

Варианты заданий по химии на вступительных экзаменах на Химический факультет МГУ в 2006 году

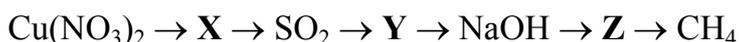
Олимпиада «ЛОМОНОСОВ-2006»

Химический факультет

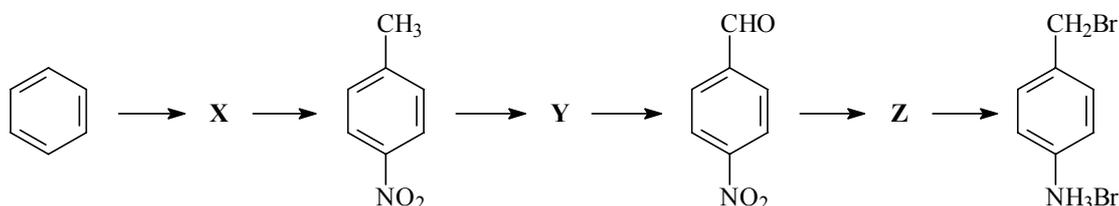
Олимпиада «ЛОМОНОСОВ-2006»

Вариант 1

1. Приведите структурные формулы одной молекулы и одного иона, в которых кислород имеет валентность III.
2. Выберите две органические кислоты, сравните их силу и объясните, какая из них сильнее и почему.
3. Назовите три вещества, принадлежащие разным классам неорганических соединений, при добавлении которых к воде образуется щелочной раствор. Приведите ионные уравнения реакций, протекающих в каждом растворе.
4. Напишите структурные формулы трех углеводородов, которые содержат 90.0 мас.% углерода и имеют разную молекулярную массу.
5. Навеску соединения железа с серой сожгли в избытке кислорода. Газ, выделившийся при сжигании, обесцвечивает 400 мл 0.2 М раствора перманганата калия, подкисленного серной кислотой. Твердый остаток от сжигания растворяется в 30 г 36.5%-ной соляной кислоты. Установите формулу соединения и массу навески.
6. Смесь 1.2 моль водорода и 0.7 моль иода (в парах) выдержали до установления равновесия при 800°C. В результате реакции выделилось 8.4 кДж теплоты. Рассчитайте константу равновесия $\text{H}_2 + \text{I}_2 \rightleftharpoons 2\text{HI}$ при этой температуре, если теплота образования HI равна 7.0 кДж/моль.
7. Напишите уравнения химических реакций, соответствующих следующей схеме, и определите неизвестные вещества:



8. Напишите уравнения химических реакций, соответствующих следующей схеме, и определите неизвестные вещества:



В уравнениях приведите структурные формулы веществ и укажите условия проведения реакций.

9. Смесь изомерных дихлорэтанов нагрели со спиртовым раствором щелочи. Выделившийся газ пропустили в аммиачный раствор оксида серебра, при этом выпало 9.60 г осадка. При обработке такого же количества исходной смеси водным раствором щелочи получена смесь, при действии на которую аммиачного раствора оксида серебра выпало 6.48 г осадка. Определите массу исходной смеси и мольную долю каждого изомера в ней.

10. Два газообразных простых вещества, состоящие из двухатомных молекул, смешали в объемном соотношении 1 : 9 в закрытом реакционном сосуде при температуре 20°C и высоком давлении. Сосуд нагрели до 215°C; при этом с количественным выходом образовалось газообразное сложное вещество, а давление по окончании реакции оказалось равно первоначальному. Определите формулу продукта реакции и напишите уравнения его реакций с водой и щелочью.

Химический факультет

Вариант СО-2006-1

1. Предложите способ устранения карбонатной жесткости воды. Приведите уравнение соответствующей реакции.

2. Нарисуйте структурную формулу одного из изомеров соединения состава C_4H_7Br , содержащего асимметрический атом углерода, и назовите его.

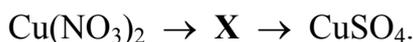
3. Колба, наполненная воздухом, на 0.54 г тяжелее такой же колбы, наполненной неоном, и на 0.9 г легче колбы, наполненной неизвестным газом при тех же условиях. Предложите три возможные формулы этого газа.

4. Для полного сгорания некоторого объема углеводорода потребовался объем кислорода, в 1.5 раза меньший, чем объем кислорода, необходимый для полного сгорания такого же объема последующего члена гомологического ряда. Установите формулы углеводородов.

5. Предложите способ количественного определения состава смеси металлов: Cu, Al, Ca, Au. Опишите ход проведения процесса, напишите уравнения реакций.

6. Равновесие реакции синтеза аммиака, протекающей в закрытом сосуде при постоянной температуре, наступило, когда давление упало на 10%. Начальные концентрации азота и водорода равны 0.2 моль/л. Рассчитайте константу равновесия.

7. Напишите уравнения реакций, соответствующих следующей схеме:



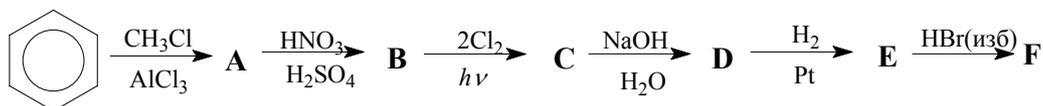
Рассмотрите три случая:

а) обе реакции — окислительно-восстановительные;

б) окислительно-восстановительной является только первая реакция;

в) окислительно-восстановительной является только вторая реакция.

8. Напишите уравнения реакций, соответствующих следующей последовательности превращений. Установите структурные формулы неизвестных веществ.



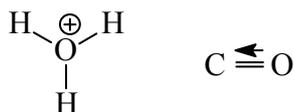
9. К 786 мл водного раствора нитрата серебра (концентрация 0.70 моль/л) добавили 70.1 г смеси бромидов натрия и рубидия. Осадок отфильтровали, а в раствор опустили железную пластинку. После окончания реакции масса пластинки изменилась на 4.0 г. Рассчитайте массовые доли бромидов в исходной смеси.

10. Неизвестный альдегид массой 3.92 г нагрели со смесью, полученной при действии избытка щелочи на 33.84 г нитрата меди(II). Образовавшийся осадок отфильтровали и выдержали при 150°C до постоянной массы, которая составила 13.28 г. Определите

возможную структурную формулу альдегида и предложите формулы трех его изомеров. Атомную массу меди примите равной $A_r(\text{Cu}) = 64$.

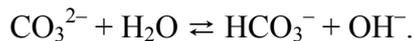
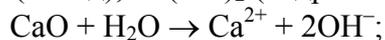
РЕШЕНИЯ ВАРИАНТА 1

1. Трехвалентный кислород содержится в молекуле CO и ионе гидроксония H_3O^+ :

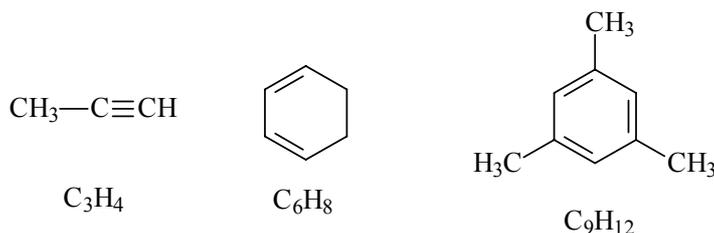


2. Трихлоруксусная кислота CCl_3COOH сильнее уксусной CH_3COOH из-за отрицательного индуктивного эффекта атомов хлора.

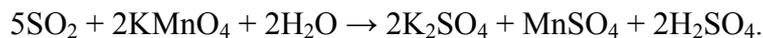
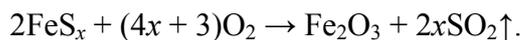
3. CaO (оксид), $\text{Ca}(\text{OH})_2$ (гидроксид), K_2CO_3 (соль):



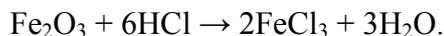
4. $\nu(\text{C}) : \nu(\text{H}) = (90/12) : (10/1) = 3 : 4$. Следовательно, простейшая формула – C_3H_4 . Она соответствует, например, следующим соединениям:



5. Газ, выделяющийся при сжигании, это SO_2 , а твердый остаток – Fe_2O_3 :



$\nu(\text{KMnO}_4) = 0.4 \cdot 0.2 = 0.08$ моль, $\nu(\text{SO}_2) = 0.08 \cdot 5 / 2 = 0.2$ моль, $\nu(\text{S}) = 0.2$ моль.



$\nu(\text{HCl}) = 30 \cdot 0.365 / 36.5 = 0.3$ моль, $\nu(\text{Fe}_2\text{O}_3) = \nu(\text{HCl}) / 6 = 0.05$ моль,

$\nu(\text{Fe}) = 2 \cdot 0.05 = 0.1$ моль.

$\nu(\text{Fe}) : \nu(\text{S}) = 1 : 2$. Формула соединения – FeS_2 , это пирит.

$\nu(\text{FeS}_2) = \nu(\text{Fe}) = 0.1$ моль. $m(\text{FeS}_2) = 0.1 \cdot 120 = 12.0$ г.

Ответ: 12.0 г FeS_2 .

6. $\text{H}_2 + \text{I}_2 \rightleftharpoons 2\text{HI}$.

$$K = \frac{\nu(\text{HI})^2}{\nu(\text{H}_2) \cdot \nu(\text{I}_2)}.$$

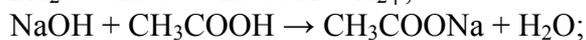
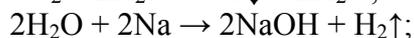
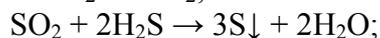
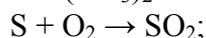
В результате реакции образовалось $8.4 / 7.0 = 1.2$ моль HI, следовательно, было израсходовано по 0.6 моль H_2 и I_2 .

$\nu(\text{HI}) = 1.2$ моль, $\nu(\text{H}_2) = 1.2 - 0.6 = 0.6$ моль, $\nu(\text{I}_2) = 0.7 - 0.6 = 0.1$ моль.

$$K = 1.2^2 / (0.6 \cdot 0.1) = 24.$$

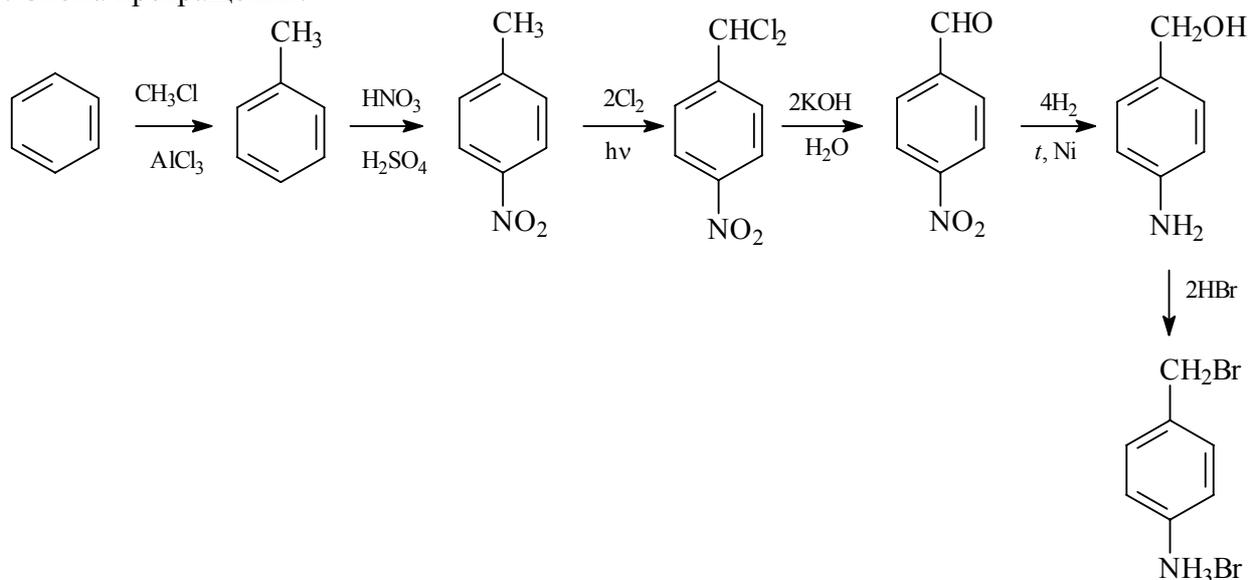
Ответ: $K = 24$.

7. $2\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 \xrightarrow{t} 2\text{CuO} + 4\text{NO}_2\uparrow + \text{O}_2\uparrow;$



Ответ: X – O_2 , Y – H_2O , Z – CH_3COONa .

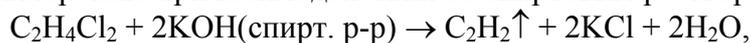
8. Схема превращений:



Ответ: X – $\text{C}_6\text{H}_5\text{CH}_3$, Y – $\text{O}_2\text{N-C}_6\text{H}_4\text{CH}_2\text{Cl}$, Z – $\text{H}_2\text{N-C}_6\text{H}_4\text{CH}_2\text{OH}$.

9. Дихлорэтаны: CH_3CHCl_2 и $\text{ClCH}_2\text{CH}_2\text{Cl}$.

Оба дихлорэтана при взаимодействии со спиртовым раствором щелочи дают ацетилен:

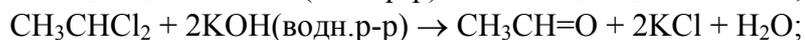
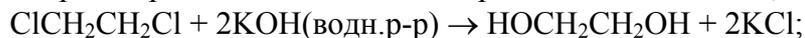


который взаимодействует с аммиачным раствором оксида серебра:



$\nu(\text{C}_2\text{Ag}_2) = 9.60 / 240 = 0.04$ моль = $\nu(\text{C}_2\text{H}_2) = \nu_{\text{общ}}(\text{C}_2\text{H}_4\text{Cl}_2)$ – суммарное количество дихлорэтанов. Масса исходной смеси дихлорэтанов $m_{\text{общ}} = 0.04 \cdot 99 = 3.96$ г.

С водным раствором щелочи один изомер дает этиленгликоль, а другой – альдегид:



именно альдегид реагирует с аммиачным раствором оксида серебра:



$\nu(\text{Ag}) = 6.48 / 108 = 0.06$ моль, $\nu(\text{CH}_3\text{CH}=\text{O}) = \nu(\text{CH}_3\text{CHCl}_2) = 0.06 / 2 = 0.03$ моль,

$\nu(\text{ClCH}_2\text{CH}_2\text{Cl}) = 0.04 - 0.03 = 0.01$ моль.

Ответ. 3.96 г; 75% CH_3CHCl_2 , 25% $\text{ClCH}_2\text{CH}_2\text{Cl}$.

10. $\text{A}_2 + x\text{B}_2 \rightarrow 2\text{AB}_x$.

Пусть в исходной смеси находились 1 моль A_2 и 9 моль B_2 .

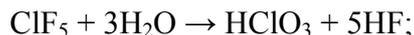
Вещество	Исходное количество	Вступило в реакцию	Конечное количество
A_2	1	1	0
B_2	9	x	9 – x
AB_x	0	2	2
Всего	10		11 – x

Так как $p_1 = \frac{\nu_1 RT_1}{V}$, $p_2 = \frac{\nu_2 RT_2}{V}$ и по условию $p_2 = p_1$, то можно рассчитать

$$\nu_2 = \frac{\nu_1 T_1}{T_2} = \frac{10 \cdot 293}{488} = 6; \quad 11 - x = 6, \text{ отсюда } x = 5.$$

Простые вещества – двухатомные газы: H_2 , N_2 , O_2 , F_2 и Cl_2 . Из этих веществ можно получить только одно вещество состава AB_5 , а именно ClF_5 .

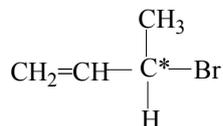
При взаимодействии с водой и щелочью ClF_5 гидролизуется:



Ответ: ClF_5 .

РЕШЕНИЯ ВАРИАНТА СО-2006-1

1. $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2 \xrightarrow{t^\circ} \text{CaCO}_3\downarrow + \text{CO}_2\uparrow + \text{H}_2\text{O}$ (кипячение).



2.

Ответ: 3-бромбутен-1.

3. Колбы и условия одинаковы, поэтому количества газов равны.

Разница масс колб равна разнице масс газов, поэтому:

$$m_{\text{воздуха}} - m_{\text{Ne}} = \nu \cdot 29 - \nu \cdot 20 = 0.54,$$

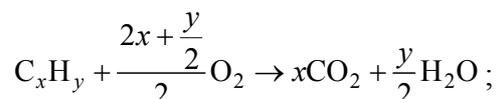
отсюда количество газов в каждой колбе составляет $\nu = 0.06$ моль.

Сравнивая массы одинаковых количеств неизвестного газа **X** и воздуха, получаем:

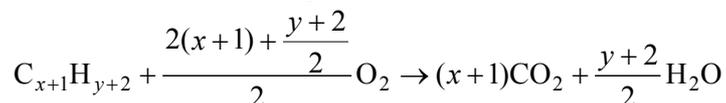
$$m_{\text{X}} - m_{\text{воздуха}} = 0.06 \cdot M_{\text{X}} - 0.06 \cdot 29 = 0.9, \text{ следовательно, } M_{\text{X}} = 44 \text{ г/моль.}$$

Ответ: $M = 44$ г/моль, газы N_2O , CO_2 , C_3H_8 .

4. Уравнение реакции сгорания для исходного углеводорода:



а для следующего члена гомологического ряда:



По условию задачи $\frac{x + 0.25y + 1.5}{x + 0.25y} = 1.5$, упростив, получаем $4x + y = 12$, откуда $x = 2, y = 4$.

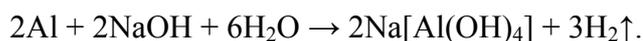
Значит, искомым углеводород – это этилен C_2H_4 , следующий гомолог – пропен C_3H_6 .

Ответ: $\text{C}_2\text{H}_4, \text{C}_3\text{H}_6$.

5. Растворяем смесь металлов в избытке воды, уменьшение массы смеси – это масса кальция:



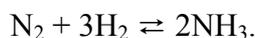
Твердый остаток растворяем в избытке щелочи, уменьшение массы смеси – масса алюминия:



Затем остаток растворяем в избытке азотной кислоты, уменьшение массы смеси – масса меди: $3\text{Cu} + 8\text{HNO}_3 \rightarrow 3\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 + 2\text{NO}_2\uparrow + 4\text{H}_2\text{O}$.

Масса твердого остатка – это масса золота.

6. Уравнение обратимой реакции:



Уравнение Менделеева-Клапейрона $pV = \nu RT$ для каждого из газов можно записать в виде $p = CRT$, где $C = \nu / V$ – это концентрация данного газа (моль/л).

$$p_{\text{нач}} = (0.2 + 0.2)RT$$

Пусть прореагировало x моль/л азота. Тогда:

$$0.9 p_{\text{кон}} = ((0.2 - x) + (0.2 - 3x) + 2x)RT$$

и

$$0.9 = \frac{0.4 - 2x}{0.4}, \text{ откуда } x = 0.02 \text{ моль/л.}$$

Концентрации газов в равновесии:

$$[\text{N}_2] = 0.2 - 0.02 = 0.18 \text{ моль/л,}$$

$$[\text{H}_2] = 0.2 - 0.02 \cdot 3 = 0.14 \text{ моль/л,}$$

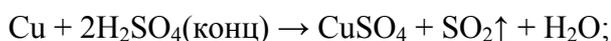
$$[\text{NH}_3] = 0.02 \cdot 2 = 0.04 \text{ моль/л.}$$

Константа равновесия, выраженная через концентрации:

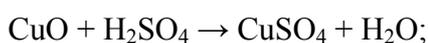
$$K_C = \frac{[\text{NH}_3]^2}{[\text{N}_2][\text{H}_2]^3} = \frac{0.04^2}{0.18 \cdot 0.14^3} = 3.24.$$

Ответ: $K_c = 3.24 \text{ л}^2/\text{моль}^2$.

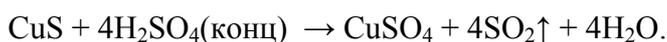
7. а) $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 + \text{Fe} \rightarrow \text{Fe}(\text{NO}_3)_2 + \text{Cu}$;



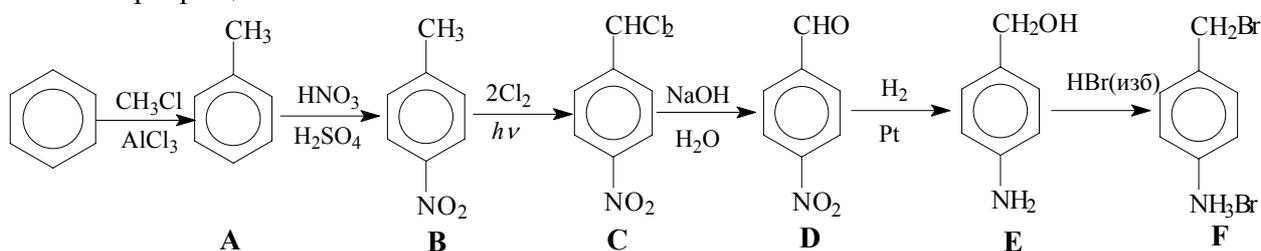
б) $2\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 \xrightarrow{\text{t}^\circ} 2\text{CuO} + 4\text{NO}_2\uparrow + \text{O}_2\uparrow$;



в) $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 + \text{Na}_2\text{S} \rightarrow \text{CuS}\downarrow + 2\text{NaNO}_3$;

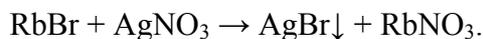
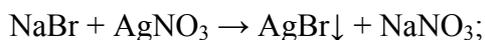


8. Схема превращений:

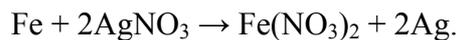


Замечание: при нитровании этилбензола возможно замещение в *орто*-положение.

9. При приливании раствора нитрата серебра к раствору смеси бромидов происходят следующие реакции:



Чтобы происходила реакция с железной пластинкой, в растворе должен остаться в избытке нитрат серебра:



Изменение массы пластинки равно разности масс выделившегося на ней серебра и перешедшего в раствор железа. Если прореагировало a моль AgNO_3 , то в соответствии с уравнением реакции:

$$\Delta m = m_{\text{Ag}} - m_{\text{Fe}} = a \cdot 108 - 0.5a \cdot 56 = 4.0,$$

откуда $a = 0.05$ моль.

Всего нитрата серебра было $\nu(\text{AgNO}_3) = V \cdot c = 0.786 \cdot 0.70$ моль, а с бромиды прореагировало $0.55 - 0.05 = 0.50$ моль. Пусть всего было x моль NaBr и y моль RbBr , тогда можно составить систему уравнений:

$$\begin{cases} x + y = 0.5 \\ 103x + 165y = 70.1 \end{cases}$$

Решение системы дает $x = 0.2$ моль, $y = 0.3$ моль. Тогда

$$m(\text{NaBr}) = 0.2 \cdot 103 = 20.6 \text{ г,}$$

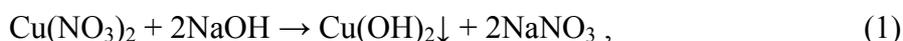
$$m(\text{RbBr}) = 0.3 \cdot 165 = 49.5 \text{ г.}$$

Массовые доли солей:

$$\omega(\text{NaBr}) = 20.6 / 70.1 = 0.294 \text{ (или 29.4\%); } \omega(\text{RbBr}) = 49.5 / 70.1 = 0.706 \text{ (или 70.6\%).}$$

Ответ: 29.4% NaBr , 70.6% RbBr .

10. Одной из качественных реакций альдегидов является образование оранжевого («морковно-красного») осадка при нагревании со свежесажженным гидроксидом меди(II):



Количества веществ: $\nu(\text{Cu}(\text{NO}_3)_2) = m / M = 33.84 / 188 = 0.18$ моль; $\nu(\text{Cu}(\text{OH})_2) = 0.18$ моль по реакции (1). Если предположить, что остаток после прокаливания состоит только из Cu_2O , то $\nu(\text{Cu}_2\text{O}) = 13.28 / 144 = 0.092$ моль, чего быть не может, поскольку по уравнению (2) должно образоваться $0.18 / 2 = 0.09$ моль Cu_2O .

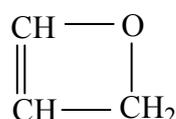
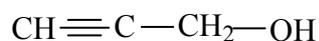
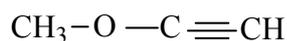
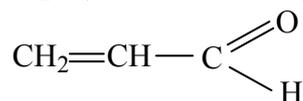
Следовательно, гидроксид меди(II) был взят в избытке и при выдерживании осадка при 150°C образовался еще и оксид меди(II):



Пусть неизвестного альдегида было x моль, тогда по реакции (2) прореагировало $2x$ моль $\text{Cu}(\text{OH})_2$, образовалось x моль Cu_2O и осталось еще $(0.18 - 2x)$ моль непрореагировавшего гидроксида, который дает при нагревании по реакции (3) столько же молей оксида. Поэтому можно записать уравнение $144x + (0.18 - 2x) \cdot 80 = 13.28$, решением которого является $x = 0.07$ моль. Таким образом, молярная масса неизвестного альдегида $M = 3.92 / 0.07 = 56$ г/моль. Молярная масса M_R радикала R , входящего в состав альдегида, равна $56 - 29 = 27$ г/моль. Обозначив радикал C_xH_y , получаем уравнение:

$$12x + y = 27.$$

Поскольку x и y – целые числа, решением уравнения является $x = 2, y = 3$. Следовательно, радикал имеет состав C_2H_3 , а альдегид – $\text{C}_2\text{H}_3\text{CHO}$. Возможные изомеры:



Ответ: $\text{C}_2\text{H}_3\text{CHO}$.