

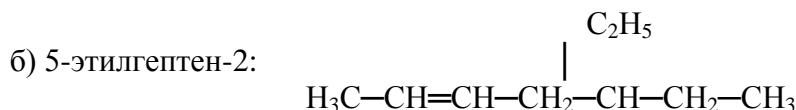
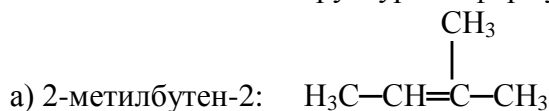


### Методика выполнения модульных заданий

**Задание 1.** Напишите структурные формулы следующих соединений:

а) 2-метилбутена-2;      б) 5-этилгептена-2.

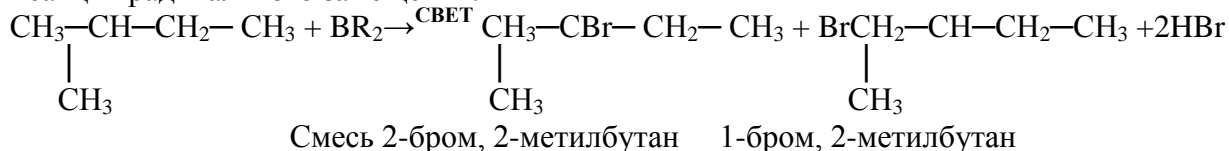
**Решение.** Напишем структурные формулы указанных соединений:



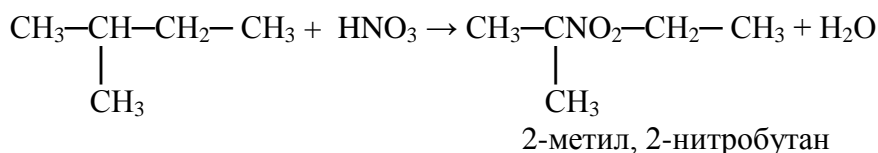
**Задание 2.** Напишите уравнения реакций взаимодействия бутана и 2-метилбутана с бромом и с азотной кислотой. Укажите условия проведения этих превращений.

Ответ

Реакция радикального замещения:



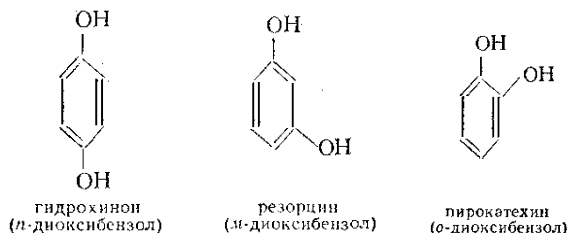
Реакция Коновалова – гетерогенный механизм:



**Задание 3.** Напишите структурные формулы всех изомеров фенола (двухатомных, трехатомных). Назовите их по системе ИЮПАК. Напишите уравнения реакций окисления пирокатехина и гидрохинона в соответствующие хиноны.

Ответ

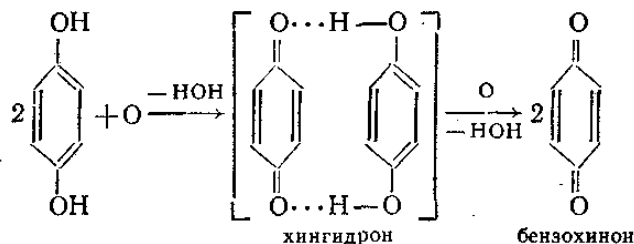
Двухатомные фенолы. Простейшие двухатомные фенолы называются диоксибензолами  $\text{C}_6\text{H}_4(\text{OH})_2$ :



Двухатомные фенолы дают все характерные для фенолов реакции, причем в этих реакциях могут участвовать как одна, так и обе гидроксильные группы. С увеличением числа гидроксильных групп молекула становится все менее устойчивой к действию окислителей. Так, гидрохинон при действии окислителей легко превращается в бензохинон через промежуточ-

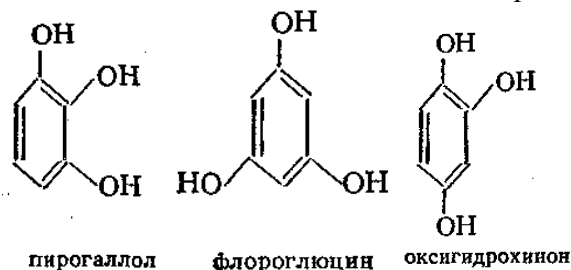


ную стадию образования хингидрона (молекулярного соединения, образованного молекулами хинона и гидрохинона):

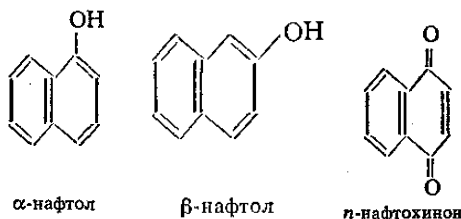


Хотя хиноны и связаны генетически с двухатомными фенолами, но так как для них характерны в основном реакции непредельных кетонов.

Из трехатомных фенолов широко известны *пирогаллол* (1,2,3-триоксибензол) и *флороглюцин* (1,3,5-триоксибензол). Пирогаллол настолько легко окисляется, что его щелочные растворы применяются в газовом анализе для поглощения кислорода



Фенолы нафталинового ряда называются *нафтолами*:



**Пример 1.** При сжигании органического вещества массой 7,2 г, плотность паров которого по водороду равна 36, образовалось оксида углерода(IV) и воды массами 22 г и 10,8 г соответственно. Определить формулу исходного вещества.

**Решение.** Уравнение сгорания органического вещества неизвестного состава:  $C_xH_yA_z + O_2 = x CO_2 + y/2 H_2O + zA$ .

$$M(CO_2) = 44 \text{ г/моль}; \quad M(H_2O) = 18 \text{ г/моль}.$$

Найдем массы водорода и углерода в веществе:

$$m(H_2) = n(H_2) \cdot M(H_2) = m(H_2O) \cdot M(H_2) / M(H_2O) = 10,8 \cdot 2 / 18 = 1,2 \text{ г};$$

$$m(C) = n(C) \cdot A(C) = m(CO_2) \cdot A(C) / M(CO_2) = 22 \cdot 12 / 44 = 6,0 \text{ г}.$$

Поскольку суммарная масса углерода и водорода равна массе сожженного вещества, то был сожжен углеводород состава  $C_xH_y$ . Истинную молекулярную массу углеводорода найдем исходя из его плотности по водороду:  $M = 2 \cdot 36 = 72 \text{ г/моль}$ .

Для установления формулы углеводорода составим пропорцию:



$$\begin{aligned}7,2 \text{ г } C_xH_y - 22 \text{ г } CO_2 \\ 72 \text{ г } C_xH_y - 44 \cdot x \text{ г } CO_2.\end{aligned}$$

Отсюда  $x = 5$ , т. е. в молекуле  $C_xH_y$  содержится 5 атомов углерода. Число атомов водорода равно  $(72 - 12 \cdot 5) / 1 = 12$ .

Следовательно, формула органического вещества  $C_5H_{12}$ .

**Пример 2.** При сгорании органического вещества массой 4,8 г образовалось 3,36 дм<sup>3</sup> CO<sub>2</sub> (н.у.) и 5,4 г воды. Плотность паров органического вещества по водороду равна 16. Определить молекулярную формулу исследуемого вещества.

*Решение.* Продукты сгорания вещества состоят из трех элементов: углерода, водорода, кислорода. При этом очевидно, что в состав этого соединения входил весь углерод, содержащийся в CO<sub>2</sub>, и весь водород, перешедший в воду. А вот кислород мог присоединиться во время горения из воздуха, а мог и частично содержаться в самом веществе. Для определения простейшей формулы соединения нам необходимо знать его элементный состав. Найдите количество продуктов реакции (в моль):

$$\begin{aligned}n(CO_2) = V(CO_2)/V_M = 3,36 \text{ дм}^3 / 22,4 \text{ дм}^3/\text{моль} = 0,15 \text{ моль}; \\ n(H_2O) = m(H_2O)/M(H_2O) = 5,4 \text{ г} / 18 \text{ г/моль} = 0,3 \text{ моль}.\end{aligned}$$

Следовательно, в состав исходного соединения входило 0,15 моль атомов углерода и 0,6 моль атомов водорода:  $n(H) = 2n(H_2O)$ , так как в одной молекуле воды содержатся два атома водорода. Вычислим их массы по формуле:  $m = n \cdot M$ .

$$m(H) = 0,6 \cdot 1 = 0,6 \text{ г}; m(C) = 0,15 \cdot 12 = 1,8 \text{ г}.$$

Найдем массу кислорода в составе исходного вещества:

$$m(O) = 4,8 - (0,6 + 1,8) = 2,4 \text{ г}.$$

Найдем число моль атомов кислорода:

$$n(O) = m(O)/M(O) = 2,4 \text{ г} : 16 \text{ г/моль} = 0,15 \text{ моль}.$$

Соотношение числа атомов в молекуле исходного органического соединения пропорционально их мольным долям:

$$n(CO_2) : n(H) : n(O) = 0,15 : 0,6 : 0,15 = 1 : 4 : 1.$$

Самую маленькую из этих величин (0,15) принимаем за 1, а остальные делим на нее. Итак, простейшая формула исходного вещества CH<sub>4</sub>O. Однако по условию задачи требуется определить молекулярную формулу, которая в общем виде такова: (CH<sub>4</sub>O)<sub>x</sub>. Найдем значение x. Для этого сравним молярные массы исходного вещества и его простейшей формулы:  $x = M(CH_4O)_x / M(CH_4O)$ .

Зная относительную плотность исходного вещества по водороду, найдем молярную массу вещества:

$$\begin{aligned}M(CH_4O)_x = M(H_2) \cdot D(H_2) = 2 \text{ г/моль} \cdot 16 = 32 \text{ г/моль}. \\ x = 32 \text{ г/моль} / 32 \text{ г/моль} = 1.\end{aligned}$$

Формула исходного органического вещества CH<sub>4</sub>O.

**Пример 3.** В лабораторной установке из 120 дм<sup>3</sup> ацетилена (н.у.) получили 60 г бензола. Вычислить практический выход бензола.

*Решение.*

$$\begin{aligned}3C_2H_2 \text{ (650 } ^\circ\text{C, активированный уголь)} = C_6H_6; \\ n(C_2H_2) = V(C_2H_2)/V_M = 120 \text{ дм}^3/22,4 \text{ дм}^3/\text{моль} = 5,35 \text{ моль}; \\ n(C_6H_6)_{\text{теор}} = 1/3 \cdot n(C_2H_2) = 1/3 \cdot 5,35 \text{ моль} = 1,785 \text{ моль}; \\ n(C_6H_6)_{\text{практ}} = m(C_6H_6)/M(C_6H_6) = 60 \text{ г} / 78 \text{ г/моль} = 0,77 \text{ моль};\end{aligned}$$



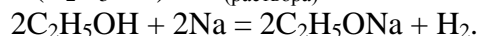
$$h = (n_{\text{практ}} \cdot 100 \%) / n_{\text{теор}} = (0,77 \cdot 100 \% / 1,785) = 43 \%$$

**Пример 4.** Какой объем водорода (н.у.) получится при взаимодействии 2 моль металлического натрия с 96%-ным (по массе) раствором этанола в воде ( $V = 100 \text{ см}^3$ , плотность  $\rho = 0,8 \text{ г/см}^3$ ).

*Решение.* В условии задачи даны количества обоих реагентов – это верный признак того, что какой-нибудь из них находится в избытке. Найдем массу этанола, введенного в реакцию:

$$m_{\text{(раствора)}} = V \cdot \rho = 100 \text{ см}^3 \cdot 0,8 \text{ г/см}^3 = 80 \text{ г};$$

$$m(\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}) = m_{\text{(раствора)}} \cdot \omega \% / 100 \% = 80 \text{ г} \cdot 0,96 = 76,8 \text{ г};$$



на 2 моль этанола  $\rightarrow$  2 моль натрия  $\rightarrow$  1 моль водорода.

Найдем заданное количество этанола в моль:

$$n(\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}) = m(\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}) / M(\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}) = 76,84 \text{ г} / 46 \text{ г/моль} = 1,67 \text{ моль}.$$

Поскольку заданное количество натрия составляло 2 моль, натрий в нашей задаче присутствует в избытке. Поэтому объем выделенного водорода будет определяться количеством этанола:

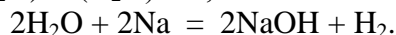
$$n_1(\text{H}_2) = 1/2 n(\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}) = 1/2 \cdot 1,67 \text{ моль} = 0,835 \text{ моль};$$

$$V_1(\text{H}_2) = n_1(\text{H}_2) \cdot V_M = 0,835 \text{ моль} \cdot 22,4 \text{ дм}^3/\text{моль} = 18,7 \text{ дм}^3.$$

Вода, содержащаяся в растворе спирта, тоже реагирует с натрием с выделением водорода. Найдем массу воды:

$$m(\text{H}_2\text{O}) = m_{\text{(р-ра)}} \cdot \omega \% 100 \% = 80 \text{ г} \cdot 0,04 = 3,2 \text{ г};$$

$$n(\text{H}_2\text{O}) = m(\text{H}_2\text{O}) / M(\text{H}_2\text{O}) = 3,2 \text{ г} / 18 \text{ г/моль} = 0,178 \text{ моль};$$



Из уравнения следует, что на 2 моль воды  $\rightarrow$  2 моль натрия  $\rightarrow$  моль водорода.

Количество натрия, оставшееся неизрасходованным после реакции с этанолом, составит:

$$n_{\text{Na, остаток}} = 2 \text{ моль} - 1,67 \text{ моль} = 0,33 \text{ моль}.$$

Таким образом, по сравнению с заданным количеством воды (0,178 моль) натрий все равно оказывается в избытке.

Найдем количество и объем водорода, выделившегося по реакции с водой:

$$n_2(\text{H}_2) = 1/2 n(\text{H}_2\text{O}) = 1/2 \cdot 0,178 \text{ моль} = 0,089 \text{ моль};$$

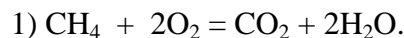
$$V_2(\text{H}_2) = n_2(\text{H}_2) \cdot V_M = 0,089 \text{ моль} \cdot 22,4 \text{ дм}^3/\text{моль} = 1,99 \text{ дм}^3.$$

Общий объем водорода:

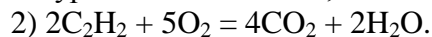
$$V(\text{H}_2) = V_1(\text{H}_2) + V_2(\text{H}_2) = 18,7 \text{ дм}^3 + 1,99 \text{ дм}^3 = 20,69 \text{ дм}^3.$$

**Пример 5.** Какой объем воздуха (н.у.) потребуется для сжигания смеси, состоящей из 5 дм<sup>3</sup> метана и 15 дм<sup>3</sup> ацетилена?

*Решение.*



Из уравнения вытекает, что на моль  $\text{CH}_4 \rightarrow$  2 моль  $2\text{O}_2$ .



Из уравнения вытекает, что на 2 моль  $2\text{C}_2\text{H}_2 \rightarrow$  5 моль  $\text{O}_2$ .

Объем кислорода, который пойдет на сжигание заданного объема метана  $V_1(\text{O}_2)$  и ацетилена  $V_2(\text{O}_2)$ , составит:

$$V_1(\text{O}_2) = 2V(\text{CH}_4) = 2 \cdot 5 = 10 \text{ дм}^3;$$

$$V_2(\text{O}_2) = 5/2 V(\text{C}_2\text{H}_2) = 5/2 \cdot 15 = 37,5 \text{ дм}^3;$$

$$V(\text{O}_2) = V_1(\text{O}_2) + V_2(\text{O}_2) = 10 \text{ дм}^3 + 37,5 \text{ дм}^3 = 47,5 \text{ дм}^3.$$





*Решение.* Используя следствие из закона Гесса, можно рассчитать

$$\begin{aligned}\Delta H^{\circ}_{\text{реакции}} &= \sum n\Delta H^{\circ}_{\text{пр}} - \sum n\Delta H^{\circ}_{\text{исх}}, \\ \Delta H^{\circ}_{\text{реакции}} &= (\Delta H^{\circ}(\text{CO}) \cdot 2 + \Delta H^{\circ}(\text{H}_2) \cdot 2) - (\Delta H^{\circ}(\text{CH}_4) + \Delta H^{\circ}(\text{CO}_2)) = \\ &= (-110,50 \cdot 2) + 0 \cdot 2 - (52,28) - (-393,51) = 120,23 \text{ кДж}.\end{aligned}$$

Так как  $\Delta H^{\circ}_{\text{реакции}} > 0$ , значит, прямая реакция эндотермическая:

$$\begin{aligned}\Delta S^{\circ}_{\text{реакции}} &= (S^{\circ}(\text{CO}) \cdot 2 + S^{\circ}(\text{H}_2) \cdot 2) - (S^{\circ}(\text{CH}_4) + S^{\circ}(\text{CO}_2)) = \\ &= 197,4 \cdot 2 + 130,6 \cdot 2 - 219,4 - 213,6 = 223,0 \text{ Дж/К}; \\ \Delta G^{\circ}_{\text{реакции}} &= (\Delta G^{\circ}(\text{CO}) \cdot 2 + \Delta G^{\circ}(\text{H}_2) \cdot 2) - (\Delta G^{\circ}(\text{CH}_4) + \Delta G^{\circ}(\text{CO}_2)) = \\ &= (-137,27) \cdot 2 + 0 \cdot 2 - 68,12 - (-394,38) = 51,72 \text{ кДж}.\end{aligned}$$

Так как  $\Delta G^{\circ}_{298} > 0$ , реакция самопроизвольно не протекает в прямом направлении при стандартной температуре.

Анализируя соотношение энтальпийного и энтропийного факторов при стандартных условиях для данной реакции:  $\Delta H^{\circ}_{298} > 0$  и  $\Delta S^{\circ}_{298} > 0$ , можно сказать, что реакция возможна только при изменении температуры:  $\Delta G^{\circ}_{298} = \Delta H - T \cdot \Delta S$ , при равновесии  $\Delta G^{\circ}_{298} = 0$ ;

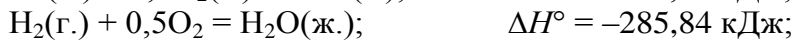
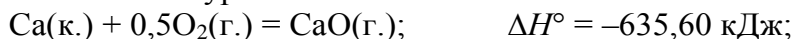
$$\Delta H - T \cdot \Delta S = 0, \text{ следовательно, } T = \Delta H / \Delta S = 120,23/223 \cdot 10^{-3} = 539,15 \text{ К}.$$

Таким образом, протекание реакции в прямом направлении возможно при температуре выше 539,15 К.

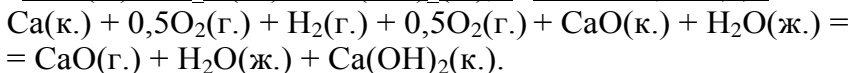
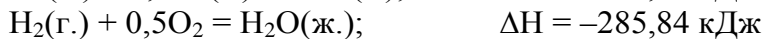
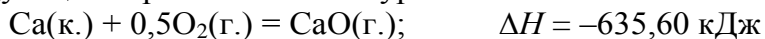
**Пример 9.** В каком состоянии энтропия 1 моль вещества больше: в кристаллическом или в парообразном при той же температуре?

*Решение.* Энтропия есть мера неупорядоченности состояния вещества. В кристалле частицы (атомы, ионы) расположены упорядоченно и могут находиться лишь в определенных точках пространства, а для газа таких ограничений нет. Объем 1 моль газа гораздо больше, чем объем 1 моль кристаллического вещества; возможность хаотичного движения молекул газа больше. А так как энтропию можно рассматривать как количественную меру хаотичности атомно-молекулярной структуры вещества, то энтропия 1 моль паров вещества больше энтропии его кристаллов при одинаковой температуре.

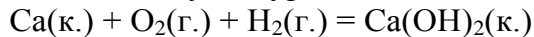
**Пример 10.** Тепловой эффект какой реакции равен теплоте образования гидроксида кальция? Вычислите теплоту образования гидроксида кальция исходя из следующих термохимических уравнений:



*Решение.* Энтальпия ( $\Delta H$ ) – это термодинамическая функция, которая характеризует энергетическое состояние системы при изобарно-изотермических условиях.  $\Delta H = H_{\text{кон}} - H_{\text{нач}}$ . Применив закон Гесса, вычислим теплоту образования гидроксида кальция исходя из следующих термохимических уравнений:



Сократив одинаковые значения, получим уравнение



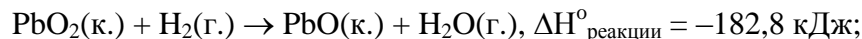
и рассчитаем количество теплоты

$$(-635,60 + (-285,84) + (-65,06)) = -986,5 \text{ кДж}.$$



**Пример 11.** Определите стандартную теплоту образования ( $\Delta H^\circ$ )  $\text{PbO}_2$  по уравнению  $\text{PbO}_2(\text{к.}) + \text{H}_2(\text{г.}) \rightarrow \text{PbO}(\text{к.}) + \text{H}_2\text{O}(\text{г.})$ , если  $\Delta H^\circ_{\text{реакции}} = -182,8 \text{ кДж}$ ;  $\Delta H^\circ(\text{PbO}) = -218 \text{ кДж/моль}$ ;  $\Delta H^\circ(\text{H}_2\text{O}_{\text{г.}}) = -242 \text{ кДж/моль}$ .

*Решение.* Для данной реакции  $\text{PbO}_2(\text{к.}) + \text{H}_2(\text{г.}) \rightarrow \text{PbO}(\text{к.}) + \text{H}_2\text{O}(\text{г.})$  изменение энтальпии равно  $-182,8 \text{ кДж}$ ;



$$\Delta H^\circ_{\text{реакции}} = \sum H^\circ_{\text{пр}} - \sum H^\circ_{\text{исх}};$$

$$\Delta H^\circ_{\text{реакции}} = (\Delta H^\circ(\text{PbO}) + \Delta H^\circ(\text{H}_2\text{O})) - (\Delta H^\circ(\text{PbO}_2) + \Delta H^\circ(\text{H}_2)).$$

Подставим известные значения и определим стандартную теплоту образования ( $\Delta H^\circ$ )  $\text{PbO}_2$ :

$$-182,8 = (-218 - 242) - (\Delta H^\circ(\text{PbO}_2) + 0);$$

$$\Delta H^\circ(\text{PbO}_2) = -277,2 \text{ кДж/моль.}$$

**Пример 12.** При  $65^\circ\text{C}$  давление воды равно  $2,5 \cdot 10^4 \text{ Па}$ . Вычислите давление насыщенного пара над 5%-ным раствором карбамида  $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$  при той же температуре.

*Решение.*  $M(\text{CO}(\text{NH}_2)_2) = 60 \text{ г/моль}$ . В  $100 \text{ г}$  раствора содержится  $5 \text{ г}$  мочевины и  $95 \text{ г}$  воды.

Химическое количество мочевины составляет  $n_1 = m/M = 0,5/60 = 0,083 \text{ моль}$ . Количество воды  $n_2 = 95/18 = 5,27 \text{ моль}$ . Находим мольную долю растворителя в растворе:  $\chi = n_1 / (n_1 + n_2) = 0,958$ .

Следовательно,  $P_1 = 0,958 \cdot 2,5 \cdot 10^4 \text{ Па} = 24,6 \text{ кПа}$ .

**Пример 13.** Вычислите молярную массу глицерина, зная, что раствор, содержащий  $11,04 \text{ г}$  глицерина в  $800 \text{ г}$  воды, кристаллизуется при  $-0,279^\circ\text{C}$ .

*Решение.* Температура кристаллизации чистой воды  $0^\circ\text{C}$ , следовательно, согласно закону Рауля понижение температуры кристаллизации  $\Delta t = 0 - (-0,279) = 0,279$ .

Выразим молярную массу  $\Delta t = K \cdot m_B \cdot 1000 / (M_B \cdot m_0)$ .

$$M = 1,86 \cdot 11,04 \cdot 1000 / 0,279 \cdot 800 = 92 \text{ г/моль.}$$

**Пример 14.** Вычислите осмотическое давление раствора, содержащего  $16 \text{ г}$  сахарозы  $\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$  в  $350 \text{ г}$  воды при  $20^\circ\text{C}$ . Плотность раствора считать равной единице.

*Решение.* Осмотическое давление зависит от молярной концентрации раствора. Рассчитаем  $C_M$  данного раствора.

$$M(\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}) = 12 \cdot 12 + 22 \cdot 1 + 11 \cdot 16 = 342 \text{ г/моль.}$$

Плотность раствора по условию равна единице, следовательно, объем  $V = 0,366 \text{ дм}^3$ . Отсюда молярная концентрация  $C_M = 16 / 342 \times \times 0,366 = 0,136 \text{ М}$ .

Вычисляем осмотическое давление:

$$P_{\text{осм}} = C_M RT = 0,136 \cdot 8,31 \cdot 293 = 331,13 \text{ кПа.}$$

**Пример 15.** При  $25^\circ\text{C}$  осмотическое давление раствора, содержащего  $2,80 \text{ г}$  высокомолекулярного соединения в  $200 \text{ см}^3$  раствора, равно  $0,7 \text{ кПа}$ . Найти молярную массу растворенного вещества.

*Решение.* Из уравнения  $P_{\text{осм}} = 1000 \frac{m}{MV} RT$  найдем молярную массу вещества:

$$M = \frac{1000 \cdot m RT}{pV} = \frac{1000 \cdot 2,8 \cdot 8,31 \cdot 298}{700 \cdot 0,2} = 4,95 \cdot 10^4 \text{ г/моль.}$$



Относительная молекулярная масса высокомолекулярного вещества равна  $4,95 \cdot 10^4$  г/моль.

**Пример 16.** Определите температуру кипения и замерзания 10%-ного раствора глюкозы.

*Решение.*  $M(C_6H_{12}O_6) = 180$  г/моль. В 10%-ном растворе на 10 г глюкозы приходится 90 г воды.  $K(H_2O) = 1,86^\circ$ ,  $E(H_2O) = 52^\circ$ . Используя эти данные, рассчитаем  $\Delta t_{\text{зам}}$  и  $\Delta t_{\text{кип}}$ :

$$\Delta t_{\text{зам}} = 1,86 \frac{10 \cdot 1000}{90 \cdot 180} = 1,15^\circ \text{C},$$

$$\Delta t_{\text{кип}} = 0,52 \frac{10 \cdot 1000}{90 \cdot 180} = 0,32^\circ \text{C}.$$

**Пример 17.** Сколько граммов мочевины  $(NH_2)_2CO$  следует растворить в 250 г воды, чтобы температура кипения повысилась на  $0,26^\circ \text{C}$ ? Эбуллиоскопическая константа воды –  $0,52^\circ$ .

*Решение.* Растворы замерзают при более низкой температуре и закипают при более высокой, чем чистый растворитель. Повышение температуры кипения раствора пропорционально его моляльной концентрации:  $\Delta t_{\text{зам(кип)}} = K(E) \cdot C_m$ , где  $K$  – криоскопическая постоянная растворителя;  $C_m$  – моляльная концентрация раствора, моль/1000 г растворителя.

$$M((NH_2)_2CO) = 60 \text{ г/моль}.$$

Согласно закону Рауля  $\Delta t_{\text{кип}} = E \cdot m \cdot 1000 / ((M(NH_2)_2CO) \cdot m(H_2O))$ :

$$0,26 = 0,52 \cdot m((NH_2)_2CO) \cdot 1000 / 60 \cdot 250;$$

$$m((NH_2)_2CO) = 7,5 \text{ г}.$$

**Пример 18.** Выразите состав 20%-ного раствора  $H_2SO_4$  ( $\rho = 1,140$  г/см<sup>3</sup>) в мольных долях, рассчитайте моляльную и молярную концентрацию эквивалента.

*Решение.* Дано:  $\omega = 20\%$ ;  $\rho = 1,140$  г/см<sup>3</sup>;  $V = 1$  дм<sup>3</sup>;  $M(H_2SO_4) = 98$  г/моль;  $M(1/2 H_2SO_4) = 49$  г/моль.

1. Найдем массу 20%-ного раствора:

$$m = \rho \cdot V = 1,140 \cdot 1000 = 1140 \text{ г}.$$

2. Найдем массу и число моль кислоты:

$$m(H_2SO_4) = m(p\text{-ра}) \cdot \omega = 1140 \cdot 0,2 = 228 \text{ г};$$

$$n = m/M = 228/98 = 2,33 \text{ моль}.$$

3. Найдем массу и число моль воды:

$$m(H_2O) = 1140 - 228 = 912 \text{ г}; n = 912/18 = 50,67 \text{ моль}.$$

4. Найдем молярную долю  $\chi$ :

$$\chi(x) = n(x)/\Sigma n_i \quad \chi(H_2SO_4) = 2,33/53 = 0,044.$$

5. Найдем молярную концентрацию:

$$C(x) = n(x)/V(p\text{-ра}), \text{ т. е. } C(H_2SO_4) = 2,33/1 \text{ дм}^3 = 2,33 \text{ моль/дм}^3.$$

6. Найдем молярную концентрацию эквивалента

$$C(1/z(x)) = n(1/z(x))/V(p\text{-ра}),$$

подставив в нее значение величин:

$$C(1/2H_2SO_4) = 2 \cdot 2,33/1 \text{ дм}^3 = 4,66 \text{ моль/дм}^3.$$

7. Найдем моляльность раствора:

$$b(x) = n(x)/m(p\text{-ля}) \quad b(H_2SO_4) = 2,33 \cdot 1000/912 = 2,55 \text{ моль/1000 г р-ля}.$$



8. Найдем объем заданного раствора, необходимого для приготовления  $500 \text{ см}^3$   $0,1 \text{ М}$  раствора:

$$m(\text{H}_2\text{SO}_4) = C \cdot M \cdot V = 0,1 \cdot 98 \cdot 0,5 = 4,9 \text{ г } \text{H}_2\text{SO}_4.$$
$$m(\text{р-ра}) = 4,9/0,2 = 24,5 \text{ г } \quad V = m/\rho = 24,5/1,140 = 21,5 \text{ см}^3.$$

**Пример 19.** Вычислите рН буферного раствора, состоящего из  $80 \text{ см}^3$   $0,15 \text{ М}$  раствора  $\text{CH}_3\text{COOH}$  и  $20 \text{ см}^3$   $0,1 \text{ М}$  раствора  $\text{CH}_3\text{COONa}$ . Константа электролитической диссоциации уксусной кислоты равна  $1,85 \cdot 10^{-5}$ .

*Решение.* По уравнению буферной смеси концентрация водородных ионов в буферном растворе определяется как

$$[\text{H}^+] = K \frac{[\text{кислота}]}{[\text{соль}]}$$

или в других обозначениях

$$C(\text{H}^+) = K \frac{C_{\text{кислоты}}}{C_{\text{соли}}},$$

где  $C_{\text{кислоты}}$  – концентрация кислоты;

$C_{\text{соли}}$  – концентрация соли в приготовленной буферной смеси.

Концентрация кислоты и соли в смеси может быть рассчитана по данным задачи:

$$C_{\text{кислоты}} = \frac{80 \cdot 0,15}{20 + 80} = 0,12; \quad C_{\text{соли}} = \frac{20 \cdot 0,1}{20 + 80} = 0,02 \text{ моль/дм}^3,$$

где 80 и 20 – объемы кислоты и соли, взятые для приготовления буферного раствора,  $\text{см}^3$ ; 20 + 80 – общий объем раствора.

Полученные величины подставляются в уравнение буферной смеси:

$$C(\text{H}^+) = 1,85 \cdot 10^{-5} \cdot \frac{0,12}{0,02} = 1,11 \cdot 10^{-4} \text{ моль/дм}^3.$$

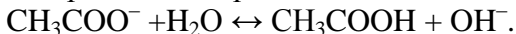
Далее находим величину рН:  $\text{pH} = -\lg C(\text{H}^+)$ ;

$$\text{pH} = -\lg(1,11 \cdot 10^{-4}),$$

$$\text{pH} = -(\lg 1,11 - 4 \lg 10) = 4 - 0,045 = 3,955; \text{ рН } 3,955.$$

**Пример 20.** Вычислите степень гидролиза ацетата калия в  $0,1 \text{ М}$  растворе и рН раствора.

*Решение.* Запишем уравнение реакции гидролиза:



Для вычисления степени гидролиза найдем константу гидролиза. Для этого воспользуемся значением константы диссоциации уксусной кислоты  $1,8 \cdot 10^{-5}$

$$K_{\text{г}} = \frac{K_{\text{H}_2\text{O}}}{K_{\text{дис}}} = \frac{10^{-14}}{1,8 \cdot 10^{-5}} = 5,5 \cdot 10^{-10}.$$

Теперь найдем степень гидролиза:

$$\beta = \sqrt{\frac{K_{\text{г}}}{C_{\text{M}}}} = \sqrt{\frac{5,56 \cdot 10^{-10}}{10^{-10}}} = 7,5 \cdot 10^{-5}.$$

Для вычисления рН следует принять во внимание, что в результате гидролиза каждого аниона  $\text{CH}_3\text{COO}^-$  образуется один гидроксид-ион. Если исходная концентрация гидролизующихся ионов  $C_{\text{M}}$  моль/дм<sup>3</sup>, а степень гидролиза равна  $\beta$ , то при гидролизе образовалось  $\beta \cdot C_{\text{M}}$  моль/дм<sup>3</sup> ионов  $\text{OH}^-$ .

Таким образом,  $C_{\text{OH}^-} = \beta \cdot C_{\text{M}} = 7,5 \cdot 10^{-5} \cdot 0,1 = 7,5 \cdot 10^{-6}$  моль/дм<sup>3</sup>.



Следовательно,  $pOH = -\lg C_{OH^-} = -\lg(7,5 \cdot 10^{-6}) = -(-5,12) = 5,12$ .

Отсюда  $pH = pK - pOH = 14 - 5,12 = 8,88$ .

**Пример 21.** Формиатный буферный раствор имеет  $pH = 2,75$ . Рассчитайте соотношение концентраций муравьиной кислоты и формиата натрия в растворе.  $K_{d(HCOOH)} = 1,77 \cdot 10^{-4}$ .

*Решение.* Найдем концентрацию ионов водорода:  $pH = 2,75$ ;  $[H^+] = 10^{-2,75} = 10^{-3} \cdot 10^{0,25} = 1,77 \cdot 10^{-3}$  моль/дм<sup>3</sup>.

Из формулы следует, что

$$C_k / C_c = [H^+] / K_k = 1,77 \cdot 10^{-3} / 1,77 \cdot 10^{-4} = 10 : 1.$$

**Пример 22.** Вычислите водородный показатель  $pH$  раствора гидроксида калия, имеющего концентрацию  $4,2 \cdot 10^{-3}$  моль/дм<sup>3</sup>.

*Решение.* Концентрация гидроксид-ионов в растворе равна концентрации КОН, так как имеет место полная диссоциация соединения.

$$C_{OH^-} = 4,2 \cdot 10^{-3} \text{ моль/дм}^3.$$

Исходя из ионного произведения воды находим концентрацию ионов водорода:  $10^{-14} / 4,2 \cdot 10^{-3} = 0,24 \cdot 10^{-11}$  моль/дм<sup>3</sup>. Водородный показатель раствора КОН  $pH = -\lg C_{H^+} = -\lg(0,24 \cdot 10^{-11}) = 11,62$ .

**Пример 23.** Чему равна концентрация гидроксид-ионов в растворе,  $pH$  которого равен 10,80?

*Решение.* Из соотношения  $pH + pOH = 14$  находим  $pOH = 14 - 10,80 = 3,20$ . Отсюда  $-\lg C_{OH^-} = 3,20$ , или  $\lg C_{OH^-} = -3,20$ . Этому значению логарифма соответствует значение  $C_{OH^-} = 6,31 \cdot 10^{-4}$  моль/дм<sup>3</sup>.

**Пример 24.** Вычислите  $pH$ , если концентрация  $H^+$  равна  $10^{-4}$  моль/дм<sup>3</sup>.

*Решение.* Находим величину  $pH$ :  $pH = -\lg C(H^+)$ ;  $pH = -\lg(10^{-4})$ ;  $pH = 4$ .

**Пример 25.** Определите концентрацию  $HCO_3^-$  и  $CO_3^{2-}$  в 0,01 М растворе угольной кислоты, если  $pH$  этого раствора равен 4,18.

*Решение.* Найдем концентрацию ионов водорода в растворе  
 $-\lg C_{H^+} = 4,18$      $\lg C_{H^+} = -4,18$      $C_{H^+} = 6,61 \cdot 10^{-5}$  моль/дм<sup>3</sup>.

Запишем выражение для константы диссоциации угольной кислоты по первой ступени:

$$K_1 = \frac{C_{H^+} \cdot C_{HCO_3^-}}{C_{H_2CO_3}} = 4,45 \cdot 10^{-7}.$$

Подставив значения концентраций ионов водорода и угольной кислоты в уравнение, находим:

$$C_{HCO_3^-} = 4,45 \cdot 10^{-7} \cdot 10^{-2} / (6,61 \cdot 10^{-5}) = 6,73 \cdot 10^{-5} \text{ моль/дм}^3.$$

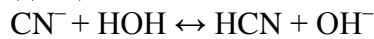
Константа диссоциации угольной кислоты по второй ступени

$$K_2 = \frac{C_{H^+} \cdot C_{CO_3^{2-}}}{C_{HCO_3^-}} = 4,69 \cdot 10^{-11}.$$

Отсюда  $C_{CO_3^{2-}} = 4,69 \cdot 10^{-11} \cdot 6,73 \cdot 10^{-5} / (6,61 \cdot 10^{-5}) = 4,8 \cdot 10^{-11}$  моль/дм<sup>3</sup>.

**Пример 26.** Вычислите константу гидролиза ( $K_r$ ), степень гидролиза ( $\beta$ ),  $pH$  раствора цианида натрия KCN с молярной концентрацией 0,02 М.

*Решение.* Соль KCN образована сильным основанием и слабой кислотой, следовательно, гидролиз соли идет по аниону, среда щелочная:



Найдем константу гидролиза:

$$K_r = 10^{-14} / K_{\text{кислоты}} = 10^{-14} / 4,3 \cdot 10^{-7} = 2,3 \cdot 10^{-8}.$$



Зная константу гидролиза, рассчитаем степень гидролиза  $\beta$  и концентрацию гидроксид-ионов  $C(\text{OH}^-)$ :

$$K_r = \beta^2 \cdot C_c,$$

$$\text{отсюда } \beta = \sqrt{\frac{K_r}{C_c}} = \sqrt{\frac{2,3 \cdot 10^{-8}}{0,02}} = 1,07 \cdot 10^{-3};$$

$$C(\text{OH}^-) = \beta \cdot C_c = 1,07 \cdot 10^{-3} \cdot 0,02 = 2,14 \cdot 10^{-5} \text{ моль/дм}^3.$$

Вычислим рОН и рН:

$$\text{рОН} = -\lg C(\text{OH}^-) = -\lg(2,14 \cdot 10^{-5}) = 4,67,$$

$$\text{рН} = 14 - \text{рОН} = 14 - 4,67 = 9,33.$$

рН 9,33, что больше 7, следовательно, среда щелочная.

**Пример 27.** Удельная электрическая проводимость ( $\chi$ ) раствора  $\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$  концентрация 0,0109 кмоль/м<sup>3</sup> равна  $1,22 \cdot 10^{-2} \text{ См} \cdot \text{м}^{-1}$ . Вычислить молярную электрическую проводимость ( $\lambda$ ) этого раствора.

*Решение.* Удельная и молярная электрические проводимости связаны между собой по уравнению:  $\lambda = \chi / C$ .

$$\text{Отсюда } \lambda = 1,22 \cdot 10^{-2} / 0,0109 = 1,119 \text{ См} \cdot \text{м}^2 / \text{кмоль}^{-1}.$$

**Пример 28.** В растворе  $\text{CH}_3\text{COOH}$ , концентрация ( $C$ ) которого равна 0,0102 кмоль/м<sup>3</sup>, молярная электрическая проводимость ( $\lambda$ ) при температуре 25 °С равна  $4,815 \text{ См} \cdot \text{м}^2 / \text{кмоль}^{-1}$ . Определите степень диссоциации  $\text{CH}_3\text{COOH}$  и рН раствора при этой концентрации.

*Решение.*  $\text{CH}_3\text{COOH}$  диссоциирует по уравнению



Найдем степень диссоциации по уравнению

$$\alpha = \lambda / \lambda_0.$$

По закону независимого движения ионов (Кольрауша)

$$\lambda_0 = \lambda_{0\text{H}^+} + \lambda_{0\text{CH}_3\text{COO}^-}.$$

Подставим численные значения  $\lambda_{0\text{H}^+}$  и  $\lambda_{0\text{CH}_3\text{COO}^-}$  и получим:

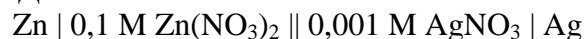
$$\lambda_{0\text{CH}_3\text{COOH}} = 35,00 + 3,40 = 38,40 \text{ См} \cdot \text{м}^2 \cdot \text{кмоль}^{-1}.$$

$$\alpha = 4,815 / 38,40 = 0,125$$

$$\text{рН} = -\lg C_{\text{H}^+}; \quad C_{\text{H}^+} = \alpha \cdot C = 0,125 \cdot 0,0102 = 1,28 \cdot 10^{-3}$$

$$\text{рН} = -\lg(1,28 \cdot 10^{-3}) = 2,89.$$

**Пример 29.** Вычислите ЭДС гальванического элемента:



и составьте электронные уравнения процессов, протекающих на электродах.

*Решение.* Чтобы определить ЭДС элемента, необходимо вычислить значения потенциалов электродов. Стандартный потенциал системы  $\text{Zn}/\text{Zn}^{2+}$  равен  $-0,76 \text{ В}$ , а системы  $\text{Ag}/\text{Ag}^+ = +0,8 \text{ В}$ . Учитывая, что концентрация раствора  $\text{Zn(NO}_3)_2$  равна  $0,1 \text{ M}$ , а  $\text{AgNO}_3 - 0,001 \text{ M}$ , вычислим значения потенциалов электродов, используя уравнение Нернста:

$$\varphi_{\text{Zn}} = -0,76 + \frac{0,059}{2} \lg 0,1 = -0,79 \text{ В};$$

$$\varphi_{\text{Ag}} = 0,80 + \frac{0,059}{1} \lg 0,001 = 0,62 \text{ В}.$$

Так как  $\varphi_{\text{Ag}} > \varphi_{\text{Zn}}$ , то серебряный электрод будет служить катодом, а цинковый – анодом. ЭДС элемента определяется как разность потенциалов катода и анода:  $E = \varphi_{\text{Ag}} - \varphi_{\text{Zn}} = 0,62 - (-0,79) = 1,41 \text{ В}$ .

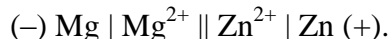


На цинковом электроде будет протекать процесс окисления:  $\text{Zn} \rightarrow \text{Zn}^{2+} + 2\text{e}^-$ ;  
а на серебряном – процесс восстановления:  $\text{Ag}^+ + \text{e}^- \rightarrow \text{Ag}$ .

Суммарное уравнение реакции:  $\text{Zn} + 2\text{Ag}^+ = \text{Zn}^{2+} + 2\text{Ag}$ .

**Пример 30.** Составьте схему, напишите электронные уравнения электродных процессов и вычислите ЭДС магниево-цинкового гальванического элемента, в котором  $[\text{Mg}^{2+}] = [\text{Zn}^{2+}] = 1$  моль/дм<sup>3</sup>. Определите, какой металл является анодом, какой катодом.

*Решение.* Схема данного гальванического элемента:



Магний имеет меньший потенциал ( $-2,37$  В) и является анодом, на котором протекает окислительный процесс  $\text{Mg}^0 - 2\text{e}^- \rightarrow \text{Mg}^{2+}$ . Цинк, потенциал которого равен  $-0,76$  В – катод, т. е. электрод, на котором протекает восстановительный процесс:  $\text{Zn}^{2+} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Zn}^0$ . Уравнение окислительно-восстановительной реакции, которая лежит в основе работы данного гальванического элемента, можно получить, сложив электронные уравнения анодного и катодного процессов:  $\text{Zn}^{2+} + \text{Mg} = \text{Zn} + \text{Mg}^{2+}$ . Для определения ЭДС гальванического элемента из потенциала катода следует вычесть потенциал анода. Так как концентрация ионов в растворе равна 1 моль/дм<sup>3</sup>, то ЭДС элемента равна разности стандартных электродных потенциалов двух его электродов, поэтому

$$E = \varphi_{\text{Zn}}^{\circ} - \varphi_{\text{Mg}}^{\circ} = -0,76 - (-2,37) = 1,61 \text{ В}.$$

**Пример 31.** Определите ЭДС гальванического элемента  $\text{Ag} | \text{AgNO}_3 (0,001 \text{ M}) || \text{AgNO}_3 (0,1 \text{ M}) | \text{Ag}$ . В каком направлении будут перемещаться электроны во внешней цепи при работе этого элемента?

*Решение.* Стандартный электродный потенциал системы  $\text{Ag}^+/\text{Ag}$  равен 0,80 В. Обозначив потенциал левого электрода через  $\varphi_1$ , а правого – через  $\varphi_2$ , находим:

$$\varphi_1 = 0,80 + 0,059 \lg 0,001 = 0,62 \text{ В};$$

$$\varphi_2 = 0,80 + 0,059 \lg 0,1 = 0,74 \text{ В}.$$

Вычисляем ЭДС элемента:  $E = \varphi_1 - \varphi_2 = 0,74 - 0,62 = 0,12 \text{ В}$ .

Поскольку  $\varphi_1 < \varphi_2$ , то левый электрод будет служить отрицательным полюсом элемента и электроны будут перемещаться во внешней цепи от левого электрода к правому.

**Пример 32.** Стандартный электродный потенциал никеля больше, чем кобальта. Изменится ли это соотношение, если измерить потенциал никеля в растворе его ионов с концентрацией 0,001 моль/дм<sup>3</sup>, а потенциалы кобальта – в растворе с концентрацией 0,1 моль/дм<sup>3</sup>?

*Решение.* Стандартные электродные потенциалы для никеля и кобальта соответственно равны  $-0,25$  и  $-0,27$  В. Определим электродные потенциалы этих металлов при данных концентрациях по уравнению Нернста:

$$\varphi_{\text{Ni}^{2+}/\text{Ni}} = -0,25 + (0,059/2) \lg 0,001 = -0,339 \text{ В};$$

$$\varphi_{\text{Co}^{2+}/\text{Co}} = -0,27 + (0,059/2) \lg 0,1 = -0,307 \text{ В}.$$

Таким образом, при изменившейся концентрации потенциал кобальта стал больше потенциала никеля.

**Пример 33.** При пропускании тока силой 5 А через водный раствор  $\text{CuSO}_4$  на аноде образовалось 1,12 дм<sup>3</sup> кислорода (н.у.). В течение какого времени проводили электролиз?

*Решение.* Для решения задачи уравнение Фарадея представим в следующем виде:  $V = V_3 \cdot I \cdot \tau / F$ , где  $V$  – объем выделившегося газа, дм<sup>3</sup>;  $V_3$  – молярный объем эквивалента газа.

Решаем это уравнение относительно времени ( $\tau$ ):



$$\tau = \frac{V \cdot F}{V_3 \cdot I} = \frac{1,12 \cdot 96500}{5,6 \cdot 5} = 3860 \text{ с} = 1,07 \text{ ч.}$$

**Пример 34.** Вычислите массу хрома, выделившегося на катоде при пропускании тока силой 10 А в течение 0,5 ч через раствор  $\text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3$ .

*Решение.* Массу хрома определим по уравнению закона Фарадея:

$$m = M_{\text{эКВ}} \cdot I \cdot \tau / F.$$

Молярная масса эквивалента хрома равна:

$$M_{\text{эКВ Cr}} = A_{\text{Cr}}/3 = 52 / 3 = 17,33 \text{ г/моль.}$$

Выразим время в секундах: 0,5 ч = 1800 с, тогда  $m = 17,33 \cdot 10 \cdot 1800 / 96500 = 3,23 \text{ г.}$

**Пример 35.** Магниевую пластинку опустили в раствор его соли. При этом электродный потенциал магния оказался равным  $-2,41 \text{ В}$ . Вычислите концентрацию ионов магния (моль/дм<sup>3</sup>).

*Решение.* На основании уравнения Нернста найдем концентрацию:

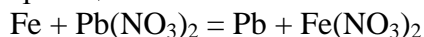
$$\begin{aligned} -2,41 &= -2,37 + (0,059/2) \cdot \lg C, \\ -0,04 &= 0,0295 \cdot \lg C. \end{aligned}$$

Отсюда концентрация магния будет равна

$$\begin{aligned} \lg C &= -0,04/0,0295 = -1,3559 = 2,6441, \\ C(\text{Mg}^{2+}) &= 4,4 \cdot 10^{-2} \text{ моль/дм}^3. \end{aligned}$$

**Пример 36.** После погружения железной пластинки массой 8 г в раствор нитрата свинца(II) объемом 50 см<sup>3</sup> ( $\rho = 1,23 \text{ г/см}^3$ ) с массовой долей 15 % масса соли уменьшилась втрое. Какой стала масса пластинки?

*Решение.* Запишем уравнения реакций:



и вычислим  $M(\text{Pb}(\text{NO}_3)_2) = 331 \text{ г/моль}$ ;  $M(\text{Pb}) = 207 \text{ г/моль}$ ;  $M(\text{Fe}) = 56 \text{ г/моль}$ .

Количество нитрата свинца(II) составит  $0,15 \cdot 50 \cdot 1,23/331 = 0,0278 \text{ моль}$ . По условию задачи масса железной пластинки уменьшилась втрое, т. е. концентрация  $\text{Pb}^{2+}$  составит  $0,0278/3 = 0,0092 \text{ моль-ионов}$ , а перешло на пластинку  $0,0278 - 0,0092 = 0,0186 \text{ моль-ионов}$  или  $0,0186 \cdot 207 = 3,85 \text{ г}$ .

В раствор перешло ионов железа  $0,0186 \cdot 56 = 1,04 \text{ г}$ . Следовательно, масса пластинки будет равна  $8,00 - 1,04 + 3,85 = 10,81 \text{ г}$ .

**Пример 37.** Дисперсность частиц коллоидного золота равна  $10^8 \text{ м}^{-1}$ . Принимая частицы золота в виде кубиков, определите, какую поверхность  $S_{\text{общ}}$  они могут покрыть, если их плотно уложить в один слой. Масса коллоидных частиц золота – 1 г. Плотность золота равна  $19,6 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$ .

*Решение.* Поскольку  $S_{\text{уд}} = S/V$ , то общая поверхность частиц коллоидного золота равна:  $S = S_{\text{уд}} \cdot V$ .

Удельная поверхность кубических частиц:  $S_{\text{уд}} = 6D$ .

Объем золы золота соотносится с массой золы:  $V = m/\rho$ .

Тогда

$$S = \frac{6 \cdot D \cdot m}{\rho} = \frac{6 \cdot 10^8 \text{ м}^{-1} \cdot 10^{-3} \text{ кг}}{19,6 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3} = 30,61 \text{ м}^2.$$

**Пример 38.** Коллоидные частицы золота имеют дисперсность  $D = 10^8 \text{ м}^{-1}$ . Какой длины (L) будет нить, если 1 г кубиков золота расположить друг за другом. Плотность золота составляет  $19,6 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$ .



*Решение.* Длина нити золота равна произведению количества кубиков золота ( $n$ ) на длину ребра одного кубика:  $L = n \cdot l$ . Длина ребра кубика обратно пропорциональна дисперсности:  $l = 1/D$ .

Число частиц золя равно общему объему золя  $V_{\text{общ}}$ , деленному на объем одного кубика золота  $V_{\text{куб}}$ :  $n = V_{\text{общ}}/V_{\text{куб}}$ .

Общий объем золя равен:  $V_{\text{общ}} = m/\rho$ .

Объем одного кубика золота равен:  $V_{\text{куб}} = l^3$ .

Тогда длина нити золота будет равна:

$$L = \frac{m}{\rho} \cdot D^2 = \frac{1 \cdot 10^{-3} \text{ кг}}{19,6 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3} \cdot (10^8)^2 \text{ м}^{-2} = 5,1 \cdot 10^8 \text{ м}.$$

**Пример 39.** Определите энергию Гиббса  $G_S$  поверхности капле водяного тумана массой  $m = 4$  г при 293 К, если плотность воды  $\rho = 0,998$  г/см<sup>3</sup>, поверхностное натяжение воды  $72,75 \cdot 10^{-3}$  Дж/м<sup>2</sup>, дисперсность частиц  $D = 50$  мкм<sup>-1</sup>.

*Решение.* Энергия Гиббса поверхности определяется по уравнению

$$G_S = \sigma \cdot S.$$

Полная поверхность капле тумана равна произведению удельной поверхности на общий объем капле:  $S = S_{\text{уд}} \cdot V$ .

Для сферических частиц рассчитывается по формуле  $S_{\text{уд}} = 6 \cdot D$ . С учетом объема  $V = m/\rho$  энергия Гиббса поверхности равна:

$$\begin{aligned} G_s &= \sigma \cdot 6D \cdot m/\rho = \\ &= 72,75 \cdot 10^{-3} \text{ Дж/м}^2 \cdot 6 \cdot 50 \cdot 10^6 \text{ м}^{-1} \cdot 4 \cdot 10^{-2} \text{ кг} / (0,998 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3) = \\ &= 87,47 \text{ Дж}. \end{aligned}$$

**Пример 40. Типовое задание.** Написать формулу мицеллы гидрозоля хлорида серебра(I), полученного при взаимодействии сильноразбавленного раствора хлорида калия с избытком нитрата серебра(I). Определить направление движения гранулы при электрофорезе.

**Методика выполнения.**

1. Записать уравнение реакции, приводящее к получению золя, например:  $\text{AgNO}_3 + \text{KCl} \rightarrow \text{AgCl} \downarrow + \text{KNO}_3$ .

2. Установить состав ядра коллоидной частицы. Это вещество, образующее осадок –  $\text{AgCl}$ ; хлористое серебро имеет ионную кристаллическую решетку, состоит из ионов  $\text{Ag}^+$  и  $\text{Cl}^-$ . Состав ядра –  $m\text{AgCl}$  ( $m$  – несколько, некоторое число).

3. В избытке –  $\text{AgNO}_3$ . Сравнить ионы вещества, находящиеся в растворе в избытке, с ионами, входящими в состав ядра:

ядро –  $\text{Ag}^+\text{Cl}^-$ ;

вещество в избытке –  $\text{Ag}^+\text{NO}_3^-$ .

Одноименные или близкие по химической природе ионы могут быть ионами-стабилизаторами (потенциалопределяющими ионами), ионы стабилизаторы в данном случае  $\text{Ag}^+$ .

4. Записать выделенные две части мицеллы – ядро и слой потенциалопределяющих ионов. В нашем случае это  $m\text{AgCl}n\text{Ag}^+$ .

5. Обратит внимание на заряд образующейся системы, в данном случае – положительный.

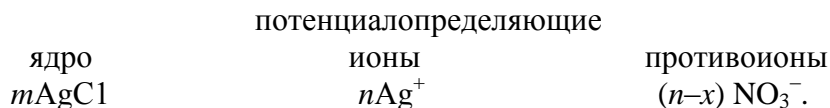
6. Выбрать противоионы. Это тоже ионы вещества, находящиеся в избытке. В данном случае  $\text{AgNO}_3$  дает:





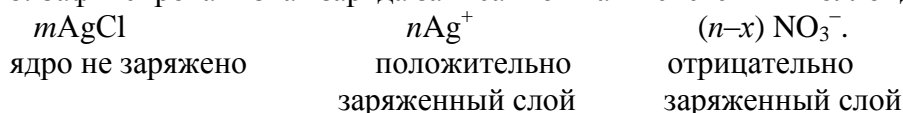
потенциалопределяющие противоионы  
ионы

7. Продолжить схему строения мицеллы, записав слой противоионов:



Противоионы взаимодействуют со слоем потенциалопределяющих ионов кулоновскими силами. Поэтому число этих ионов  $(n-x)$  несколько меньше количества потенциалопределяющих ионов  $(n)$ .

8. Зафиксировать знак заряда записанной вами системы – коллоидной частицы:



Поскольку  $n > (n-x)$ , то вся система заряжена положительно.

9. Завершить запись мицеллы, указав диффузный слой, который состоит из остальных противоионов.



10. Гранула заряжена положительно, поэтому при электрофорезе будет двигаться к катоду.

**Пример 41.** В растворе имеется смесь белков – казеин, глиадин и глобулин – с ИЭТ, равными соответственно 4,6; 9,8; 5,4. К каким электродам будут двигаться молекулы аминокислот при электрофорезе в нейтральной среде? (рН = 7).

**Методика выполнения.**

При величинах рН больше, чем величина ИЭТ (изоэлектрической точки), молекула белка заряжена отрицательно, а при величинах рН меньше, чем ИЭТ – положительно. Значит в нейтральной среде (рН = 7) будем иметь:

казеин	ИЭТ=4,6<7	заряд –
глобулин	ИЭТ=5,4<7	заряд –
глиадин	ИЭТ=9,8>7	заряд +

Таким образом, при электрофорезе казеин и глобулин будут двигаться к аноду, а глиадин – к катоду.

**Пример 42.** Получен золь гемоглобина в буферном растворе с рН = 3,5. Какой заряд будут иметь частицы гемоглобина, если его изоэлектрическая точка находится при рН = 6,7?

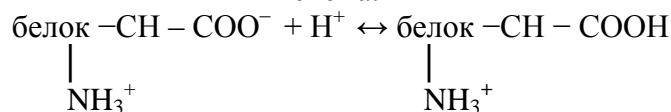
**Методика выполнения.**



При величинах рН больше, чем величина ИЭТ (изоэлектрической точки), молекула белка заряжена отрицательно, а при величинах рН меньше, чем ИЭТ – положительно. Значит, при рН = 6,7 будем иметь избыток  $H^+$

$$\text{ИЭТ} = 6,7 > 3,5 \quad \text{заряд} +$$

схема:



Таким образом, при электрофорезе белок будет двигаться к катоду.

**Пример 43.** Вычислите молекулярную массу бензола, зная, что масса  $600 \text{ см}^3$  его паров при  $87^\circ\text{C}$  и давлении  $83,2 \text{ кПа}$  равна  $1,30 \text{ г}$ .

*Решение.* Выразив данные задачи в единицах СИ ( $P = 8,32 \cdot 10^4 \text{ Па}$ ;  $V = 6 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3$ ;  $m = 1,30 \cdot 10^{-3} \text{ кг}$ ;  $T = 360 \text{ К}$ ) и подставив их в уравнение Менделеева–Клайперона найдем:

$$M = 1,30 \cdot 10^{-3} \cdot 8,31 \cdot 360 / 8,32 \cdot 10^4 \cdot 6 \cdot 10^{-4} = 78,0 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль} = 78,0 \text{ г/моль}.$$

Молекулярная масса бензола равна  $78,0 \text{ г/моль}$ .

**Пример 44.** При  $25^\circ\text{C}$  и давлении  $99,3 \text{ кПа}$  ( $745 \text{ мм рт. ст.}$ ) некоторый газ занимает объем  $152 \text{ см}$ . Найдите, какой объем займет этот же газ при  $0^\circ\text{C}$  и давлении  $101,33 \text{ кПа}$ .

*Решение.* Подставив данные задачи в уравнение, объединяющее законы Бойля–Мариотта и Гей-Люссака, получим:

$$V_0 = PVT_0 / TP_0 = 99,3 \cdot 152 \cdot 273 / 101,33 \cdot 298 = 136,5 \text{ см}^3.$$

**Пример 45.** Выразите в граммах массу одной молекулы  $\text{CO}_2$ .

*Решение.* Молекулярная масса  $\text{CO}_2$  равна  $44,0 \text{ г/моль}$ . Следовательно, молярная масса  $\text{CO}_2$  равна  $44,0 \text{ г/моль}$ . В  $1 \text{ моль}$   $\text{CO}_2$  содержится  $6,02 \cdot 10^{23}$  молекул. Отсюда находим массу одной молекулы:

$$m = 44,0 / (6,02 \cdot 10^{23}) = 7,31 \cdot 10^{-23} \text{ г}.$$

**Пример 46.** Определите объем, который займет азот массой  $5,25 \text{ г}$  при  $26^\circ\text{C}$  и давлении  $98,9 \text{ кПа}$  ( $742 \text{ мм рт. ст.}$ ).

*Решение.* Определяем количество  $\text{N}_2$ , содержащееся в  $5,25 \text{ г}$ :

$$n = 5,25 / 28 = 0,1875 \text{ моль}, \quad V_0 = 0,1875 \cdot 22,4 = 4,20 \text{ дм}^3.$$

Затем приводим полученный объем к указанным в задаче условиям:

$$V = P_0 V_0 T / PT_0 = 101,3 \cdot 4,20 \cdot 299 / 98,9 \cdot 273 = 4,71 \text{ дм}^3.$$

**Пример 47.** Определить молярную массу газа, если при нормальных условиях газ массой  $0,824 \text{ г}$  занимает объем  $0,260 \text{ дм}^3$ .

*Решение.* При нормальных условиях  $1 \text{ моль}$  любого газа занимает объем  $22,4 \text{ дм}^3$ ,  $n = 0,26 / 22,4 = 0,0116 \text{ моль}$ , а молярная масса равна  $0,824 / 0,0116 = 71 \text{ г/моль}$ .

Следовательно, молярная масса газа равна  $71,0 \text{ г/моль}$ .