

Задания заключительного этапа олимпиады «Ломоносов». 5-9 классы

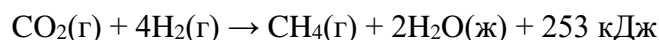
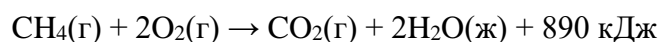
Указание к оформлению решения. Во всех задачах, требующих численного ответа, должны быть приведены расчеты. Все качественные вопросы требуют обоснования. Только ответы, записанные без расчетов и/или обоснований, не оцениваются.

Задача 1 (10 баллов)

Жидкое вещество **X** используется для хлорирования органических и неорганических соединений. Оно состоит из трех элементов, содержание хлора составляет 59.7% по массе и 50% по числу атомов. Установите формулу **X** и запишите уравнения его реакций с водой и избытком раствора гидроксида калия.

Задача 2 (14 баллов)

Даны термохимические уравнения реакций полного сгорания метана в кислороде и полного восстановления углекислого газа водородом:



1) Найдите теплоту образования ($Q_{\text{обр}}$) жидкой воды из простых веществ (в кДж/моль). (Для экзотермических реакций $Q > 0$).

2) Сколько литров метана (в пересчете на н. у.) потребуется сжечь, чтобы выделившейся теплоты хватило на полное разложение одного литра воды на простые вещества?

Задача 3 (14 баллов)

Два положительных иона состоят из одних и тех же элементов-неметаллов и имеют одинаковый заряд. Один из двух элементов имеет в этих ионах разные степени окисления, они отличаются на 2. Соли этих катионов, как правило, гигроскопичны и реагируют с водой. Твёрдый нитрат одного из этих катионов представляет собой высший оксид.

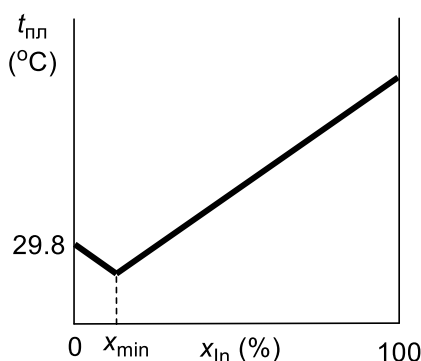
1) Установите формулы ионов, определите степени окисления и валентности элементов в них.

2) Запишите уравнения реакций с водой кислотного оксида и перхлората каждого катиона.

Задача 4 (12 баллов)

Индий и галлий образуют сплавы, которые могут быть жидкими даже при комнатной температуре. Зависимость температуры плавления таких сплавов $t_{\text{пл}}$ (°C) от мольной доли индия x (%) в них приближенно описывается линейной функцией:

$$t_{\text{пл}}(^{\circ}\text{C}) = \begin{cases} 29.8 - x & \text{при } x \leq x_{\text{min}} \\ 1.64x - 8 & \text{при } x \geq x_{\text{min}} \end{cases}$$



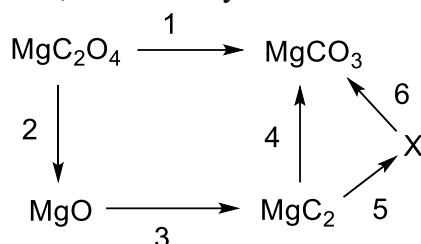
- 1) Найдите температуру плавления чистого индия.
- 2) Найдите состав и температуру плавления самого легкоплавкого сплава.
- 3) При какой температуре будет плавиться сплав, содержащий равные массы индия и галлия?

Задача 5 (12 баллов)

Для измерения постоянной Авогадро был проведен следующий эксперимент. Раствор сульфата никеля подвергли электролизу с никелевым анодом в течение 2525 с при постоянной силе тока 1.234 А. За время электролиза масса анода уменьшилась на 0.9453 г. Оцените значение постоянной Авогадро с точностью три знака после запятой, используя следующие справочные данные: относительная атомная масса никеля $A_r(\text{Ni}) = 58.69$, заряд электрона $e = 1.602 \cdot 10^{-19}$ Кл. Подсказка: постоянной Фарадея пользоваться нельзя, так как она связана с постоянной Авогадро.

Задача 6 (18 баллов)

Напишите уравнения реакций, соответствующие схеме превращений:



Вещество X состоит из двух элементов и содержит 8.7% магния по массе.

Задача 7 (20 баллов).

«Адский камень» X – неорганическая соль белого цвета, которая при попадании на кожу оставляет на ней темные следы. Отлично растворима в воде. При действии щелочи на водный раствор X выпадает темный осадок Y (реакция 1), который растворяется в аммиаке (реакция 2) и азотной кислоте (реакция 3) и светлеет при добавлении соляной кислоты (реакция 4).

Вещество Y используется в качестве катода в кнопочных батарейках, где анодом служит металлический цинк, а электролитом – раствор щелочи.

- 1) Определите вещества X и Y, запишите уравнения реакций (1) – (4).
- 2) Запишите уравнения полуреакций на катоде и аноде и суммарное уравнение реакции, протекающей в батарее. Щелочи в батарее не очень много.

Задания заключительного этапа олимпиады «Ломоносов» по химии 10 класс

Задача 1. Запишите уравнение реакции обмена, для которой полное ионное и сокращенное ионное уравнения совпадают. Приведите полное ионное уравнение реакции.

(6 баллов)

Задача 2. Изотоп медь-67 используется в медицине при лечении и диагностике онкологических заболеваний. ^{67}Cu распадается с испусканием β -частиц, период полураспада равен 61.8 часа. 1 г ^{67}Cu прореагировал при нагревании с избытком концентрированной серной кислоты. Каков период полураспада меди в образовавшемся соединении? Свой ответ обоснуйте. Запишите уравнение реакции взаимодействия ^{67}Cu с кислотой, а также уравнение распада.

(8 баллов)

Задача 3. На чашах весов размещены два одинаковых сосуда с газами. В первом сосуде при атмосферном давлении находится аргон, в другом сосуде – газ А при 144.7 кПа. Весы

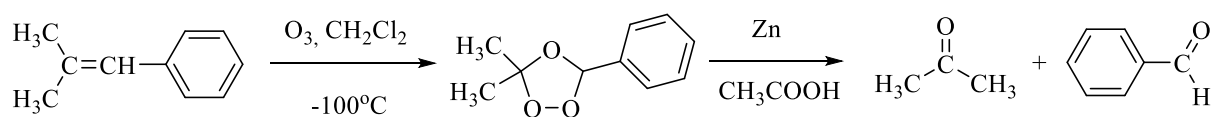
находятся в равновесии, температура газов одинаковая. Предложите формулу газа А, если известно, что он горит голубым пламенем. (10 баллов)

Задача 4. Смесь паров предельного одноатомного спирта и его ближайшего гомолога (оба – с неразветвленным углеродным скелетом), пропустили при нагревании над раскалённым оксидом меди(II), при этом образовалось 25.6 г меди. Определите строение исходных спиртов и их массовые доли в исходной смеси, если массовая доля углерода в ней составляла 63.27%. Напишите уравнения протекающих реакций. Атомную массу меди примите равной 64 г/моль. (16 баллов)

Задача 5. 50.00 г кристаллогидрата карбоната натрия растворили в воде. Объем раствора довели до 1.000 л, значение рН составило 11.82. Определите формулу кристаллогидрата, если константа диссоциации угольной кислоты по второй ступени $K_{\text{дисс}}(\text{HCO}_3^-) = 4.8 \cdot 10^{-11}$. (16 баллов)

Задача 6. Бесцветное кристаллическое вещество X массой 12.0 г растворили в воде и получили 100 г раствора, проба которого окрасила лакмус в красный цвет. Раствор разделили на три равные части и разлили их в колбы. В первую колбу добавили эквимольное количество гидрокарбоната натрия, во вторую – избыток цинка, а в третью – избыток раствора хлорида бария. В первой и второй колбах наблюдалось выделение газообразных продуктов реакции, причем объем газа, выделившегося из первой колбы, был в два раза больше объема газа, выделившегося из второй. В третьей колбе выпал белый осадок массой 7.77 г. Определите X, запишите уравнения всех протекающих реакций. Найдите массовую долю растворенного вещества в первой колбе по окончании реакции с гидрокарбонатом после полного выделения газа. (22 балла)

Задача 7. Озонолиз – окислительное расщепление алкенов по двойной связи, много десятилетий эта реакция служила основным способом определения строения алкенов, а также применялась в синтезе карбонильных соединений. В ходе реакции образуется нестабильный озонид, содержащий связь кислород–кислород, обработка которого цинком в уксусной кислоте дает смесь карбонильных соединений. Например, при обработке 1-фенил-2-метилпропена-1 озоном с последующим расщеплением озонида образуется смесь ацетона и бензальдегида:



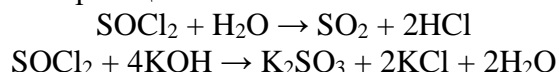
Определите строение непредельного соединения А, если известно, что при обработке 14.4 г А озоном с последующим расщеплением цинком в уксусной кислоте получено соединение Б. Для восстановления Б необходимо 7.34 л водорода (измерено при 25 °С и 1 атм), в то время как обработка такого же количества Б избытком аммиачного раствора оксида серебра приводит к образованию 32.4 г осадка. Установите строение соединений А и Б, если известно, что Б вступает в галоформную реакцию. Предложите метод синтеза А исходя из бензола и иодметана, напишите уравнения протекающих реакций. (22 балла)

Решения заданий заключительного этапа олимпиады «Ломоносов».
5-9 классы

Задача 1 (10 баллов). Запишем формулу **X** в виде ACl_n , где **A** содержит n атомов двух элементов. Из выражения для массовой доли хлора:

$$\omega(\text{Cl}) = \frac{35.5n}{M(\text{A}) + 35.5n} = 0.597$$

следует: $M(\text{A}) = 24n$. Минимальное значение n равно 2, тогда на 2 атома в **A** приходится 48 г/моль, это – **O** и **S** (16 + 32). Вещество **X** – SOCl_2 , хлористый тионил, или хлорангидрид сернистой кислоты. Уравнения реакций:



Ответ: **X** – SOCl_2 .

Задача 2 (14 баллов) Если сложить два уравнения из условия, то можно найти теплоту образования 4 моль воды:



Теплота реакции

равна $\frac{1}{2}\text{O}_2(\text{г}) + \text{H}_2(\text{г}) \rightarrow \text{H}_2\text{O}(\text{ж})$
 $(890 + 253) / 4 = 285.75 \approx 286 \text{ кДж/моль.}$ 8 баллов

2) $\nu(\text{H}_2\text{O}) = 1000 / 18 = 55.6$ моль. Для разложения такого количества воды потребуется
 $55.6 \cdot 285.75 = 15888 \text{ кДж}$ 2 балла

$\nu(\text{CH}_4) = 15888 / 890 = 17.85$ моль, 3 балла

$V(\text{CH}_4) = 17.85 \cdot 22.4 = 400 \text{ л.}$ 1 балл

Ответ: 286 кДж/моль; 400 л.

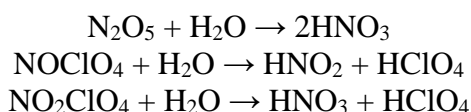
Задача 3 (14 баллов) 1) Нитрат представляет собой кислотный оксид, следовательно, оба катиона образованы азотом и кислородом. Это – NO^+ (катион нитрозония) и NO_2^+ (катион нитрония).

NO^+ : $[\text{N}\equiv\text{O}]^+$, степени окисления: N^{+3} , O^{-2} , валентности: $\text{N}(\text{III})$, $\text{O}(\text{III})$.

NO_2^+ : $[\text{O}=\text{N}=\text{O}]^+$, степени окисления: N^{+5} , O^{-2} , валентности: $\text{N}(\text{IV})$, $\text{O}(\text{II})$.

Высший оксид – N_2O_5 , в твёрдом виде представляет собой ионное соединение: $\text{NO}_2^+\text{NO}_3^-$.

2) Уравнения реакций:



Ответ: NO^+ , NO_2^+ .

Задача 4 (12 баллов) 1) Подставляем в уравнение $x = 100\%$:

$$t_{\text{пл}}(\text{In}) = 1.64 \cdot 100 - 8 = 156 \text{ }^\circ\text{C}.$$

2) Найдем состав с минимальной температурой плавления:

$$29.8 - x_{\text{min}} = 1.64x_{\text{min}} - 8$$

$$x_{\text{min}} = 14.3\% \text{ индия по молям}$$

$$t_{\text{пл}} = 29.8 - 14.3 = 15.5 \text{ }^\circ\text{C}.$$

3) Возьмем 100 г сплава, он содержит по 50 г индия и галлия.

$$\text{Мольная доля индия: } x_{\text{In}}(\%) = \frac{\frac{50}{114.8}}{\frac{50}{114.8} + \frac{50}{69.7}} \cdot 100\% = 37.8\%.$$

$$t_{\text{пл}} = 1.64 \cdot 37.8 - 8 = 54 \text{ }^\circ\text{C}.$$

На самом деле, сплав с мольной долей индия 37.8% начнет плавиться при температуре эвтектики, т.е. при 15.5 °С, а при температуре 54 °С расплавится весь. Правильным ответом можно считать весь диапазон от 15.5 до 54 °С, но такой ответ не встретился ни в одной работе.

Ответ. 1) 156°С. 2) 14.3 мол.% In; 15.5 °С. 3) 54 °С.

Задача 5 (12 баллов). На аноде растворяется никель: $\text{Ni} - 2e \rightarrow \text{Ni}^{2+}$.

Число электронов, прошедших через раствор: $N(e) = \frac{q}{e} = \frac{2525 \text{ с} \cdot 1.234 \text{ А}}{1.602 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}} = 1.945 \cdot 10^{22}$,

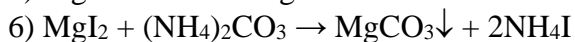
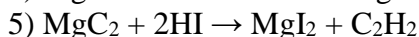
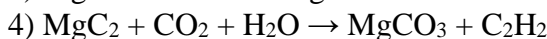
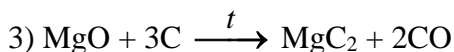
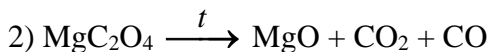
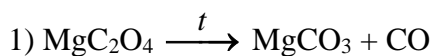
число атомов никеля, перешедших в раствор: $N(\text{Ni}) = \frac{N(e)}{2} = 9.725 \cdot 10^{21}$,

количество вещества никеля: $\nu(\text{Ni}) = \frac{0.9453}{58.69} = 1.611 \cdot 10^{-2}$ моль,

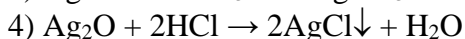
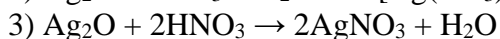
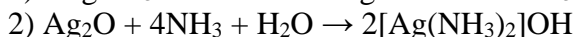
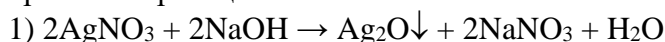
постоянная Авогадро: $N_A = \frac{N}{\nu} = \frac{9.725 \cdot 10^{21}}{1.611 \cdot 10^{-2}} = 6.038 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}$.

Ответ: $6.038 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}$.

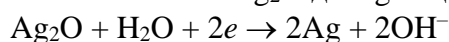
Задача 6 (18 баллов) $\text{X} - \text{MgI}_2$ (проверяем – $\omega(\text{Mg}) = 24.3 / 278.3 = 0.087$).



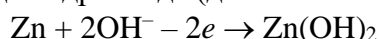
Задача 7 (20 баллов) 1) Из описания химических свойств **X** и **Y** понятно, что **X** – AgNO_3 , **Y** – Ag_2O . Уравнения реакций:



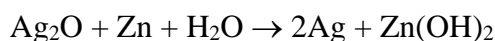
2) На катоде происходит восстановление Ag_2O до Ag в щелочной среде:



На аноде цинк окисляется до гидроксида (для комплексной соли щелочи не хватит):



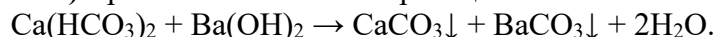
Суммарное уравнение:



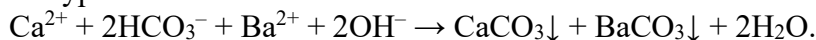
Ответ: **X** – AgNO_3 , **Y** – Ag_2O .

Решения заданий заключительного этапа олимпиады «Ломоносов» по химии. 10 класс

Задача 1. (6 баллов) Уравнение возможной реакции:



Полное ионное уравнение:

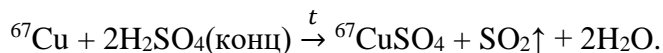


Сокращенное ионное уравнение имеет такой же вид.

Задача 2. (8 баллов) Период полураспада $\tau_{1/2}$ связан с постоянной распада λ следующим соотношением: $\tau_{1/2} = \ln 2 / \lambda$. Постоянная распада λ не зависит ни от температуры, ни от давления, ни от химического окружения, ни от каких-либо других внешних факторов.

Следовательно, то же самое справедливо и для $\tau_{1/2}$. Тогда в образовавшемся соединении период полураспада изотопа меди $\tau_{1/2} = 61.8$ ч.

Взаимодействие в кислотой:



Уравнение распада: $^{67}_{29}\text{Cu} \rightarrow ^{67}_{30}\text{Zn} + ^0_{-1}e.$

Задача 3. (10 баллов) Если сосуды одинаковые, у них одинаковая собственная масса и объем. Массы газов тоже совпадают, поскольку весы – в равновесии. Из уравнения Клапейрона-Менделеева:

$$m = \frac{pVM}{RT}.$$

Запишем условие равенства масс двух газов:

$$\frac{p_1VM_1}{RT} = \frac{p_2VM_2}{RT};$$

$$p_1M_1 = p_2M_2;$$

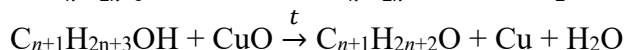
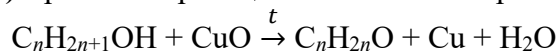
$$101.3 \cdot 40 = 144.7 \cdot M(\text{A})$$

$$M(\text{A}) = \frac{101.3 \cdot 40}{144.7} = 28 \text{ (г/моль)}.$$

Молярную массу 28 г/моль имеют несколько газов – CO, N₂, C₂H₄. Из них голубым пламенем горит угарный газ CO.

Ответ: CO.

Задача 4. (16 баллов) Уравнения реакций окисления спиртов:



Пусть более лёгкого спирта было x моль, а более тяжёлого – y моль, тогда общее количество полученной меди составляет

$$\nu(\text{Cu}) = 25.6 / 64 = 0.4 \text{ моль,}$$

$$x + y = 0.4.$$

Массовая доля углерода в смеси спиртов:

$$0.6327 = (12nx + (12n + 12)y) / ((14n + 18)x + (14n + 32)y).$$

Упрощая выражение, получаем

$$5nx - 18x = 13y - 5ny$$

или

$$x(5n - 18) = y(13 - 5n).$$

Ясно, что x и y – положительные числа, а n должно быть целым положительным числом. Единственное значение n , удовлетворяющее этим условиям, это 3.

Или, подставляя $y = 0.4 - x$, можно составить неравенство

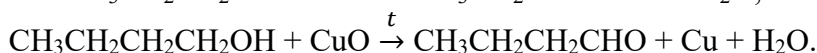
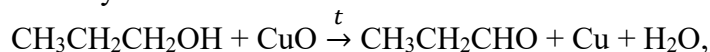
$$x(5n - 18) = (0.4 - x)(13 - 5n),$$

$$0 < x < 0.4,$$

откуда

$$2.6 < n < 3.6,$$

в данном интервале единственное целое значение n равно 3. Следовательно, исходная смесь состояла из пропанола-1 и бутанола-1:



Массовые доли спиртов в исходной смеси можно найти при помощи системы уравнений

$$\begin{cases} x + y = 0.4 \\ 0.6327 = (36x + 48y) / (60x + 74y) \end{cases}$$

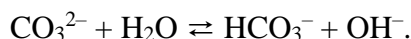
откуда $x = 0.15$ и $y = 0.25$. Массовые доли спиртов:

$$\omega(\text{пропанола-1}) = 0.15 \cdot 60 / (0.15 \cdot 60 + 0.25 \cdot 74) = 0.327 \text{ (или 32.7\%)},$$

$$\omega(\text{бутанола-1}) = 0.25 \cdot 74 / (0.15 \cdot 60 + 0.25 \cdot 74) = 0.673 \text{ (или 67.3\%)}. \quad \omega(\text{пропанола-1}) = 0.15 \cdot 60 / (0.15 \cdot 60 + 0.25 \cdot 74) = 0.327 \text{ (или 32.7\%)},$$

Ответ: 32.7% пропанола-1, 67.3% бутанола-1.

Задача 5. (16 баллов) В растворе происходит гидролиз карбоната (учитываем только первую ступень):



Константа равновесия гидролиза равна:

$$K = \frac{[\text{HCO}_3^-] \cdot [\text{OH}^-]}{[\text{CO}_3^{2-}]} = \frac{[\text{OH}^-]^2}{c - [\text{OH}^-]},$$

где c – исходная концентрация карбонат-иона. Константу гидролиза найдем через константу диссоциации и ионное произведение воды, а $[\text{OH}^-]$ – определим из значения pH:

$$K = \frac{K_w}{K_{\text{дисс}}(\text{HCO}_3^-)} = \frac{10^{-14}}{4.8 \cdot 10^{-11}} = 2.08 \cdot 10^{-4},$$

$$[\text{OH}^-] = 10^{\text{pH}-14} = 10^{-2.18} = 6.607 \cdot 10^{-3} \text{ М}.$$

С помощью этих величин рассчитаем молярную концентрацию карбоната в растворе:

$$c = \frac{[\text{OH}^-]^2}{K} + [\text{OH}^-] = 0.216 \text{ М}.$$

С учетом того, что объём раствора равен 1.000 л:

$$v(\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot x\text{H}_2\text{O}) = 0.216 \text{ моль},$$

$$M(\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot x\text{H}_2\text{O}) = 50.00 / 0.216 = 232 \text{ г/моль},$$

получаем

$$x = (232 - 106) / 18 = 7.$$

Ответ: $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$.

Задача 6. (22 балла) Так как раствор **X** имеет кислую среду (окрашивание лакмуса в красный цвет, выделение углекислого газа при реакции с гидрокарбонатом, выделение водорода при реакции с цинком), а при добавлении хлорида бария к раствору **X** выпадает белый осадок, можно предположить, что это – гидросульфат.

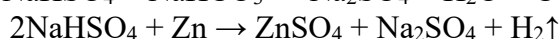
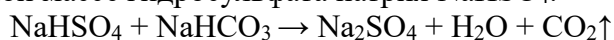
Полагая, что вещество **X** вступает в реакцию с хлоридом бария в эквимольном количестве, получаем:

$$v(\text{X}) = v(\text{BaSO}_4) = 7.77 / 233 = 0.0333 \text{ моль}.$$

Значит, в исходной навеске содержалось $0.0333 \cdot 3 = 0.1$ моль вещества **X**.

$$M(\text{X}) = 12 / 0.1 = 120 \text{ г/моль},$$

что соответствует молярной массе гидросульфата натрия NaHSO_4 .

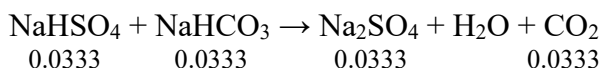


$$V(\text{CO}_2) = 2V(\text{H}_2),$$

что соответствует условию задачи.



В первой колбе по окончании реакции с гидрокарбонатом в растворе находится сульфат натрия:



$$m(\text{р-ра}) = 100 / 3 + 0.0333 \cdot 84 - 0.0333 \cdot 44 = 33.333 + 0.0333 \cdot 40 = 34.67 \text{ г}.$$

$$m(\text{Na}_2\text{SO}_4) = 0.0333 \cdot 142 = 4.73 \text{ г},$$

$$\omega(\text{Na}_2\text{SO}_4) = 4.73 / 34.67 = 0.136 \text{ (или 13.6\%)}.$$

Ответ: **X** – NaHSO_4 , 13.6% Na_2SO_4 .

Задача 7. (22 балла) Судя по условию задачи, непредельное соединение **A** имеет циклическое либо симметричное строение. Соединение **B** может вступать как в реакцию серебряного зеркала, так и в галоформную реакцию, следовательно, оно содержит альдегидный (CHO) и ацетильный (CH_3CO) фрагменты.

Количество вещества водорода для восстановления соединения **Б**:

$$\nu(\text{H}_2) = 7.34 \cdot 101.3 / (8.314 \cdot 298) = 0.3 \text{ моль},$$

а количество серебра, полученного в реакции окисления,

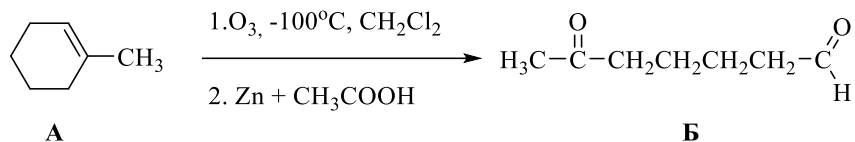
$$\nu(\text{Ag}) = 32.4 / 108 = 0.3 \text{ моль},$$

что говорит о том, что **Б** содержит две карбонильные группы, одна из которых является альдегидной. Молярная масса **А** составляет

$$M(\text{А}) = 14.4 / 0.15 = 96 \text{ г/моль}.$$

Исходя из того, что **А** – это алкен, получаем $14n = 96$. Данное выражение не дает целочисленных значений n . Можно предположить, что **А** – это циклоалкен, и $14n - 2 = 96$, откуда $n = 7$.

Поскольку **А** можно получить из бензола и иодметана, это 1-метилциклогексен, озонлиз которого с последующим восстановительным расщеплением и приводит к искомому **Б**:



Получение **А** из бензола и иодметана:

