Олимпиада «Ломоносов» по химии 2025/26 учебный год
Отборочный тур
11 классы

Задача 1 (4 балла)

1.1. Два иона, образованные разными элементами, содержат по 10 электронов. В одном из ионов – 8 протонов, в другом ионе число протонов отличается на 3. Приведите формулу вещества, образованного этими ионами.

1.2. Два иона, образованные разными элементами, содержат по 18 электронов. В одном из ионов – 17 протонов, в другом ионе число протонов отличается на 3. Приведите формулу вещества, образованного этими ионами.

1.3. Два иона, образованные разными элементами, содержат по 10 электронов. В одном из ионов – 12 протонов, в другом ионе число протонов отличается на 3. Приведите формулу вещества, образованного этими ионами.

1.4. Два иона, образованные разными элементами, содержат по 18 электронов. В одном из ионов – 19 протонов, в другом ионе число протонов отличается на 3. Приведите формулу вещества, образованного этими ионами.

Задача 2 (10 баллов)

2.1. Некоторые виды рыб, обитающих в полярных широтах, имеют в крови белки-антифризы, которые позволяют выживать в суровых условиях. Считается, что белки связываются с формирующимися кристаллами льда и останавливают их рост. Известны четыре типа белков-антифризов, отличающихся строением и массой молекул.

Белок	Type I AFP	Type II AFP	Type III AFP	Type IV AFP
Молекулярная масса, кДа*	3.3-4.5	11-24	6.5	12

*1 кДа = 1000 Дальтон

1) Оцените температуру океанической воды, в которой обитают рыбы. Понижение температуры замерзания воды можно рассчитать по формуле $\Delta T = K \cdot m$, где K – криоскопическая постоянная воды, равная 1.86 К·кг/моль, m – моляльная концентрация частиц в растворе (число моль в килограмме растворителя). Примите, что соленость воды определяется только хлоридом натрия, а средняя соленость воды в полярных широтах – 33 г соли в 1 кг воды.

2) Молярную массу белка-антифриза определяли с помощью измерения осмотического давления его раствора. Осмотическое давление π может быть рассчитано по формуле $\pi = cRT$, где c – молярная концентрация раствора. Было установлено, что водный раствор, 1 л которого содержит 10 г белка, имеет осмотическое давление $14.22 \cdot 10^{-3}$ атм при 25 °С. Какой из белков-антифризов был исследован?

3) Предположите, за счет каких взаимодействий может происходить связывание белка с растущим кристаллом льда.

2.2. Некоторые виды рыб, обитающих в полярных широтах, имеют в крови белки-антифризы, которые позволяют выживать в суровых условиях. Считается, что белки связываются с формирующимися кристаллами льда и останавливают их рост. Известны четыре типа белков-антифризов, отличающихся строением и массой молекул.

Белок	Type I AFP	Type II AFP	Type III AFP	Type IV AFP
Молекулярная масса, кДа*	3.3-4.5	11-24	6.5	12

*1 кДа = 1000 Дальтон

1) Оцените температуру океанической воды, в которой обитают рыбы. Понижение температуры замерзания воды можно рассчитать по формуле $\Delta T = K \cdot m$, где K – криоскопическая постоянная воды, равная 1.86 К·кг/моль, m – моляльная концентрация частиц в растворе (число моль в килограмме растворителя). Примите, что соленость воды определяется только хлоридом натрия, а средняя соленость воды в полярных широтах – 33 г соли в 1 кг воды.

2) Молярную массу белка-антифриза определяли с помощью измерения осмотического давления его раствора. Осмотическое давление π может быть рассчитано по формуле $\pi = cRT$, где c – молярная концентрация раствора. Было установлено, что водный раствор, 1 л которого содержит 20 г белка, имеет осмотическое давление $75.11 \cdot 10^{-3}$ атм при 25 °С. Какой белок-антифриз был исследован?

3) Предположите, за счет каких взаимодействий может происходить связывание белка с растущим кристаллом льда.

2.3. Некоторые виды рыб, обитающих в полярных широтах, имеют в крови белки-антифризы, которые позволяют выживать в суровых условиях. Считается, что белки связываются с формирующимися кристаллами льда и останавливают их рост. Известны четыре типа белков-антифризов, отличающихся строением и массой молекул.

Белок	Type I AFP	Type II AFP	Type III AFP	Type IV AFP
Молекулярная масса, кДа*	3.3-4.5	11-24	6.5	12

*1 кДа = 1000 Дальтон

1) Оцените температуру океанической воды, в которой обитают рыбы. Понижение температуры замерзания воды можно рассчитать по формуле $\Delta T = K \cdot m$, где K – криоскопическая постоянная воды, равная 1.86 К·кг/моль, m – моляльная концентрация частиц в растворе (число моль в килограмме растворителя). Примите, что соленость воды определяется только хлоридом натрия, а средняя соленость воды в полярных широтах – 32 г соли в 1 кг воды.

2) Молярную массу белка-антифриза определяли с помощью измерения осмотического давления его раствора. Осмотическое давление π может быть рассчитано по формуле $\pi = cRT$, где c – молярная концентрация раствора. Было установлено, что водный раствор, 1 л которого содержит 15 г белка, имеет осмотическое давление $30.33 \cdot 10^{-3}$ атм при 25 °С. Какой из белков-антифризов был исследован?

3) Предположите, за счет каких взаимодействий может происходить связывание белка с растущим кристаллом льда.

2.4. Некоторые виды рыб, обитающих в полярных широтах, имеют в крови белки-антифризы, которые позволяют выживать в суровых условиях. Считается, что белки связываются с формирующимися кристаллами льда и останавливают их рост. Известны четыре типа белков-антифризов, отличающихся строением и массой молекул.

Белок	Type I AFP	Type II AFP	Type III AFP	Type IV AFP
Молекулярная масса, кДа*	3.3-4.5	11-24	6.5	12

*1 кДа = 1000 Дальтон

1) Оцените температуру океанической воды, в которой обитают рыбы. Понижение температуры замерзания воды можно рассчитать по формуле $\Delta T = K \cdot m$, где K – криоскопическая постоянная воды, равная 1.86 К·кг/моль, m – моляльная концентрация частиц в растворе (число моль в килограмме растворителя). Примите, что соленость воды определяется только хлоридом натрия, а средняя соленость воды в полярных широтах – 32 г соли в 1 кг воды.

2) Молярную массу белка-антифриза определяли с помощью измерения осмотического давления его раствора. Осмотическое давление π может быть рассчитано по формуле $\pi = cRT$, где c – молярная концентрация раствора. Было установлено, что водный раствор, 1 л которого содержит 10 г белка, имеет осмотическое давление $67.50 \cdot 10^{-3}$ атм при 25 °C. Какой из белков-антифризов был исследован?

3) Предположите, за счет каких взаимодействий может происходить связывание белка с растущим кристаллом льда.

Задача 3 (10 баллов)

3.1. Рассчитайте pH 0.0010 М соляной кислоты при 25°C. Какова будет величина pH этого раствора при его разбавлении а) в 100 раз; б) в 10^4 раз?

3.2. Рассчитайте pH $1.0 \cdot 10^{-4}$ М бромоводородной кислоты при 25°C. Какова будет величина pH этого раствора при его разбавлении а) в 10 раз; б) в 10^3 раз?

3.3. Рассчитайте pH 0.010 М иодоводородной кислоты при 25°C. Какова будет величина pH этого раствора при его разбавлении а) в 1000 раз; б) в 10^5 раз?

3.4. Рассчитайте pH 0.00010 М соляной кислоты при 25°C. Какова будет величина pH этого раствора при его разбавлении а) в 10 раз; б) в 10^3 раз?

Задача 4 (16 баллов)

4.1. Напишите уравнения реакций, соответствующих следующей схеме, укажите условия их проведения. Все вещества **X** содержат кремний.

$$Mg_2Si \xrightarrow{HCl(р\text{-}р)} \mathbf{X_1} \rightarrow SiO_2 \xrightarrow{CaF_2,\ H_2SO_{4\ конц},\ t^o} \mathbf{X_2} \xrightarrow{HF(р\text{-}р)} \mathbf{X_3} \xrightarrow{NaOH(р\text{-}р)} \mathbf{X_4} \xrightarrow{Al,\ 700^oC} \mathbf{X_5} \rightarrow Na_2SiO_3 \rightarrow SiO_2 \cdot xH_2O$$

4.2. Напишите уравнения реакций, соответствующих следующей схеме, укажите условия их проведения. Все вещества **X** содержат свинец.

$$Pb(NO_3)_2 \rightarrow Pb_2(OH)_2CO_3 \xrightarrow{H_2S} \mathbf{X_1} \xrightarrow{H_2O_2} \mathbf{X_2} \xrightarrow{NaOH(конц,\ изб)} \mathbf{X_3} \xrightarrow{HNO_3(р\text{-}р,изб)} \mathbf{X_4} \rightarrow Pb \rightarrow Pb(CH_3COO)_2 \xrightarrow{NaOCl,\ NaOH} \mathbf{X_5}$$

4.3. Напишите уравнения реакций, соответствующих следующей схеме, укажите условия их проведения. Все вещества **X** содержат олово.

$$SnCl_2 \xrightarrow{NH_3 \cdot H_2O} \mathbf{X_1} \rightarrow Na[Sn(OH)_3] \xrightarrow{Bi(OH)_3,\ NaOH(р\text{-}р)} \mathbf{X_2} \rightarrow \alpha\text{-}SnO_2 \cdot xH_2O \rightarrow SnO_2 \xrightarrow{C,\ 1000^oC} \mathbf{X_3} \xrightarrow{Cl_2} \mathbf{X_4} \xrightarrow{LiAlH_4} \mathbf{X_5}$$

4.4. Напишите уравнения реакций, соответствующих следующей схеме, укажите условия их проведения. Все вещества **X** содержат бор.

$$MgB_2 \xrightarrow{H_2O} B_2H_6 \rightarrow \mathbf{X_1} \xrightarrow{C,\ Cl_2,\ t^o} B_2O_3 \xrightarrow{Zn} \mathbf{X_2} \xrightarrow{HF,\ HNO_3} \mathbf{X_3} \rightarrow \mathbf{X_4} \rightarrow KBF_4 \xrightarrow{B_2O_3,\ H_2SO_4(конц)} \mathbf{X_5}$$

Задача 5 (15 баллов)

5.1. В реактор поместили 3 моль газа **A** и 1 моль газа **B**. После установления равновесия в реакции **A** + **B** = 2**C** образовалось некоторое количество газа **C**. После добавления к смеси ещё 2 моль газа **B** при постоянной температуре равновесное количество газа **C** увеличилось в 2 раза. Рассчитайте количество образовавшегося газа **C** (до добавления газа **B**) и константу равновесия реакции K_P (выраженную через парциальные давления).

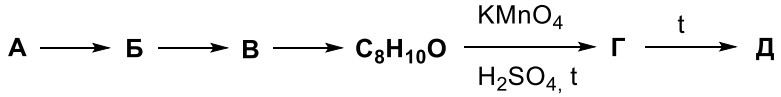
5.2. В реактор поместили 2 моль газа **A** и 5 моль газа **B**. После установления равновесия в реакции **A** + **B** = 2**C** образовалось некоторое количество газа **C**. После добавления к смеси ещё 3 моль газа **A** при постоянной температуре равновесное количество газа **C** увеличилось в 2 раза. Рассчитайте количество образовавшегося газа **C** (до добавления газа **A**) и константу равновесия реакции K_P (выраженную через парциальные давления).

5.3. В реактор поместили 5 моль газа **A** и 1 моль газа **B**. После установления равновесия в реакции **A** + **B** = 2**C** образовалось некоторое количество газа **C**. После добавления к смеси ещё 2 моль газа **B** при постоянной температуре равновесное количество газа **C** увеличилось в 2 раза. Рассчитайте количество образовавшегося газа **C** (до добавления газа **B**) и константу равновесия реакции K_P (выраженную через парциальные давления).

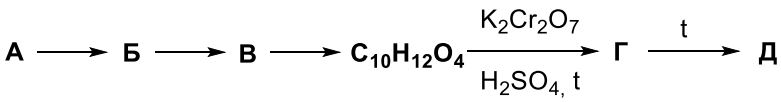
5.4. В реактор поместили 1 моль газа **A** и 4 моль газа **B**. После установления равновесия в реакции **A** + **B** = 2**C** образовалось некоторое количество газа **C**. После добавления к смеси ещё 2 моль газа **A** при постоянной температуре равновесное количество газа **C** увеличилось в 2 раза. Рассчитайте количество образовавшегося газа **C** (до добавления газа **A**) и константу равновесия реакции K_P (выраженную через парциальные давления).

Задача 6 (14 баллов)

6.1. Неизвестный углеводород **A**, содержащий 11.76% водорода по массе, ввели в следующую последовательность превращений и получили углеводород **B**, содержащий 9.1% водорода по массе. Углеводород **B** может прореагировать с акролеином, образуя продукт состава $C_8H_{10}O$, который реагирует с избытком подкисленного раствора перманганата калия при нагревании. Рассчитайте потерю массы веществом **Г** при нагревании до 200 °C. Предложите строение соединений **А** – **Д** и напишите уравнения всех протекающих реакций.

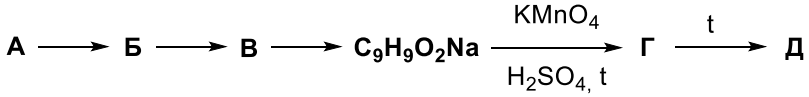


6.2. Неизвестный углеводород **A**, содержащий 87.8% углерода по массе, ввели в следующую последовательность превращений и получили углеводород **B**, содержащий 90.0% углерода по массе. Углеводород **B** может прореагировать с малеиновой кислотой, образуя продукт состава $C_{10}H_{12}O_4$, который реагирует с избытком подкисленного раствора дихромата калия при нагревании. Рассчитайте потерю массы веществом **Г** при нагревании до 200 °C. Предложите строение соединений **А** – **Д** и напишите уравнения всех протекающих реакций.

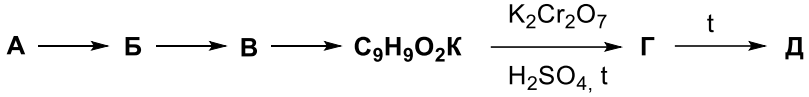


6.3. Неизвестный углеводород **A**, содержащий 15.79% водорода по массе, ввели в следующую последовательность превращений и получили кетон **B**, который обработали избытком брома в щёлочи и получили натриевую соль 2,5-диметилбензойной кислоты.

Нагревание соли с избытком подкисленного раствора перманганата калия приводит к соединению **Г**. Рассчитайте потерю массы веществом **Г** при нагревании до 200 °C. Предложите строение соединений **А** – **Д** и напишите уравнения всех протекающих реакций.



6.4. Неизвестный углеводород **А**, содержащий 84.21% углерода по массе, ввели в следующую последовательность превращений и получили кетон **В**, который обработали избытком брома в щёлочи и получили калиевую соль 3,4-диметилбензойной кислоты. Нагревание соли с избытком подкисленного раствора дихромата калия приводит к соединению **Г**. Рассчитайте потерю массы веществом **Г** при нагревании до 200 °C. Предложите строение соединений **А** – **Д** и напишите уравнения всех протекающих реакций.



Задача 7 (15 баллов)

7.1. Трипептид **А** и тетрапептид **В**, образованные природными аминокислотами, имеют одинаковую молярную массу. Для гидролиза 4.03 г пептида **А** потребовалось 6.56 мл 20%-го раствора гидроксида натрия (плотность 1.22 г/мл), а гидролиз образца пептида **В** такой же массы потребовал 8.2 мл 20%-го раствора гидроксида натрия (плотность 1.22 г/мл). При обработке продуктов гидролиза **А** и **В** избытком азотистой кислоты выделился одинаковый объём газа (1.12 л при н. у.). Установите аминокислотный состав **А** и **В**, напишите уравнения протекающих реакций.

7.2. Трипептид **А** и тетрапептид **В**, образованные природными аминокислотами, имеют одинаковую молярную массу. Для гидролиза 4.56 г пептида **А** потребовалось 6.56 мл 20%-го раствора гидроксида натрия (плотность 1.22 г/мл), а гидролиз образца пептида **В** такой же массы потребовал 8.2 мл 20%-го раствора гидроксида натрия (плотность 1.22 г/мл). При обработке продуктов гидролиза **А** и **В** избытком азотистой кислоты выделился одинаковый объём газа (0.896 л при н. у.). Установите аминокислотный состав **А** и **В**, напишите уравнения протекающих реакций.

7.3. Трипептид **А** и тетрапептид **В**, образованные природными аминокислотами, имеют одинаковую молярную массу. Для гидролиза 8.8 г пептида **А** потребовалось 9.84 мл 20%-го раствора гидроксида натрия (плотность 1.22 г/мл), а гидролиз образца пептида **В** такой же массы потребовал 13.12 мл 20%-го раствора гидроксида натрия (плотность 1.22 г/мл). При обработке продуктов гидролиза **А** и **В** избытком азотистой кислоты выделился одинаковый объём газа (1.792 л при н. у.). Установите аминокислотный состав **А** и **В**, напишите уравнения протекающих реакций.

7.4. Трипептид **А** и тетрапептид **В**, образованные природными аминокислотами, имеют одинаковую молярную массу. Для гидролиза 4.37 г пептида **А** потребовалось 6.56 мл 20%-го раствора гидроксида натрия (плотность 1.22 г/мл), гидролиз образца пептида **В** такой же массы также потребовал 6.56 мл 20%-го раствора гидроксида натрия (плотность 1.22 г/мл). При обработке продуктов гидролиза **А** и **В** избытком азотистой кислоты выделился одинаковый объём газа (1.12 л при н. у.). Установите аминокислотный состав **А** и **В**, напишите уравнения протекающих реакций.

Задача 8 (16 баллов)

8.1. Металл золотистого цвета **X** получен прокаливанием в вакууме белых кристаллов соли **A** с цирконием. Металл **X** взаимодействует с водой с образованием соединения **B**, а также легко окисляется кислородом воздуха, образуя оранжево-желтые кристаллы вещества **C**, содержащего 19.4 масс% кислорода. Вещество **C** при действии углекислого газа снова превращается в **A**.

Металл **Y** растворяется в 30%-ной азотной кислоте с образованием розового раствора соли **D**. Добавление к этому раствору разбавленного раствора вещества **B** приводит к образованию розового осадка **E**. При охлаждении раствора соли **D** образуется ее кристаллогидрат **D'**, содержащий 9.6 масс% азота. Прокаливание кристаллогидрата **D'** дает черное вещество **F** (массовая доля металла **Y** в **F** – 73.4%). При действии на **F** избытка концентрированной соляной кислоты выделяется газ и образуется синий раствор комплексного соединения **G**. Разбавление раствора **G** водой и последующее его охлаждение приводит к выпадению красных кристаллов гексагидрата соли **H**. Нагреванием гексагидрата соли **H** с хлористым тионилом $SOCl_2$ можно получить безводную соль **H**, имеющую голубую окраску.

Определите металлы **X** и **Y**. Установите состав соединений **A** – **H**, подтвердите состав расчетом (для указанных соединений). Напишите уравнения всех упомянутых реакций.

8.2. Металл серебристого цвета **X** получен прокаливанием в вакууме белых кристаллов соли **A** с цирконием. Металл **X** взаимодействует с водой с образованием соединения **B**, а также легко окисляется кислородом воздуха, образуя желтые кристаллы вещества **C**, содержащего 72.6 масс% металла **X**. Вещество **C** при действии углекислого газа снова превращается в **A**.

Металл **Y** растворяется в 30%-ной азотной кислоте с образованием бледно-желтого раствора соли **D**. При взаимодействии растворов солей **A** и **D** выпадает бурый осадок **E**. При охлаждении раствора соли **D** образуется ее кристаллогидрат **D'**, содержащий 10.4 масс% азота. При прокаливании **D'** получается красно-коричневое вещество **F** (массовая доля металла **Y** в **F** – 70.0%). Сплавление **F** с солью **A** приводит к образованию соединения **G**, взаимодействие которого с хлором в присутствии раствора соединения **B** приводит к образованию красно-малинового раствора вещества **H**. При добавлении азотной кислоты к раствору вещества **H** снова образуется соль **D**.

Определите металлы **X** и **Y**. Установите состав соединений **A** – **H**, подтвердите состав расчетом (для указанных соединений). Напишите уравнения всех упомянутых реакций.

8.3. Металл серебристо-белого цвета **X** получен действием паров натрия на белые кристаллы соли **A** (в инертной атмосфере). Металл **X** взаимодействует с водой с образованием соединения **B**, а также легко окисляется кислородом воздуха, образуя оранжево-желтые кристаллы вещества **C**. Вещество **C** при действии углекислого газа превращается в соль **D**, содержащую 8.7 масс% углерода. При растворении в соляной кислоте соли **D** снова образуется соль **A**.

Металл **Y** растворяется в 30%-ной азотной кислоте с образованием неокрашенного раствора соли **E**. При охлаждении раствора соли **E** выпадает ее кристаллогидрат **E'**, имеющий слабо-розовую окраску и содержащий 19.2 масс% металла **Y**. При нагревании кристаллогидрата **E'** до 200°C образуется черно-коричневое вещество **F** (массовая доля металла **Y** в **F** – 63.2%). Сплавление **F** с соединением **B** в присутствии кислорода приводит к образованию соединения **G**, имеющего темно-зеленую окраску. Взаимодействие **G** с раствором хлорида аммония приводит к образованию осадка и яркоокрашенного раствора соли **H**. При нагревании раствора соли **H** с концентрированным раствором **B** снова образуется соединение **G**.

Определите металлы **X** и **Y**. Установите состав соединений **A** – **H**, подтвердите состав расчетом (для указанных соединений). Напишите уравнения всех упомянутых реакций.

8.4. Металл серебристо-белого цвета **X** получен действием паров натрия на вещество **A** (в инертной атмосфере). Металл **X** легко окисляется кислородом воздуха, образуя оранжево-желтые кристаллы вещества **B**, содержащего 45.1 масс% кислорода. Вещество **B** при действии углекислого газа превращается в соль **C**, а при добавлении воды к **B** снова образуется соединение **A**. Добавление к **A** иодоводородной кислоты приводит к образованию соединения **D**.

Металл **Y** растворяется в разбавленной серной кислоте с образованием зеленого раствора соли **E**. После добавления сульфата аммония к раствору **E** и охлаждения его до 0 °C образуются светло-зеленые кристаллы гексагидрата **F**, содержащие 14.9 масс% металла **Y**. Добавление к раствору соли **E** вещества **A** приводит к выпадению зеленого осадка **G**, а добавление к раствору соли **E** аммиака – к образованию сине-фиолетового раствора комплексного соединения **H** (массовая доля азота в комплексном ионе соединения **H** – 52.2%). При взаимодействии раствора **H** с веществом **D** образуется светло-фиолетовый осадок **I**.

Определите металлы **X** и **Y**. Установите состав соединений **A** – **I**, подтвердите состав расчетом (для указанных соединений). Напишите уравнения всех упомянутых реакций.

Решения заданий отборочного тура олимпиады «Ломоносов»

11 классы

Задача 1 (4 балла)

1.1. Восемь протонов содержит атом кислорода, на три протона меньше или больше в атомах бора и натрия соответственно. Десять электронов включают ионы O^{2-}, F^-, Na^+, Mg^{2+}, Al^{3+}. Подходят ионы O^{2-} и Na^+. Вещество, образованное этими ионами – Na_2O.

Ответ: Na_2O.

1.2. Семнадцать протонов содержит атом хлора, на три протона меньше или больше в атомах кремния и кальция соответственно. Восемнадцать электронов включают ионы S^{2-}, Cl^-, K^+, Ca^{2+}. Подходят ионы Ca^{2+} и Cl^-. Вещество, образованное этими ионами – $CaCl_2$.

Ответ: $CaCl_2$.

1.3. Двенадцать протонов содержит атом магния, на три протона меньше или больше в атомах фтора и фосфора соответственно. Десять электронов включают ионы O^{2-}, F^-, Na^+, Mg^{2+}, Al^{3+}. Подходят ионы Mg^{2+} и F^-. Вещество, образованное этими ионами – MgF_2.

Ответ: MgF_2.

1.4. Девятнадцать протонов содержит атом калия, на три протона меньше или больше в атомах серы и титана соответственно. Десять электронов включают ионы S^{2-}, Cl^-, K^+, Ca^{2+}. Подходят ионы S^{2-} и K^+. Вещество, образованное этими ионами – K_2S.

Ответ: K_2S.

Система оценивания единая для всех вариантов:
По 1 баллу за катион и анион, 2 балла за соединение. Всего 1 + 1 + 2 = 4 балла.

Задача 2 (10 баллов)

2.1. 1) Понижение температуры замерзания раствора по сравнению с чистым растворителем – одно из коллигативных свойств, которые зависят только от числа частиц растворенного вещества (молекул и ионов), но не от их природы. При расчете необходимо учесть, что в растворе NaCl полностью диссоциирует на ионы:

$$NaCl \rightarrow Na^+ + Cl^-,$$

и реальная концентрация частиц в два раза больше концентрации соли. Определим моляльную концентрацию:

$$\nu(NaCl) = 33 / 58.5 = 0.564 \text{ моль},$$
$$m = 2 \cdot 0.564 / 1 = 1.128 \text{ моль/кг}.$$

Понижение температуры замерзания:

$$\Delta T = K \cdot m = 1.86 \cdot 1.128 = 2.098,$$

температура океанической воды –2.1°C.

2) Из формулы $\pi = cRT$ выразим и определим молярную концентрацию раствора белка:

$$c = \pi / RT = \frac{14.22 \cdot 10^{-3} \cdot 101325}{8.314 \cdot 298} = 0.5815 \text{ моль/м}^3 = 0.5815 \cdot 10^{-3} \text{ моль/л}.$$

Молярная масса исследуемого белка:

$$M = m / \nu = \frac{10}{0.5815 \cdot 10^{-3}} = 17.2 \cdot 10^3 \text{ г/моль}.$$

Этому значению соответствует молекулярная масса 17.2 кДа, она характерна для белка II типа (Type II AFP).

3) Белки-антифризы связываются с поверхностью кристалла за счет водородных связей между аминокислотными остатками и молекулами воды.

Ответ: –2.1°C, 17.2 кДа (Type II AFP), водородные связи.

2.2. 1) Понижение температуры замерзания раствора по сравнению с чистым растворителем – одно из коллигативных свойств, которые зависят только от числа частиц растворенного вещества (молекул и ионов), но не от их природы. Необходимо учесть при расчете, что в растворе NaCl полностью диссоциирует на ионы:

$$NaCl \rightarrow Na^+ + Cl^-,$$

и реальная концентрация частиц в два раза больше концентрации соли. Определим моляльную концентрацию:

$$\nu(NaCl) = 33 / 58.5 = 0.564 \text{ моль},$$
$$m = 2 \cdot 0.564 / 1 = 1.128 \text{ моль/кг}.$$

Понижение температуры замерзания:

$$\Delta T = K \cdot m = 1.86 \cdot 1.128 = 2.098,$$

температура океанической воды –2.1°C.

2) Из формулы $\pi = cRT$ выразим и определим молярную концентрацию раствора белка:

$$c = \pi / RT = \frac{75.11 \cdot 10^{-3} \cdot 101325}{8.314 \cdot 298} = 3.0718 \text{ моль/м}^3 = 3.0718 \cdot 10^{-3} \text{ моль/л}.$$

Молярная масса исследуемого белка:

$$M = m / \nu = \frac{20}{3.0718 \cdot 10^{-3}} = 6.51 \cdot 10^3 \text{ г/моль}.$$

Этому значению соответствует молекулярная масса 6.51 кДа, она характерна для белка III типа (Type III AFP).

3) Белки-антифризы связываются с поверхностью кристалла за счет водородных связей между аминокислотными остатками и молекулами воды.

Ответ: –2.1°C, 6.51 кДа (Type III AFP), водородные связи.

2.3. 1) Понижение температуры замерзания раствора по сравнению с чистым растворителем – одно из коллигативных свойств, которые зависят только от числа частиц растворенного вещества (молекул и ионов), но не от их природы. Необходимо учесть при расчете, что в растворе NaCl полностью диссоциирует на ионы:

$$NaCl \rightarrow Na^+ + Cl^-,$$

и реальная концентрация частиц в два раза больше концентрации соли. Определим моляльную концентрацию:

$$\nu(NaCl) = 32 / 58.5 = 0.547 \text{ моль},$$
$$m = 2 \cdot 0.547 / 1 = 1.094 \text{ моль/кг}.$$

Понижение температуры замерзания:

$$\Delta T = K \cdot m = 1.86 \cdot 1.094 = 2.035,$$

температура океанической воды –2.04°C.

2) Из формулы $\pi = cRT$ выразим и определим молярную концентрацию раствора белка:

$$c = \pi / RT = \frac{30.33 \cdot 10^{-3} \cdot 101325}{8.314 \cdot 298} = 1.2404 \text{ моль/м}^3 = 1.2404 \cdot 10^{-3} \text{ моль/л}.$$

Молярная масса исследуемого белка:

$$M = m / \nu = \frac{15}{1.2404 \cdot 10^{-3}} = 12.09 \cdot 10^3 \text{ г/моль}.$$

Этому значению соответствует молекулярная масса 12.09 кДа, она характерна для белка II типа (Type II AFP) или IV типа (Type IV AFP).

3) Белки-антифризы связываются с поверхностью кристалла за счет водородных связей между аминокислотными остатками и молекулами воды.

Ответ: –2.04°C, 12.09 кДа (Type II AFP или Type IV AFP), водородные связи.

2.4. 1) Понижение температуры замерзания раствора по сравнению с чистым растворителем – одно из коллигативных свойств, которые зависят только от числа частиц растворенного вещества (молекул и ионов), но не от их природы. Необходимо учесть при расчете, что в растворе NaCl полностью диссоциирует на ионы:

$$NaCl \rightarrow Na^+ + Cl^-,$$

и реальная концентрация частиц оказывается в два раза больше концентрации соли. Определим моляльную концентрацию:

$$\nu(NaCl) = 32 / 58.5 = 0.547 \text{ моль},$$
$$m = 2 \cdot 0.547 / 1 = 1.094 \text{ моль/кг}.$$

Понижение температуры замерзания:

$$\Delta T = K \cdot m = 1.86 \cdot 1.094 = 2.035,$$

температура океанической воды –2.04°C.

2) Из формулы $\pi = cRT$ выразим и определим молярную концентрацию раствора белка:

$$c = \pi / RT = \frac{67.50 \cdot 10^{-3} \cdot 101325}{8.314 \cdot 298} = 2.7605 \text{ моль/м}^3 = 2.7605 \cdot 10^{-3} \text{ моль/л}.$$

Молярная масса исследуемого белка:

$$M = m / \nu = \frac{10}{2.7605 \cdot 10^{-3}} = 3.62 \cdot 10^3 \text{ г/моль}.$$

Этому значению соответствует молекулярная масса 3.62 кДа, она характерна для белка I типа (Type I AFP).

3) Белки-антифризы связываются с поверхностью кристалла за счет водородных связей между аминокислотными остатками и молекулами воды.

Ответ: –2.04°C, 3.62 кДа (Type I AFP), водородные связи.

Система оценивания единая для всех вариантов:
Вопрос 1) 4 балла (если не учтено удвоенное число частиц из-за диссоциации соли, то 2 балла).
Вопрос 2) 4 балла.
Вопрос 3) 2 балла, если не указано, между какими атомами реализуются водородные связи – 1 балл. Всего 4 + 4 + 2 = 10 баллов.
За арифметическую ошибку или неверную размерность минус 1 балл.

Задача 3 (10 баллов)

3.1. Поскольку соляная – сильная минеральная кислота, то

$$[H^+] = c(HCl)$$

и

$$pH = -\lg[H^+] = -\lg 0.001 = 3.$$

Рассчитаем pH раствора после его разбавления.

а) Раствор разбавили в 100 раз, молярная концентрация кислоты стала равна

$$c(HCl) = 0.001 / 100 = 1.0 \cdot 10^{-5} \text{ М}.$$

$$pH = -\lg 10^{-5} = 5.$$

б) Раствор разбавили в 10^4 раз. Молярная концентрация кислоты стала равна $1.0 \cdot 10^{-7}$ М.

Так как концентрация раствора мала ($c < 10^{-5}$ М), необходимо учесть диссоциацию воды, так как при этом образуются протоны. Это можно сделать, введя условие электронейтральности – в единице объема суммарный положительный заряд равен суммарному отрицательному заряду. В случае HCl имеем:

$$[H^+] = [Cl^-] + [OH^-],$$

где $[H^+]$ – суммарная концентрация протонов, образующихся при диссоциации кислоты и при диссоциации воды.

Ионное произведение воды $K_w = [H^+][OH^-] = 10^{-14}$. Используя уравнение электронейтральности, преобразуем это уравнение:

$$K_w = [H^+]([H^+] - [Cl^-] = [H^+]([H^+] - c(HCl)) = 10^{-14}$$
$$[H^+]^2 - 1.0 \cdot 10^{-7} - 10^{-14} = 0$$

Корни уравнения:

$$\left[H^+\right]_1 = \frac{1.0 \cdot 10^{-7} + \sqrt{1.0 \cdot 10^{-14} + 4 \cdot 1.0 \cdot 10^{-14}}}{2} = 1.62 \cdot 10^{-7}$$

$$\left[H^+\right]_2 = \frac{1.0 \cdot 10^{-7} - \sqrt{1.0 \cdot 10^{-14} + 4 \cdot 1.0 \cdot 10^{-14}}}{2} < 0$$

Второй корень соответствует физически некорректному результату. Таким образом,

$$[H^+] = 1.62 \cdot 10^{-7} \text{ моль/л},$$
$$pH = -\lg(1.62 \cdot 10^{-7}) = 6.79.$$

Ответ: 3; а) 5; б) 6.79.

3.2. Поскольку бромоводородная – сильная минеральная кислота, то

$$[H^+] = c(HBr)$$

и

$$pH = -\lg[H^+] = -\lg(1.0 \cdot 10^{-4}) = 4.$$

Рассчитаем pH раствора после его разбавления.

а) Раствор разбавили в 10 раз, молярная концентрация кислоты стала равна

$$c(HBr) = 1.0 \cdot 10^{-4} / 10 = 1.0 \cdot 10^{-5} \text{ М}.$$
$$pH = -\lg 10^{-5} = 5.$$

б) Раствор разбавили в 10^3 раз. Молярная концентрация кислоты стала равна $1.0 \cdot 10^{-7}$ М.

Так как концентрация раствора мала ($c < 10^{-5}$ М), необходимо учесть диссоциацию воды, так как при этом образуются протоны. Это можно сделать, введя условие электронейтральности – в единице объема суммарный положительный заряд равен суммарному отрицательному заряду. В случае HBr имеем:

$$[H^+] = [Br^-] + [OH^-],$$

где $[H^+]$ – суммарная концентрация протонов, образующихся при диссоциации кислоты и при диссоциации воды.

Ионное произведение воды $K_w = [H^+][OH^-] = 10^{-14}$. Используя уравнение электронейтральности, преобразуем это уравнение:

$$K_w = [H^+]([H^+] - [Br^-] = [H^+]([H^+] - c(HBr)) = 10^{-14}$$
$$[H^+]^2 - 1.0 \cdot 10^{-7} - 10^{-14} = 0$$

Корни уравнения:

$$\left[H^+\right]_1 = \frac{1.0 \cdot 10^{-7} + \sqrt{1.0 \cdot 10^{-14} + 4 \cdot 1.0 \cdot 10^{-14}}}{2} = 1.62 \cdot 10^{-7}$$

$$\left[H^+\right]_2 = \frac{1.0 \cdot 10^{-7} - \sqrt{1.0 \cdot 10^{-14} + 4 \cdot 1.0 \cdot 10^{-14}}}{2} < 0$$

Второй корень соответствует физически некорректному результату. Таким образом,

$$[H^+] = 1.62 \cdot 10^{-7} \text{ моль/л},$$
$$pH = -\lg(1.62 \cdot 10^{-7}) = 6.79.$$

Ответ: 4; а) 5; б) 6.79.

3.3. Поскольку иодоводородная – сильная минеральная кислота, то

$$[H^+] = c(HI)$$

и

$$pH = -\lg[H^+] = -\lg(0.01) = 2.$$

Рассчитаем pH раствора после его разбавления.

а) Раствор разбавили в 1000 раз, молярная концентрация кислоты стала равна

$$c(HI) = 0.01 / 1000 = 1.0 \cdot 10^{-5} \text{ М}.$$

$$pH = -\lg 10^{-5} = 5.$$

б) Раствор разбавили в 10^5 раз. Молярная концентрация кислоты стала равна $1.0 \cdot 10^{-7}$ М.

Так как концентрация раствора мала ($c < 10^{-5}$ М), необходимо учесть диссоциацию воды, так как при этом образуются протоны. Это можно сделать, введя условие электронейтральности – в единице объема суммарный положительный заряд равен суммарному отрицательному заряду. В случае HBr имеем:

$$[H^+] = [Br^-] + [OH^-],$$

где $[H^+]$ – суммарная концентрация протонов, образующихся при диссоциации кислоты и при диссоциации воды.

Ионное произведение воды $K_w = [H^+][OH^-] = 10^{-14}$. Используя уравнение электронейтральности, преобразуем это уравнение:

$$K_w = [H^+]([H^+] - [I^-] = [H^+]([H^+] - c(HI)) = 10^{-14}$$

$$[H^+]^2 - 1.0 \cdot 10^{-7} - 10^{-14} = 0$$

Корни уравнения:

$$\left[H^+\right]_1 = \frac{1.0 \cdot 10^{-7} + \sqrt{1.0 \cdot 10^{-14} + 4 \cdot 1.0 \cdot 10^{-14}}}{2} = 1.62 \cdot 10^{-7}$$

$$\left[H^+\right]_2 = \frac{1.0 \cdot 10^{-7} - \sqrt{1.0 \cdot 10^{-14} + 4 \cdot 1.0 \cdot 10^{-14}}}{2} < 0$$

Второй корень соответствует физически некорректному результату. Таким образом,

$$[H^+] = 1.62 \cdot 10^{-7} \text{ моль/л},$$

$$pH = -\lg(1.62 \cdot 10^{-7}) = 6.79.$$

Ответ: 4; а) 5; б) 6.79.

3.4. Поскольку соляная – сильная минеральная кислота, то

$$[H^+] = c(HCl)$$

и

$$pH = -\lg[H^+] = -\lg(1.0 \cdot 10^{-4}) = 4.$$

Рассчитаем pH раствора после его разбавления.

а) Раствор разбавили в 10 раз, молярная концентрация кислоты стала равна

$$c(HCl) = 1.0 \cdot 10^{-4} / 10 = 1.0 \cdot 10^{-5} \text{ М}.$$

$$pH = -\lg 10^{-5} = 5.$$

б) Раствор разбавили в 10^3 раз. Молярная концентрация кислоты стала равна $1.0 \cdot 10^{-7}$ М.

Так как концентрация раствора мала ($c < 10^{-5}$ М), необходимо учесть диссоциацию воды, так как при этом образуются протоны. Это можно сделать, введя условие электронейтральности – в единице объема суммарный положительный заряд равен суммарному отрицательному заряду. В случае HCl имеем:

$$[H^+] = [Cl^-] + [OH^-],$$

где $[H^+]$ – суммарная концентрация протонов, образующихся при диссоциации кислоты и при диссоциации воды.

Ионное произведение воды $K_w = [H^+][OH^-] = 10^{-14}$. Используя уравнение электронейтральности, преобразуем это уравнение:

$$K_w = [H^+]([H^+] - [Cl^-] = [H^+]([H^+] - c(HCl)) = 10^{-14}$$

$$[H^+]^2 - 1.0 \cdot 10^{-7} - 10^{-14} = 0$$

Корни уравнения:

$$\left[H^+\right]_1 = \frac{1.0\cdot10^{-7} + \sqrt{1.0\cdot10^{-14} + 4\cdot1.0\cdot10^{-14}}}{2} = 1.62\cdot10^{-7}$$

$$\left[H^+\right]_2 = \frac{1.0\cdot10^{-7} - \sqrt{1.0\cdot10^{-14} + 4\cdot1.0\cdot10^{-14}}}{2} < 0$$

Второй корень соответствует физически некорректному результату. Таким образом,

$[H^+] = 1.62\cdot10^{-7}$ моль/л,

$pH = -\lg(1.62\cdot10^{-7}) = 6.79$.

Ответ: 4; а) 5; б) 6.79.

Система оценивания единая для всех вариантов:
Правильное значение pH раствора до разбавления – 2 балла, пункт а) 2 балла, пункт б) 6 баллов (значение pH = 7 оценивалось в 2 балла). Всего 2 + 2 + 6 = 10 баллов.

Задача 4 (16 баллов)

4.1. Уравнения возможных реакций:

1) $Mg_2Si + 4HCl \rightarrow SiH_4\uparrow + 2MgCl_2$

2) $SiH_4 + 2O_2 \rightarrow SiO_2 + 2H_2O$

3) $SiO_2 + 2CaF_2 + 2H_2SO_4 \rightarrow SiF_4\uparrow + 2CaSO_4 + 2H_2O$

4) $SiF_4 + 2HF(р\text{-}р) \rightarrow H_2SiF_6$

5) $H_2SiF_6 + 2NaOH \rightarrow Na_2SiF_6 + 2H_2O$

6) $3Na_2SiF_6 + 4Al \xrightarrow{700^oC} 3Si + 2Na_3AlF_6 + 2AlF_3$

7) $Si + 2NaOH + H_2O \rightarrow Na_2SiO_3 + 2H_2\uparrow$

8) $Na_2SiO_3 + 2HCl(р\text{-}р) + (x-1)H_2O \rightarrow SiO_2\cdot xH_2O\downarrow + 2NaCl$

Ответ: $\mathbf{X_1}$ – SiH_4, $\mathbf{X_2}$ – SiF_4, $\mathbf{X_3}$ – H_2SiF_6, $\mathbf{X_4}$ – Na_2SiF_6, $\mathbf{X_5}$ – Si.

4.2. Уравнения возможных реакций:

1) $2Pb(NO_3)_2 + 3(NH_4)_2CO_3 + 2H_2O \rightarrow Pb_2(OH)_2CO_3 + 2NH_4HCO_3 + 4NH_4NO_3$

2) $Pb_2(OH)_2CO_3 + 2H_2S \rightarrow 2PbS + CO_2\uparrow + 3H_2O$

3) $PbS + 4H_2O_2 \rightarrow PbSO_4 + 4H_2O$

4) $PbSO_4 + 4NaOH(конц,\ изб) \rightarrow Na_2[Pb(OH)_4] + Na_2SO_4$

5) $Na_2[Pb(OH)_4] + 4HNO_3(изб) \rightarrow Pb(NO_3)_2 + 2NaNO_3 + 4H_2O$

6) $Pb(NO_3)_2(р\text{-}р) + Zn \rightarrow Zn(NO_3)_2(р\text{-}р) + Pb$

7) $Pb + 2CH_3COOH + 0.5O_2 \rightarrow Pb(CH_3COO)_2 + H_2O$

8) $Pb(CH_3COO)_2 + NaOCl + 2NaOH \rightarrow PbO_2\downarrow + 2CH_3COONa + NaCl + H_2O$

Ответ: $\mathbf{X_1}$ – PbS, $\mathbf{X_2}$ – $PbSO_4$, $\mathbf{X_3}$ – $Na_2[Pb(OH)_4]$, $\mathbf{X_4}$ – $Pb(NO_3)_2$, $\mathbf{X_5}$ – PbO_2.

4.3. Уравнения возможных реакций:

1) $SnCl_2 + 2NH_3\cdot H_2O \rightarrow Sn(OH)_2 + 2NH_4Cl$ (или $Sn_6O_4(OH)_4$)

2) $Sn(OH)_2 + NaOH(изб) \rightarrow Na[Sn(OH)_3]$

3) $3Na[Sn(OH)_3] + 2Bi(OH)_3 + 3NaOH \rightarrow 2Bi + 3Na_2[Sn(OH)_6]$

4) $Na_2[Sn(OH)_6] + CO_2 + (x-3)H_2O \rightarrow \alpha\text{-}SnO_2\cdot xH_2O + Na_2CO_3$

5) $\alpha\text{-}SnO_2\cdot xH_2O \xrightarrow{t} SnO_2 + xH_2O$

6) $SnO_2 + 2C \xrightarrow{1000^oC} Sn + 2CO$

7) $Sn + 2Cl_2 \rightarrow SnCl_4$

8) $SnCl_4 + LiAlH_4 \rightarrow SnH_4 + LiCl + AlCl_3$

Ответ: **X₁** – $Sn(OH)_2$, **X₂** – $Na_2[Sn(OH)_6]$, **X₃** – Sn, **X₄** – $SnCl_4$, **X₅** – SnH_4.

4.4. Уравнения возможных реакций:

1) $MgB_2 + 2Mg + 6HCl \rightarrow B_2H_6\uparrow + 3MgCl_2$

2) $B_2H_6 + 6H_2O \rightarrow 2H_3BO_3 + 6H_2$

3) $2H_3BO_3 \xrightarrow{t} B_2O_3 + 3H_2O$

4) $B_2O_3 + 3C + 3Cl_2 \xrightarrow{t} 2BCl_3 + 3CO$

5) $2BCl_3 + 3Zn \rightarrow 2B + 3ZnCl_2$

6) $B + HNO_3 + 4HF \rightarrow HBF_4 + NO + 2H_2O$

7) $HBF_4 + KOH \rightarrow KBF_4 + H_2O$

8) $6KBF_4 + B_2O_3 + 6H_2SO_4(конц) \rightarrow 8BF_3 + 6KHSO_4 + 3H_2O$

Ответ: **X₁** – H_3BO_3, **X₂** – BCl_3, **X₃** – B, **X₄** – HBF_4, **X₅** – BF_3.

Система оценивания единая для всех вариантов:
8 реакций по 2 балла за каждую (всего 8 · 2 = 16 баллов)

Задача 5 (15 баллов)

5.1. Пусть в реакции A + B = 2C образовалось x моль газа C, тогда прореагировало по $0.5x$ моль газов A и B. Следовательно, равновесные количества газов A и B равны $(3 - 0.5x)$ и $(1 - 0.5x)$ моль. Константа равновесия реакции, выраженная через парциальные давления газов, равна

$$K_P = \frac{P_C^2}{P_A \cdot P_B} = \frac{n_C^2}{n_A \cdot n_B} = \frac{x^2}{(3-0.5x)\cdot(1-0.5x)}.$$

После добавления газа B количество газа C стало равно $2x$, а равновесные количества газов A и B стали равны $(3 - x)$ и $(3 - x)$ моль. Константа равновесия реакции, выраженная через парциальные давления газов, равна

$$K_P = \frac{P_C^2}{P_A \cdot P_B} = \frac{n_C^2}{n_A \cdot n_B} = \frac{(2x)^2}{(3-x)\cdot(3-x)}.$$

Поскольку температура оставалась постоянной, константа равновесия не изменилась. Тогда

$$\frac{x^2}{(3-0.5x)\cdot(1-0.5x)} = \frac{(2x)^2}{(3-x)\cdot(3-x)}.$$

Отсюда $x = 1.5$. Следовательно, количество образовавшегося газа C равно 1.5 моль. Константа равновесия реакции равна

$$K_P = \frac{(2x)^2}{(3-x)\cdot(3-x)} = \frac{3^2}{(3-1.5)\cdot(3-1.5)} = 4.$$

Ответ: $x = 1.5$ моль, $K_P = 4$.

5.2. Пусть в реакции A + B = 2C образовалось x моль газа C, тогда прореагировало по $0.5x$ моль газов A и B. Следовательно, равновесные количества газов A и B равны $(2 - 0.5x)$ и $(5 - 0.5x)$ моль. Константа равновесия реакции, выраженная через парциальные давления газов, равна

$$K_P = \frac{P_C^2}{P_A \cdot P_B} = \frac{n_C^2}{n_A \cdot n_B} = \frac{x^2}{(2-0.5x)\cdot(5-0.5x)}.$$

После добавления газа A количество газа C стало равно $2x$, а равновесные количества газов A и B стали равны $(5 - x)$ и $(5 - x)$ моль. Константа равновесия реакции, выраженная через парциальные давления газов, равна

$$K_P = \frac{P_C^2}{P_A \cdot P_B} = \frac{n_C^2}{n_A \cdot n_B} == \frac{(2x)^2}{(5-x)\cdot(5-x)}.$$

Поскольку температура оставалась постоянной, константа равновесия не изменилась. Тогда

$$\frac{x^2}{(2-0.5x)\cdot(5-0.5x)} = \frac{(2x)^2}{(5-x)\cdot(5-x)}.$$

Отсюда $x = 3.75$. Следовательно, количество образовавшегося газа C равно 3.75 моль. Константа равновесия реакции равна

$$K_P = \frac{(2x)^2}{(5-x)\cdot(5-x)} = \frac{7.5^2}{(5-3.75)\cdot(5-3.75)} = 36.$$

Ответ: $x = 3.75$ моль, $K_P = 36$.

5.3. Пусть в реакции A + B = 2C образовалось x моль газа C, тогда прореагировало по $0.5x$ моль газов A и B. Следовательно, равновесные количества газов A и B равны $(5 - 0.5x)$ и $(1 - 0.5x)$ моль. Константа равновесия реакции, выраженная через парциальные давления газов, равна

$$K_P = \frac{P_C^2}{P_A \cdot P_B} = \frac{n_C^2}{n_A \cdot n_B} = \frac{x^2}{(5-0.5x)\cdot(1-0.5x)}.$$

После добавления газа A количество газа C стало равно $2x$, а равновесные количества газов A и B стали равны $(5 - x)$ и $(3 - x)$ моль. Константа равновесия реакции, выраженная через парциальные давления газов, равна

$$K_P = \frac{P_C^2}{P_A \cdot P_B} = \frac{n_C^2}{n_A \cdot n_B} = \frac{(2x)^2}{(5-x)\cdot(3-x)}.$$

Поскольку температура оставалась постоянной, константа равновесия не изменилась. Тогда

$$\frac{x^2}{(5-0.5x)\cdot(1-0.5x)} = \frac{(2x)^2}{(5-x)\cdot(3-x)}.$$

Отсюда $x = 1.25$. Следовательно, количество образовавшегося газа C равно 1.25 моль. Константа равновесия реакции равна

$$K_P = \frac{(2x)^2}{(5-x)\cdot(3-x)} = \frac{2.5^2}{(5-1.25)\cdot(3-1.25)} = 0.95.$$

Ответ: $x = 1.25$ моль, $K_P = 0.95$.

5.4. Пусть в реакции A + B = 2C образовалось x моль газа C, тогда прореагировало по $0.5x$ моль газов A и B. Следовательно, равновесные количества газов A и B равны $(1 - 0.5x)$ и $(4 - 0.5x)$ моль. Константа равновесия реакции, выраженная через парциальные давления газов, равна

$$K_P = \frac{P_C^2}{P_A \cdot P_B} = \frac{n_C^2}{n_A \cdot n_B} = \frac{x^2}{(1-0.5x)\cdot(4-0.5x)}.$$

После добавления газа A количество газа C стало равно $2x$, а равновесные количества газов A и B стали равны $(3-x)$ и $(4-x)$ моль. Константа равновесия реакции, выраженная через парциальные давления газов, равна

$$K_P = \frac{P_C^2}{P_A \cdot P_B} = \frac{n_C^2}{n_A \cdot n_B} = \frac{(2x)^2}{(3-x)\cdot(4-x)}.$$

Поскольку температура оставалась постоянной, константа равновесия не изменилась. Тогда

$$\frac{x^2}{(1-0.5x)\cdot(4-0.5x)} = \frac{(2x)^2}{(3-x)\cdot(4-x)}.$$

Отсюда $x = 1.33$. Следовательно, количество образовавшегося газа C равно 1.33 моль. Константа равновесия реакции равна

$$K_P = \frac{(2x)^2}{(3-x)\cdot(4-x)} = \frac{2.67^2}{(3-1.33)\cdot(3-1.33)} = 1.6.$$

Ответ: $x = 1.33$ моль, $K_P = 1.6$.

Система оценивания единая для всех вариантов:
Верная запись выражения для константы равновесия в общем виде с подставленными равновесными значениями – 5 баллов (если записаны только равновесные количества/концентрации/давления участников реакции – 2 балла).
По 5 баллов за правильные значения количества вещества или константы равновесия.
Итого 5 + 5 + 5 = 15 баллов.

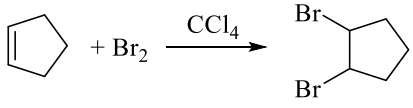
Задача 6 (14 баллов)

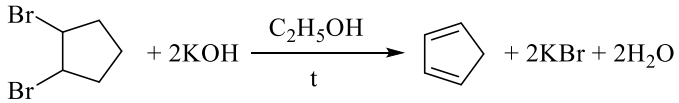
6.1. Определим углеводород **A**:

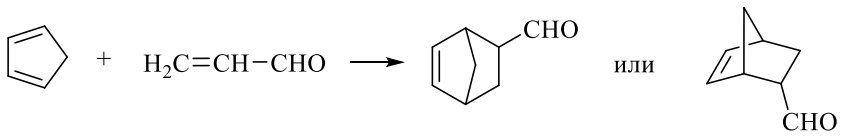
$$C_xH_y,\ x : y = \frac{88.24}{12} : \frac{11.76}{1} = 7.353 : 11.76 = 5 : 8$$

Углеводород **A** – C_5H_8, что соответствует алкину, диену или циклоалкену. Поскольку углеводород **B** вступает в реакцию с акролеином с образованием продукта состава $C_8H_{10}O$, то можно предположить, что углеводород **B** имеет состав C_5H_6, что является сопряжённым диеном – циклопентадиеном. Проверим состав **B**:

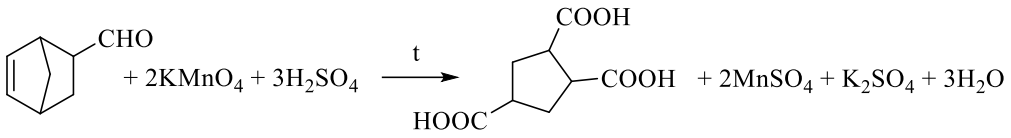
$$C_xH_y,\ x : y = \frac{90.9}{12} : \frac{9.1}{1} = 7.575 : 9.1 = 5 : 6$$



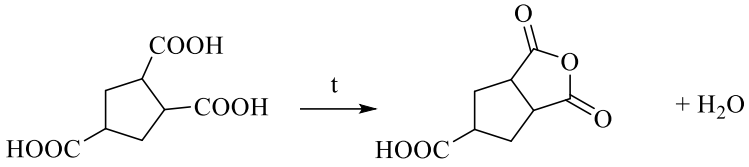




Окисление продукта $C_8H_{10}O$:



Нагревание вещества **Г**:



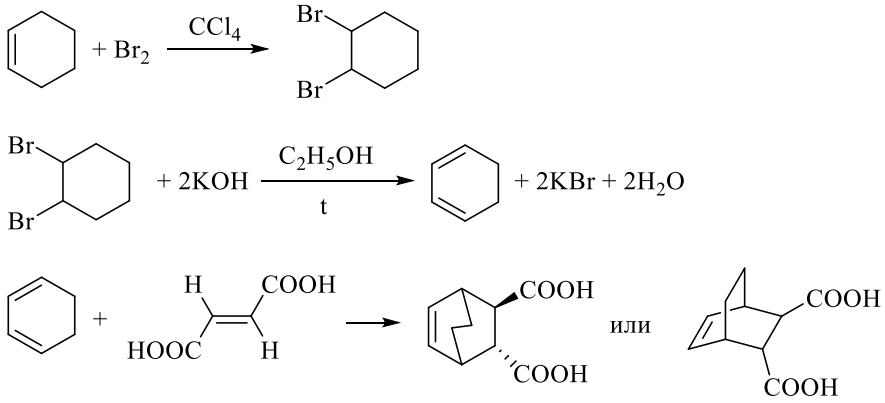
Потеря массы при нагревании составляет 18 / 202 = 0.0891 (8.91%).

6.2. Определим углеводород **А**:

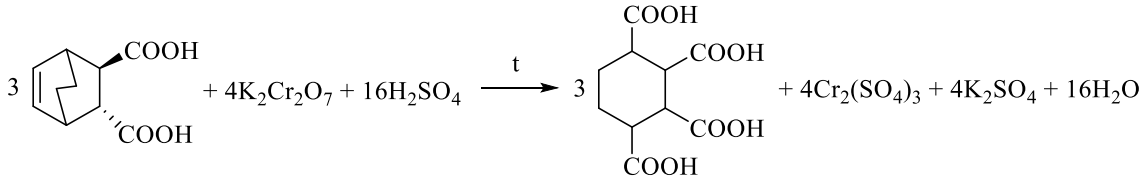
$$C_xH_y,\ x : y = \frac{87.8}{12} : \frac{12.2}{1} = 7.3167 : 12.2 = 3 : 5 = 6 : 10$$

Углеводород **А** – C_6H_{10}, что соответствует алкину, диену или циклоалкену. Поскольку углеводород **В** вступает в реакцию с малеиновой кислотой с образованием продукта состава $C_{10}H_{12}O_4$, то можно предположить, что углеводород **В** имеет состав C_6H_8, что является сопряжённым диеном – циклогексадиеном. Проверим состав **В**:

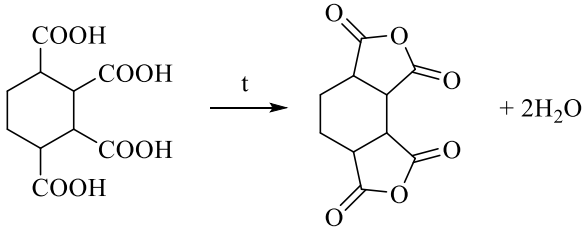
$$C_xH_y,\ x : y = \frac{90.0}{12} : \frac{10.0}{1} = 7.5 : 10.0 = 3 : 4 = 6 : 8$$



Окисление продукта $C_{10}H_{12}O_4$:



Нагревание вещества **Г**:

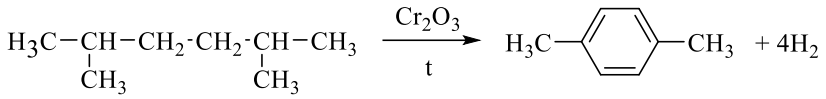


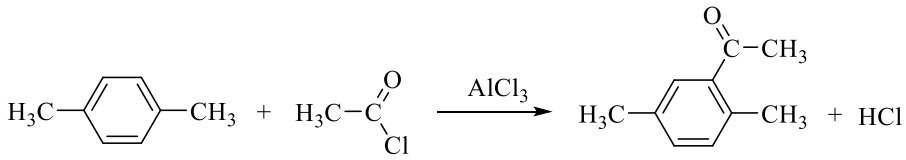
Потеря массы веществом **Г** при нагревании составляет 18 · 2 / 260 = 0.1385 (13.85%).

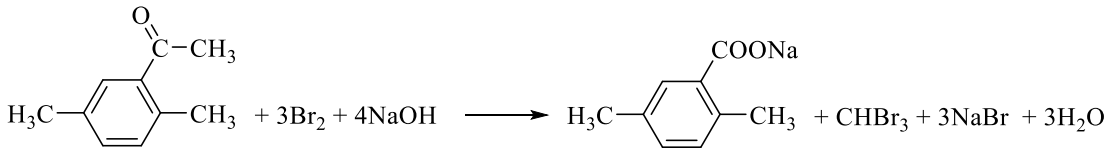
6.3. Определим углеводород **А**:

$$C_xH_y,\ x : y = \frac{84.21}{12} : \frac{15.79}{1} = 7.0175 : 15.79 = 4 : 9 = 8 : 18$$

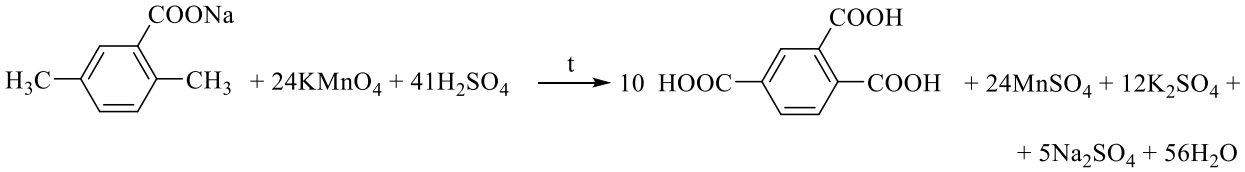
Неизвестный углеводород **А** – это C_8H_{18}. Поскольку из кетона **В** была получена натриевая соль 2,5-диметилбензойной кислоты, то **А** – 2,5-диметилгексан:



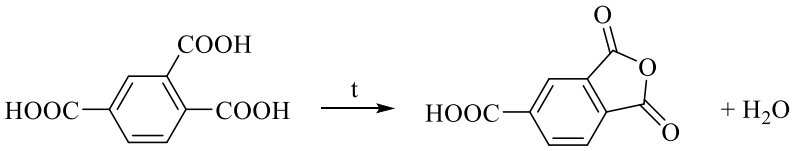




Окисление соли 2,5-диметилбензойной кислоты:



Нагревание вещества **Г**:

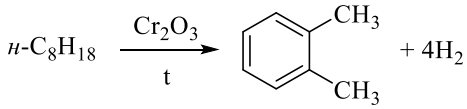


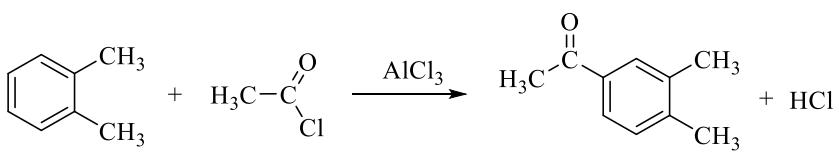
Потеря массы веществом **Г** при нагревании составляет 18 / 210 = 0.0857 (8.57%).

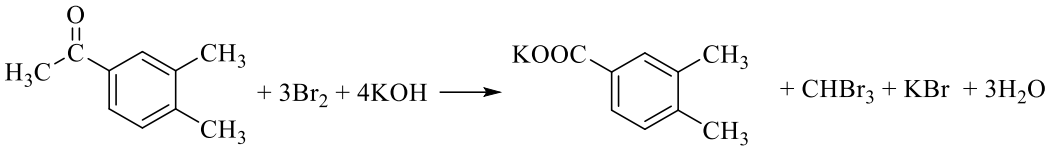
6.4. Определим углеводород **А**:

$$C_xH_y,\ x : y = \frac{84.21}{12} : \frac{15.79}{1} = 7.0175 : 15.79 = 4 : 9 = 8 : 18$$

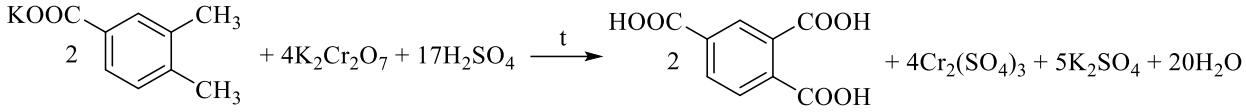
Углеводород **А** – это C_8H_{18}. Поскольку из кетона **В** была получена калиевая соль 3,4-диметилбензойной кислоты, то **А** – *н*-октан или 3,4-диметилгексан:



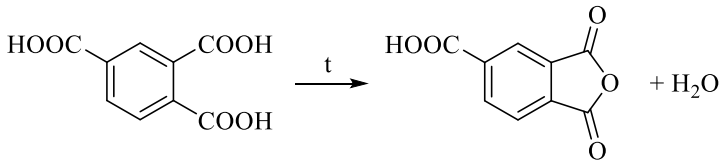




Окисление соли 3,4-диметилбензойной кислоты:



Нагревание вещества **Г**:



Потеря массы веществом **Г** при нагревании составляет 18 / 210 = 0.0857 (8.57%).

Система оценивания единая для всех вариантов:
5 реакций по 2 балла, расчет и установление вещества А – 2 балла, расчет для вещества В – 1 балл, расчет потери массы веществом Г – 1 балл.
Всего 5 · 2 + 2 + 1 + 1 = 15 баллов.

Задача 7 (15 баллов)

7.1. Определим количества щелочи, затраченной на гидролиз каждого из пептидов:

трипептид **А**: $\nu(NaOH) = \frac{6.56 \cdot 1.22 \cdot 0.2}{40} = 0.04$ моль,

тетрапептид **В**: $\nu(NaOH) = \frac{8.2 \cdot 1.22 \cdot 0.2}{40} = 0.05$ моль.

Из соотношения количеств щелочи (4 : 5) можно предположить, что каждый из пептидов содержит одну аминокислоту с дополнительной кислотной группой (например, глутаминовую кислоту или тирозин).

Реакция продуктов гидролиза с азотистой кислотой показывает количество аминогрупп в аминокислотах:

$$RNH_2 + HNO_2 \rightarrow ROH + N_2\uparrow + H_2O,$$

$$\nu(N_2) = 1.12 / 22.4 = 0.05 \text{ моль}.$$

Сопоставление с количествами щелочи, затраченной на гидролиз, показывает, что трипептид должен содержать два остатка лизина, а тетрапептид – один остаток лизина.

Молярная масса, одинаковая для пептидов, составляет

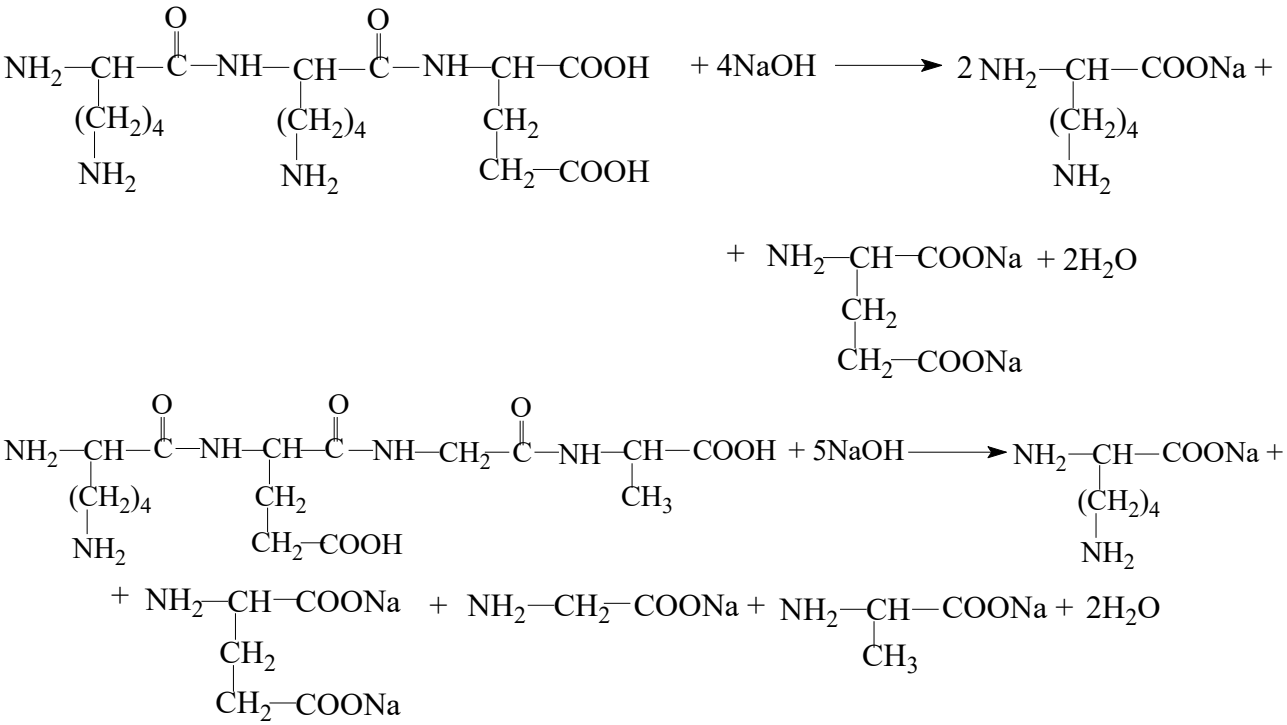
$$M = 4.03 / 0.01 = 403 \text{ г/моль}.$$

Для **А** подходит вариант лизин-лизин-глутаминовая кислота:

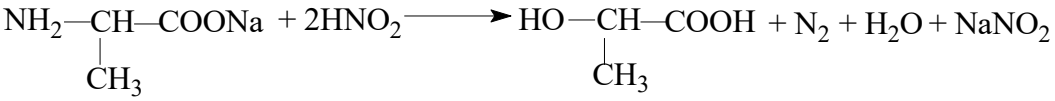
$$146 + 146 + 147 – 18 \cdot 2 = 403 \text{ г/моль}.$$

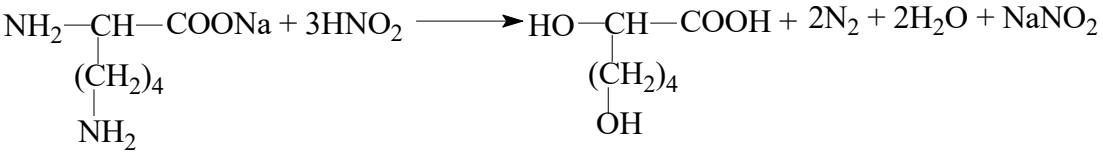
В содержит остаток лизина и остаток глутаминовой кислоты (или тирозина). Суммарная масса четырех аминокислот составляет 403 + 18 · 3 = 457 г /моль. За вычетом лизина и глутаминовой кислоты остается 457 – 146 – 147 = 164 г/моль, это суммарная масса двух легких аминокислот. Подходят глицин и аланин (75 + 89 = 164). Отсюда **В** – это лизин-глутаминовая кислота-глицин-аланин.

Гидролиз пептидов:



Реакция с азотистой кислотой приведена для солей аланина и лизина. Для солей других аминокислот реакция протекает аналогично реакции аланина:





Ответ: **A** – лизин-лизин-глутаминовая кислота, **B** – лизин-глутаминовая кислота-глицин-аланин.

7.2. Определим количества щелочи, затраченной на гидролиз каждого из пептидов:

трипептид **A**: $\nu(NaOH) = \frac{6.56 \cdot 1.22 \cdot 0.2}{40} = 0.04$ моль,

тетрапептид **B**: $\nu(NaOH) = \frac{8.2 \cdot 1.22 \cdot 0.2}{40} = 0.05$ моль.

Из соотношения количеств щелочи (4 : 5) можно предположить, что каждый из пептидов содержит одну аминокислоту с дополнительной кислотной группой (например, глутаминовую кислоту или тирозин).

Реакция продуктов гидролиза с азотистой кислотой показывает количество аминогрупп в аминокислотах:

$$RNH_2 + HNO_2 \rightarrow ROH + N_2\uparrow + H_2O,$$

$$\nu(N_2) = 0.892 / 22.4 = 0.04 \text{ моль}.$$

Сопоставление с количествами щелочи, затраченной на гидролиз, показывает, что трипептид должен содержать один остаток лизина, а тетрапептид его не содержит.

Молярная масса, одинаковая для пептидов, составляет

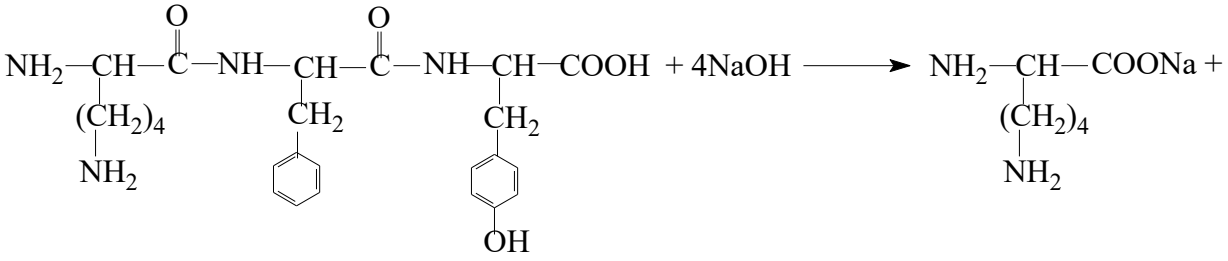
$$M = 4.56 / 0.01 = 456 \text{ г/моль}.$$

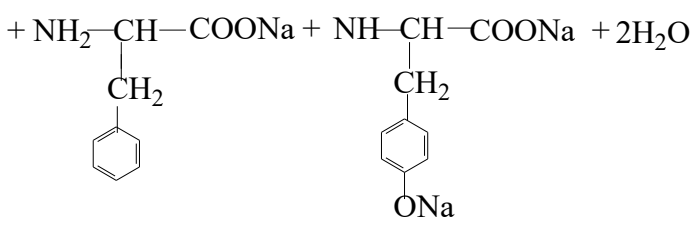
Для **A** подходит вариант лизин-фенилаланин-тирозин:

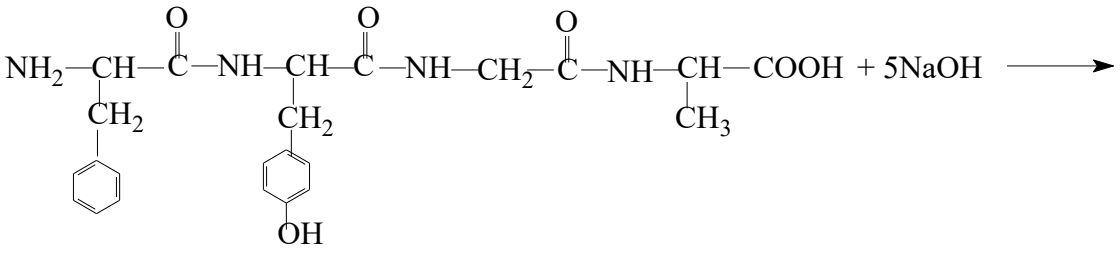
$$146 + 165 + 181 - 18 \cdot 2 = 456 \text{ г/моль}.$$

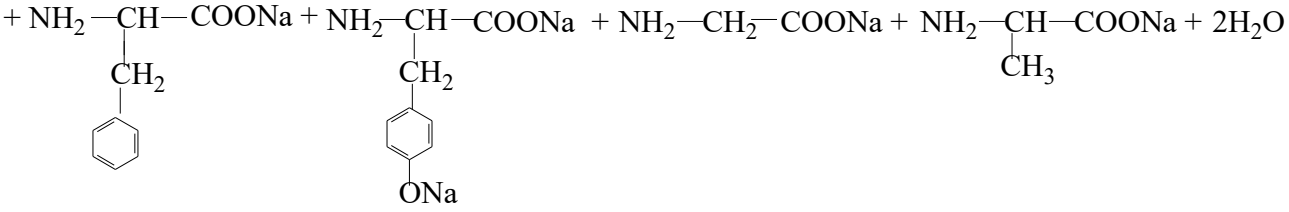
B содержит остаток глутаминовой кислоты (или тирозина) и не содержит лизин. Суммарная масса четырех аминокислот составляет 456 + 18 · 3 = 510 г /моль. **B** – фенилаланин-тирозин-глицин-аланин.

Гидролиз пептидов:

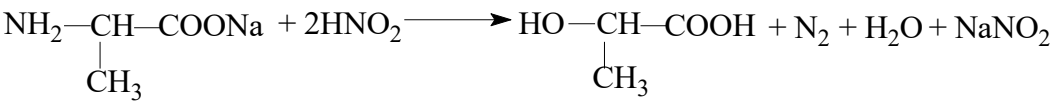


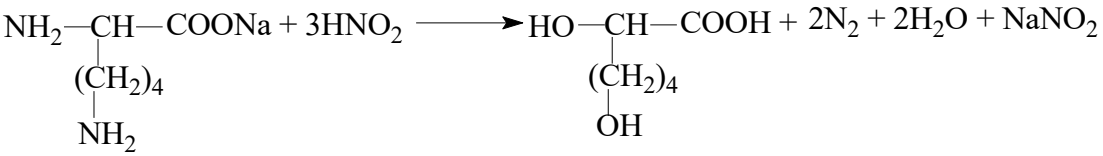






Реакция с азотистой кислотой приведена для солей аланина и лизина. Для солей других аминокислот реакция протекает аналогично реакции аланина:





Ответ: **A** – лизин-фенилаланин-тирозин, **B** – фенилаланин-тирозин-глицин-аланин.

7.3. Определим количества щелочи, затраченной на гидролиз каждого из пептидов:

трипептид **A**: $\nu(NaOH) = \frac{9.84 \cdot 1.22 \cdot 0.2}{40} = 0.06$ моль,

тетрапептид **B**: $\nu(NaOH) = \frac{13.12 \cdot 1.22 \cdot 0.2}{40} = 0.08$ моль.

Из соотношения количеств щелочи (3 : 4) можно заключить, что пептиды не содержат аминокислот с дополнительной кислотной группой (например, глутаминовую кислоту или тирозин).

Реакция продуктов гидролиза с азотистой кислотой показывает количество аминогрупп в аминокислотах:

$$RNH_2 + HNO_2 \rightarrow ROH + N_2\uparrow + H_2O,$$

$$\nu(N_2) = 0.892 / 22.4 = 0.04 \text{ моль}.$$

Сопоставление с количествами щелочи, затраченной на гидролиз, показывает, что трипептид должен содержать один остаток лизина, а тетрапептид его не содержит.

Молярная масса, одинаковая для пептидов, составляет

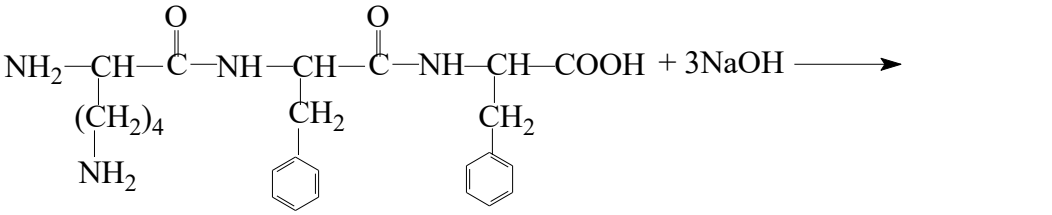
$$M = 8.8 / 0.02 = 440 \text{ г/моль}.$$

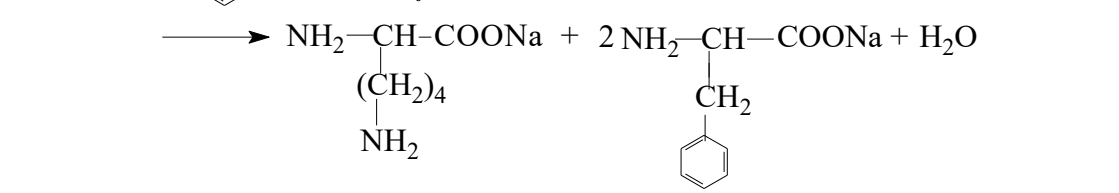
Для **А** подходит вариант лизин-фенилаланин-фенилаланин:

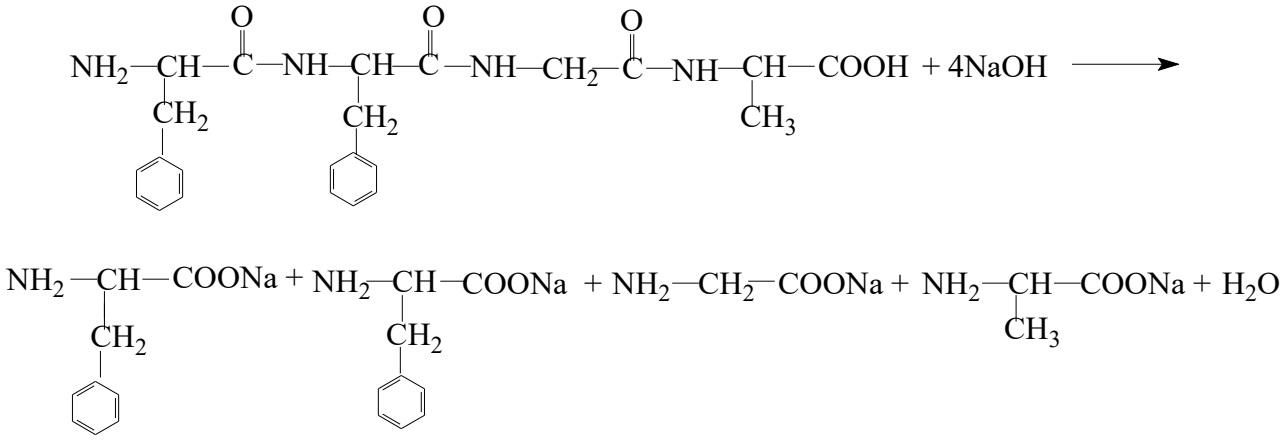
$$146 + 165 + 165 - 18 \cdot 2 = 440 \text{ г/моль}.$$

В не содержит остаток глутаминовой кислоты (или тирозина) и лизина. Суммарная масса четырех аминокислот составляет 440 + 18 · 3 = 494 г /моль. **В** – фенилаланин-фенилаланин-глицин-аланин.

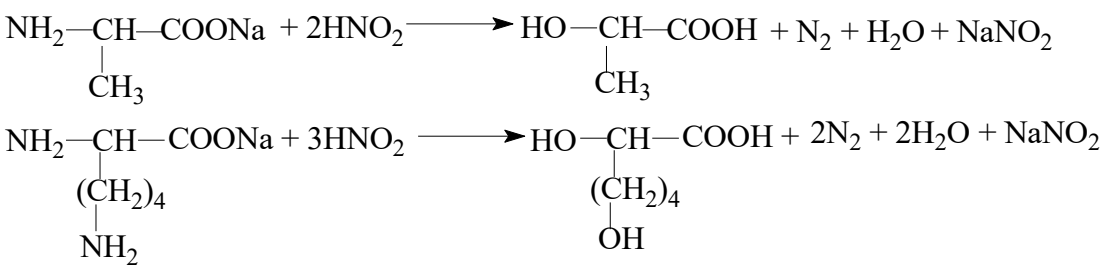
Гидролиз пептидов:







Реакция с азотистой кислотой приведена для солей аланина и лизина. Для солей других аминокислот реакция протекает аналогично реакции аланина:



Ответ: **A** – лизин-фенилаланин-фенилаланин, **B** – фенилаланин-фенилаланин-глицин-аланин.

7.4. Определим количества щелочи, затраченной на гидролиз каждого из пептидов:

трипептид **A**: $\nu(NaOH) = \frac{6.56 \cdot 1.22 \cdot 0.2}{40} = 0.04$ моль,

тетрапептид **B**: $\nu(NaOH) = 0.04$ моль.

Из соотношения количеств щелочи (4 : 4) можно предположить, что трипептид содержит одну аминокислоту с дополнительной кислотной группой (например, глутаминовую кислоту или тирозин).

Реакция продуктов гидролиза с азотистой кислотой показывает количество аминогрупп в аминокислотах:

$$RNH_2 + HNO_2 \rightarrow ROH + N_2\uparrow + H_2O,$$

$$\nu(N_2) = 1.12 / 22.4 = 0.05 \text{ моль}.$$

Сопоставление с количествами щелочи, затраченной на гидролиз, показывает, что трипептид должен содержать два остатка лизина, а тетрапептид – один остаток лизина.

Молярная масса, одинаковая для пептидов, составляет

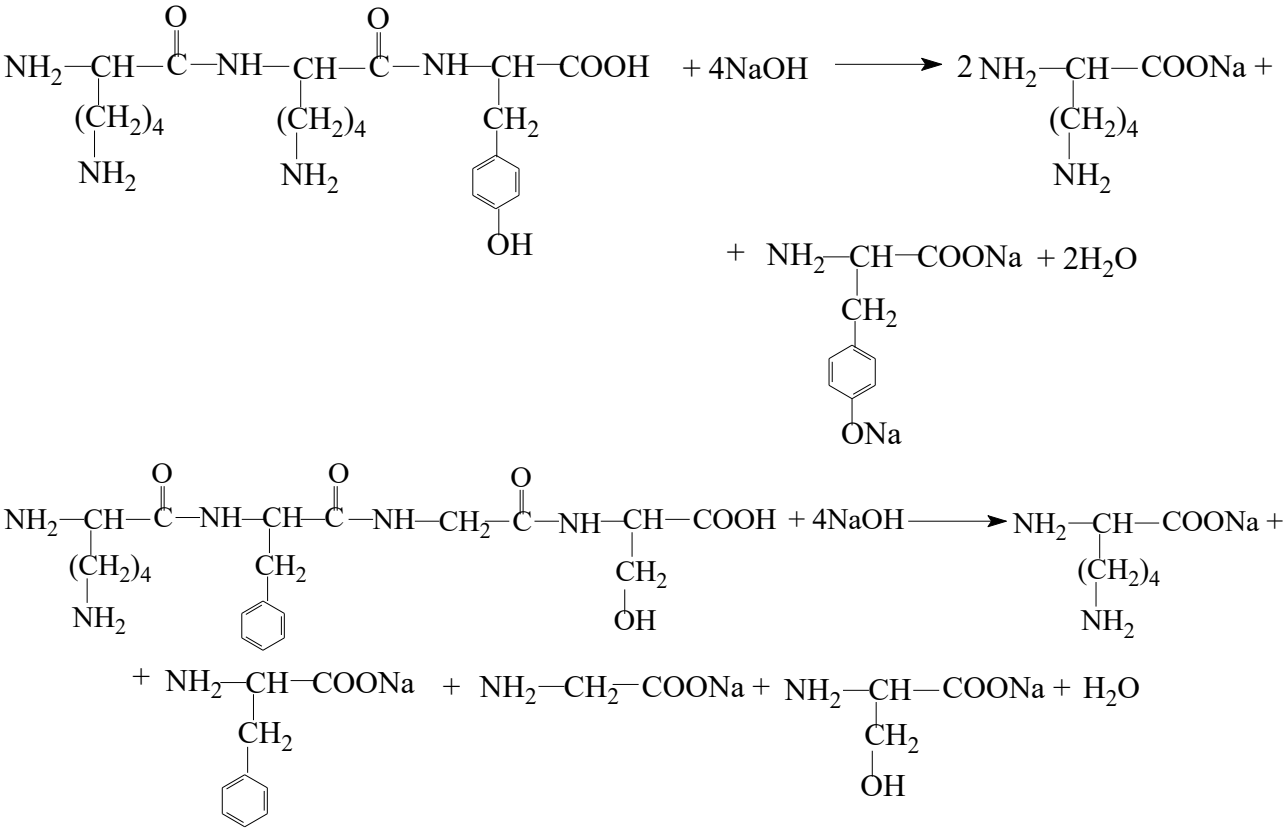
$$M = 4.37 / 0.01 = 437 \text{ г/моль}.$$

Для **A** подходит вариант лизин-лизин-тирозин:

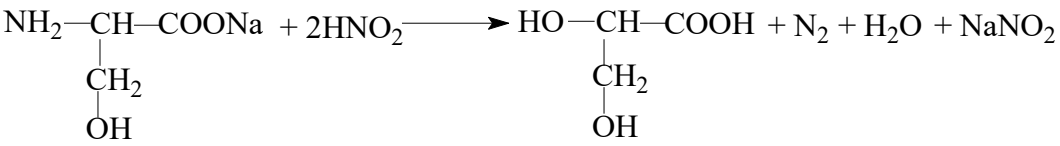
$$146 + 146 + 181 - 18 \cdot 2 = 437 \text{ г/моль}.$$

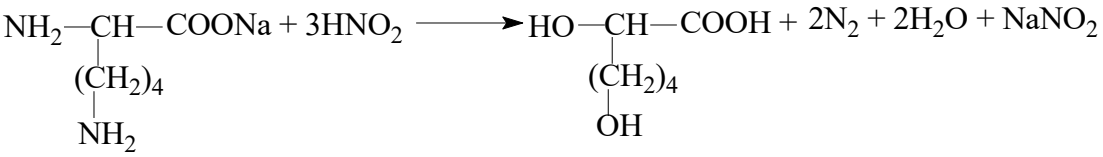
B содержит остаток лизина и не содержит остатков глутаминовой кислоты или тирозина. Суммарная масса четырех аминокислот составляет $437 + 18 \cdot 3 = 491$ г /моль. За вычетом лизина $491 - 146 = 345$ г/моль, это суммарная масса трех аминокислот. Подходят фенилаланин, глицин и серин. Отсюда **B** – это лизин-фенилаланин-глицин-серин.

Гидролиз пептидов:



Реакция с азотистой кислотой приведена для солей серина и лизина. Для солей других аминокислот реакция протекает аналогично реакции серина:





Ответ: **A** – лизин-лизин-тирозин, **B** – лизин-фенилаланин-глицин-серин.

Система оценивания единая для всех вариантов:
Количества щелочи для гидролиза A и B – по 1 баллу.
Вывод о наличии/отсутствии дополнительных кислотных групп у пептидов – 2 балла.
Расчет количества выделившегося азота – 2 балла.
Молярная масса A и B – 1 балл.
Аминокислотные составы A и B – по 2 балла.
Реакции гидролиза A и B – по 1 баллу.
Реакции с азотистой кислотой лизина – 1 балл, прочих аминокислот – в сумме 1 балл.
Всего 1 + 1 + 2 + 2 + 1 + 2 · 2 + 2 · 1 + 1 + 1 = 15 баллов.

Задача 8 (16 баллов)

8.1. Золотистый металл **X –** цезий.

1) $2Cs_2CO_3 + Zr \xrightarrow{t} 4Cs\uparrow + ZrO_2 + 2CO_2$ **A** – Cs_2CO_3
2) $2Cs + 2H_2O \rightarrow 2CsOH + H_2\uparrow$ **B** – $CsOH$
3) $Cs + O_2 \rightarrow CsO_2$ **C** – CsO_2

Содержание кислорода в надпероксиде CsO_2 соответствует условию:

$$\omega(O) = 32 / 165 = 0.194\ (19.4\%).$$

4) $4CsO_2 + 2CO_2 \rightarrow 2Cs_2CO_3 + 3O_2$

Металл **Y** – кобальт.

5) $3Co + 8HNO_3(30\%) \rightarrow 3Co(NO_3)_2 + 2NO\uparrow + 4H_2O$ **D** – $Co(NO_3)_2$
D' – $Co(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$

Массовая доля азота в $Co(NO_3)_2 \cdot xH_2O$ по условию:

$$\omega(N) = 14 \cdot 2 / (183 + 18x) = 0.096,$$

отсюда $x = 6$.

6) $Co(NO_3)_2 + 2CsOH(\text{недост.}) \rightarrow Co(OH)_2\downarrow + 2CsNO_3$ **E** – $Co(OH)_2$
7) $3Co(NO_3)_2 \cdot 6H_2O \xrightarrow{t} Co_3O_4 + 6NO_2 + O_2 + 18H_2O$ **F** – Co_3O_4

$$\omega(Co \text{ в } Co_3O_4) = 177 / 241 = 0.734\ \ (73.4\%).$$

8) $Co_3O_4 + 14HCl(\text{конц}) \rightarrow 3H_2[CoCl_4] + Cl_2 + 4H_2O$ **G** – $H_2[CoCl_4]$
9) $H_2[CoCl_4] + 6H_2O \xrightarrow{\text{охлаждение}} CoCl_2 \cdot 6H_2O\downarrow + 2HCl$
10) $CoCl_2 \cdot 6H_2O + SOCl_2 \xrightarrow{t} CoCl_2(\text{безводн}) + SO_2 + 2HCl + 5H_2O$ **H** – $CoCl_2$

Ответ: **X** – цезий, **Y** – кобальт; **A** – Cs_2CO_3, **B** – $CsOH$, **C** – CsO_2, **D** – $Co(NO_3)_2$, **D'** – $Co(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$, **E** – $Co(OH)_2$, **F** – Co_3O_4, **G** – $H_2[CoCl_4]$, **H** – $CoCl_2$.

Система оценивания: три расчета массовых долей элементов (O, N, Co) – по 1 баллу. Из десяти реакций семь – по 1 баллу, реакции 7, 9 и 10 – по 2 балла.
Всего 3 · 1 + 7 · 1 + 3 · 2 = 16 баллов.

8.2. Металл **X –** рубидий.

1) $2Rb_2CO_3 + Zr \xrightarrow{t} 4Rb\uparrow + ZrO_2 + 2CO_2$ **A** – Rb_2CO_3
2) $2Rb + 2H_2O \rightarrow 2RbOH + H_2$ **B** – RbOH
3) $Rb + O_2 \rightarrow RbO_2$ **C** – RbO_2

$$\omega(Rb \text{ в } RbO_2) = 85 / 117 = 0.726 \ (72.6\%).$$

4) $4RbO_2 + 2CO_2 \rightarrow 2Rb_2CO_3 + 3O_2$

Металл **Y** – железо.

5) $Fe + 4HNO_3(30\%) \rightarrow Fe(NO_3)_3 + NO\uparrow + 2H_2O$ **D** – $Fe(NO_3)_3$

$$\omega(N \text{ в } Fe(NO_3)_3 \cdot xH_2O) = 14 \cdot 3 / (242 + 18x) = 0.104,\ x = 9$$

D' – $Fe(NO_3)_3 \cdot 9H_2O$

6) $2Fe(NO_3)_3 + 3Rb_2CO_3 + 3H_2O \rightarrow 2Fe(OH)_3\downarrow + 3CO_2 + 6RbNO_3$ **E** – $Fe(OH)_3$
7) $2Fe(NO_3)_3 \cdot 9H_2O \xrightarrow{t} Fe_2O_3 + 6NO_2 + 3/2O_2 + 18H_2O$ **F** – Fe_2O_3

$$\omega(Fe \text{ в } Fe_2O_3) = 56 \cdot 2 / 160 = 0.70 \ (70.0\%)$$

8) $Fe_2O_3 + Rb_2CO_3 \xrightarrow{t} 2RbFeO_2 + CO_2$ **G** – $RbFeO_2$
9) $2RbFeO_2 + 3Cl_2 + 8RbOH \rightarrow 2Rb_2FeO_4 + 6RbCl + 4H_2O$ **H** – Rb_2FeO_4
10) $2Rb_2FeO_4 + 10HNO_3 \rightarrow 2Fe(NO_3)_3 + 3/2O_2 + 4RbNO_3 + 5H_2O$

Ответ: **X** – рубидий, **Y** – железо, **A** – Rb_2CO_3, **B** – RbOH, **C** – RbO_2, **D** – $Fe(NO_3)_3$, **D'** – $Fe(NO_3)_3 \cdot 9H_2O$, **E –** $Fe(OH)_3$, **F** – Fe_2O_3, **G** – $RbFeO_2$, **H** – Rb_2FeO_4.

Система оценивания: три расчета массовых долей элементов (Rb, N, Fe) – по 1 баллу. Из десяти реакций семь – по 1 баллу, реакции 7, 9 и 10 – по 2 балла.
Всего 3 · 1 + 7 · 1 + 3 · 2 = 16 баллов.

8.3. Металл **X –** калий.

1) $KCl + Na \xrightarrow{t} K\uparrow + NaCl$ **A** – KCl
2) $2K + 2H_2O \rightarrow 2KOH + H_2$ **B** – KOH
3) $K + O_2 \rightarrow KO_2$ **C** – KO_2
4) $4KO_2 + 2CO_2 \rightarrow 2K_2CO_3 + 3O_2$ **D** – K_2CO_3

$$\omega(C \text{ в } K_2CO_3) = 12 / 138 = 0.087 \ (8.7\%)$$

5) $K_2CO_3 + 2HCl \rightarrow 2KCl + CO_2 + H_2O$

Металл **Y** – марганец.

6) $3Mn + 8HNO_{3\ 30\%} \rightarrow 3Mn(NO_3)_2 + 2NO + 4H_2O$ **E** – $Mn(NO_3)_2$

$$\omega(Mn \text{ в } Mn(NO_3)_2 \cdot 6H_2O) = 55 / (179 + 18x) = 0.192,\ x = 6$$

E' – $Mn(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$

7) $Mn(NO_3)_2 \cdot 6H_2O \xrightarrow{200^o} MnO_2 + 2NO_2 + 6H_2O$ **F** – MnO_2

$$\omega(Mn \text{ в } MnO_2) = 55 / 87 = 0.632 \ (63.2\%)$$

8) $MnO_2 + 2KOH + 1/2O_2 \xrightarrow{t} K_2MnO_4 + H_2O$ **G** – K_2MnO_4
9) $3K_2MnO_4 + 4NH_4Cl \rightarrow 2KMnO_4 + MnO_2 + 4NH_3 + 4KCl + 2H_2O$ **H** – $KMnO_4$
10) $2KMnO_4 + 2KOH(конц) \xrightarrow{t} 2K_2MnO_4 + H_2O + 1/2O_2$

Ответ: **X** – калий, **Y** – марганец; **A** – KCl, **B** – KOH, **C** – KO_2, **D** – K_2CO_3, **E** – $Mn(NO_3)_2$, **E'** – $Mn(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$, **F** – MnO_2, **G** – K_2MnO_4, **H** – $KMnO_4$.

Система оценивания: три расчета массовых долей элементов (C, Mn, Mn) – по 1 баллу. Из десяти реакций семь – по 1 баллу, реакции 7, 9 и 10 – по 2 балла.
Всего 3 · 1 + 7 · 1 + 3 · 2 = 16 баллов.

8.4. Металл **X** – калий.

1) $KOH + Na \xrightarrow{t} K\uparrow + NaOH$ **A** – KOH
2) $K + O_2 \rightarrow KO_2$ **B** – KO_2

ω(O в KO_2) = 32 / 71 = 0.451 (45.1%)

3) $4KO_2 + 2CO_2 \rightarrow 2K_2CO_3 + 3O_2$ **C** – K_2CO_3
4) $2KO_2 + 2H_2O \rightarrow 2KOH + H_2O_2 + O_2$
5) $KOH + HI \rightarrow KI + H_2O$ **D** – KI

Металл ***Y*** – никель.

6) $Ni + H_2SO_4(р\text{-}р) \rightarrow NiSO_4 + H_2$ **E** – $NiSO_4$
7) $NiSO_4 + (NH_4)_2SO_4 + 6H_2O \xrightarrow{0^o} (NH_4)_2Ni(SO_4)_2 \cdot 6H_2O\downarrow$ **F** – $(NH_4)_2Ni(SO_4)_2 \cdot 6H_2O$

ω(Ni в $(NH_4)_2Ni(SO_4)_2 \cdot 6H_2O$) = 59 / 395 = 0.149 (14.9%)

8) $NiSO_4 + 2KOH \rightarrow Ni(OH)_2\downarrow + K_2SO_4$ **G** – $Ni(OH)_2$
9) $NiSO_4 + 6NH_3 \cdot H_2O \rightarrow [Ni(NH_3)_6]SO_4 + 6H_2O$ **H** – $[Ni(NH_3)_6]SO_4$

ω(N в $[Ni(NH_3)_6]^{2+}$) = 14 · 6 / 161 = 0.522 (52.2%)

10) $[Ni(NH_3)_6]SO_4 + 2KI \rightarrow [Ni(NH_3)_6]I_2\downarrow + K_2SO_4$ **I** – $[Ni(NH_3)_6]I_2$

Ответ: **X** – калий, **Y** – никель. **A** – KOH, **B** – KO_2, **C** – K_2CO_3, **D** – KI, **E** – $NiSO_4$, **F** – $(NH_4)_2Ni(SO_4)_2 \cdot 6H_2O$, **G** – $Ni(OH)_2$, **H** – $[Ni(NH_3)_6]SO_4$, **I** – $[Ni(NH_3)_6]I_2$.

Система оценивания: три расчета массовых долей элементов (O, Ni, N) – по 1 баллу. Из десяти реакций семь – по 1 баллу, реакции 7, 9 и 10 – по 2 балла.
Всего 3 · 1 + 7 · 1 + 3 · 2 = 16 баллов.