text{ОСМ.}} = ?$$

2) Так как KCl это электролит, то $P_{\text{ОСМ}}$ вычисляем по формуле: $P_{\text{ОСМ. ЭЛ.}} = i CRT.$

2) Для нахождения i используем формулу: $i = 1 + \alpha(v - 1),$

где $\alpha = 1$, так как NaCl это сильный электролит и диссоциирует на два иона, значит $v = 2$. Отсюда: $i = 1 + 1(2 - 1) = 2$;

3) Вычисляем осмотическое давление:

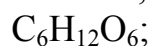
$$P_{\text{ОСМ. ЭЛ.}} = 2 \cdot 1,91 \cdot 0,082 \cdot 273 = 49,04 \text{ атм.}$$

Ответ: 49,04 атм.

5) Вычислить молярную концентрацию глюкозы, который изотоничен с кровью при 37°C.

$$t = 37^\circ\text{C};$$

1) Так как раствор глюкозы изотоничен с кровью, то его $P_{\text{ОСМ.}}$ равно $P_{\text{ОСМ.}} \text{ крови}$ и равно 7,7 атм.



2) Глюкоза это неэлектролит, поэтому

$$P_{\text{ОСМ. НЕЭЛ.}} = CRT,$$

$$\text{Отсюда } C = \frac{P}{RT} = \frac{7,7}{0,082 \cdot (273 + 37)} = 0,303 \text{ моль/л.}$$

Ответ: 0,303 моль/л.

б) Изотоничны ли 1%-ные растворы мочевины и натрия хлорида?

$$\begin{aligned} \omega((\text{NH}_2)_2\text{CO}) &= 1\%; \\ \omega(\text{NaCl}) &= 1\%; \\ \rho &= 1,03; \end{aligned}$$

1) Так как изотонические растворы должны иметь одинаковое осмотическое давление, то необходимо вычислить осмотическое давление каждого раствора и сравнить.

$$\begin{aligned} P_{\text{ОСМ.}}((\text{NH}_2)_2\text{CO}) &= ? \\ P_{\text{ОСМ.}}(\text{NaCl}) &= ? \end{aligned}$$

2) Мочевина это неэлектролит, поэтому $P_{\text{ОСМ.}}$ находим по формуле: $P_{\text{ОСМ. НЕЭЛ.}} = CRT$, предварительно переводя ω в C :

$$C_H = \frac{\omega\% \cdot \rho \cdot 10}{M_x} = \frac{1 \cdot 1,03 \cdot 10}{60} = 0,17 \text{ моль/л.};$$

$$P_{\text{ОСМ.}}((\text{NH}_2)_2\text{CO}) = CRT = 0,17 \cdot 0,082 \cdot 273 = 3,84 \text{ атм.}$$

3) Находим $P_{\text{ОСМ.}}(\text{NaCl})$, учитывая, что это электролит: $P_{\text{ОСМ. ЭЛ.}} = i CRT$;

$$C_H = \frac{\omega\% \cdot \rho \cdot 10}{M_x} = \frac{1 \cdot 1,03 \cdot 10}{58,5} = 0,17 \text{ моль/л.};$$

$$i = 1 + \alpha(v - 1) = 1 + 1(2 - 1) = 2$$

$$P_{\text{ОСМ.}}(\text{NaCl}) = 2 \cdot 0,17 \cdot 0,082 \cdot 273 = 7,6 \text{ атм.}$$

Так как осмотическое давление разное, то эти растворы неизотоничны.

Ответ: растворы неизотоничны.

Задачи для самостоятельного решения

- 1) Вычислить осмотическое давление 0,2М раствора глюкозы.
- 2) Вычислить осмотическое давление 0,3М раствора NaCl.
- 3) Вычислить осмотическое давление 10%-го раствора CaCl₂.
- 4) Изотоничны ли 2%-ные растворы ацетата(уксусной кислоты) и глюкозы?
- 5) Вычислить молярную концентрацию гемоглобина, если 1%-ный раствор его имеет осмотическое давление 0,004атм.
- 6) Вычислить осмотическую концентрацию крови.

КРИОМЕТРИЯ. ЭБУЛИОМЕТРИЯ.

Давление насыщенного пара растворителя над раствором ниже, чем над растворителем, так как при растворении вещества понижается концентрация растворителя в единице объема раствора и тем самым уменьшается число молекул воды, которое покидает поверхность раствора. Чем больше C , тем больше понижение давления ΔP .

I закон Рауля: относительное понижение давления насыщенного пара растворителя над раствором равно мольной доле растворенного вещества в растворе:

$$\frac{P_0 - P}{P_0} = \frac{n}{n + n_0}, \text{ где } P_0 \text{ — давление пара над чистым растворителем;}$$

P — давление пара над раствором;

$P_0 - P$ — понижение давления пара;

n — число моль вещества;

n_0 — число моль растворителя.

Жидкость замерзает при температуре, при которой давление пара ее в твердом состоянии равно давлению пара этого вещества в жидком состоянии. Например: при 0°C P пара льда = P пара воды. Если растворить вещество, то P пара раствора будет ниже. Чем P пара воды и P пара льда, т.е. замерзшего раствора. Поэтому надо понизить температуру раствора. чтобы P пара раствора равнялось P пара льда.

II закон Рауля: понижение температуры (депрессия) замерзания раствора прямо пропорционально его молярной (моляльной) концентрации:

$$\Delta t_{\text{неэл.}} = E_{\text{кр}} C$$

где $E_{\text{кр}}$ — криоскопическая постоянная, которая показывает депрессию 1М водного раствора неэлектролита.

Δt молярного раствора неэлектролита = 1,86.

Для электролитов уравнение имеет вид:

$$\Delta t_{\text{эл.}} = i E_{\text{кр}} C$$

где коэффициент Вант-Гоффа i показывает, во сколько раз депрессия раствора электролита больше депрессии раствора неэлектролита при одинаковой молярной (моляльной) концентрации:

$$i = \frac{\Delta t_{\text{эл.}}}{\Delta t_{\text{неэл.}}}$$

Жидкость закипает при температуре, при которой давление насыщенного ее пара равно атмосферному давлению. При растворении вещества в воде давление ее пара понижается, и раствор закипит только тогда, когда оно будет равно атмосферному. Для этого надо повысить температуру. Для водных растворов температура должна быть выше 100°C .

Повышение температуры кипения вычисляют по формуле:

$$\Delta t_{\text{неэл.}} = E_{\text{эб.}} C$$

$$\Delta t_{\text{эл.}} = i E_{\text{эб.}} C$$

$E_{\text{эб.}}(\text{H}_2\text{O}) = 0,56$.

Примеры решения задач

1. Вычислить депрессию 3,6%-го раствора глюкозы ($\rho = 1,014$).

$\omega = 3,6\%;$ $\rho = 1,014;$ <hr/> $\Delta t = ?$	1) Так как глюкоза неэлектролит, то для нахождения депрессии используем формулу: $\Delta t_{\text{неэл.}} = E_{\text{КР.}} \cdot C ;$ 2) Массовую долю переводим в С: $C_X = \frac{\omega\% \cdot \rho \cdot 10}{M_X} = \frac{3,6 \cdot 1,014 \cdot 10}{180} = 0,2 \text{ моль / л.};$ 3) Находим депрессию: $\Delta t = 1,86 \cdot 0,2 = 0,38.$ <p style="text-align: right;"><u>Ответ: 0,38.</u></p>
--	---

2. Вычислить температуру замерзания 2М раствора NaCl.

$C_X = 2 \text{ моль/л};$ $\text{NaCl};$ <hr/> $t_{\text{ЗАМ.}} = ?$	1) Для нахождения температуры замерзания необходимо знать Δt , так как $\Delta t = 0^0 - t_{\text{ЗАМ.}}$, отсюда: $t_{\text{ЗАМ.}} = 0^0 - \Delta t;$ 2) Вычисляем депрессию раствора NaCl: $\Delta t_{\text{ЭЛ.}} = i \cdot E_{\text{КР.}} \cdot C ;$ $i = 1 + \alpha(v - 1) = 1 + 1(2 - 1) = 2;$ $\Delta t_{\text{ЭЛ.}} = 2 \cdot 1,86 \cdot 2 = 7,44.$ 3) Вычисляем $t_{\text{ЗАМ.}} = 0^0 - \Delta t = 0^0 - 7,44 = -7,44^0.$ <p style="text-align: right;"><u>Ответ: - 7,44⁰.</u></p>
--	---

3. При какой температуре замерзает 3%-ный раствор этанола в воде?

$\omega = 3,0\%;$ $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH};$ <hr/> $t_{\text{ЗАМ.}} = ?$	1) Для нахождения температуры замерзания необходимо знать Δt , так как $\Delta t = 0^0 - t_{\text{ЗАМ.}}$, отсюда: $t_{\text{ЗАМ.}} = 0^0 - \Delta t;$ 2) Массовую долю переводим в С: $C_X = \frac{\omega\% \cdot \rho \cdot 10}{M_X} = \frac{3 \cdot 1,0 \cdot 10}{46} = 0,65 \text{ моль / л.}$ 3) Вычисляем депрессию раствора $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ и $t_{\text{ЗАМ.}}$: $\Delta t_{\text{НЕЭЛ.}} = E_{\text{КР.}} \cdot C = 1,86 \cdot 0,65 = 1,2;$ $t_{\text{ЗАМ.}} = 0^0 - \Delta t = 0^0 - 1,2 = -1,2^0.$ <p style="text-align: right;"><u>Ответ: - 1,2⁰.</u></p>
--	--

4. Вычислить депрессию крови при 37⁰С, если осмотическое давление крови 7,65атм.

$P_{\text{ОСМ.}} = 7,65 \text{ атм};$ $T = 37^0 \text{ С};$ <hr/> $\Delta t = ?$	1) В задаче говорится о двух параметрах крови — депрессии и осмотическом давлении, поэтому запишем две формулы: $\Delta t = E_{\text{КР.}} \cdot C$ и $P_{\text{ОСМ.}} = CRT.$ В этих формулах есть общий параметр С; выражаем его из каждого уравнения:
--	---

$$C = \frac{\Delta t}{E_{\text{КР.}}} \quad \text{и} \quad C = \frac{P_{\text{ОСМ.}}}{RT}$$

$$\frac{\Delta t}{E_{\text{КР.}}} = \frac{P_{\text{ОСМ.}}}{RT} \Rightarrow \Delta t = \frac{P_{\text{ОСМ.}} \cdot E_{\text{КР.}}}{RT}$$

отсюда

$$\Delta t = \frac{7,65 \cdot 1,86}{0,082 \cdot (273 + 37)} = 0,56.$$

Ответ: 0,56.

5. Вычислить молярную концентрацию раствора NaCl, который замерзает при температуре - 0,56°С.

$t_{\text{ЗАМ}} = - 0,56^{\circ}\text{C};$ NaCl;	1) $t_{\text{ЗАМ}} = 0^{\circ} - \Delta t;$ 2) Находим Δt раствора NaCl: $\Delta t = 0^{\circ} - t_{\text{ЗАМ}} = 0^{\circ} - (-0,56) = 0,56.$ 3) Учитывая, что NaCl электролит: $\Delta t_{\text{ЭЛ.}} = i \cdot E_{\text{КР.}} \cdot C;$ $i = 1 + \alpha(v - 1) = 1 + 1(2 - 1) = 2;$ $C = \frac{\Delta t}{E_{\text{КР.}} \cdot i} = \frac{0,56}{1,86 \cdot 2} = 0,15 \text{ моль/л.}$
$C(\text{NaCl}) = ?$	

Ответ: 0,15моль/л.

Задачи для самостоятельного решения

- 1) При какой температуре замерзает кровь человека? (ответ: $-0,56^{\circ}$)
- 2) Вычислить депрессию раствора неэлектролита, если его осмотическое давление при 0°C 4,56атм. (ответ: 0,38)
- 3) Вычислить осмотическую концентрацию крови лягушки, если температура замерзания крови ее $- 0,41^{\circ}\text{C}$. (ответ: 0,22моль/л)
- 4) Изотоничны ли два раствора, если депрессия одного 0,31. а осмотическое давление другого при 37°C 4,2атм. (ответ: изотоничны)