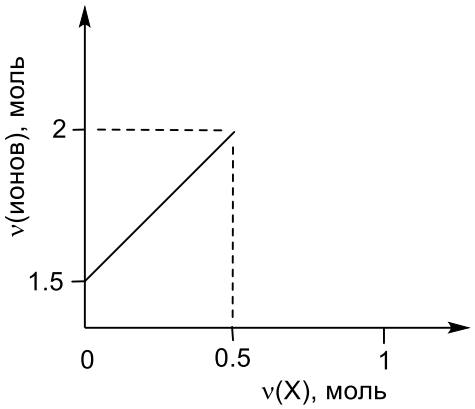
Олимпиада школьников «Ломоносов»
Заключительный этап 2025/26 учебного года по химии
5-9 классы

Указание к оформлению решения. Во всех задачах, требующих численного ответа, должны быть приведены расчёты. Все качественные вопросы требуют обоснования. Ответы, записанные без расчетов и/или обоснований, не оцениваются.

Задача 1 (14 баллов)

К 1 л раствора хлорида бария добавляли раствор соли **X**. На графике изображена зависимость общего количества всех ионов в растворе от количества добавленного вещества **X**.



а) Найдите концентрацию $BaCl_2$ в исходном растворе.

б) Определите вещество **X**, если известно, что его раствор имеет щелочную среду. Подтвердите расчётом.

в) Продолжите график до ν(**X**) = 1 моль.

Задача 2 (14 баллов)

Жидкое вещество **X** массой 13.8 г, охлаждённое до 0 °C, поместили в сосуд объёмом 2.0 л и нагрели до 25 °C. При этом вещество полностью испарилось и частично (на 20%) разложилось с образованием единственного продукта. Давление в сосуде составило 223 кПа. При дальнейшем нагревании до 40 °C давление в сосуде выросло до 273 кПа. Установите формулу исходного вещества **X** (подтвердите расчётом), напишите уравнение его разложения и определите степень разложения при 40 °C.

Задача 3 (12 баллов)

В университете провели (под тягой) демонстрационный эксперимент по теме «Элементы 11 группы». Сульфид марганца(II) растворили в концентрированной соляной кислоте, выделившийся газ пропустили через аммиачный раствор оксида серебра, образовавшийся осадок отфильтровали и прокалили на воздухе, а твердый остаток после прокаливания растворили, также на воздухе, в концентрированном растворе цианида натрия. Составьте уравнения всех проведённых реакций.

Задача 4 (12 баллов)

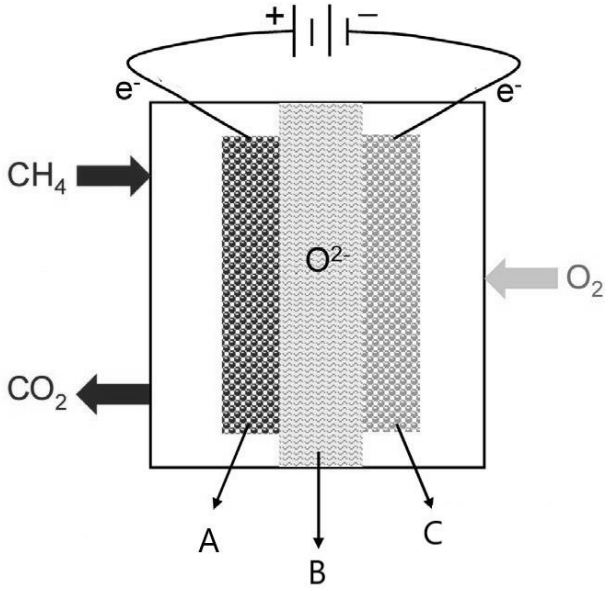
Имеется 100 л (н.у.) смеси водорода и сухого воздуха (20 мол. % кислорода и 80% азота). При поджигании смеси выделилось 228 кДж теплоты. Термохимическое уравнение реакции имеет вид:

$$2H_2 + O_2 \rightarrow 2H_2O + 570 \text{ кДж}.$$

Определите объёмную долю водорода в исходной смеси. Предложите два варианта ответа.

Задача 5 (20 баллов)

Один из современных источников тока – твердооксидный метановый топливный элемент. В качестве электролита используют керамические оксидные материалы, способные проводить ионы кислорода O^{2-} (других ионов в устройстве нет). Схема такого элемента приведена на рисунке.



1) Поставьте в соответствие буквам A, B и C части топливного элемента – катод, анод и электролит.

2) Укажите направление движения электронов (слева направо или справа налево).

3) Укажите направление движения ионов O^{2-} (слева направо или справа налево).

4) Напишите уравнения полуреакций на катоде и аноде, а также суммарное уравнение реакции.

5) За один час работы элемента израсходовано 1.14 л метана (25 °C, 1 атм). Рассчитайте силу тока, создаваемого источником. Постоянная Фарадея F = 96500 Кл/моль.

Задача 6 (18 баллов)

Смесь двух твёрдых веществ, сложного и простого, взятых в мольном соотношении 16 : 1, реагирует без остатка, образуя смесь двух газообразных веществ, сложного и простого, в мольном соотношении 1 : 2 (*реакция* 1), имеющая плотность по углекислому газу 2.8. При пропускании газовой смеси через избыток раствора щёлочи (*реакция 2*) объём газа уменьшается на треть, а масса – на 29.2%. Оставшийся газ является компонентом воздуха (в очень маленькой концентрации), который и служит его основным источником. Установите формулы всех веществ (подтвердите расчётом) и напишите уравнения обеих реакций.

Задача 7 (10 баллов)

Долгоживущий радионуклид **X** при β-распаде превращается в устойчивый нуклид **Y**, содержащий равное число протонов и нейтронов. Параллельно с β-распадом происходит захват электрона нуклидом **X**, в результате образуется нуклид **Z**, в котором число нейтронов составляет 55% от массового числа. Установите формулы всех нуклидов (подтвердите расчётом) и напишите уравнения ядерных превращений.

Решения варианта для 5-9 классов

Задача 1.

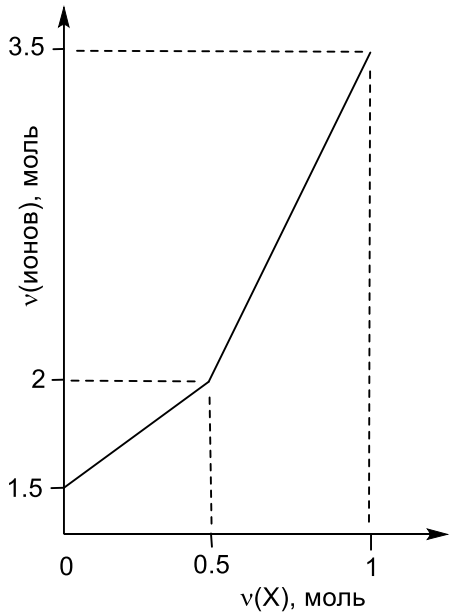
а) $\nu(BaCl_2) = 1.5 / 3 = 0.5$ моль, $C(BaCl_2) = 0.5$ моль/л.

б) **X** – карбонат или сульфит щелочного металла или аммония. Пример – Na_2CO_3:

$$BaCl_2 + Na_2CO_3 \rightarrow BaCO_3\downarrow + 2NaCl.$$

После добавления 0.5 моль Na_2CO_3 к 0.5 моль $BaCl_2$ в растворе будет только 1 моль NaCl, т. е. 2 моль ионов.

в) Если добавить 1 моль Na_2CO_3, то после реакции в растворе будет 1 моль NaCl (2 моль ионов) и избыток 0.5 моль Na_2CO_3 (1.5 моль ионов), всего – 3.5 моль ионов.



Система оценивания.

а) Начальная концентрация $BaCl_2$ – 4 балла.

б) Формула **X** с расчётом или подтверждением – 6 баллов (без расчёта – 0 баллов)

в) График – 4 балла

Всего – 14 баллов

Задача 2

1) Количество вещества **X** в жидкости – $\nu_0(\mathbf{X})$. Пусть при разложении молекулы **X** образуется 2 молекулы продукта **A**, тогда при 25 °C состав смеси:

$$\nu(\mathbf{X}) = \nu_0(\mathbf{X}) - 0.2\nu_0(\mathbf{X}) = 0.8\nu_0(\mathbf{X}),$$

$$\nu(\mathbf{A}) = 2\cdot0.2\nu_0(\mathbf{X}) = 0.4\nu_0(\mathbf{X}),$$

$$\nu_{общ} = PV / RT = 223\cdot2.0 / 8.314\cdot298 = 0.18 \text{ моль} = 1.2\nu_0(X),$$

$$\nu_0(X) = 0.15 \text{ моль}, M(X) = 13.8 / 0.15 = 92 \text{ г/моль} – N_2O_4.$$

Уравнение разложения: $N_2O_4 \rightarrow 2NO_2$.

2) Пусть степень разложения при 40 °C равна α, тогда

$$\nu(X) = \nu_0(X)(1-\alpha),$$

$$\nu(A) = 2\nu_0(X)\alpha,$$

$$\nu_{общ} = \nu_0(X)(1+\alpha),$$

$$\nu_{общ} = PV / RT = 273\cdot2.0 / 8.314\cdot313 = 0.21 \text{ моль} = 0.15\cdot(1+\alpha),$$

$$\alpha = 0.4 = 40\%.$$

Ответ. **X** – N_2O_4. 40%.

Система оценивания

Количества молей газа – 2х2 = 4 балла

Формула **X** – 5 баллов (без расчёта – 0 баллов), уравнение разложения – 1 балл, всего – 6 баллов

Степень разложения – 4 балла

Всего – 14 баллов

Задача 3

1) $MnS + 2HCl \rightarrow MnCl_2 + H_2S\uparrow$.

2) $3H_2S + 2[Ag(NH_3)_2]OH \rightarrow Ag_2S\downarrow + 2(NH_4)_2S + 2H_2O$

3) $Ag_2S + O_2 \xrightarrow{t} 2Ag + SO_2\uparrow$

4) $4Ag + O_2 + 8NaCN + 2H_2O \rightarrow 4Na[Ag(CN)_2] + 4NaOH$

Система оценивания.

Уравнения реакций – по 3 балла (неверные вещества – 0 баллов, не уравнено – по 1,5 балла).

Всего – 12 баллов

Задача 4.

В реакцию вступило: $\nu(O_2) = 228 / 570 = 0.4$ моль,

$$\nu(H_2) = 0.8 \text{ моль}.$$

1) Если H_2 был в недостатке, то его объёмная доля равна:

$$\varphi(H_2) = 0.8 \cdot 22.4 / 100 = 0.$$

$$V_{возд} = 5V(O_2) = 5 \cdot 0.4 \cdot 22.4 = 44.8 \text{ л},$$

$$V(H_2) = 100 - 44.8 = 55.2 \text{ л},$$

$$\varphi(H_2) = 55.2\%$$

Ответ: 17.9% или 55.2%.

Система оценивания.

1) Расчёт количества вещества водорода и кислорода – по 2 балла, всего – 4 балла.
2) Идея про избыток-недостаток – 2 балла.
3) Каждый правильный расчёт объёмной доли – по 3 балла, всего – 6 баллов.

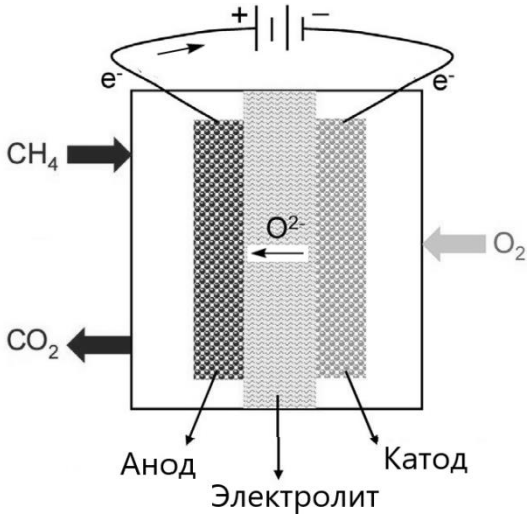
Всего – 12 баллов

Задача 5.

1) На аноде происходит окисление метана $CH_4 \rightarrow CO_2$, анод – А, на катоде – восстановление кислорода $O_2 \rightarrow 2O^{2-}$, катод – С, между ними – электролит В.

2) Восстановитель отдаёт электроны в цепь, и они движутся от анода к катоду, т. е. слева направо.

3) Ионы O^{2-} движутся от катода к аноду, т. е. справа налево.



4) Анод: $CH_4 + 4O^{2-} - 8e \rightarrow CO_2 + 2H_2O$

Катод: $O_2 + 4e \rightarrow 2O^{2-}$.

Суммарное уравнение: $CH_4 + 2O_2 \rightarrow CO_2 + 2H_2O$.

5) $\nu(CH_4) = PV / RT = 101.3 \cdot 1.14 / (8.314 \cdot 298) = 0.0466$ моль,

$$\nu(e) = 8 \cdot 0.0466 = 0.373 \text{ моль}.$$

Сила тока: $I = 0.373 \cdot 96500 / 3600 = 10$ А.

Ответ: 5) 10 А.

Система оценивания.

1) По 2 балла за каждое правильное соответствие, всего – 6 баллов.
2) Правильный ответ – 2 балла.
3) Правильный ответ – 2 балла.
4) По 2 балла за каждое уравнение (полуреакции со степенями окисления – по 1 баллу), всего – 6 баллов.
5) Моли метана – 1 балл, моли электронов – 1 балл, сила тока – 2 балла, всего – 4 балла.

Всего – 20 баллов

Задача 6.

Начнём с газовой смеси. Пусть в смеси был 1 моль сложного вещества и 2 моль простого вещества.

$$M(\text{смеси}) = 2.8 \cdot 44 = 123.2 \text{ (г/моль)} = (M_1 + 2M_2) / 3,$$
$$M(\text{смеси}) = 123.2 \cdot 3 = 370 \text{ (г)}.$$

Объём уменьшается на треть, следовательно, поглотилось сложное вещество:

$$M_1 = 370 \cdot 0.292 = 108 \text{ г/моль},$$

простое вещество: $M_2 = (370 - 108) / 2 = 131$ г/моль – Xe.

Тогда исходное сложное вещество – один из фторидов ксенона, а простое вещество, судя по мольному соотношению, – S_8. При взаимодействии с фторидом ксенона сера превращается во фторид SF_4 (M = 108 г/моль). Из мольного соотношения 16:1 следует, что исходный фторид ксенона – XeF_2. Уравнения реакций:

$$16XeF_2 + S_8 \rightarrow 16Xe + 8SF_4,$$
$$SF_4 + 6KOH \rightarrow K_2SO_3 + 4KF + 3H_2O.$$

Ответ: XeF_2, S_8, Xe, SF_4.

Система оценивания.

Формулы четырёх веществ (с расчётом) – по 3 балла, всего – 12 баллов

Уравнения реакций – по 3 балла, всего – 6 баллов

Всего – 18 баллов

Задача 7.

При β-распаде заряд ядра увеличивается на 1, при захвате электрона уменьшается на 1, а массовое число в обоих случаях не меняется.

Пусть формула нуклида **X** – ${}^{A}_{Z}\text{X}$, тогда **Y** – ${}^{A}_{Z+1}\text{X}$, Z – ${}^{A}_{Z-1}\text{X}$. По условию,

$$\begin{cases} Z + 1 = A/2 \\ A - (Z - 1) = 0.55A \end{cases}$$

A = 40, Z = 19. Исходный нуклид – калий-40: **X** – ${}^{40}\text{K}$, **Y** – ${}^{40}\text{Ca}$, **Z** – ${}^{40}\text{Ar}$.

Уравнения распада:

$${}^{40}\text{K} \rightarrow {}^{40}\text{Ca} + e$$
$${}^{40}\text{K} + e \rightarrow {}^{40}\text{Ar}.$$

Ответ: **X** – ${}^{40}\text{K}$, **Y** – ${}^{40}\text{Ca}$, **Z** – ${}^{40}\text{Ar}$.

Система оценивания.

По 2 балла за каждый нуклид (с расчётом) – всего 6 баллов.

По 2 балла за каждое ядерное уравнение – всего 4 балла.

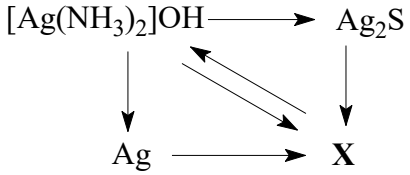
Всего – 10 баллов.

Олимпиада школьников «Ломоносов»
Заключительный этап 2025/26 учебного года по химии
10 классы

1. Назовите два газообразных вещества, имеющих плотность по метану 2.125. Приведите формулу органического соединения, молекула которого содержит такое же число электронов, как молекула одного из газов. **(6 баллов)**

2. Метилтретбутиловый эфир (МТБЭ) применяется как нетоксичный высокооктановый компонент бензинов, способствующий более полному сгоранию топлива и предотвращению коррозии. Массовая доля МТБЭ 7% дает увеличение октанового числа бензина на 3 единицы. Рассчитайте, какой объём МТБЭ необходимо добавить к 20 м^3 бензина АИ-92 для получения бензина с октановым числом 95. Плотности АИ-92 и МТБЭ примите равными 760 и 740 кг/м^3 соответственно. В промышленности МТБЭ получают при взаимодействии изобутена с метанолом в присутствии кислотного катализатора. Предложите альтернативный метод синтеза МТБЭ из метана и бутана. **(12 баллов)**

3. Напишите уравнения реакций, соответствующих схеме превращений, укажите условия их проведения (вещество **X** содержит серебро). **(10 баллов)**

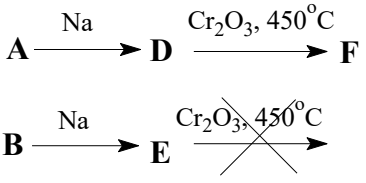


4. Произведение растворимости бромида свинца $PbBr_2$ составляет $5\cdot10^{-5}$. Определите растворимость соли в чистой воде (концентрацию насыщенного раствора) в единицах моль/л и г/л. Во сколько раз меньше окажется растворимость $PbBr_2$, если растворять соль в 0.1 М растворе NaBr? **(16 баллов)**

5. Твердая карбоновая кислота, массовая доля кислорода в которой равна 0.2623, используется в экспериментальной термохимии в качестве стандарта, а ее соль зарегистрирована как пищевая добавка. При сжигании навески кислоты выделилось 32.28 кДж теплоты. Продукты сгорания пропустили через избыток раствора гидроксида бария, масса образовавшегося осадка составила 13.8 г. Найдите теплоту сгорания и теплоту образования кислоты, если теплоты образования углекислого газа и жидкой воды равны 393.5 и 285.8 кДж/моль соответственно. **(16 баллов)**

6. Навеска железа прореагировала с раствором хлорноватой кислоты, при этом выделился желто-зеленый газ **X** и образовался раствор **1**. Газ **X** количественно поглотили горячим раствором карбоната рубидия. При охлаждении этого раствора выпали кристаллы вещества **Y**. Известно, что в сухом виде вещество **Y** активно реагирует с серой. К раствору **1** добавили соляную кислоту, взятую в избытке. При этом выделился газ **X** и образовался раствор **2**, в котором можно растворить 19.2 г меди. Определите неизвестные вещества, запишите уравнения проведенных реакций. Найдите массу исходной навески железа**.** **(20 баллов)**

7. Два изомерных монобромпроизводных **A** и **B** при дегидрогалогенировании образуют один и тот же алкен **C**. При введении **A** и **B** в следующую последовательность превращений ароматический углеводород **F** образуется только в одной реакции:



Определите строение всех упомянутых соединений, если известно, что для окисления 5.3 г **F** потребовалось 300 мл 0.4 М раствора перманганата калия, подкисленного серной кислотой, и при этом не происходило выделения газа. Напишите уравнения протекающих реакций. **(20 баллов)**

Решения заданий для 10 классов

Задача 1. Газы с данной плотностью по метану имеют следующую молярную массу:

$$M = 2.125 \cdot 16 = 34 \text{ г/моль}.$$

Подходящие вещества – фосфин PH_3 и сероводород H_2S. В молекулах обоих газов по 18 электронов, такое же число электронов содержат молекулы этана C_2H_6 и метанола CH_3OH.

2 балла – расчет молярной массы газов, по 1 баллу за каждый газ, 2 балла за число электронов и формулу органического вещества. Всего 2 + 2 + 2 = 6 баллов.

Задача 2. Масса порции бензина АИ-92 равна

$$m(\text{АИ-92}) = 20 \cdot 760 = 15200 \text{ кг}.$$

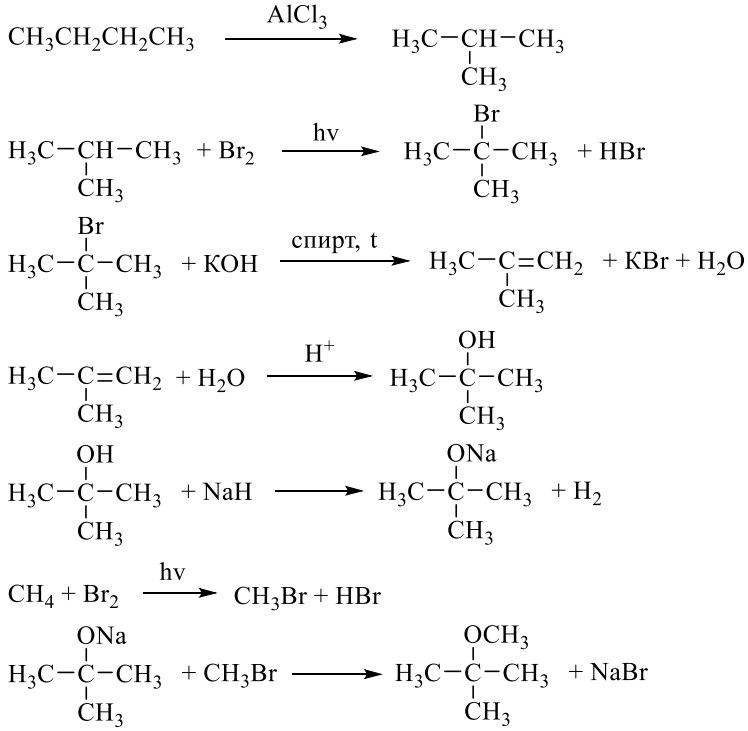
Пусть x (кг) – масса добавленного МТБЭ. Выражение для массовой доли метилтретбутилового эфира:

$$\omega(\text{МТБЭ}) = 0.07 = x / (15200 + x),$$

откуда $x = 1144$ кг. Объем добавленного МТБЭ составляет

$$V(\text{МТБЭ}) = m / \rho = 1144 / 740 = 1.55 \text{ м}^3.$$

Альтернативный метод синтеза МТБЭ из метана и бутана:



Ответ: 1.55 м^3.

5 баллов – расчет объема МТБЭ, 7 баллов – метод синтеза МТБЭ. Всего 5 + 7 = 12 баллов.

Задача 3. Один из возможных вариантов решения:

1) $2[Ag(NH_3)_2]OH + 5H_2S(\text{изб}) \rightarrow Ag_2S\downarrow + 4NH_4HS + 2H_2O$

2) $Ag_2S + 10HNO_3(\text{конц}) \rightarrow 2AgNO_3 + H_2SO_4 + 8NO_2\uparrow + 4H_2O$

3) $[Ag(NH_3)_2]OH + 3HNO_3 \rightarrow AgNO_3 + 2NH_4NO_3 + H_2O$

4) $AgNO_3 + 3NH_3 + H_2O \rightarrow [Ag(NH_3)_2]OH + NH_4NO_3$

5) $4[Ag(NH_3)_2]OH + H_2CO \xrightarrow{t} 4Ag\downarrow + 7NH_3 + NH_4HCO_3 + 2H_2O$

6) $3Ag + 4HNO_3(разб) \rightarrow 3AgNO_3 + NO\uparrow + 2H_2O$

Ответ: **X** – $AgNO_3$.

6 реакций по 1.5 балла + 1 балл за вещество X. Всего 1.5 · 6 + 1 = 10 баллов.

Задача 4. Запишем выражение для произведения растворимости соли, обозначив ее растворимость в чистой воде за x:

$$PbBr_2 \rightleftarrows Pb^{2+} + 2Br^-,$$
$$x \text{ моль/л} \quad x \quad 2x$$
$$ПР = [Pb^{2+}][Br^-]^2 = x \cdot (2x)^2 = 4x^3.$$
$$x = \sqrt[3]{\frac{ПР}{4}} = \sqrt[3]{\frac{5 \cdot 10^{-5}}{4}} = 2.32 \cdot 10^{-2} \text{ (моль/л)}.$$

Выразить растворимость в единицах г/л можно, умножив молярную концентрацию насыщенного раствора соли на ее молярную массу:

$$s = 2.32 \cdot 10^{-2} \cdot 367 = 8.51 \text{ г/л}.$$

Если растворение происходит в растворе, уже содержащем бромид-ион в концентрации 0.1 моль/л, тогда

$$PbBr_2 \rightleftarrows Pb^{2+} + 2Br^-,$$
$$y \quad y \quad 2y + 0.1$$
$$ПР = [Pb^{2+}][Br^-]^2 = y \cdot (2y + 0.1)^2.$$

Можно решать полученное кубическое уравнение, а можно использовать приближение, пренебрегая концентрацией бромид-ионов, создаваемой диссоциацией соли:

$$ПР = [Pb^{2+}][Br^-]^2 \sim y \cdot 0.1^2.$$
$$y = 5 \cdot 10^{-3} \text{ (моль/л)}.$$

Растворимость $PbBr_2$ в растворе, содержащем одноименный ион, оказалась меньше в

$$x / y = 2.32 \cdot 10^{-2} / 5 \cdot 10^{-3} = 4.64 \text{ раза}.$$

Ответ: $2.32 \cdot 10^{-2}$ моль/л, 8.51 г/л, 4.64 раза.

6 баллов – расчет растворимости в воде, 2 балла – пересчет в г/л, 8 баллов – расчет растворимости в растворе NaBr. Всего 6 + 2 + 8 = 16 баллов.

Задача 5. Пусть данная кислота – монокарбоновая и содержит два атома кислорода в молекуле. Тогда, зная массовую долю кислорода, можно определить молярную массу кислоты:

$$\omega(O) = 32 / M = 0.2623,$$
$$M = 32 / 0.2623 = 122 \text{ г/моль}.$$

Молярная масса соответствует бензойной кислоте $C_7H_6O_2$, которая действительно является тепловым стандартом в калориметрии, а ее соль, бензоат натрия, является пищевой добавкой.

Уравнения горения x моль кислоты и реакция газа с избытком раствора гидроксида бария:

$$C_7H_6O_2 + 7.5O_2 \rightarrow 7CO_2 + 3H_2O,$$
$$x \quad 7x$$
$$Ba(OH)_2 + CO_2 \rightarrow BaCO_3\downarrow + H_2O.$$
$$7x \quad 7x$$
$$\nu(BaCO_3) = 13.8 / 197 = 0.07 \text{ моль},$$
$$\nu(C_7H_6O_2) = 0.07 / 7 = 0.01 \text{ моль}.$$

Теплота сгорания бензойной кислоты составляет

$$Q_{сгор} = 32.28 / 0.01 = 3228 \text{ кДж/моль}.$$

По закону Гесса, теплота сгорания может быть выражена через теплоты образования участников реакции:

$$3228 = 7 \cdot 393.5 + 3 \cdot 285.8 - Q_{обр}(C_7H_6O_2),$$

$$Q_{обр}(C_7H_6O_2) = 383.9 \text{ кДж/моль}.$$

Ответ: 3228 кДж/моль, 383.9 кДж/моль.

Идентификация кислоты – 2 балла, уравнения реакций – 4 балла, расчет количества вещества кислоты – 4 балла, теплота сгорания – 2 балла, теплота образования – 4 балла. Всего 2 + 4 + 4 + 2 + 4 = 16 баллов.

Задача 6. Протекают реакции:

$$10Fe + 36HClO_3 \rightarrow 3Cl_2\uparrow + 10Fe(ClO_3)_3 + 18H_2O$$

$$3Cl_2 + 3Rb_2CO_3 \xrightarrow{t} RbClO_3 + 5RbCl + 3CO_2\uparrow$$

$$2RbClO_3 + 3S \rightarrow 2RbCl + 3SO_2\uparrow$$

$$Fe(ClO_3)_3 + 18HCl \rightarrow 9Cl_2\uparrow + FeCl_3 + 9H_2O$$

$$2FeCl_3 + Cu \rightarrow 2FeCl_2 + CuCl_2$$

Расчет количества вещества и массы навески железа:

$$\nu(Cu) = 19.2 / 64 = 0.3 \text{ моль},$$

$$\nu(FeCl_3) = \nu(Fe) = 0.3 \cdot 2 = 0.6 \text{ моль},$$

$$m(Fe) = 0.6 \cdot 56 = 33.6 \text{ г}.$$

Ответ: **X** – Cl_2, **Y** – $RbClO_3$; 33.6 г Fe.

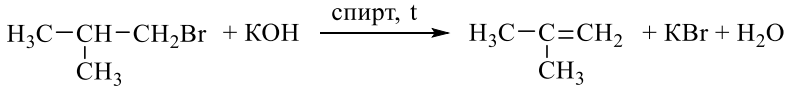
5 реакций по 3 балла каждая, 5 баллов – расчет массы навески. Всего 5 · 3 + 5 = 20 баллов.

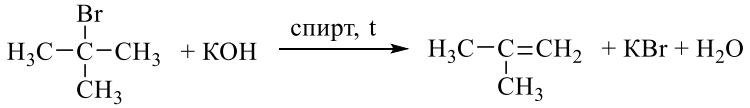
Задача 7. Поскольку при окислении ароматического углеводорода **F** не происходило выделения газа, можно предположить, что **F** – это метилзамещённый алкен. Количество вещества перманганата, пошедшего на его окисление:

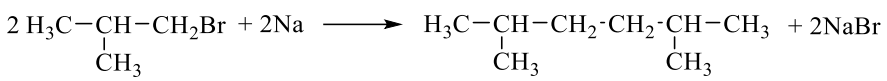
$$\nu(KMnO_4) = 0.3 \cdot 0.4 = 0.12 \text{ моль}.$$

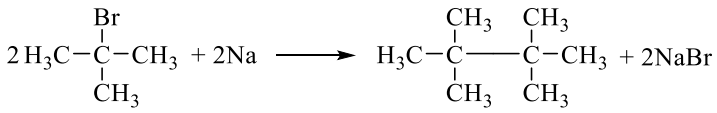
Если вещество **F** содержало одну метильную группу, то его было 0.1 моль и его молярная масса равна 53 г/моль, что не может соответствовать углеводороду (нечетное значение). Если **F** содержит две метильные группы, то M(**F**) = 106 г/моль, что соответствует одному из изомерных ксилолов, следовательно, исходные монобромпроизводные **A** и **B** имели состав C_4H_9Br.

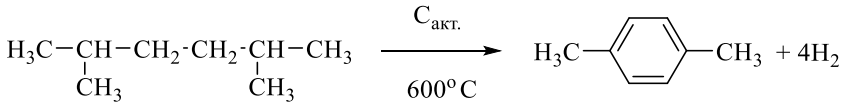
A – это 1-бром 2-метил-пропан, а **B** – 2-бром-2-метилпропан. Уравнения реакций:

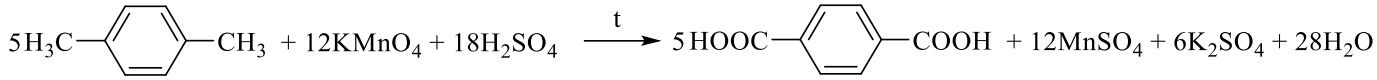












Расчет количества перманганата – 2 балла, 6 реакций по 3 балла. Всего 2 + 6 · 3 = 20 баллов.