

Задания отборочного тура олимпиады «Ломоносов» по химии (10-11 классы)

Задача 1 (4 балла)

1.1. Приведите пример растворимой в воде соли, при добавлении к которой как раствора карбоната натрия, так и раствора фторида калия образуется осадок. Запишите уравнения соответствующих реакций.

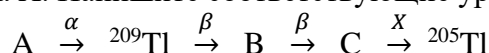
1.2. Приведите пример растворимой в воде соли, при добавлении к которой как раствора нитрата серебра, так и избытка раствора щелочи образуется осадок. Запишите уравнения соответствующих реакций.

1.3. Приведите пример растворимой в воде соли, при добавлении к которой как избытка раствора аммиака, так и избытка раствора гидроксида натрия образуется осадок. Запишите уравнения соответствующих реакций.

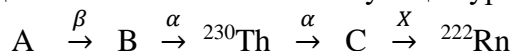
1.4. Приведите пример растворимой в воде соли, при добавлении к которой как соляной кислоты, так и раствора гидроксида натрия выделяется газ. Запишите уравнения соответствующих реакций.

Задача 2 (8 баллов)

2.1. На схеме представлен фрагмент радиоактивного ряда. Определите неизвестные элементы А, В и С, а также тип распада X. Напишите соответствующие уравнения реакций.



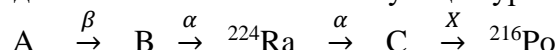
2.2. На схеме представлен фрагмент радиоактивного ряда. Определите неизвестные элементы А, В и С, а также тип распада X. Напишите соответствующие уравнения реакций.



2.3. На схеме представлен фрагмент радиоактивного ряда. Определите неизвестные элементы А, В и С, а также тип распада X. Напишите соответствующие уравнения реакций.

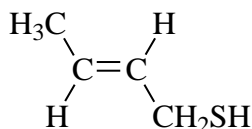


2.4. На схеме представлен фрагмент радиоактивного ряда. Определите неизвестные элементы А, В и С, а также тип распада X. Напишите соответствующие уравнения реакций.

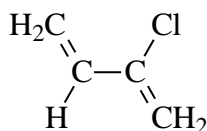


Задача 3 (10 баллов)

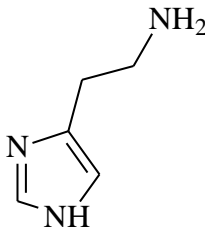
3.1. Транс-бут-2-ентиол – основной компонент жидкости, вырабатываемой железой скунса. Рассчитайте плотность (в единицах г/л) газовой смеси, полученной при полном сгорании транс-бут-2-ентиола (108°C, 1 атм).



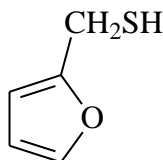
3.2. Полимер, получаемый из хлоропрена (2-хлорбутадиена-1,3), широко используется для производства электроизоляционных материалов. Рассчитайте плотность (в единицах г/л) газовой смеси, полученной при полном сгорании хлоропрена (105°C, 1 атм).



3.3. Гистамин является биогенным амином и медиатором аллергических реакций. Рассчитайте плотность (в единицах г/л) газовой смеси, полученной при полном сгорании гистамина (29°C, 1 атм).



3.4. Основной носитель запаха жареного кофе – 2-фурфурилтиол. Рассчитайте плотность (в единицах г/л) газовой смеси, полученной при полном сгорании этого вещества (105°C, 1 атм).



Задача 4 (12 баллов)

4.1. Кислотный оксид XO_3 массой 7.62 г, представляющий собой кристаллическое вещество, обработали 125 г 13.44%-ного раствора гидроксида калия и получили раствор, в котором массовая доля соли составила 10%. Определите элемент **X** и установите формулу соли. Рассчитайте массовую долю щелочи в конечном растворе.

4.2. Кислотный оксид XO_2 массой 11.2 г, представляющий собой кристаллическое вещество, обработали 166.6 г 14.12%-ного раствора гидроксида калия и получили раствор, в котором массовая доля соли составила 10%. Определите элемент **X** и установите формулу соли. Рассчитайте массовую долю щелочи в конечном растворе.

4.3. Кислотный оксид XO_3 массой 4.50 г, представляющий собой кристаллическое вещество, обработали 170.1 г 7.90%-ного раствора гидроксида калия и получили раствор, в котором массовая доля соли составила 5%. Определите элемент **X** и установите формулу соли. Рассчитайте массовую долю щелочи в конечном растворе.

4.4. Кислотный оксид XO_2 массой 5.55 г, представляющий собой кристаллическое вещество, обработали 140.9 г 8.74%-ного раствора гидроксида калия и получили раствор, в котором массовая доля соли составила 7%. Определите элемент **X** и установите формулу соли. Рассчитайте массовую долю щелочи в конечном растворе.

Задача 5 (14 баллов)

5.1. Изомерные спирты **A** (оптически активный) и **B** (оптически неактивный) имеют брутто-формулу $\text{C}_4\text{H}_8\text{O}$. Обработка спиртов концентрированной серной кислотой дает один и тот же углеводород **C**. При действии бромоводорода на **C** возможно образование двух изомеров **D** и **E** состава $\text{C}_4\text{H}_7\text{Br}$. Определите неизвестные соединения, запишите уравнения протекающих реакций.

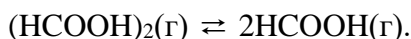
5.2. Изомерные хлориды **A** (оптически активный) и **B** (оптически неактивный) имеют брутто-формулу C_4H_7Cl . Обработка хлоридов спиртовым раствором щелочи дает один и тот же углеводород **C**. При действии бромоводорода на **C** возможно образование двух изомеров **D** и **E** состава C_4H_7Br . Определите неизвестные соединения, запишите уравнения протекающих реакций.

5.3. Изомерные бромиды **A** (оптически активный) и **B** (оптически неактивный) имеют брутто-формулу C_5H_7Br . Обработка бромидов спиртовым раствором щелочи дает один и тот же углеводород **C**, образующий при действии хлороводорода только одно соединение **D** состава C_5H_7Cl . Определите неизвестные соединения, запишите уравнения протекающих реакций.

5.4. Изомерные спирты **A** (оптически активный) и **B** (оптически неактивный) имеют брутто-формулу C_5H_8O . Обработка спиртов концентрированной серной кислотой дает один и тот же углеводород **C**, образующий при действии бромоводорода только одно соединение **D** состава C_5H_7Br . Определите неизвестные соединения, запишите уравнения протекающих реакций.

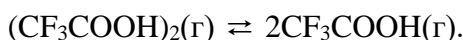
Задача 6 (16 баллов)

6.1. Муравьиная кислота в газовой фазе частично димеризована и находится в равновесии со своим димером:



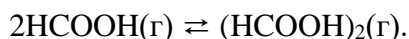
При температуре $150\text{ }^{\circ}C$ и давлении 0.888 атм плотность равновесной газовой смеси равна 1.37 г/л . Рассчитайте константу равновесия K_c реакции диссоциации димера, выраженную через равновесные молярные концентрации. Газовую смесь считайте идеальной.

6.2. Трифторуксусная кислота в газовой фазе частично димеризована и находится в равновесии со своим димером:



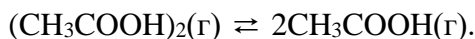
При температуре $150\text{ }^{\circ}C$ и давлении 0.906 атм плотность равновесной газовой смеси равна 3.36 г/л . Рассчитайте константу равновесия K_c реакции диссоциации димера, выраженную через равновесные молярные концентрации. Газовую смесь считайте идеальной.

6.3. Муравьиная кислота в газовой фазе частично димеризована и находится в равновесии со своим димером:



При температуре $140\text{ }^{\circ}C$ и давлении 0.864 атм плотность равновесной газовой смеси равна 1.42 г/л . Рассчитайте константу равновесия K_c реакции димеризации, выраженную через равновесные молярные концентрации. Газовую смесь считайте идеальной.

6.4. Уксусная кислота в газовой фазе частично димеризована и находится в равновесии со своим димером:



При температуре $180\text{ }^{\circ}C$ и давлении 0.987 атм плотность равновесной газовой смеси равна 1.84 г/л . Рассчитайте константу равновесия K_c реакции диссоциации димера, выраженную через равновесные молярные концентрации. Газовую смесь считайте идеальной.

Задача 7 (18 баллов)

7.1. Образец фторапатита $Ca_5(PO_4)_3F$ массой 201.4 г прокалили при $1400^{\circ}C$ со смесью кварцевого песка и углерода. После конденсации выделившихся паров было получено воскообразное вещество **A** светло-желтого цвета. Вещество **A** разделили на две равные части, первую обработали при нагревании избытком кислорода, вторую – избытком хлора. Полученные при этом твердые вещества **B** и **C** объединили, осторожно нагрели, а затем при $105^{\circ}C$ отогнали образовавшуюся жидкость **D**.

Определите вещества **A – D**, напишите уравнения всех реакций. Рассчитайте массовые доли веществ, образовавшихся при обработке **D** раствором гидроксида калия с концентрацией 1 моль/л объемом 500 мл (плотность 1.05 г/мл). Считайте, что все реакции протекают с выходом 100%.

7.2. Образец хлорапатита $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{Cl}$ массой 41.64 г прокалили при 1400°C со смесью кварцевого песка и углерода. После конденсации выделившихся паров было получено воскообразное вещество **A** светло-желтого цвета. Вещество **A** разделили на две равные части, первую обработали при нагревании избытком кислорода, вторую – избытком хлора. Полученные при этом твердые вещества **B** и **C** объединили, осторожно нагрели, а затем при 105°C отогнали образовавшуюся жидкость **D**.

Определите вещества **A – D**, напишите уравнения всех реакций. Рассчитайте массовые доли веществ, образовавшихся при обработке **D** раствором гидроксида калия с концентрацией 2 моль/л объемом 450 мл (плотность 1.09 г/мл). Считайте, что все реакции протекают с выходом 100%.

7.3. Образец фторапатита $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{F}$ массой 40.32 г прокалили при 1400°C со смесью кварцевого песка и углерода. После конденсации выделившихся паров было получено воскообразное вещество **A** светло-желтого цвета. Вещество **A** разделили на две равные части, первую обработали при нагревании избытком кислорода, вторую – избытком хлора. Полученные при этом твердые вещества **B** и **C** объединили, осторожно нагрели, а затем при 105°C отогнали образовавшуюся жидкость **D**.

Определите вещества **A – D**, напишите уравнения всех реакций. Рассчитайте массовые доли веществ, образовавшихся при обработке **D** раствором гидроксида калия с концентрацией 2 моль/л объемом 675 мл (плотность 1.09 г/мл). Считайте, что все реакции протекают с выходом 100%.

7.4. Образец хлорапатита $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{Cl}$ массой 62.46 г прокалили при 1400°C со смесью кварцевого песка и углерода. После конденсации выделившихся паров было получено воскообразное вещество **A** светло-желтого цвета. Вещество **A** разделили на две равные части, первую обработали при нагревании избытком кислорода, вторую – избытком хлора. Полученные при этом твердые вещества **B** и **C** объединили, осторожно нагрели, а затем при 105°C отогнали образовавшуюся жидкость **D**.

Определите вещества **A – D**, напишите уравнения всех реакций. Рассчитайте массовые доли веществ, образовавшихся при обработке **D** раствором гидроксида калия с концентрацией 2.5 моль/л объемом 640 мл (плотность 1.11 г/мл). Считайте, что все реакции протекают с выходом 100%.

Задача 8 (18 баллов)

8.1. Навеску амида карбоновой кислоты **A** разделили на три равные части. Нагревание первой части с водным раствором гидроксида натрия привело к выделению 2.84 л (15°C , 1 атм) газа **B**. При нагревании второй части навески с избытком раствора брома в щелочи образовалось 2.94 л (25°C , 1 атм) газа **C**, масса которого оказалась больше массы **B** на 82.35%. Добавление натрия к раствору третьей части навески в этаноле с последующим нагреванием привело к получению 2.99 л (30°C , 1 атм) газа **D**, масса которого была в 1.452 раза больше массы **C**. Определите массу исходной навески амида, установите структурные формулы соединений **A – D**. Напишите уравнения протекающих реакций. Примите, что все реакции идут с выходом 100%.

8.2. Навеску амида карбоновой кислоты **A** разделили на три равные части. Нагревание первой части с водным раствором гидроксида натрия привело к выделению 4.26 л (15 °С, 1 атм) газа **B**. При нагревании второй части навески с избытком раствора брома в щелочи образовалось 4.33 л (20 °С, 1 атм) газа **C**, масса которого оказалась в 1.824 раза больше массы **B**. Добавление натрия к раствору третьей части навески в этаноле с последующим нагреванием привело к получению 4.48 л (30 °С, 1 атм) газа **D**, масса которого оказалась на 164.7% больше массы газа **B**. Определите массу исходной навески амида, установите структурные формулы соединений **A – D**. Напишите уравнения протекающих реакций. Примите, что все реакции идут с выходом 100%.

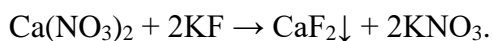
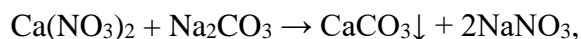
8.3. Навеску амида карбоновой кислоты **A** разделили на три равные части. Нагревание первой части с водным раствором гидроксида натрия привело к выделению 3.55 л (15 °С, 1 атм) газа **B**. При нагревании второй части навески с избытком раствора брома в щелочи образовалось 3.73 л (30 °С, 1 атм) газа **C**, масса которого оказалась в 2.65 раза больше массы **B**. Добавление натрия к раствору третьей части навески в этаноле с последующим нагреванием привело к получению 3.98 л (50 °С, 1 атм) газа **D**, масса которого оказалась на 31.11% больше массы **C**. Определите массу исходной навески амида, установите структурные формулы соединений **A – D**. Напишите уравнения протекающих реакций. Примите, что все реакции идут с выходом 100%.

8.4. Навеску амида карбоновой кислоты **A** разделили на три равные части. Нагревание первой части с водным раствором гидроксида натрия привело к выделению 4.73 л (15°С, 1 атм) газа **B**. При нагревании второй части навески с избытком раствора брома в щелочи образовалось 4.89 л (25 °С, 1 атм) газа **C**, масса которого оказалась больше массы **B** на 164.7%. Добавление натрия к раствору третьей части навески в этаноле с последующим нагреванием привело к получению 5.30 л (50 °С, 1 атм) газа **D**, масса которого оказалась в 3.471 раза больше массы **B**. Определите массу исходной навески амида, установите структурные формулы соединений **A – D**. Напишите уравнения протекающих реакций. Примите, что все реакции идут с выходом 100%.

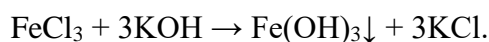
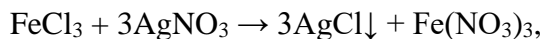
Решения заданий отборочного тура олимпиады «Ломоносов» по химии (10-11 классы)

Задача 1 (4 балла)

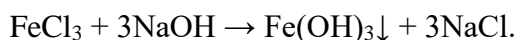
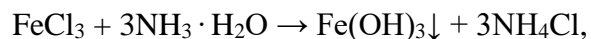
1.1. Один из вариантов ответа – растворимая соль кальция:



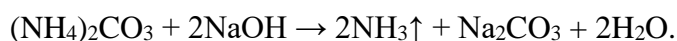
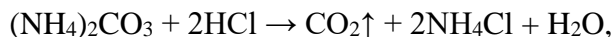
1.2. Один из вариантов ответа – растворимый галогенид железа:



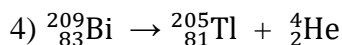
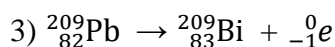
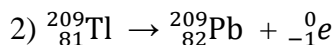
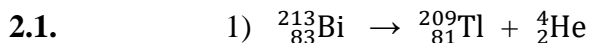
1.3. Один из вариантов ответа – растворимый галогенид металла, образующего нерастворимый гидроксид и не образующего комплексного соединения как с избытком щелочи, так и с избытком аммиака:



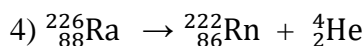
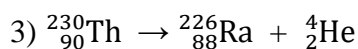
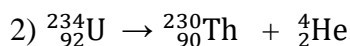
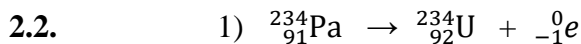
1.4. Один из вариантов ответа – карбонат аммония:



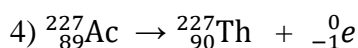
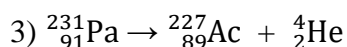
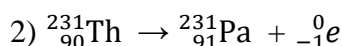
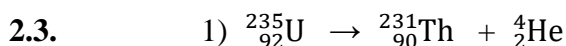
Задача 2 (8 баллов)



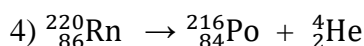
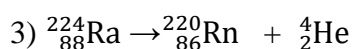
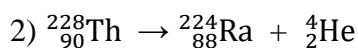
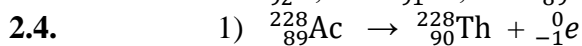
Ответ: А – ${}^{213}_{83}\text{Bi}$, В – ${}^{209}_{82}\text{Pb}$, С – ${}^{209}_{83}\text{Bi}$, Х – α -распад.



Ответ: А – ${}^{234}_{91}\text{Pa}$, В – ${}^{234}_{92}\text{U}$, С – ${}^{226}_{88}\text{Ra}$, Х – α -распад.



Ответ: А – ${}^{235}_{92}\text{U}$, В – ${}^{231}_{91}\text{Pa}$, С – ${}^{227}_{89}\text{Ac}$, Х – β -распад.



Ответ: А – ${}^{228}_{89}\text{Ac}$, В – ${}^{228}_{90}\text{Th}$, С – ${}^{220}_{86}\text{Rn}$, Х – α -распад.

Задача 3 (10 баллов)

3.1. Запишем уравнение полного сгорания *транс*-бут-2-ентиола:



При сгорании 1 моль вещества образовалось 9 моль продуктов (в указанных условиях все продукты реакции – газы). Средняя молярная масса смеси продуктов:

$$M_{\text{ср}} = \frac{44 \cdot 4 + 18 \cdot 4 + 64 \cdot 1}{9} = 34.67 \text{ г/моль.}$$

Плотность газовой смеси при указанных условиях:

$$\rho = \frac{p \cdot M}{R \cdot T} = \frac{101.3 \cdot 34.67}{8.314 \cdot 381} = 1.109 \text{ г/л.}$$

Ответ: 1.109 г/л.

3.2. Запишем уравнение полного сгорания хлоропрена:



При сгорании 1 моль вещества образовалось 7 моль продуктов (в указанных условиях все продукты реакции – газы). Средняя молярная масса смеси продуктов:

$$M_{\text{ср}} = \frac{44 \cdot 4 + 18 \cdot 2 + 36.5 \cdot 1}{7} = 35.5 \text{ г/моль.}$$

Плотность газовой смеси при указанных условиях:

$$\rho = \frac{p \cdot M}{R \cdot T} = \frac{101.3 \cdot 35.5}{8.314 \cdot 378} = 1.144 \text{ г/л.}$$

Ответ: 1.144 г/л.

3.3. Запишем уравнение полного сгорания гистамина:



При сгорании 1 моль вещества образовалось 6.5 моль газообразных продуктов (в указанных условиях CO_2 и N_2 – газы, вода – жидкость). Средняя молярная масса газовой смеси:

$$M_{\text{ср}} = \frac{44 \cdot 5 + 28 \cdot 1.5}{6.5} = 40.3 \text{ г/моль.}$$

Плотность газовой смеси при указанных условиях:

$$\rho = \frac{p \cdot M}{R \cdot T} = \frac{101.3 \cdot 40.3}{8.314 \cdot 302} = 1.626 \text{ г/л.}$$

Ответ: 1.626 г/л.

3.4. Запишем уравнение полного сгорания 2-фурфурилтиола:



При сгорании 1 моль вещества образовалось 9 моль продуктов (в указанных условиях все продукты реакции – газы). Средняя молярная масса смеси продуктов:

$$M_{\text{ср}} = \frac{44 \cdot 5 + 18 \cdot 3 + 64 \cdot 1}{9} = 37.56 \text{ г/моль.}$$

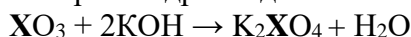
Плотность газовой смеси при указанных условиях:

$$\rho = \frac{p \cdot M}{R \cdot T} = \frac{101.3 \cdot 37.56}{8.314 \cdot 378} = 1.209 \text{ г/л.}$$

Ответ: 1.209 г/л.

Задача 4 (12 баллов)

4.1. Так как в конечном растворе по условию остался избыток щелочи, можно предположить, что при реакции оксида XO_3 с раствором гидроксида калия образовалась соль состава K_2XO_4 :



Масса образовавшегося раствора:

$$m(\text{р-ра}) = 125 + 7.62 = 132.62 \text{ г,}$$

масса соли в нем:

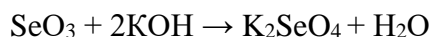
$$m(\text{соли}) = 132.62 \cdot 0.1 = 13.262 \text{ г.}$$

По уравнению реакции количества оксида и соли равны:

$$\nu(\text{XO}_3) = \nu(\text{K}_2\text{XO}_4),$$

$$7.62 / (M_{\text{X}} + 48) = 13.262 / (M_{\text{X}} + 142),$$

$$M_{\text{X}} = 79 \text{ г/моль, X – селен.}$$



Количество вещества исходного оксида:

$$\nu(\text{SeO}_3) = 7.62 / 127 = 0.06 \text{ моль.}$$

В реакцию с SeO_3 вступило щелочи

$$\nu(\text{KOH}) = 0.06 \cdot 2 = 0.12 \text{ моль.}$$

В конечном растворе осталось KOH

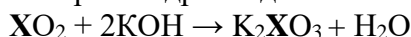
$$m(\text{KOH}) = 125 \cdot 0.1344 - 56 \cdot 0.12 = 10.08 \text{ г,}$$

его массовая доля

$$\omega(\text{KOH}) = 10.08 / 132.62 = 0.076 (7.6\%).$$

Ответ: X – селен, соль – K_2SeO_4 , 7.6% KOH.

4.2. Так как в конечном растворе по условию остался избыток щелочи, можно предположить, что при реакции оксида XO_2 с раствором гидроксида калия образовалась соль состава K_2XO_3 :



Масса образовавшегося раствора:

$$m(\text{р-ра}) = 166.6 + 11.2 = 177.8 \text{ г,}$$

масса соли в нем:

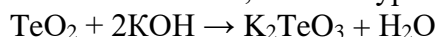
$$m(\text{соли}) = 177.8 \cdot 0.1 = 17.78 \text{ г.}$$

По уравнению реакции количества оксида и соли равны:

$$\nu(\text{XO}_2) = \nu(\text{K}_2\text{XO}_3),$$

$$11.2 / (M_x + 32) = 17.78 / (M_x + 126),$$

$$M_x = 128 \text{ г/моль, X – теллур.}$$



Количество вещества исходного оксида:

$$\nu(\text{TeO}_2) = 11.2 / 160 = 0.07 \text{ моль.}$$

В реакцию с TeO_2 вступило щелочи

$$\nu(\text{KOH}) = 0.07 \cdot 2 = 0.14 \text{ моль.}$$

В конечном растворе осталось KOH

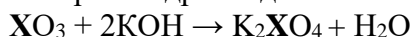
$$m(\text{KOH}) = 166.6 \cdot 0.1412 - 56 \cdot 0.14 = 15.68 \text{ г,}$$

его массовая доля

$$\omega(\text{KOH}) = 15.68 / 177.8 = 0.088 (8.8\%).$$

Ответ: X – теллур, соль – K_2TeO_3 , 8.8% KOH.

4.3. Так как в конечном растворе по условию остался избыток щелочи, можно предположить, что при реакции оксида XO_3 с раствором гидроксида калия образовалась соль состава K_2XO_4 :



Масса образовавшегося раствора:

$$m(\text{р-ра}) = 170.1 + 4.50 = 174.6 \text{ г,}$$

$$m(\text{соли}) = 174.6 \cdot 0.05 = 8.73 \text{ г.}$$

По уравнению реакции количества оксида и соли равны:

$$\nu(\text{XO}_3) = \nu(\text{K}_2\text{XO}_4),$$

$$4.50 / (M_x + 48) = 8.73 / (M_x + 142),$$

$$M_x = 52 \text{ г/моль, X – хром.}$$

Количество вещества исходного оксида:

$$\nu(\text{CrO}_3) = 4.50 / 100 = 0.045 \text{ моль.}$$

В реакцию с CrO_3 вступило щелочи:

$$\nu(\text{KOH}) = 0.045 \cdot 2 = 0.09 \text{ моль.}$$

В конечном растворе осталось KOH

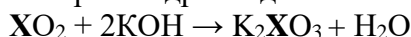
$$m(\text{KOH}) = 170.1 \cdot 0.0790 - 56 \cdot 0.09 = 8.40 \text{ г,}$$

его массовая доля

$$\omega(\text{KOH}) = 8.40 / 174.6 = 0.048 (4.8\%).$$

Ответ: X – хром, соль – K_2CrO_4 , 4.8% KOH.

4.4. Так как в конечном растворе по условию остался избыток щелочи, можно предположить, что при реакции оксида XO_2 с раствором гидроксида калия образовалась соль состава K_2XO_3 :



Масса образовавшегося раствора:

$$m(\text{р-а}) = 140.9 + 5.55 = 146.45 \text{ г,}$$

масса соли в нем:

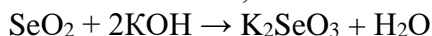
$$m(\text{соли}) = 146.45 \cdot 0.07 = 10.25 \text{ г.}$$

По уравнению реакции количества оксида и соли равны:

$$\nu(\text{XO}_2) = \nu(\text{K}_2\text{XO}_3),$$

$$5.55 / (M_x + 32) = 10.25 / (M_x + 126),$$

$$M_x = 79 \text{ г/моль, X – селен.}$$



Количество вещества исходного оксида:

$$\nu(\text{SeO}_2) = 5.55 / 111 = 0.05 \text{ моль.}$$

В реакцию с SeO_2 вступило щелочи

$$\nu(\text{KOH}) = 0.05 \cdot 2 = 0.10 \text{ моль.}$$

В конечном растворе осталось KOH

$$m(\text{KOH}) = 140.9 \cdot 0.0874 - 56 \cdot 0.10 = 6.71 \text{ г,}$$

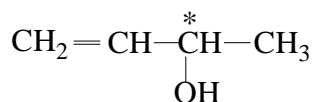
ее массовая доля

$$\omega(\text{KOH}) = 6.71 / 146.45 = 0.046 (4.6\%).$$

Ответ: X – селен, соль – K_2SeO_3 , 4.6% KOH.

Задача 5 (14 баллов)

5.1. Изомерные спирты, отвечающие брутто-формуле $\text{C}_4\text{H}_8\text{O}$:

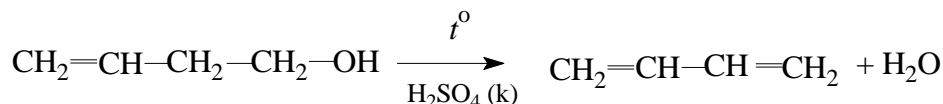
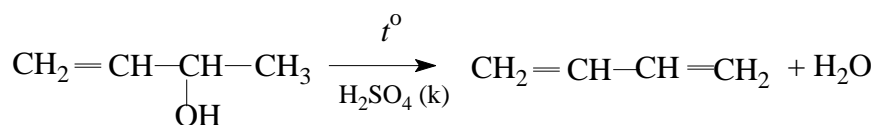


спирт А, оптически активный

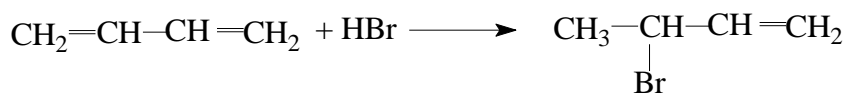


спирт В, оптически неактивный

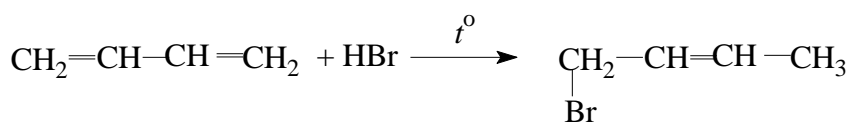
Дегидратация спиртов под действием концентрированной H_2SO_4 приводит к одному и тому же продукту – бутadiену (С):



Присоединение эквимолярного количества бромоводорода к С, в зависимости от условий, дает разные продукты – изомеры состава $\text{C}_4\text{H}_7\text{Br}$:

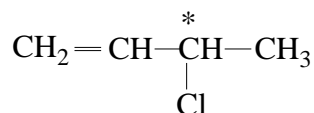


D (1,2-присоединение)



E (1,4-присоединение)

5.2. Изомерные хлориды, отвечающие брутто-формуле C₄H₇Cl:

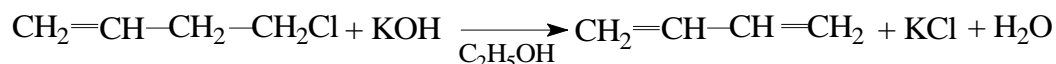
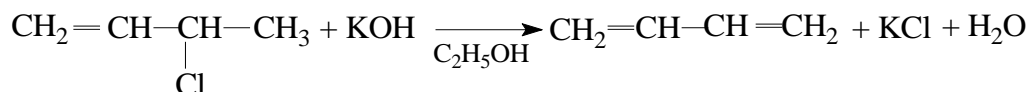


A, оптически активный

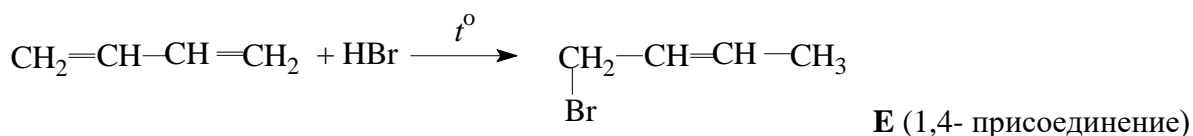
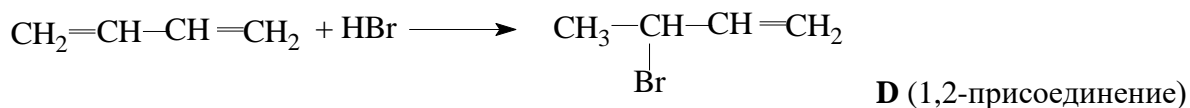


B, оптически неактивный

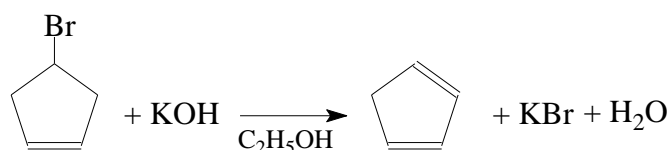
Дегидрогалогенирование под действием спиртового раствора щелочи приводит к одному и тому же продукту – бутadiену (**C**):



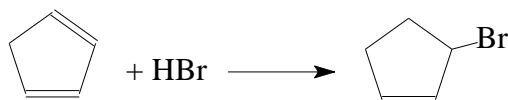
Присоединение эквимолярного количества бромоводорода к **C**, в зависимости от условий, дает разные продукты – изомеры состава C₄H₇Br:



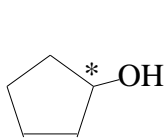
5.3.



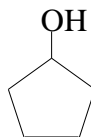
Присоединение бромоводорода к **C** дает только одно соединение **D**:



5.4. Изомерные спирты, отвечающие брутто-формуле C₅H₈O:

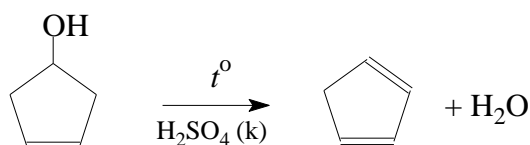
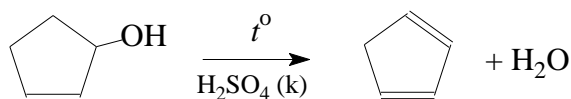


спирт **A**, оптически активный

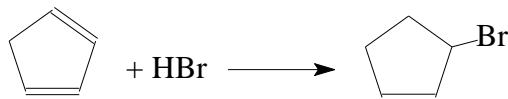


спирт **B**, оптически неактивный

Дегидратация спиртов под действием концентрированной H₂SO₄ приводит к одному и тому же продукту – цикlopentadiену (**C**):



Присоединение бромоводорода к **C** дает только одно соединение **D**:



Задача 6 (16 баллов)

6.1. Молярная масса муравьиной кислоты $M(\text{HCOOH}) = 46$ г/моль, а молярная масса димера $M(\text{HCOOH})_2 = 92$ г/моль.

Пусть объём сосуда равен 1 л. Тогда масса смеси равна

$$1.37 \text{ г/л} \cdot 1 \text{ л} = 1.37 \text{ г.}$$

Пусть в равновесной смеси находится x моль мономера и y моль димера. Тогда

$$46x + 92y = 1.37.$$

Согласно уравнению Клапейрона–Менделеева,

$$pV = nRT,$$

или

$$(0.888 \cdot 101.3) \cdot 1 = (x + y) \cdot 8.31 \cdot (150 + 273).$$

Решая полученную систему, находим: $x = 2.14 \cdot 10^{-2}$, $y = 4.19 \cdot 10^{-3}$. Следовательно, равновесная концентрация мономера равна $2.14 \cdot 10^{-2}$ моль/л, а димера $4.19 \cdot 10^{-3}$ моль/л.

Константа равновесия K_c реакции диссоциации димера, выраженная через равновесные концентрации, равна

$$K_c = \frac{[\text{HCOOH}]^2}{[(\text{HCOOH})_2]} = \frac{(2.14 \cdot 10^{-2})^2}{4.19 \cdot 10^{-3}} = 0.109.$$

Ответ: $K_c = 0.109$.

6.2. Молярная масса трифторуксусной кислоты $M(\text{CF}_3\text{COOH}) = 114$ г/моль, а молярная масса димера $M(\text{CF}_3\text{COOH})_2 = 228$ г/моль.

Пусть объём сосуда равен 1 л. Тогда масса смеси равна

$$3.36 \text{ г/л} \cdot 1 \text{ л} = 3.36 \text{ г.}$$

Пусть в равновесной смеси находится x моль мономера и y моль димера. Тогда

$$114x + 228y = 3.36.$$

Согласно уравнению Клапейрона–Менделеева,

$$pV = nRT,$$

или

$$(0.906 \cdot 101.3) \cdot 1 = (x + y) \cdot 8.31 \cdot (150 + 273).$$

Решая полученную систему, находим: $x = 2.27 \cdot 10^{-2}$, $y = 3.36 \cdot 10^{-3}$. Следовательно, равновесная концентрация мономера равна $2.27 \cdot 10^{-2}$ моль/л, а димера $3.36 \cdot 10^{-3}$ моль/л.

Константа равновесия K_c реакции диссоциации димера, выраженная через равновесные концентрации, равна

$$K_c = \frac{[\text{CF}_3\text{COOH}]^2}{[(\text{CF}_3\text{COOH})_2]} = \frac{(2.27 \cdot 10^{-2})^2}{3.36 \cdot 10^{-3}} = 0.153.$$

Ответ: $K_c = 0.153$.

6.3. Молярная масса муравьиной кислоты $M(\text{HCOOH}) = 46$ г/моль, а молярная масса димера $M(\text{HCOOH})_2 = 92$ г/моль.

Пусть объём сосуда равен 1 л. Тогда масса смеси равна

$$1.42 \text{ г/л} \cdot 1 \text{ л} = 1.42 \text{ г.}$$

Пусть в равновесной смеси находится x моль мономера и y моль димера. Тогда

$$46x + 92y = 1.42.$$

Согласно уравнению Клапейрона–Менделеева,

$$pV = nRT,$$

или

$$(0.864 \cdot 101.3) \cdot 1 = (x + y) \cdot 8.31 \cdot (140 + 273).$$

Решая полученную систему, находим: $x = 2.00 \cdot 10^{-2}$, $y = 5.44 \cdot 10^{-3}$. Следовательно, равновесная концентрация мономера равна $2.00 \cdot 10^{-2}$ моль/л, а димера $5.44 \cdot 10^{-3}$ моль/л.

Константа равновесия K_c реакции димеризации, выраженная через равновесные концентрации, равна

$$K_c = \frac{[(\text{HCOOH})_2]}{[\text{HCOOH}]^2} = \frac{5.44 \cdot 10^{-3}}{(2.00 \cdot 10^{-2})^2} = 13.6.$$

Ответ: $K_c = 13.6$.

6.4. Молярная масса уксусной кислоты $M(\text{CH}_3\text{COOH}) = 60$ г/моль, а молярная масса димера $M(\text{CH}_3\text{COOH})_2 = 120$ г/моль.

Пусть объём сосуда равен 1 л. Тогда масса смеси равна

$$1.84 \text{ г/л} \cdot 1 \text{ л} = 1.84 \text{ г}.$$

Пусть в равновесной смеси находится x моль мономера и y моль димера. Тогда

$$60x + 120y = 1.84.$$

Согласно уравнению Клапейрона–Менделеева,

$$pV = nRT,$$

или

$$(0.987 \cdot 101.3) \cdot 1 = (x + y) \cdot 8.31 \cdot (180 + 273).$$

Решая полученную систему, находим: $x = 2.24 \cdot 10^{-2}$, $y = 4.12 \cdot 10^{-3}$. Следовательно, равновесная концентрация мономера равна $2.24 \cdot 10^{-2}$ моль/л, а димера $4.12 \cdot 10^{-3}$ моль/л.

Константа равновесия K_c реакции диссоциации димера, выраженная через равновесные концентрации, равна

$$K_c = \frac{[\text{CH}_3\text{COOH}]^2}{[(\text{CH}_3\text{COOH})_2]} = \frac{(2.24 \cdot 10^{-2})^2}{4.12 \cdot 10^{-3}} = 0.122.$$

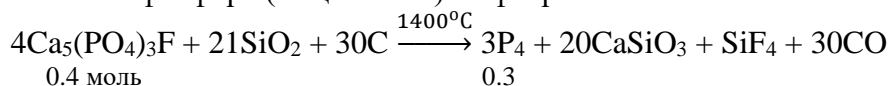
Ответ: $K_c = 0.122$.

Задача 7 (18 баллов)

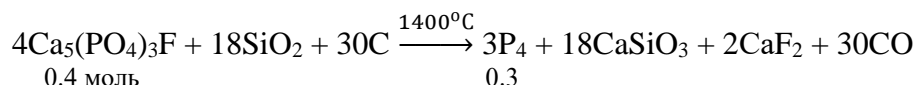
7.1. Количество вещества фторапатита в образце:

$$v(\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{F}) = 201.4 / 504 = 0.4 \text{ моль}.$$

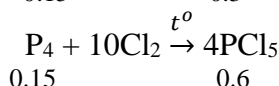
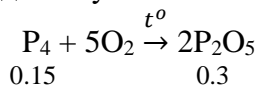
Получение белого фосфора (вещество **A**) из фторапатита:



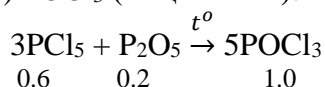
или



С кислородом и хлором взаимодействует по 0.15 моль P_4 :



Образуются твердые вещества P_2O_5 (**B**) и PCl_5 (**C**). При их совместном нагревании получается оксихлорид фосфора(V) POCl_3 (вещество **D**):

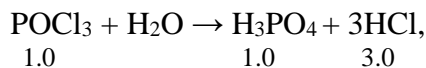


Поскольку оксид фосфора в избытке, расчет количества продукта **D** ведется по хлориду фосфора.

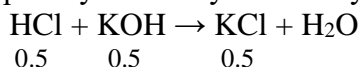
При гидролизе POCl_3 в зависимости от количества гидроксида калия в растворе возможно образование разных продуктов.

$$v(\text{KOH}) = 1 \cdot 0.5 = 0.5 \text{ моль,}$$

поэтому



щелочь, взятая в недостатке, нейтрализует соляную кислоту:



Осталось соляной кислоты:

$$v(\text{HCl}) = 3.0 - 0.5 = 2.5 \text{ моль,}$$

Масса раствора:

$$m(\text{р-ра}) = m(\text{POCl}_3) + m(\text{KOH р-р}) = 153.5 \cdot 1 + 500 \cdot 1.05 = 678.5 \text{ г.}$$

Массовые доли веществ в растворе:

$$\omega(\text{KCl}) = 74.5 \cdot 0.5 / 678.5 = 0.055 (5.5\%),$$

$$\omega(\text{H}_3\text{PO}_4) = 98 \cdot 1 / 678.5 = 0.144 (14.4\%),$$

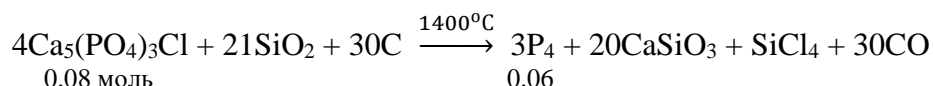
$$\omega(\text{HCl}) = 36.5 \cdot 2.5 / 678.5 = 0.134 (13.4\%).$$

Ответ: **A** – белый фосфор P_4 , **B** – P_2O_5 , **C** – PCl_5 , **D** – POCl_3 ; 5.5% KCl , 14.4% H_3PO_4 , 13.4% HCl .

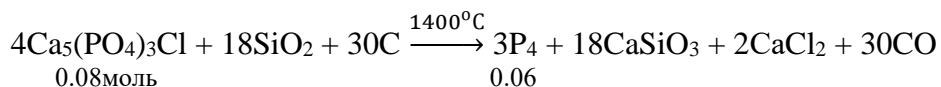
7.2. Количество вещества хлорапатита в образце:

$$v(\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{Cl}) = 41.64 / 520.5 = 0.08 \text{ моль.}$$

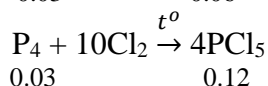
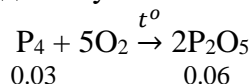
Получение белого фосфора (вещество **A**) из хлорапатита:



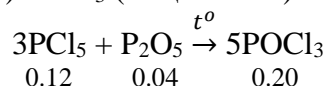
или



С кислородом и хлором взаимодействует по 0.03 моль P_4 :



Образуются твердые вещества P_2O_5 (**B**) и PCl_5 (**C**). При их совместном нагревании получается оксихлорид фосфора(V) POCl_3 (вещество **D**):

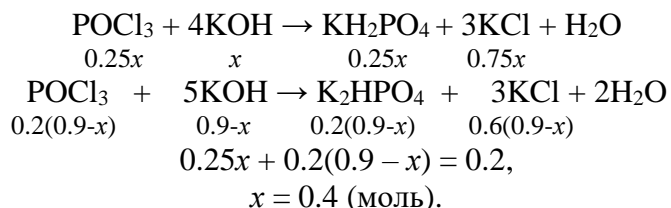


Поскольку оксид фосфора в избытке, расчет количества продукта **D** ведется по хлориду фосфора.

При гидролизе POCl_3 в зависимости от количества гидроксида калия в растворе возможно образование разных продуктов.

$$v(\text{KOH}) = 2 \cdot 0.45 = 0.9 \text{ моль,}$$

поэтому



Масса раствора:

$$m(\text{р-ра}) = m(\text{POCl}_3) + m(\text{KOH р-р}) = 153.5 \cdot 0.2 + 450 \cdot 1.09 = 521.2 \text{ г.}$$

Массовые доли веществ в растворе:

$$\omega(\text{KH}_2\text{PO}_4) = 136 \cdot 0.25 \cdot 0.4 / 521.2 = 0.026 (2.6\%),$$

$$\omega(\text{K}_2\text{HPO}_4) = 174 \cdot 0.2 \cdot 0.5 / 521.2 = 0.033 \text{ (3.3\%)},$$

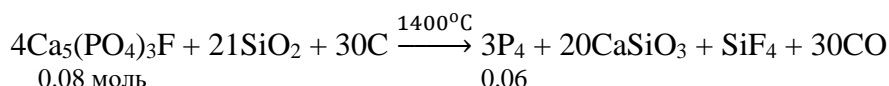
$$\omega(\text{KCl}) = 74.5 \cdot (0.6 \cdot 0.5 + 0.75 \cdot 0.4) / 521.2 = 0.086 \text{ (8.6\%)}. \quad \text{или}$$

Ответ: **A** – белый фосфор P_4 , **B** – P_2O_5 , **C** – PCl_5 , **D** – POCl_3 ; 2.6% KH_2PO_4 , 3.3% K_2HPO_4 , 8.6% KCl .

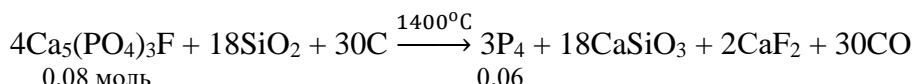
7.3. Количество вещества фторапатита в образце:

$$\nu(\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{F}) = 40.32 / 504 = 0.08 \text{ моль}.$$

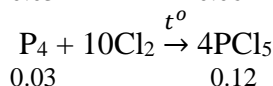
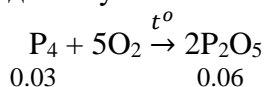
Получение белого фосфора (вещество **A**) из фторапатита:



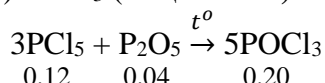
или



С кислородом и хлором взаимодействует по 0.03 моль P_4 :



Образуются твердые вещества P_2O_5 (**B**) и PCl_5 (**C**). При их совместном нагревании получается оксихлорид фосфора(V) POCl_3 (вещество **D**):

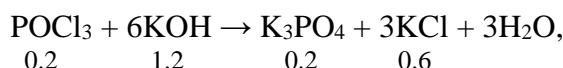


Поскольку оксид фосфора в избытке, расчет количества продукта **D** ведется по хлориду фосфора.

При гидролизе POCl_3 в зависимости от количества гидроксида калия в растворе возможно образование разных продуктов.

$$\nu(\text{KOH}) = 2 \cdot 0.675 = 1.35 \text{ моль (в избытке)},$$

поэтому



и в избытке остается

$$\nu(\text{KOH}) = 1.35 - 1.2 = 0.15 \text{ моль}.$$

Масса раствора:

$$m(\text{р-ра}) = m(\text{POCl}_3) + m(\text{KOH р-р}) = 153.5 \cdot 0.2 + 675 \cdot 1.09 = 766.5 \text{ г}.$$

Массовые доли веществ в растворе:

$$\omega(\text{K}_3\text{PO}_4) = 212 \cdot 0.2 / 766.5 = 0.055 \text{ (5.5\%)},$$

$$\omega(\text{KCl}) = 74.5 \cdot 0.6 / 766.5 = 0.058 \text{ (5.8\%)},$$

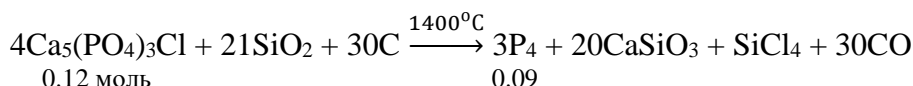
$$\omega(\text{KOH}) = 56 \cdot 0.15 / 766.5 = 0.011 \text{ (1.1\%)}. \quad \text{или}$$

Ответ: **A** – белый фосфор P_4 , **B** – P_2O_5 , **C** – PCl_5 , **D** – POCl_3 ; 5.5% K_3PO_4 , 5.8% KCl , 1.1% KOH .

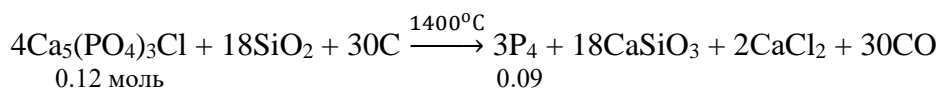
7.4. Количество вещества хлорапатита в образце:

$$\nu(\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{Cl}) = 62.46 / 520.5 = 0.12 \text{ моль}.$$

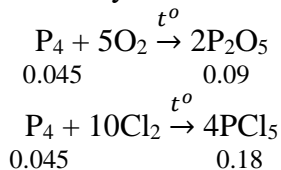
Получение белого фосфора (вещество **A**) из хлорапатита:



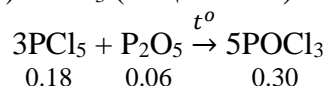
или



С кислородом и хлором взаимодействует по 0.045 моль P_4 :



Образуются твердые вещества P_2O_5 (**B**) и PCl_5 (**C**). При их совместном нагревании получается оксихлорид фосфора(V) POCl_3 (вещество **D**):

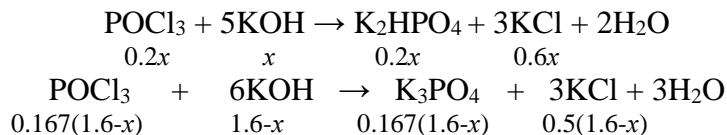


Поскольку оксид фосфора в избытке, расчет количества продукта **D** ведется по хлориду фосфора.

При гидролизе POCl_3 в зависимости от количества гидроксида калия в растворе возможно образование разных продуктов.

$$\nu(\text{KOH}) = 2.5 \cdot 0.64 = 1.6 \text{ моль},$$

поэтому



$$0.2x + 0.167(1.6 - x) = 0.3,$$

$$x = 1.0 \text{ (моль)}.$$

Масса раствора:

$$m(\text{р-ра}) = m(\text{POCl}_3) + m(\text{KOH р-р}) = 153.5 \cdot 0.3 + 640 \cdot 1.11 = 756.45 \text{ г}.$$

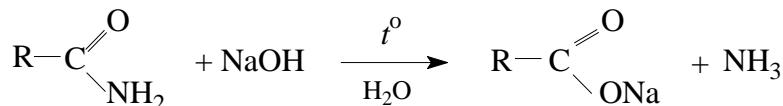
Массовые доли веществ в растворе:

$$\begin{aligned} \omega(\text{K}_2\text{HPO}_4) &= 174 \cdot 0.2 / 756.45 = 0.046 \text{ (4.6\%)}, \\ \omega(\text{KCl}) &= 74.5 \cdot (0.6 + 0.3) / 756.45 = 0.089 \text{ (8.9\%)}, \\ \omega(\text{K}_3\text{PO}_4) &= 212 \cdot 0.1 / 756.45 = 0.028 \text{ (2.8\%)}. \end{aligned}$$

Ответ: **A** – белый фосфор P_4 , **B** – P_2O_5 , **C** – PCl_5 , **D** – POCl_3 ; 4.6% K_2HPO_4 , 8.9% KCl , 2.8% K_3PO_4 .

Задача 8 (18 баллов)

8.1. Реакция амида с водным раствором гидроксида натрия (гидролиз):

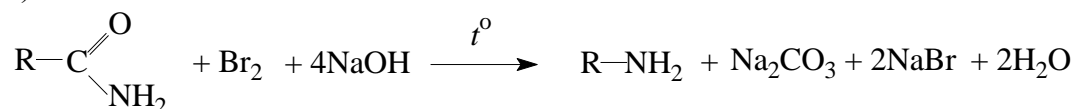


Выделившийся газ – аммиак (газ **B**), его количество составило

$$\nu(\text{NH}_3) = \frac{101.3 \cdot 2.84}{8.314 \cdot 288} = 0.12 \text{ моль}.$$

Поскольку выход всех реакций 100%, количество амида **A** в первой части навески также составляло 0.12 моль.

Вторая часть амида прореагировала с бромом в щелочном растворе (перегруппировка Гофмана):



Выделившийся газ – первичный амин (газ **C**), его количество также равно

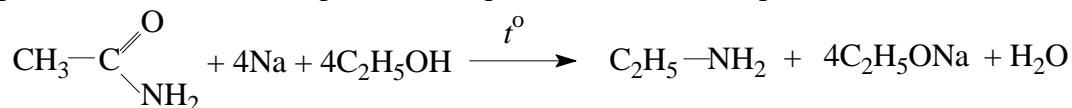
$$\nu(\text{C}) = \frac{101.3 \cdot 2.94}{8.314 \cdot 298} = 0.12 \text{ моль.}$$

Поскольку количества веществ газов **B** и **C** одинаковы, разница в их массах обусловлена разницей молярных масс:

$$M(\text{C}) = M(\text{NH}_3) \cdot 1.8235 = 31 \text{ г/моль.}$$

Это значение соответствует метиламину, значит, **R** – это метил, амид **A** – амид уксусной кислоты (ацетамид).

Третья часть ацетамида **A** подверглась восстановлению до этиламина (**D**) за счет водорода, выделившегося в реакции натрия и этилового спирта:



Количество выделившегося газа

$$\nu(\text{D}) = \frac{101.3 \cdot 2.99}{8.314 \cdot 303} = 0.12 \text{ моль.}$$

Молярная масса **D**

$$M(\text{D}) = M(\text{C}) \cdot 1.452 = 45 \text{ г/моль,}$$

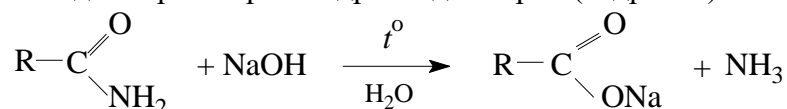
что соответствует этиламину.

Масса исходной навески ацетамида составляла

$$m(\text{C}_2\text{H}_5\text{NO}) = 3 \cdot 0.12 \cdot 59 = 21.24 \text{ г.}$$

Ответ: **A** – ацетамид, **B** – NH_3 , **C** – CH_3NH_2 , **D** – $\text{C}_2\text{H}_5\text{NH}_2$; 21.24 г.

8.2. Реакция амида с водным раствором гидроксида натрия (гидролиз):

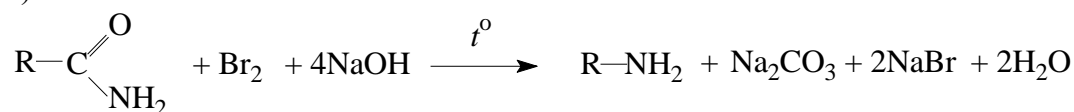


Выделившийся газ – аммиак (газ **B**), его количество составило

$$\nu(\text{NH}_3) = \frac{101.3 \cdot 4.26}{8.314 \cdot 288} = 0.18 \text{ моль.}$$

Поскольку выход всех реакций 100%, количество амида **A** в первой части навески также составляло 0.18 моль.

Вторая часть **A** прореагировала с бромом в щелочном растворе (перегруппировка Гофмана):



Выделившийся газ – первичный амин (газ **C**), его количество также равно

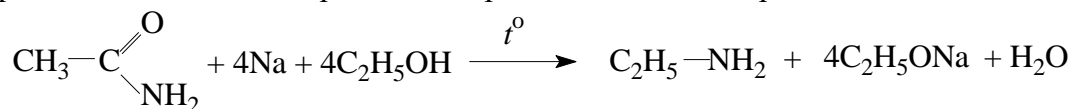
$$\nu(\text{C}) = \frac{101.3 \cdot 4.33}{8.314 \cdot 293} = 0.18 \text{ моль.}$$

Поскольку количества веществ газов **B** и **C** одинаковы, разница в их массах обусловлена разницей молярных масс:

$$M(\text{C}) = M(\text{NH}_3) \cdot 1.824 = 31 \text{ г/моль.}$$

Эта масса соответствует метиламину, значит, **R** – это метил, амид **A** – амид уксусной кислоты (ацетамид).

Третья часть ацетамида **A** подверглась восстановлению до этиламина (**D**) за счет водорода, выделившегося в реакции натрия и этилового спирта:



Количество выделившегося газа

$$v(\mathbf{D}) = \frac{101.3 \cdot 4.48}{8.314 \cdot 303} = 0.18 \text{ моль.}$$

Молярная масса **D**

$$M(\mathbf{D}) = M(\mathbf{B}) \cdot 2.647 = 45 \text{ г/моль,}$$

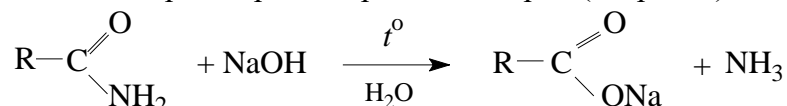
что соответствует этиламину.

Масса исходной навески ацетамида составляла

$$m(\text{C}_2\text{H}_5\text{NO}) = 3 \cdot 0.18 \cdot 59 = 31.86 \text{ г.}$$

Ответ: **A** – ацетамид, **B** – NH_3 , **C** – CH_3NH_2 , **D** – $\text{C}_2\text{H}_5\text{NH}_2$; 31.86 г.

8.3. Реакция амида с водным раствором гидроксида натрия (гидролиз):

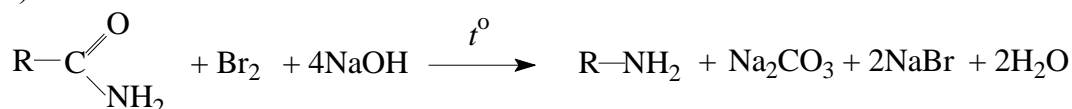


Выделившийся газ – аммиак (газ **B**), его количество составило

$$v(\text{NH}_3) = \frac{101.3 \cdot 3.55}{8.314 \cdot 288} = 0.15 \text{ моль.}$$

Поскольку выход всех реакций 100%, количество амида **A** в первой части навески также составляло 0.15 моль.

Вторая часть **A** прореагировала с бромом в щелочном растворе (перегруппировка Гофмана):



Выделившийся газ – первичный амин (газ **C**), его количество также равно

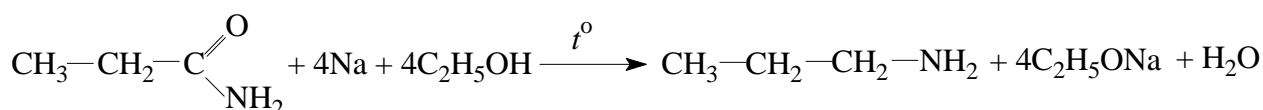
$$v(\mathbf{C}) = \frac{101.3 \cdot 3.73}{8.314 \cdot 303} = 0.15 \text{ моль.}$$

Поскольку количества веществ газов **B** и **C** одинаковы, разница в их массах обусловлена разницей в молярных массах:

$$M(\mathbf{C}) = M(\text{NH}_3) \cdot 2.65 = 45 \text{ г/моль.}$$

Эта масса соответствует этиламину, значит, **R** – это этил, амид **A** – амид пропановой кислоты.

Третья часть амида **A** подверглась восстановлению до пропиламина (**D**) за счет водорода, выделившегося в реакции натрия и этилового спирта:



Количество выделившегося газа

$$v(\mathbf{D}) = \frac{101.3 \cdot 3.98}{8.314 \cdot 323} = 0.15 \text{ моль.}$$

Молярная масса **D**

$$M(\mathbf{D}) = M(\mathbf{C}) \cdot 1.3111 = 59 \text{ г/моль,}$$

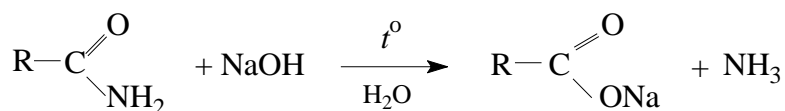
что соответствует пропиламину.

Масса исходной навески амида пропановой кислоты составляла

$$m(\text{C}_3\text{H}_7\text{NO}) = 3 \cdot 0.15 \cdot 73 = 32.85 \text{ г.}$$

Ответ: **A** – амид пропановой кислоты, **B** – NH_3 , **C** – $\text{C}_2\text{H}_5\text{NH}_2$, **D** – $\text{C}_3\text{H}_7\text{NH}_2$; 32.85 г.

8.4. Реакция амида с водным раствором гидроксида натрия (гидролиз):

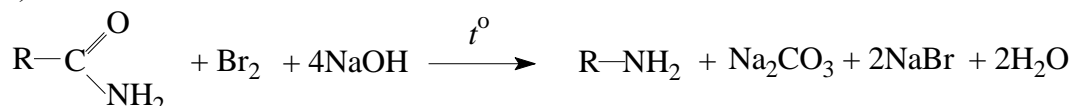


Выделившийся газ – аммиак (газ **B**), его количество составило

$$\nu(\text{NH}_3) = \frac{101.3 \cdot 4.73}{8.314 \cdot 288} = 0.20 \text{ моль.}$$

Поскольку выход всех реакций 100%, количество амида **A** в первой части навески также составляло 0.20 моль.

Вторая часть **A** прореагировала с бромом в щелочном растворе (перегруппировка Гофмана):



Выделившийся газ – первичный амин (газ **C**), его количество также равно

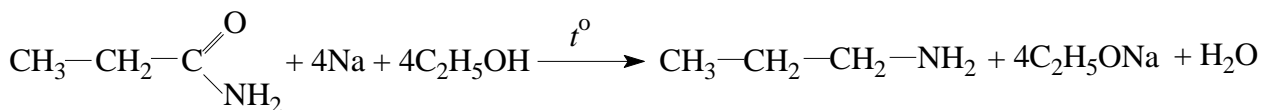
$$\nu(\text{C}) = \frac{101.3 \cdot 4.89}{8.314 \cdot 298} = 0.20 \text{ моль.}$$

Поскольку количества веществ газов **B** и **C** одинаковы, разница в их массах обусловлена разницей в молярных массах:

$$M(\text{C}) = M(\text{NH}_3) \cdot 2.647 = 45 \text{ г/моль.}$$

Эта масса соответствует этиламину, значит, **R** – это этил, амид **A** – амид пропановой кислоты.

Третья часть амида **A** подверглась восстановлению до пропиламина (**D**) за счет водорода, выделившегося в реакции натрия и этилового спирта:



Количество выделившегося газа

$$\nu(\text{D}) = \frac{101.3 \cdot 5.30}{8.314 \cdot 323} = 0.20 \text{ моль.}$$

Молярная масса **D**

$$M(\text{D}) = M(\text{B}) \cdot 3.471 = 59 \text{ г/моль,}$$

что соответствует пропиламину.

Масса исходной навески амида пропановой кислоты составляла

$$m(\text{C}_3\text{H}_7\text{NO}) = 3 \cdot 0.20 \cdot 73 = 43.8 \text{ г.}$$

Ответ: **A** – амид пропановой кислоты, **B** – NH_3 , **C** – $\text{C}_2\text{H}_5\text{NH}_2$, **D** – $\text{C}_3\text{H}_7\text{NH}_2$; 43.8 г.