

Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования  
«Рязанский государственный медицинский университет  
имени академика И.П. Павлова»  
Министерства здравоохранения Российской Федерации

*Кафедра общей химии*

**Т.Ю. Колосова**

**Сборник заданий и ответов  
отборочного и заключительного этапов  
олимпиады школьников по химии**

Рязань, 2021

**УДК 54(075.83)**

**ББК 24**

**К 614**

Рецензенты: **М.А. Фролова** – канд. фарм. наук, доц. кафедры фармацевтической химии;  
**А.С. Лизунова** – канд. биол. наук, доц. кафедры фармакогнозии

Автор: **Т.Ю. Колосова** – канд. хим. наук, доц. кафедры общей химии

**Колосова Т.Ю.**

**К 614** Сборник заданий и ответов отборочного и заключительного этапов олимпиады школьников по химии / Т.Ю. Колосова; ФГБОУ ВО РязГМУ Минздрава России. – Рязань: ОТСиОП, 2021. – 51 с.

В сборнике представлены задания Открытой олимпиады по химии, проводимой на базе РязГМУ им. И.П. Павлова.

Сборник предназначен для участников Открытой олимпиады по химии для самостоятельной подготовки, а также в помощь преподавателям для эффективной работы с учащимися по повторению, систематизации и обобщению знаний по химии.

Библиогр.: 2

**УДК 54(075.83)**

**ББК 24**

© Колосова Т.Ю., 2021

©ФГБОУ ВО РязГМУ Минздрава России, 2021

## ВВЕДЕНИЕ

Сборник заданий и ответов отборочного и заключительного этапов олимпиады школьников по химии содержит задачи, предлагавшиеся на Открытой олимпиаде по химии в 2018 – 2021 годах.

Решение задач по химии – это обязательный элемент ее изучения, ведь решая разнообразные задачи, школьники анализируют протекание химических реакций, делают выводы о реакционной способности химических веществ и свойствах соединений различных классов, выполняют разнообразные расчеты по химическим уравнениям. Поэтому сборник позволяет читателю полнее ознакомиться со свойствами химических соединений.

Сборник учит школьников использовать в процессе решения задач важнейшие химические свойства соединений. Это формирует прочные знания о закономерностях реакций и процессов, изучаемых в различных разделах химии: Общей химии, Физической химии, Неорганической химии, Органической химии.

Сборник предназначен для участников олимпиад по химии.

# ОБЩАЯ ХИМИЯ

## №1

В угловых молекулах типа  $AB_2$  валентный угол может быть близок к величинам  $120^\circ$ ,  $109^\circ$  или  $90^\circ$ . Приведите примеры молекул и объясните, почему угол имеет именно такое значение.

### Решение

Молекула  $SO_2$  – валентный угол  $120^\circ$ , что соответствует  $sp^2$ -гибридизации

Молекула  $H_2O$  – валентный угол  $104^\circ$  (около  $109^\circ$ ), что соответствует  $sp^3$ -гибридизации

Молекула  $H_2S$  – валентный угол  $91^\circ$ , что соответствует негибридному состоянию атома серы.

## №2

Опишите пространственное строение фторида бора, фторида азота (III) и иона  $BF_4^-$ . Сравните и объясните. Имеют ли две первые частицы дипольный момент?

### Решение

Молекула  $BF_3$  имеет плоское строение, углы между связями составляют  $120^\circ$ . Это связано с  $sp^2$  гибридной атомом бора. Молекула неполярна, дипольный момент равен нулю.

Молекула  $NF_3$  имеет форму правильной треугольной пирамиды с атомом азота в вершине. Это связано с  $sp^3$  гибридной атомом азота. Молекула полярна и имеет дипольный момент.

Ион  $BF_4^-$  имеет тетраэдрическую форму. Это связано с  $sp^3$  гибридной атомом бора в составе иона.

## №3

Определите, какие из перечисленных молекул: этан, фосфин, бромид бора, пропанон, – являются полярными, а какие – неполярными? Ответ поясните.

Определите гибридную центрального атома каждой молекулы.

### Решение

Молекула  $C_2H_6$  – неполярна. Дипольные моменты метильных групп компенсируют друг друга. Атомы углерода находятся в гибридной  $sp^3$ .

Молекула  $\text{PH}_3$  – полярна. Полярность молекулы фосфина обусловлена дипольным моментом связей P–H, которые расположены под углом, близким к  $93^\circ$ , так как атом фосфора не подвергается гибридизации.

Молекула  $\text{BBr}_3$  – неполярна. Атом бора находится в гибридизации  $sp^2$ , дипольные моменты полярных связей B–Br компенсируют друг друга.

Молекула  $\text{CH}_3\text{COCH}_3$  – полярна. Полярность молекулы обусловлена дипольным моментом связи C=O. Центральный атом углерода в молекуле ацетона находится в гибридизации  $sp^2$ .

#### №4

Природный магний представлен смесью трех изотопов:  $^{24}\text{Mg}$ ,  $^{25}\text{Mg}$  и изотоп с неизвестным массовым числом. Относительные атомные массы  $^{24}\text{Mg}$  и  $^{25}\text{Mg}$  и их содержание в природной смеси равны, соответственно, 23,98504 а.е.м. (мольная доля 78,99%) и 24,985584 а.е.м. (10,00%). Определите массовое число третьего изотопа и рассчитайте его относительную атомную массу.

Чем отличаются изотопы магния? Что такое изотопы?

#### Решение

В таблице Д.И. Менделеева указана средняя относительная масса магния 24,305 а.е.м. Она рассчитана исходя из масс и мольных долей изотопов. Найдем мольную долю третьего изотопа с неизвестной относительной атомной массой:

$$\chi(^x\text{A}_r) = 1 - 0,7899 - 0,10 = 0,1101$$

Составляем алгебраическое уравнение

$$0,1101 \cdot x + 0,1 \cdot 24,985584 + 0,7899 \cdot 23,98504 = 24,305$$

Отсюда находим  $^x\text{A}_r = 25,9824$  а.е.м. – это  $^{26}\text{Mg}$ .

Изотопы различаются количеством нейтронов в ядре: 12, 13 и 14, соответственно, для магния.

Изотопы – разновидности атомов одного химического элемента, сходные по свойствам (и по структуре электронных оболочек), но отличающиеся массой ядер.

**Ответ:**  $^{26}\text{Mg}$ ,  $A_r = 25,9824$  а.е.м.

### №5

Приведите по примеру бинарного и простого веществ, обладающих свойствами: а) проводника электрического тока, б) диэлектрика, в) полупроводника.

### Решение

	проводник	диэлектрик	полупроводник
бинарное вещество	карбиды некоторых металлов: WC	углеводороды $C_xH_y$ и многие другие	бинарные соединения III–V периодов: GaAs
простое вещество	любой металл, $C_{\text{графит}}$	$C_{\text{алмаз}}$	Si, $C_{\text{карбин}}$

### №6

Эквимольная смесь оксидов углерода (II) и углерода (IV) занимает объем 14 л (н.у.). Рассчитайте общую массу электронов в этой смеси, принимая массу одного электрона равной 0,00055 а.е.м.

### Решение

Поскольку  $v(\text{газовой смеси}) = 14 \text{ л} / 22,4 \text{ л/моль} = 0,625$  моль, смесь содержит 0,3125 моль CO и 0,3125 моль CO<sub>2</sub>.

Одна молекула CO содержит  $6 + 8 = 14$  электронов, следовательно, 0,3125 моль CO содержит  $0,3125 \cdot 14 = 4,375$  моль электронов.

Одна молекула CO<sub>2</sub> содержит  $6 + 2 \cdot 8 = 22$  электрона, следовательно, 0,3125 моль CO<sub>2</sub> содержит  $0,3125 \cdot 22 = 6,875$  моль электронов.

Газовая смесь содержит  $4,375 + 6,875 = 11,25$  моль электронов.

Поскольку  $A_r(\text{электрона}) = 0,00055 \text{ а.е.м.}$ , то  $M(\text{электрона}) = 0,00055 \text{ г/моль}$ . Тогда  $m(\text{электронов}) = 11,25 \cdot 0,00055 = 0,006188 \text{ г} = 6,19 \text{ мг}$ .

**Ответ:** 6,19 мг.

### №7

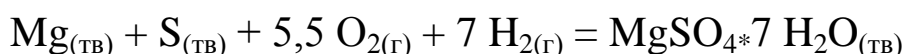
Вычислите теплоту реакции образования гептагидрата сульфата магния, используя следующие данные:

Реакция	Теплота реакции, кДж
$\text{Mg}_{(\text{ТВ})} + 2 \text{H}^+_{(\text{р})} = \text{Mg}^{2+}_{(\text{р})} + \text{H}_{2(\text{г})}$	467,0
$\text{H}_{2(\text{г})} + \text{S}_{(\text{ТВ})} + 2 \text{O}_{2(\text{г})} = 2 \text{H}^+_{(\text{р})} + \text{SO}_4^{2-}_{(\text{р})}$	909,3
$\text{MgSO}_4 \cdot 7 \text{H}_2\text{O}_{(\text{ТВ})} = \text{Mg}^{2+}_{(\text{р})} + \text{SO}_4^{2-}_{(\text{р})} + 7 \text{H}_2\text{O}_{(\text{ж})}$	1,6
$2 \text{H}_2\text{O}_{(\text{г})} = 2 \text{H}_{2(\text{г})} + \text{O}_{2(\text{г})}$	-483,6
$\text{H}_2\text{O}_{(\text{г})} = \text{H}_2\text{O}_{(\text{ж})}$	44,0

Обоснуйте ваше решение.

### Решение

Составим реакцию образования гептагидрата сульфата магния из простых веществ:



Выразим теплоту этой реакции, используя табличные данные:

$$Q_{\text{обр}} = Q_1 + Q_2 - Q_3 - 3,5 \cdot Q_4 + 7 \cdot Q_5$$

Выполним расчет:

$$Q_{\text{обр}} = 467,0 + 909,3 - 1,6 - 3,5 \cdot (-483,6) + 7 \cdot 44 = 3375,3 \text{ кДж/моль}$$

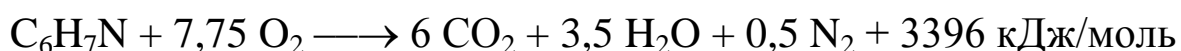
**Ответ:** 3375,3 кДж/моль.

### №8

Вычислите, какое количество теплоты выделилось при сжигании анилина, если продукты его сгорания создают при температуре 25°C в сосуде с объемом 1 литр давление равное 3,18 атм, а теплота сгорания анилина составляет 3396 кДж/моль.

### Решение

Составим реакцию сгорания анилина:



При 25°C вода представляет собой жидкость, поэтому 1 моль анилина образует  $6 + 0,5 = 6,5$  моль газов.

Рассчитаем число моль продуктов сгорания – газообразных веществ, образовавшихся в сосуде:

$$\nu = pV / RT = 3,18 \cdot 10^3 \cdot 25 \cdot 0,001 / (8,31 \cdot 298) = 0,13 \text{ моль}$$

Пусть в сосуде было  $x$  моль анилина, следовательно, при сжигании образовалось  $6,5 \cdot x$  моль газов.

$$6,5 \cdot x = 0,13, \text{ откуда } x = 0,02 \text{ моль анилина, сгоревшего в сосуде.}$$

$$Q = 3396 \text{ кДж/моль} \cdot 0,02 \text{ моль} = 67,92 \text{ кДж.}$$

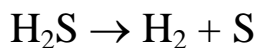
**Ответ:** 67,92 кДж.

### №9

В закрытый сосуд ( $25^\circ\text{C}$ , 1 атм) поместили сероводород и сильно нагрели. Плотность образовавшейся газовой смеси после приведения к исходным условиям оказалась в 3,4 раза меньше исходной плотности сероводорода. Определите состав полученной газовой смеси в мольных долях и степень разложения сероводорода.

### Решение

В закрытом сосуде протекала реакция:



В результате реакции число молей газов и их объем не изменились ( $\text{H}_2\text{S}$  и  $\text{H}_2$  – газы,  $\text{S}$  – твердое вещество), следовательно, плотность уменьшилась за счет уменьшения массы. Масса же уменьшилась за счет конденсации серы после охлаждения до  $25^\circ\text{C}$ .

Пусть до реакции был 1 моль сероводорода массой  $m_{\text{до}} = 34$  г, тогда после реакции  $m_{\text{после}} = 34 / 3,4 = 10$  г и  $\Delta m = 34 - 10 = 24$  г – это масса осажденной серы.

$$\nu(\text{S}) = 24 / 32 = 0,75 \text{ моль.}$$

Следовательно, разложилось 0,75 моль  $\text{H}_2\text{S}$ , а в конечной газовой смеси содержится 0,75 моль  $\text{H}_2$  (75%) и 0,25 моль  $\text{H}_2\text{S}$  (25%).

Степень разложения составляет  $0,75 / 1 = 0,75$  или 75%.

**Ответ:** 75%  $\text{H}_2$ , 25%  $\text{H}_2\text{S}$  в конечной смеси, степень разложения – 75%.



# ФИЗИЧЕСКАЯ ХИМИЯ

## №10

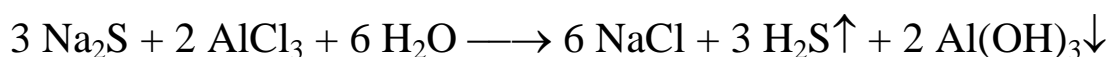
Как изменится значение рН раствора сульфида натрия, если к нему прилить раствор стехиометрического количества хлорида алюминия?

Как изменится значение рН раствора гидрокарбоната натрия, если его прокипятить?

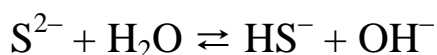
Как изменится значение рН раствора гидросульфида натрия, если к нему прилить раствор стехиометрического количества ацетата цинка?

Ответы обоснуйте. Приведите все необходимые уравнения реакций.

### Решение



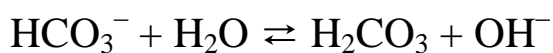
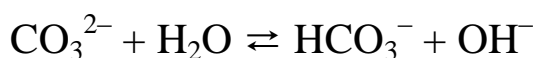
Раствор сульфида натрия имеет щелочную среду из-за гидролиза.



Реакция среды изменится со щелочной до нейтральной, так как хлорид натрия не гидролизуется. Значение рН понизится.



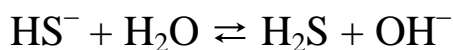
Растворы карбоната и гидрокарбоната натрия имеют щелочную среду из-за гидролиза.



Реакция среды изменится со слабощелочной до щелочной, так как карбонат гидролизуется сильнее гидрокарбоната. Значение рН повысится.



Раствор гидросульфида натрия имеет щелочную среду из-за гидролиза.



Реакция среды изменится со щелочной до кислой, так как смесь ацетата натрия и уксусной кислоты представляет собой кислый ацетатный буфер. Значение рН понизится.

**Ответ:** понизится, повысится, понизится.

### №11

Раствор содержит  $\text{H}^+$  ионов в  $10^4$  раз больше, чем  $\text{OH}^-$  ионов. Определите рН раствора.

*Для справки:* Водородный показатель рН рассчитывается по формуле  $\text{pH} = -\lg[\text{H}^+]$ . Ионное произведение воды  $[\text{H}^+][\text{OH}^-] = 10^{-14}$ .

#### Решение

Пусть  $[\text{OH}^-] = x$ , тогда  $[\text{H}^+] = 10^4 \cdot x$ .

Так как величина ионного произведения воды  $[\text{H}^+][\text{OH}^-] = 10^{-14}$ , следовательно,  $10^4 \cdot x \cdot x = 10^{-14}$

Решаем уравнение:

$$x^2 = 10^{-18}, \text{ следовательно, } x = 10^{-9}$$

$$[\text{OH}^-] = 10^{-9}, \quad \text{значит} \quad \text{pOH} = -\lg[\text{OH}^-] = 9, \\ \text{pH} = 14 - \text{pOH} = 14 - 9 = 5$$

**Ответ:** рН = 5.

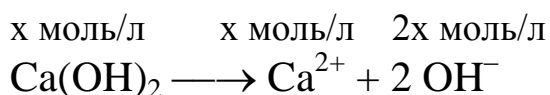
### №12

Каково значение рН насыщенного раствора гидроксида кальция, если произведение растворимости (ПР)  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  составляет  $5,5 \cdot 10^{-6}$ ? Сколько миллилитров воды потребуется для растворения 1 г  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ?

*Для справки:*  $\text{ПР}(\text{Ca}(\text{OH})_2) = [\text{Ca}^{2+}][\text{OH}^-]^2$ , где  $[\text{Ca}^{2+}]$  и  $[\text{OH}^-]$  – концентрации ионов в насыщенном растворе  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ . Водородный показатель рН рассчитывается по формуле  $\text{pH} = -\lg[\text{H}^+]$ . Ионное произведение воды  $[\text{H}^+][\text{OH}^-] = 10^{-14}$ .

#### Решение

Пусть молярная концентрация  $c(\text{Ca}(\text{OH})_2)$  в насыщенном растворе составляет  $x$  моль/л. Тогда



Используя выражение для ПР, составляем алгебраическое уравнение:

$$x \cdot (2x)^2 = 5,5 \cdot 10^{-6}$$

Решаем и получаем:

$$4x^3 = 5,5 \cdot 10^{-6}, \text{ следовательно, } x = 1,112 \cdot 10^{-2}$$

$$c(\text{Ca}(\text{OH})_2) = 1,112 \cdot 10^{-2} \text{ моль/л (в насыщенном растворе)}$$

Проводим расчет pH:

$$[\text{OH}^-] = 2x = 2,224 \cdot 10^{-2} \text{ моль/л}$$

$$[\text{H}^+] = 10^{-14} / (2,224 \cdot 10^{-2}) = 0,45 \cdot 10^{-12}$$

$$\text{pH} = -\lg 0,45 \cdot 10^{-12} = 12,35$$

Рассчитаем объем воды: в одном литре воды с образованием насыщенного раствора растворится  $1,112 \cdot 10^{-2}$  моль/л  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  или  $1,112 \cdot 10^{-2}$  моль  $\cdot 74$  г/моль = 0,823 г  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ . А 1 г  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  растворится в  $1 / 0,823 = 1,215$  л воды или в 1215 мл.

**Ответ:** pH = 12,35; 1215 мл воды.

### №13

Рассчитайте значение pH, при котором из 0,1 М раствора хлорида магния осаждается гидроксид магния.  $\text{ПР}(\text{Mg}(\text{OH})_2) = 6,8 \cdot 10^{-12}$ .

*Для справки:*  $\text{ПР}(\text{Mg}(\text{OH})_2) = [\text{Mg}^{2+}] \cdot [\text{OH}^-]^2$ , где  $[\text{Mg}^{2+}]$  и  $[\text{OH}^-]$  – концентрации ионов в насыщенном растворе  $\text{Mg}(\text{OH})_2$ . Ионное произведение воды  $[\text{H}^+] \cdot [\text{OH}^-] = 10^{-14}$ . Водородный показатель pH рассчитывается по формуле  $\text{pH} = -\lg[\text{H}^+]$ .

### Решение

Согласно величине произведения растворимости  $\text{Mg}(\text{OH})_2$ :

$$\text{ПР} = [\text{Mg}^{2+}] \cdot [\text{OH}^-]^2, \text{ следовательно, } 6,8 \cdot 10^{-12} = 0,1 \cdot [\text{OH}^-]^2$$

Решаем алгебраическое уравнение:

$$[\text{OH}^-] = 8,25 \cdot 10^{-6}, \text{ поэтому } [\text{H}^+] = 10^{-14} / (8,25 \cdot 10^{-6}) = 1,21 \cdot 10^{-9}$$

$$\text{pH} = -\lg 1,21 \cdot 10^{-9} = 8,92$$

**Ответ** pH = 8,92.

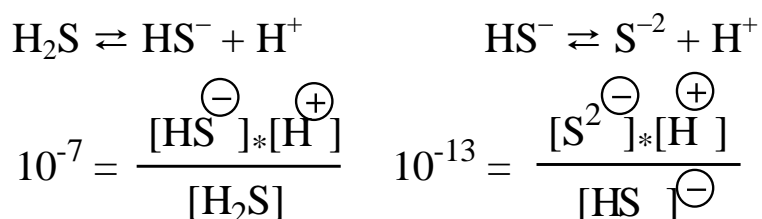
### №14

Определите значение рН, при котором осадок ZnS начнет растворяться при добавлении соляной кислоты, то есть концентрация ионов  $Zn^{2+}$  в растворе превысит значение  $10^{-6}$  моль/л.  $PP(ZnS) = 7,9 \cdot 10^{-24}$ ,  $K_a(H_2S) = 10^{-7}$ ,  $K_a(HS^-) = 10^{-13}$ , максимальная растворимость  $H_2S$  в воде 0,1 моль/л.

*Для справки:* произведение растворимости  $PP(ZnS) = [Zn^{2+}] \cdot [S^{2-}]$ , где  $[Zn^{2+}]$  и  $[S^{2-}]$  – концентрации ионов в насыщенном растворе ZnS. Водородный показатель рН рассчитывается по формуле  $pH = -\lg[H^+]$ .  $K_a(H_2S)$  и  $K_a(HS^-)$  – константы кислотности, соответствующие диссоциации сероводорода по первой и по второй ступеням, соответственно.

### Решение

Согласно диссоциации сероводорода и определению констант кислотности:



По условию  $[H_2S] = 0,1$  моль/л.

Концентрацию  $[S^{2-}]$ , при которой начинается растворение, вычислим из величины  $PP$ :

$[Zn^{2+}] \cdot [S^{2-}] = 7,9 \cdot 10^{-24}$ , поэтому  $[S^{2-}] = 7,9 \cdot 10^{-24} / 10^{-6} = 7,9 \cdot 10^{-18}$  моль/л.

Подставляем значения  $[S^{2-}]$  и  $[H_2S]$  в выражения констант диссоциации:

$$10^{-7} = \frac{[HS^-] \cdot [H^+]}{0,1} \qquad 10^{-13} = \frac{7,9 \cdot 10^{-18} \cdot [H^+]}{[HS^-]}$$

Решаем систему из двух уравнений относительно  $[H^+]$  и получаем  $[H^+] = 1,1 \cdot 10^{-2}$ .

Следовательно,  $pH = -\lg 1,1 \cdot 10^{-2} = 1,96$ .

**Ответ:** рН = 1,96.

## №15

Определите массу моногидрата нитрита лития, необходимую для приготовления 70 граммов 1,06% водного раствора нитрита лития. Определите величину рН этого раствора при температуре 25<sup>0</sup>С, если плотность раствора 1,01 г/мл, а константа кислотной диссоциации HNO<sub>2</sub> составляет 5,1\*10<sup>-4</sup>. Приведите в ионной форме уравнение реакции, протекающей в растворе, и укажите сопряженные пары кислот и оснований.

*Для справки:* Ионное произведение воды  $K_w = [H^+][OH^-] = 10^{-14}$ . Водородный показатель рН рассчитывается по формуле  $pH = -\lg[H^+]$ .

### Решение

Вычислим массу нитрита лития в растворе:

$$m(\text{LiNO}_2)_{\text{в р-ре}} = 70 * 0,0106 = 0,742 \text{ грамма}$$

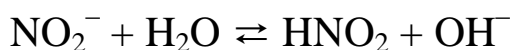
Вычислим массовую долю нитрита лития в кристаллогидрате LiNO<sub>2</sub>\*H<sub>2</sub>O:

$$\omega(\text{LiNO}_2) = 53 / 71 = 0,746$$

Тогда масса кристаллогидрата составляет

$$m(\text{LiNO}_2 * \text{H}_2\text{O}) = 0,742 / 0,746 = 0,995 \text{ граммов}$$

В растворе протекает гидролиз:



Вычислим молярную концентрацию раствора:

$$c = 10 * \rho * \omega / M = 10 * 1,01 * 1,06 / 53 = 0,202 \text{ моль/л}$$

Вычислим константу гидролиза  $K_r$ :

$$K_r = \frac{[\text{HNO}_2][\text{OH}^-]}{[\text{NO}_2^-]} = \frac{[\text{HNO}_2][\text{OH}^-][\text{H}^+]}{[\text{NO}_2^-][\text{H}^+]} = \frac{K_w}{K_{\text{HNO}_2}}$$

$$K_r = 10^{-14} / (5,1 * 10^{-4}) = 1,96 * 10^{-11}$$

Вычислим концентрацию гидроксид-ионов, учитывая, что согласно уравнению реакции гидролиза  $[\text{HNO}_2] = [\text{OH}^-]$ :

$$K_r = \frac{[\text{HNO}_2][\text{OH}^-]}{[\text{NO}_2^-]} = \frac{[\text{OH}^-]^2}{0,202} = 1,96 \cdot 10^{-11}$$

Решаем уравнение:

$$[\text{OH}^-] = 0,63 \cdot 10^{-6}, \text{ следовательно, } \text{pOH} = \lg[\text{OH}^-] = 5,8$$

$$\text{pH} = 14 - \text{pOH} = 8,2$$

Сопряженные пары кислот и оснований:  $\text{H}_2\text{O}/\text{OH}^-$ ,  $\text{HNO}_2/\text{NO}_2^-$

**Ответ:** 0,995 г, pH = 8,2.

### №16

Вещество А – это оксид некоторого элемента. А содержит 74,07% кислорода по массе. А легко разлагается, а реакция разложения описывается кинетическим уравнением I порядка.

1) Установите формулу вещества А и напишите реакцию его разложения.

2) Приведите формулу хотя бы одного бинарного вещества, в котором массовая доля кислорода больше, чем в веществе А.

3) Определите величину энергии активации реакции разложения вещества А по следующим данным: при 318 К в газовой фазе вещество А разлагается со скоростью 5% в минуту, а 328 К – со скоростью 15% в минуту.

4) Рассчитайте период полураспада вещества А при 318 К.

*Для справки:* зависимость количества вещества n от времени t в реакциях I порядка описывается уравнением

$$\ln n(t) = \ln n_0 - kt$$

где k – константа скорости реакции,  $n_0$  – исходное количество вещества.

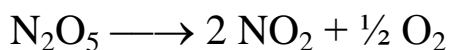
Константа скорости реакции  $k_T$  при температуре T, температура (T) и энергия активации ( $E_A$ , кДж/моль) связаны уравнением Аррениуса

$$\ln k_T = \text{const} - E_A / (RT), \text{ где } R = 8,31 \text{ Дж}/(\text{моль} \cdot \text{K})$$

### Решение

1) Вещество А – это  $\text{N}_2\text{O}_5$

$$\omega(\text{O}) = 16 \cdot 5 / (16 \cdot 5 + 2 \cdot 14) = 0,7407$$



2) Это  $\text{H}_2\text{O}$  –  $\omega(\text{O}) = 16 / 18 = 0,889$

3) Вычислим константы скорости реакции разложения вещества при различных температурах:

при 318 К  $\ln 0,95 = \ln 1 - k_{318}$ , откуда  $k_{318} = 0,0513 \text{ мин}^{-1}$

при 328 К  $\ln 0,85 = \ln 1 - k_{328}$ , откуда  $k_{328} = 0,1625 \text{ мин}^{-1}$

Из уравнения Аррениуса следует, что:

$$\ln 0,0513 = \text{const} - E_a / (0,00831 \cdot 318)$$

$$\ln 0,1625 = \text{const} - E_a / (0,00831 \cdot 328)$$

Решаем алгебраическую систему уравнений и получаем  $E_a = 104 \text{ кДж/моль}$

4) Вычислим период полураспада вещества А при 318 К:

$$\ln 0,5 = \ln 1 - 0,0513 \cdot \tau_{1/2}$$
, откуда  $\tau_{1/2} = 13,5 \text{ мин}$

**Ответ:** 1)  $\text{N}_2\text{O}_5$ , 2)  $\text{H}_2\text{O}$ , 3) 102 кДж/моль, 4) 13,5 минут.

### №17

Экстракция – это современный метод разделения и концентрирования веществ. Для количественного описания экстракции используют величину коэффициента распределения  $D = [c_{\text{орг}}] / [c_{\text{водн}}]$ , где  $c_{\text{орг}}$  и  $c_{\text{водн}}$  – равновесные концентрации экстрагируемого вещества в органических и водных фазах, соответственно. Также используют величину степени извлечения  $\alpha$ , которая равна отношению количества перешедшего в органическую фазу вещества к исходному количеству вещества, которое первоначально находилось в водной фазе.

Пусть для некоторого вещества X коэффициент распределения D между органической и водной фазами в процессе экстракции равен 1,5.

1) Определите степень извлечения  $\alpha$  вещества X при однократной экстракции, если объем водной и органической фаз равны 1 литру?

- 2) Какой объем органического экстрагента необходимо взять, чтобы при однократной экстракции степень извлечения X из 1 литра водной фазы составила 95%?
- 3) Сколько последовательных экстракций необходимо провести, чтобы извлечь минимально 95% вещества X, используя по 1 литру экстрагента? Объем водной фазы считайте равным 1 литру. Каков общий объем использованного экстрагента?
- 4) Сравните это количество с объемом экстрагента в вопросе 2) этой задачи и сделайте вывод, какая экстракция эффективнее.

### Решение

1) Пусть концентрация вещества в водной фазе  $x$  моль/л, тогда концентрация вещества в органической фазе –  $1,5 \cdot x$  моль/л. Объемы фаз составляют по 1 литру. Значит в водной фазе  $x$  моль вещества, а в органической –  $1,5 \cdot x$  моль.

Исходное количество вещества  $x + 1,5 \cdot x = 2,5 \cdot x$  моль.

Следовательно,  $\alpha = 1,5 \cdot x / (2,5 \cdot x) = 0,6$  или 60%.

2) Пусть концентрация вещества в водной фазе  $x$  моль/л, тогда концентрация вещества в органической фазе –  $1,5 \cdot x$  моль/л. Объем водной фазы составляет 1 литр, а объем органической фазы –  $V$  литров. Значит в водной фазе  $x$  моль вещества, а в органической –  $1,5 \cdot x \cdot V$  моль.

Исходное количество вещества  $x + 1,5 \cdot x \cdot V$  моль.

Составляем уравнение:  $0,95 = 1,5 \cdot x \cdot V / (x + 1,5 \cdot x \cdot V)$

Решаем:  $V = 12,67$  л.

3) Согласно части (1) этой задачи при однократной экстракции 1 литром органической фазы 1 литра водной фазы в органическую фазу переходит 60% вещества. Остаток вещества в водной фазе составляет 40% или 0,4 от исходного количества.

Вторая экстракция в тех же условиях извлечет  $0,6 \cdot 0,4 = 0,24$  от исходного вещества, а в водной фазе останется  $0,4 \cdot 0,4 = 0,16$  (16%).

Третья экстракция в тех же условиях извлечет  $0,6 \cdot 0,16 = 0,096$  от исходного вещества, а в водной фазе останется  $0,4 \cdot 0,16 = 0,064$  (6,4%).

Четвертая экстракция в тех же условиях извлечет  $0,6 \cdot 0,064 = 0,0384$  от исходного вещества, а в водной фазе останется  $0,4 \cdot 0,064 = 0,0256$  (2,56%). То есть после четвертой экстракции в



водной фазе останется менее 5% исходного вещества, что соответствует условию задачи.

Общий объем экстрагента составляет 4 литра.

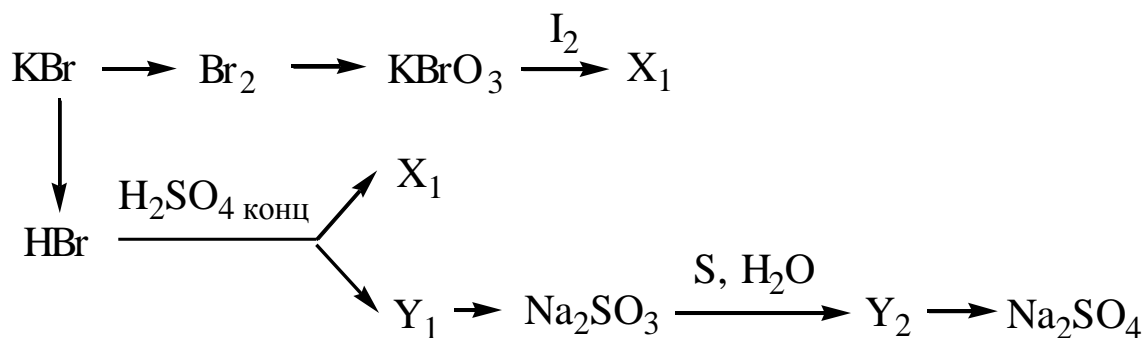
4) Однократная экстракция для извлечения 95% вещества требует 12,67 литра экстрагента, а многократная – 4 литра. Вывод – многократная экстракция малыми порциями экстрагента эффективнее.

**Ответ:** 60%, 12,67 л экстрагента, 4 экстракции и 4 л экстрагента, многократная экстракция эффективнее.

## НЕОРГАНИЧЕСКАЯ ХИМИЯ

### №18

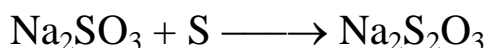
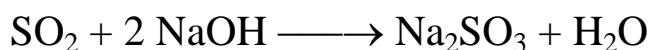
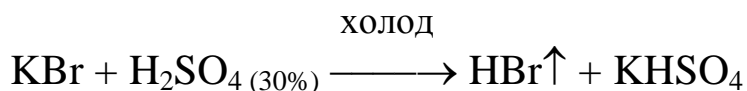
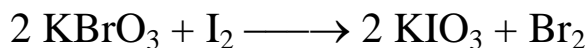
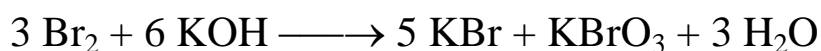
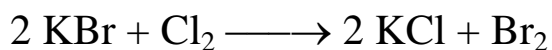
Осуществите превращения и расшифруйте все вещества:

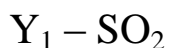
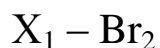
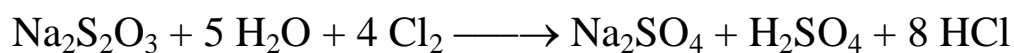


$X_i$  – это вещества, содержащие бром, а  $Y_i$  – это вещества, содержащие серу.

### Решение

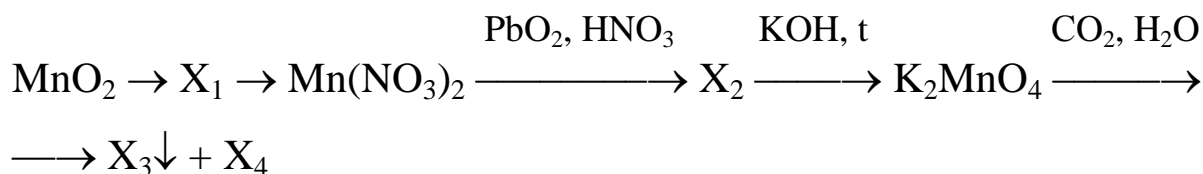
В осуществлении реакций возможны варианты.



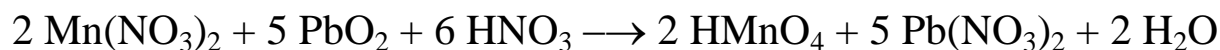
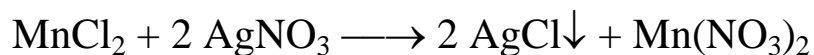
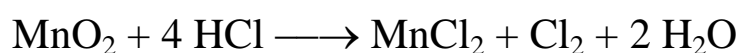


### №19

Осуществите превращения, определите и назовите все зашифрованные вещества:



### Решение



$\text{X}_1$  – хлорид марганца (II)

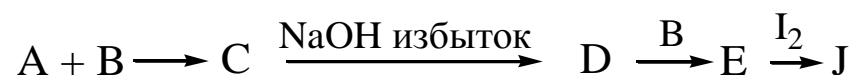
$\text{X}_2$  – марганцовая кислота

$\text{X}_3$  – манганат калия

$\text{X}_4$  – оксид марганца (IV)

### №20

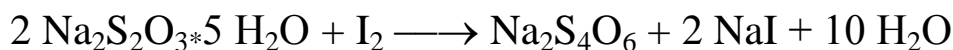
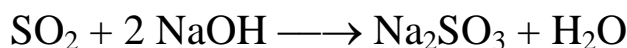
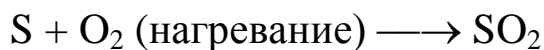
Вещества А и В находятся в одной группе Периодической системы Менделеева. При их взаимодействии образуется газообразное вещество С. При пропускании вещества С через избыток водного раствора гидроксида натрия образуется единственный продукт D. При кипячении раствора D с веществом В образуется раствор соли Е, которая в стандартных условиях выделяется из раствора в виде пентагидрата. Полученные кристаллы пентагидрата Е массой 4,96 г полностью взаимодействуют с раствором, содержащим 2,54 г йода.



Определите и назовите вещества А – J.

Приведите все уравнения реакций согласно схеме и подтвердите ответ расчетом.

## Решение



А – кислород  $\text{O}_2$

В – сера  $\text{S}$

С – оксид серы (IV)  $\text{SO}_2$

Д – сульфит натрия  $\text{Na}_2\text{SO}_3$

Е – пентагидрат тиосульфата натрия  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5 \text{H}_2\text{O}$

Ж – тетрагидрат натрия  $\text{Na}_2\text{S}_4\text{O}_6$

Выполним расчет:  $\nu(\text{E}) = 4,96 / 248 = 0,02$  моль

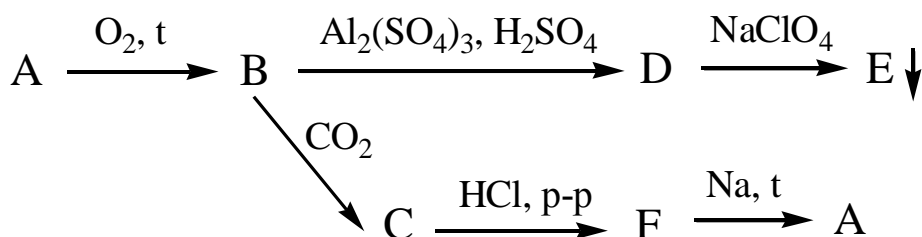
$\nu(\text{I}_2) = \nu(\text{E}) / 2 = 0,02 / 2 = 0,01$  моль

$m(\text{I}_2) = 0,01 \cdot 254 = 2,54$  г, что соответствует условию.

## №21

При сжигании металла А на воздухе образуется желтое вещество В, содержащее 45,0% кислорода (по массе). Вещество В может поглощать диоксид углерода, образуя вещество С. При охлаждении раствора, полученного добавлением вещества В к подкисленному серной кислотой раствору сульфата алюминия, выделяются блестящие, хорошо ограненные бесцветные кристаллы Д. При действии на раствор вещества Д раствора  $\text{NaClO}_4$  выпадает белый осадок Е. Упариванием раствора, полученного при взаимодействии вещества С и соляной кислоты, можно получить F – исходное вещество для натрийтермического получения металла А. Назовите все вещества А – F. Напишите уравнения всех упомянутых химических процессов.

Предложите способ получения из соединения В оксида металла А. Подтвердите расчетом массовый состав вещества В. Как в быту называют вещество Д?



## Решение

А – калий К

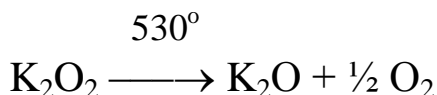
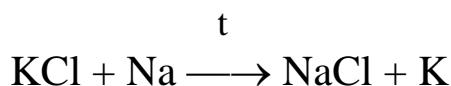
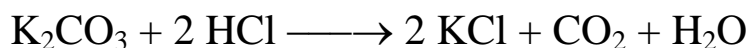
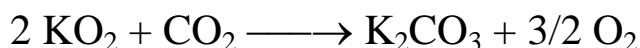
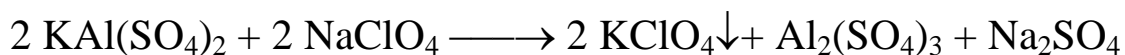
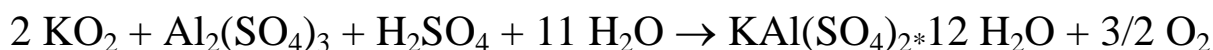
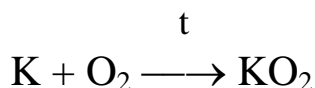
В – надпероксид калия  $\text{KO}_2$

(подтверждение расчетом:  $\omega(\text{O в KO}_2) = 32 / 71 = 0,45$ )

Д – додекагидрат сульфата калия-алюминия (алюмокалиевые квасцы)  $\text{KAl}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12 \text{H}_2\text{O}$

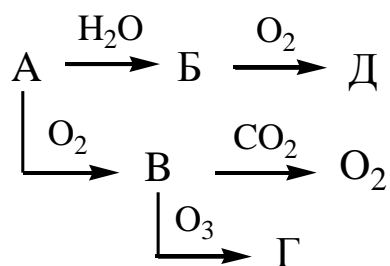
Е – перхлорат калия  $\text{KClO}_4$       С – карбонат калия  $\text{K}_2\text{CO}_3$

Ф – хлорид калия  $\text{KCl}$

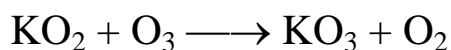
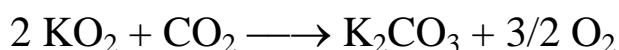
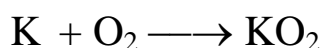
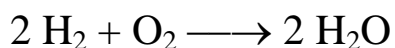
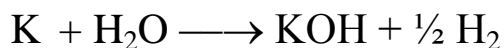


### №22

При взаимодействии простого вещества А с водой выделяется продукт Б, который самовоспламеняется, причем пламя окрашено в фиолетовый цвет. Простое вещество А взаимодействует с кислородом с образованием продукта В желтого цвета, который используется для регенерации кислорода в замкнутых помещениях при избытке углекислого газа. Взаимодействие озона с веществом В приводит к образованию оранжево-красного взрывчатого вещества Г, устойчивого только при низких температурах. Напишите уравнения всех протекающих реакций, назовите химические вещества А – Д.



### Решение



А – калий К

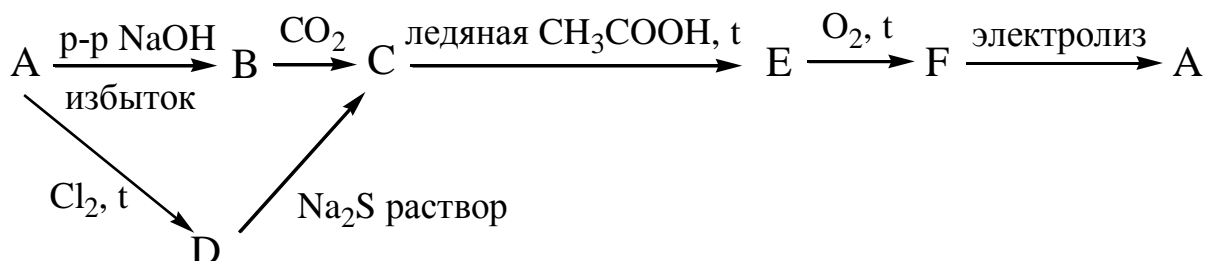
Б – водород  $\text{H}_2$

В – надпероксид калия  $\text{KO}_2$       Г – озонид калия  $\text{KO}_3$

Д – вода  $\text{H}_2\text{O}$

### №23

Металл А растворяется в избытке раствора гидроксида натрия с образование раствора В, а при пропускании через раствор В углекислого газа выпадает белый осадок С. Этот же осадок можно получить при добавлении раствора сульфида натрия к веществу Д, содержащему 79,8% хлора по массе. Вещество Д является легколетучим продуктом хлорирования вещества А. Нагревание вещества С с ледяной уксусной кислотой приводит к образованию вещества Е, прокаливанием которого можно получить F – вещество для электролитического получения А.



Расшифруйте и назовите все вещества, приведите все реакции.

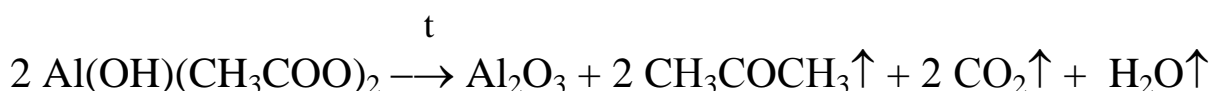
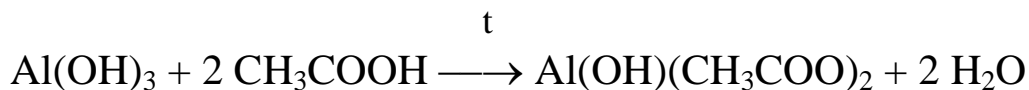
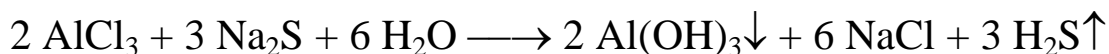
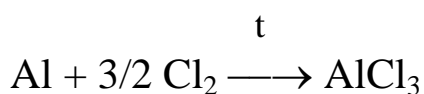
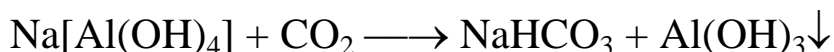
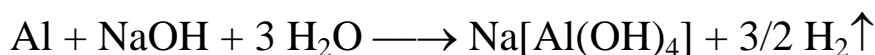
Как получить вещество Д из оксида металла А?

## Решение

Обозначим хлорид металла как  $AlCl_n$ .

Тогда  $0,798 = 35,5 \cdot n / (A + 35,5 \cdot n)$ , откуда  $A = 9n$ .

При  $n = 1$  или  $2$  решения нет, если  $n = 3$ , то молярная масса  $A$  составляет  $27$ . Это  $Al$ .



A –  $Al$  алюминий

B –  $Na[Al(OH)_4]$  тетрагидроксоалюминат натрия

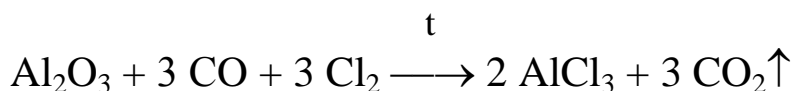
C –  $Al(OH)_3$  гидроксид алюминия

D –  $AlCl_3$  хлорид алюминия

E –  $Al(OH)(CH_3COO)_2$  гидроксоацетат алюминия

F –  $Al_2O_3$  оксид алюминия

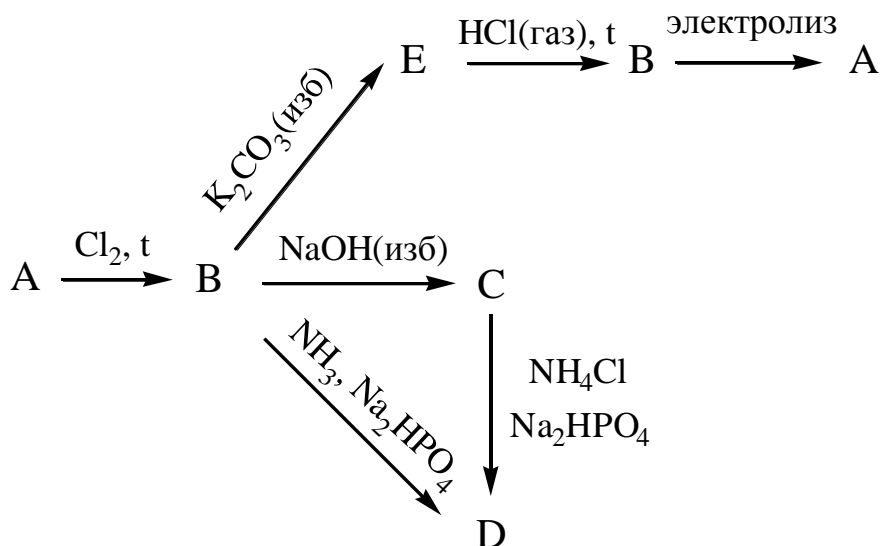
Получение хлорида алюминия из оксида алюминия:



## №24

При хлорировании металла  $A$  образуется нелетучий хлорид  $B$ , содержащий  $74,7\%$  хлора по массе. При действии на хлорид  $B$  избытком раствора гидроксида натрия выпадает белый осадок  $C$ , а при действии на хлорид  $B$  избытком раствора карбоната калия выпадает белый осадок  $E$ . Взаимодействие раствора  $B$  с раство-

рами аммиака и гидрофосфата натрия приводит к образованию белого осадка D, который также можно получить из вещества C добавлением растворов хлорида аммония и гидрофосфата натрия. Нагревание вещества E в токе хлороводорода приводит к образованию хлорида B – исходного вещества для электролитического получения металла A.



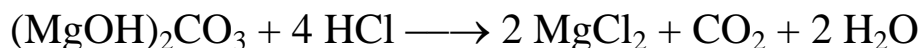
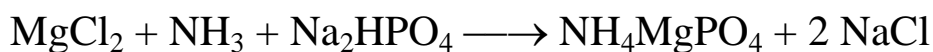
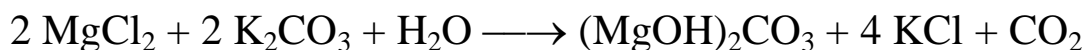
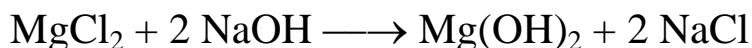
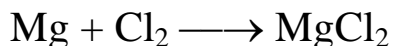
Определите и назовите вещества А – Е. Приведите расчет содержания хлора в веществе В. Что будет происходить при нагревании вещества В в парах воды? Приведите все уравнения реакций.

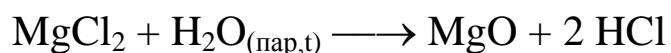
### Решение

Обозначим хлорид металла как  $\text{ACl}_n$ .

Тогда  $0,747 = 35,5 \cdot n / (A + 35,5 \cdot n)$ , откуда  $A = 12 \cdot n$ .

При  $n = 1$  или  $3$  решения нет, если  $n = 2$ , то молярная масса А составляет 24. Это Mg.





A – магний Mg

B – хлорид магния  $\text{MgCl}_2$

E – основной карбонат магния  $(\text{MgOH})_2\text{CO}_3$

C – гидроксид магния  $\text{Mg}(\text{OH})_2$

D – ортофосфат аммония магния  $\text{NH}_4\text{MgPO}_4$

### №25

Некоторый металл образует сульфид черного цвета. Этот сульфид массой 16 г подвергли окислительному обжигу в атмосфере кислорода. В результате получили твердое черное вещество массой 16 г, растворимое в серной кислоте. Если к полученному голубому серноокислому раствору добавить гидроксид натрия и уксусный альдегид, то наблюдается образование осадка кирпичного цвета. Если к серноокислому раствору добавить избыток раствора аммиака, то раствор окрашивается в ярко-синий цвет.

Определите все соединения и напишите все реакции. Свои выводы подтвердите расчетами.

### Решение

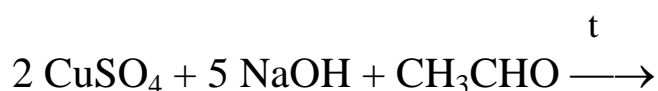
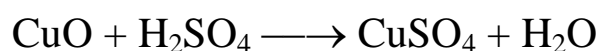
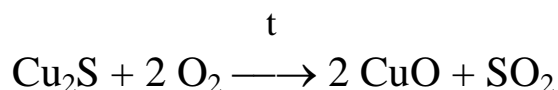
Из качественного описания понятно, что это сульфид меди  $\text{Cu}_2\text{S}$  или  $\text{CuS}$ .



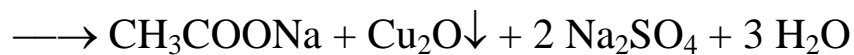
$$\nu(\text{CuO}) = 16 / 80 = 0,2 \text{ моль}$$

Если это  $\text{CuS}$ , то его масса должна быть  $0,2 \cdot 96 = 19,2$  г, что **не** совпадает с условием.

Если это  $\text{Cu}_2\text{S}$ , то его масса должна быть  $0,2 \cdot 160 / 2 = 16$  г, что совпадает с условием.







### №26

Приготовили смесь трех солей: 4 г ортофосфата калия, 5 г гидроортофосфата калия и 6 г дигидроортофосфата калия. Эту смесь растворили в 300 мл воды. Какие вещества находятся в полученном растворе и какова их массовая доля?

### Решение



Рассчитаем исходные количества веществ:

$$v(\text{K}_3\text{PO}_4) = 4 / 212 = 0,0189 \text{ моль (недостаток)}$$

$$v(\text{K}_2\text{HPO}_4) = 5 / 174 = 0,0287 \text{ моль}$$

$$v(\text{KH}_2\text{PO}_4) = 6 / 136 = 0,0441 \text{ моль (избыток)}$$

В растворе после реакции находятся:

$$v(\text{KH}_2\text{PO}_4)_{\text{остав}} = 0,0441 - 0,0189 = 0,0252 \text{ моль}$$

$$v(\text{K}_2\text{HPO}_4) = 0,0287 + 0,0189 \cdot 2 = 0,0665 \text{ моль}$$

$$m(\text{KH}_2\text{PO}_4) = 0,0252 \cdot 136 = 3,43 \text{ г}$$

$$m(\text{K}_2\text{HPO}_4) = 0,0665 \cdot 174 = 11,57 \text{ г}$$

Вычислим массу раствора и массовые доли веществ в нем:

$$m(\text{р-ра}) = 300 + 4 + 5 + 6 = 315 \text{ г}$$

$$\omega(\text{KH}_2\text{PO}_4) = 3,43 / 315 = 0,011 \text{ или } 1,1\%$$

$$\omega(\text{K}_2\text{HPO}_4) = 11,57 / 315 = 0,037 \text{ или } 3,7\%$$

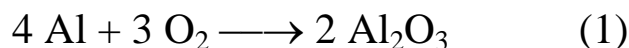
**Ответ:** 1,1%  $\text{KH}_2\text{PO}_4$ , 3,7%  $\text{K}_2\text{HPO}_4$ .

### №27

Имеется 22,4 л (н.у.) смеси двух газов. В определенных условиях эта смесь может окислить 45,9 г алюминия. Приведите пример такой газовой смеси и рассчитайте объемные доли газов. Приведите уравнения химических реакций.

## Решение

В подборе газов-окислителей возможны варианты.



$\nu(\text{газов}) = 1$  моль,  $\nu(\text{Al}) = 45,9 / 27 = 1,7$  моль

Пусть  $\nu(\text{O}_2) = x$  моль, тогда  $\nu(\text{N}_2) = 1 - x$  моль.

Тогда,  $\nu_1(\text{Al}) = 4 \cdot x / 3$  моль, а  $\nu_2(\text{Al}) = 2 \cdot (1 - x)$  моль. Составляем и решаем алгебраическое уравнение:

$$4 \cdot x / 3 + 2 \cdot (1 - x) = 1,7, \text{ откуда } x = 0,45 \text{ моль}$$

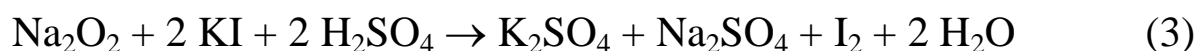
$$\varphi(\text{O}_2) = 45\%, \varphi(\text{N}_2) = 55\%.$$

**Ответ:**  $\varphi(\text{O}_2) = 45\%$ ,  $\varphi(\text{N}_2) = 55\%$ .

## №28

При сжигании металлического натрия в кислороде его масса увеличилась на 66,7%. Образовавшееся твердое вещество массой 1 грамм осторожно растворили в подкисленном растворе йодида калия. Определите количество выделившегося йода. Приведите все химические реакции.

## Решение



Пусть  $m(\text{Na}) = x$  г. Тогда  $m(\text{O}_2) = 0,667 \cdot x$  г. По условию  $x + 0,667 \cdot x = 1$

Решаем уравнение и получаем  $x = 0,6$ . Следовательно,  $m(\text{Na}) = 0,6$  г, а  $m(\text{O}_2) = 0,4$  г.

Обозначим количество вещества кислорода в (1) за  $x$  моль, а в (2) – за  $y$  моль. Тогда количество вещества натрия в (1) составляет  $4 \cdot x$  моль, а в (2) составляет  $2 \cdot y$  моль.

Записываем систему уравнений:

$$\begin{aligned} x + y &= 0,4 / 32 \\ 4 \cdot x + 2 \cdot y &= 0,6 / 23 \end{aligned}$$

Решаем систему и получаем  $y = 0,012$ . Согласно (2),  $\nu(\text{Na}_2\text{O}_2) = 0,012$  моль.

Согласно (3),  $\nu(\text{I}_2) = 0,012$  моль, а масса йода  $m(\text{I}_2) = 0,012 \cdot 254 = 3,05$  г

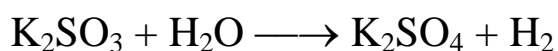
**Ответ:** 3,05 г.

### №29

Два раствора, содержащие первый – 1 моль нитрата бария и 1 моль хлорида бария, второй – 2 моль сульфита натрия, соединили последовательно и подключили к источнику постоянного электрического тока. Электролиз прекратили, когда в первом растворе проба на наличие хлорид-иона стала отрицательной. Растворы смешали. Определите состав и массу выпавшего осадка. Приведите все химические реакции.

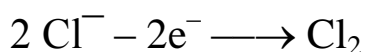
### Решение

В электролизерах проходят реакции:

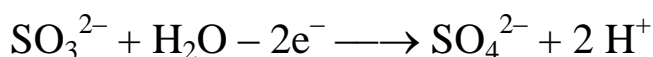


Поскольку электролизеры соединены последовательно, через них протекает одинаковое количество электричества.

В первом электролизере израсходовался весь  $\text{BaCl}_2$ , на электролиз которого потребовалось 2 моль электронов:

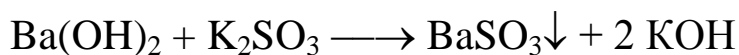


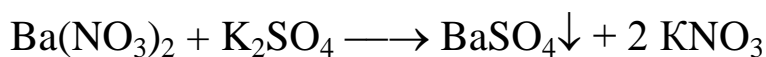
Во втором электролизере эти же 2 моль электронов окислили 1 моль  $\text{K}_2\text{SO}_3$  в 1 моль  $\text{K}_2\text{SO}_4$



К окончанию электролиза в первом электролизере находится 1 моль  $\text{Ba}(\text{OH})_2$  и 1 моль  $\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$ , а во втором – 1 моль  $\text{K}_2\text{SO}_4$  и 1 моль  $\text{K}_2\text{SO}_3$ .

При смешении растворов выпадают осадки: 1 моль (217 г)  $\text{BaSO}_3$  и 1 моль (233 г)  $\text{BaSO}_4$





Общая масса осадка составляет 450 г.

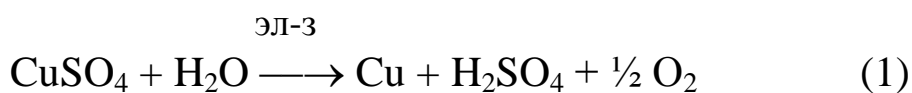
**Ответ:** 450 г осадка – 217 г  $\text{BaSO}_3$  и 233 г  $\text{BaSO}_4$ .

### №30

Электролиз 500 г 10% раствора сульфата меди (II) проводили в течение 15 часов при силе тока 2 А. Определите массы веществ, выделившихся на электродах. Каков качественный состав раствора после электролиза? Приведите все уравнения химических реакций.

*Для справки:* постоянная Фарадея  $F = 96485 \text{ Кл}\cdot\text{моль}^{-1}$ .

### Решение



$$Q = 15 \cdot 60 \cdot 60 \text{ с} \cdot 2 \text{ А} = 108000 \text{ Кл}$$

$$\nu (\text{электронов}) = 108000 \text{ Кл} / 96485 \text{ Кл/моль} = 1,12 \text{ моль}$$

$$\nu (\text{CuSO}_4) = 500 \cdot 0,1 / 160 = 0,3125 \text{ моль}$$

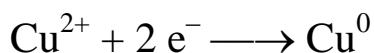
Весь  $\text{CuSO}_4$  подвергся электролитическому разложению, а затем электролитическому разложению подверглась вода.

$$m (\text{Cu}) = 0,3125 \cdot 64 = 20 \text{ г}$$

$$\nu (\text{O}_2)_1 = 0,3125 / 2 = 0,1563 \text{ моль}$$

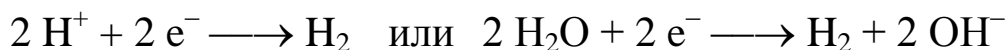
$$m (\text{O}_2)_1 = 0,1563 \cdot 32 = 5 \text{ г}$$

Вычислим, сколько моль электронов осталось после разложения  $\text{CuSO}_4$ :



$$\nu (\text{электронов})_1 = 0,3125 \cdot 2 = 0,625 \text{ моль}$$

$$\nu (\text{электронов})_2 = 1,12 - 0,625 = 0,495 \text{ моль}$$



$$v(\text{H}_2) = 0,495 / 2 = 0,2475 \text{ моль}$$

$$m(\text{H}_2) = 0,2475 * 2 = 0,495 \text{ г}$$

$$v(\text{O}_2)_2 = 0,2475 / 2 = 0,1238 \text{ моль}$$

$$m(\text{O}_2)_2 = 0,1238 * 32 = 3,96 \text{ г}$$

$$m(\text{O}_2)_{\text{общ}} = 5 + 3,96 = 8,96 \text{ г}$$

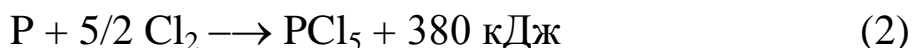
В конечном растворе после электролиза содержится серная кислота

**Ответ:** 20 г Cu, 0,495 г H<sub>2</sub>, 8,96 г O<sub>2</sub>, раствор серной кислоты.

### №31

На образец фосфора массой 18,6 г подействовали хлором. При этом выделилось 192 кДж теплоты и образовалась смесь хлоридов фосфора (III) и (V), к которой добавили 640 г 25%-ного раствора NaOH. Определите массовые доли веществ в конечном растворе. Теплоты образования хлорида фосфора (III) и хлорида фосфора (V) равны 290 и 380 кДж/моль соответственно.

### Решение



Пусть количество вещества фосфора в (1) равно  $x$  моль, а в (2) –  $y$  моль. Составляем систему уравнений:

$$x + y = 18,6/31$$

$$290 * x + 380 * y = 192$$

Решаем систему и получаем  $x = 0,4$ ,  $y = 0,2$ , то есть  $v(\text{PCl}_3) = 0,4$  моль,  $v(\text{PCl}_5) = 0,2$  моль

Вычислим  $v(\text{NaOH}) = 640 * 0,25 / 40 = 4$  моль

Проверим, что гидроксид натрия в избытке:

$$v(\text{NaOH})_{\text{прореаг}} = 0,4 * 5 + 0,2 * 8 = 3,6 \text{ моль} < 4 \text{ моль}$$

Следовательно,  $\nu(\text{NaOH})_{\text{непрореаг}} = 4 - 3,6 = 0,4$  моль

Вычислим количества веществ в конечном растворе:

$\nu(\text{Na}_2\text{HPO}_3) = 0,4$  моль,  $\nu(\text{Na}_3\text{PO}_4) = 0,2$  моль,  $\nu(\text{NaCl}) = 0,4 \cdot 3 + 0,2 \cdot 5 = 2,2$  моль

Вычислим массы веществ в конечном растворе:

$m(\text{NaOH}) = 16$  г;  $m(\text{NaCl}) = 128,7$  г;  $m(\text{Na}_2\text{HPO}_3) = 50,04$  г;  
 $m(\text{Na}_3\text{PO}_4) = 32,8$  г

Вычислим массу конечного раствора:

$m_{\text{р-ра}} = m(\text{PCl}_3) + m(\text{PCl}_5) + m(\text{р-ра NaOH}) = 208,5 \cdot 0,2 + 137,5 \cdot 0,4 + 640 = 736,7$  г

Вычислим массовые доли раствора:

$\omega(\text{NaOH}) = 16 / 736,7 = 0,0217$

$\omega(\text{NaCl}) = 128,7 / 736,7 = 0,175$

$\omega(\text{Na}_2\text{HPO}_3) = 50,4 / 736,7 = 0,0684$

$\omega(\text{Na}_3\text{PO}_4) = 32,8 / 736,7 = 0,0445$

**Ответ:**  $\omega(\text{NaOH}) = 0,0217$ ,  $\omega(\text{NaCl}) = 0,175$ ,  $\omega(\text{Na}_2\text{HPO}_3) = 0,0684$ ,  
 $\omega(\text{Na}_3\text{PO}_4) = 0,0445$ .

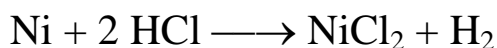
### №32

Сплав двух металлов массой 50 граммов обработали избытком водного раствора щелочи и получили 43,5 л (н.у.) водорода. При растворении остатка сплава в избытке соляной кислоты выделилось еще 5,74 л (н.у.) водорода и образовался зеленый раствор. Определите качественный состав сплава, приведите расчеты, напишите все реакции.

Как называется остаток, полученный при растворении сплава в щелочи, и для чего он используется в химической промышленности?

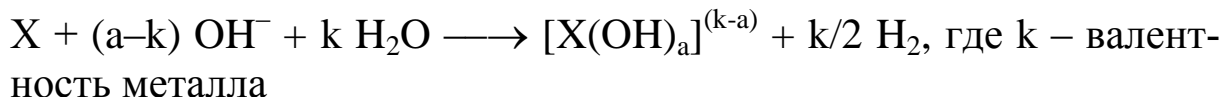
### Решение

Один из металлов X амфотерен, другой – нет. Неамфотерный металл образует раствор соли зеленого цвета. Предположим, что это никель.



$$v(\text{H}_2) = 5,74 / 22,4 = 0,2563 \text{ моль} = v(\text{Ni}), m(\text{Ni}) = 0,2563 \cdot 59 = 15 \text{ г}$$

Определим амфотерный металл X.

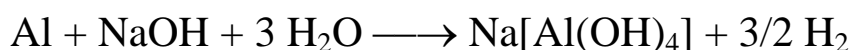


$$m(\text{X}) = 50 - 15 = 35 \text{ г}, v(\text{H}_2) = 43,5 / 22,4 = 1,94 \text{ моль}$$

Если  $k = 1$ , то  $v(\text{X}) = 1,94 \cdot 2 = 3,88$  моль и  $M(\text{X}) = 35 / 3,88 = 9$  г/моль. Такого металла нет (бериллий проявляет валентность 2)

Если  $k = 2$ , то  $v(\text{X}) = 1,94$  моль и  $M(\text{X}) = 35 / 1,94 = 18$  г/моль. Такого металла нет

Если  $k = 3$ , то  $v(\text{X}) = 1,3$  моль и  $M(\text{X}) = 35 / 1,3 = 27$  г/моль. Это алюминий



Состав сплава Ni и Al

Остаток, полученный при растворении сплава в щелочи, называется никель Ренея. Он используется как катализатор при гидрировании бензола.

**Ответ:** сплав Ni и Al.

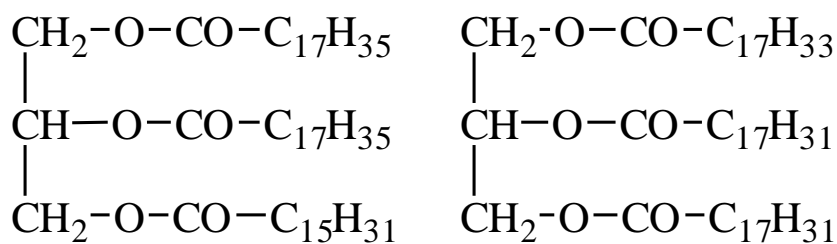
## ОРГАНИЧЕСКАЯ ХИМИЯ

### №33

Жиры и масла представляют собой полные эфиры глицерина и высших жирных кислот. Жиры содержат остатки насыщенных, а масла – ненасыщенных жирных кислот. Приведите примеры жира и масла (используйте структурные формулы). Сравните температуры плавления жиров и масел и объясните причину различия.

### Решение

Жиры и масла – это сложные эфиры глицерина и жирных кислот. В состав жиров входят остатки преимущественно насыщенных жирных кислот, а в состав масла – преимущественно ненасыщенных жирных кислот.



жир

масло

Жир имеет более высокую температуру плавления, чем масло. Это связано с тем, что длинные цепи углеводородных остатков имеют зигзагообразную конформацию и способны плотно упаковываться, расположившись параллельно друг другу. Такая упаковка способствует образованию множественных гидрофобных взаимодействий, что повышает  $T_{\text{пл}}$  жира.

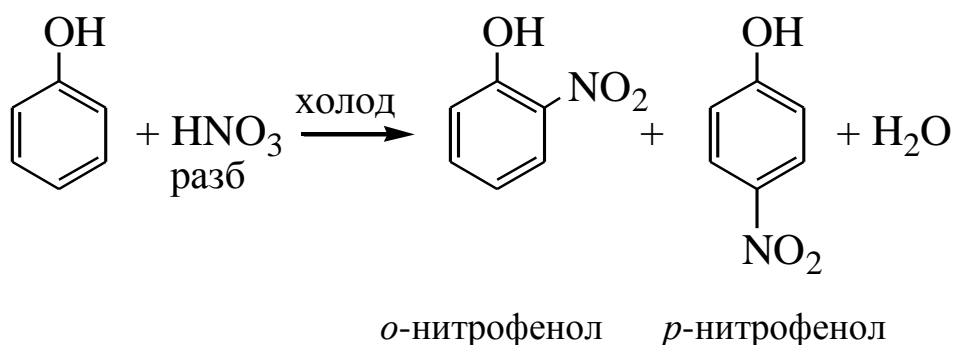
В молекулах масла в углеводородных остатках присутствуют атомы углерода в  $sp^2$  гибридизации, плотная упаковка цепей невозможна, гидрофобных взаимодействий образуется меньше,  $T_{\text{пл}}$  падает.

### №34

При нитровании фенола разбавленной азотной кислотой на холоду образуется смесь *o*- и *p*-нитрофенолов. Приведите уравнение этой реакции и объясните направление ее протекания.

В *орто*-изомере существует внутримолекулярная водородная связь. Приведите схему ее образования. Сравните температуры кипения *орто*- и *пара*-изомеров. Какой из них более летуч? Почему?

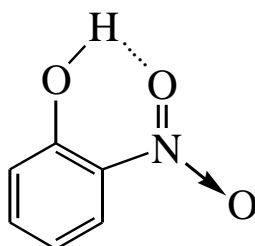
### Решение



Реакция нитрования протекает с преимущественным образованием *орто*- и *пара*-изомеров, так как группа OH- в молекуле фенола является электронодонором и ориентантом I рода.



Схема образования внутримолекулярной водородной связи в *o*-нитрофеноле:



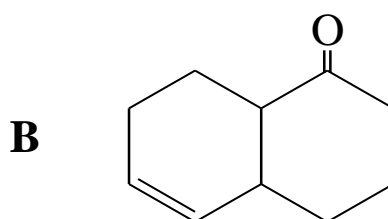
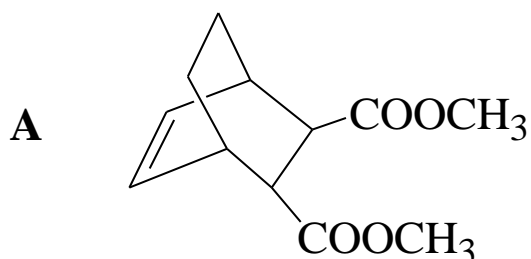
*Орто*-изомер кипит ниже.

*Орто*-изомер более летуч.

Это связано с тем, что *орто*-изомер, образовав внутримолекулярную водородную связь, образует меньшее количество межмолекулярных водородных связей, чем *пара*-изомер. Температуру кипения повышают именно межмолекулярные водородные связи. Следовательно, *орто*-изомер кипит ниже и более летуч.

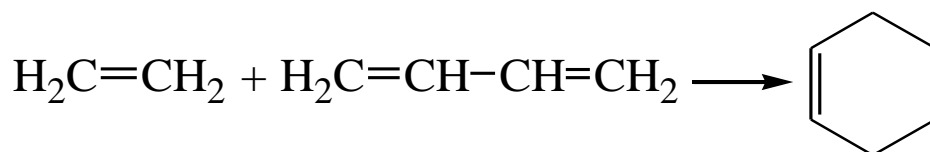
### №35

Вещества А и В получены по реакции Дильса-Альдера, по межмолекулярному и внутримолекулярному вариантам, соответственно. Для вещества А приведите строение исходных диена и диенофила и назовите их. Для вещества В приведите строение исходной молекулы и назовите ее. Приведите химические реакции.



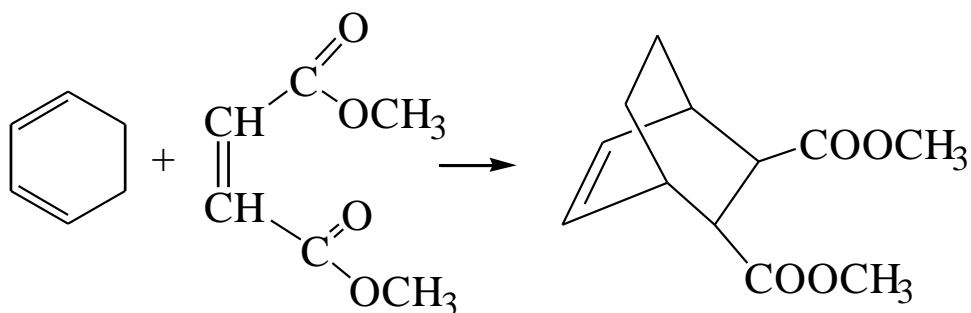
Для справки: реакция Дильса-Альдера – это реакция между соединением, содержащим сопряженные двойные связи (диеном), и ненасыщенным соединением (диенофилом).

Продукт реакции содержит шестичленный цикл. Например:



## Решение

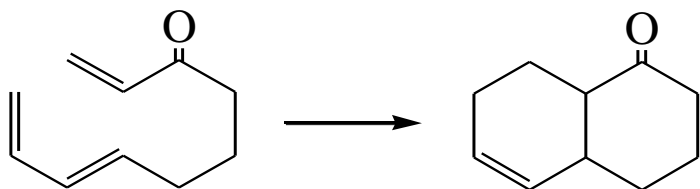
Синтез вещества А:



Диен – циклогексадиен-1,3

Диенофил – диметилловый эфир бутендиовой кислоты (диметилбутендиоат).

Синтез вещества В:

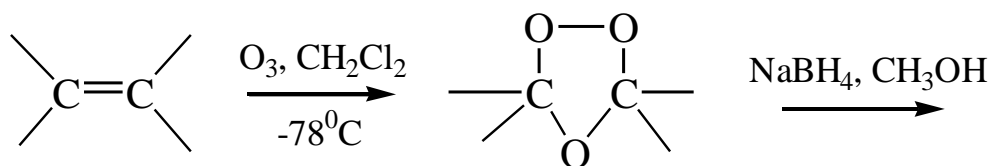


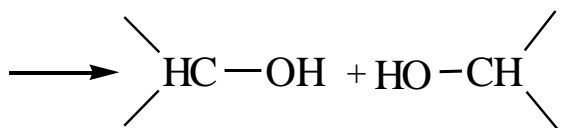
Исходное вещество – дектриен-1,7,9-он-3

### №36

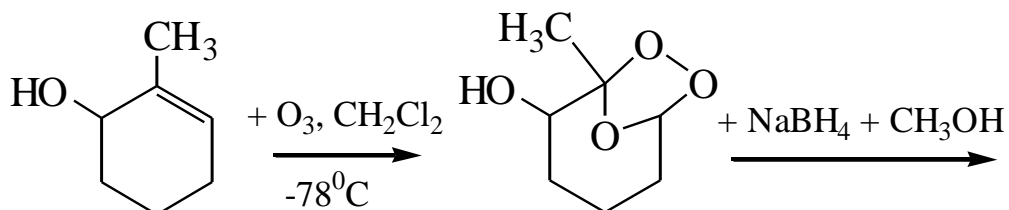
Восстановительный озонлиз непредельного спирта, содержащего шестичленный цикл, дает единственный продукт – гептантриол-1,5,6. Определите структуру исходного спирта и назовите его. Какое соединение образуется при окислении исходного спирта перманганатом калия в щелочной среде? Назовите его. Приведите все химические реакции.

*Для справки:* восстановительный озонлиз – метод определения структуры органического соединения, заключающийся в обработке вещества озоном с последующим гидролизом образовавшегося озонида в присутствии восстановителя.

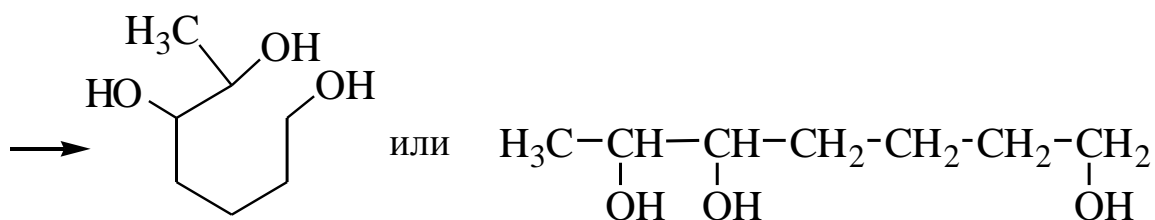




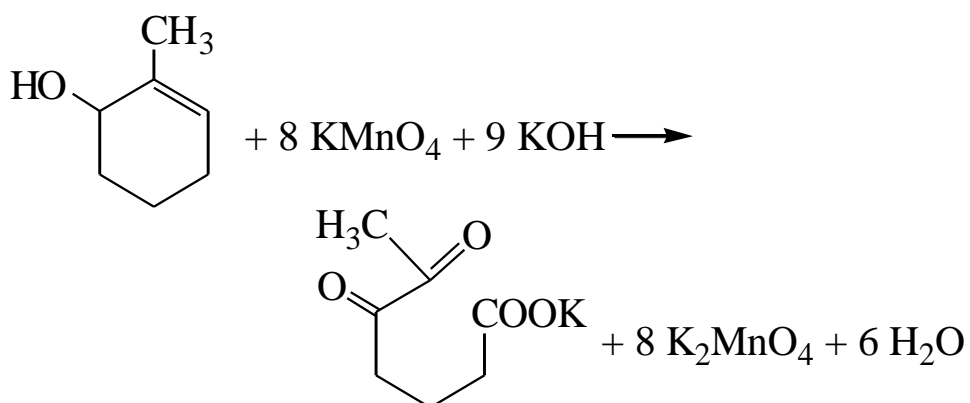
**Решение**



2-метилциклогексен-2-ол-1 - исходный спирт



Окисление исходного спирта:

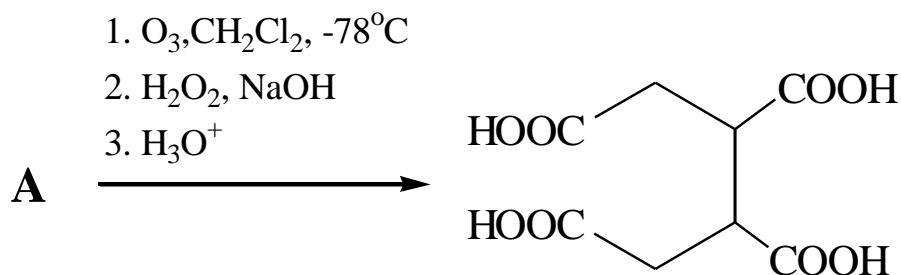


5,6-диоксогептаноат калия - продукт окисления

**Ответ:** 2-метилциклогексен-2-ол-1.

### №37

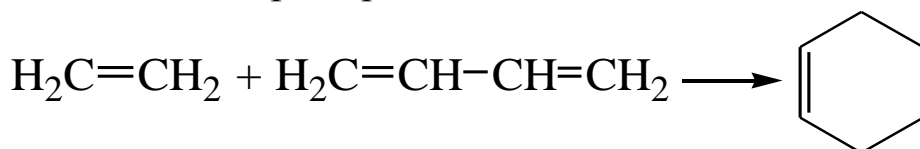
При озонлизе соединения А образуется 3,4-дикарбоксигександиовая кислота. Постройте структурную формулу соединения А и назовите его. Приведите все химические реакции.



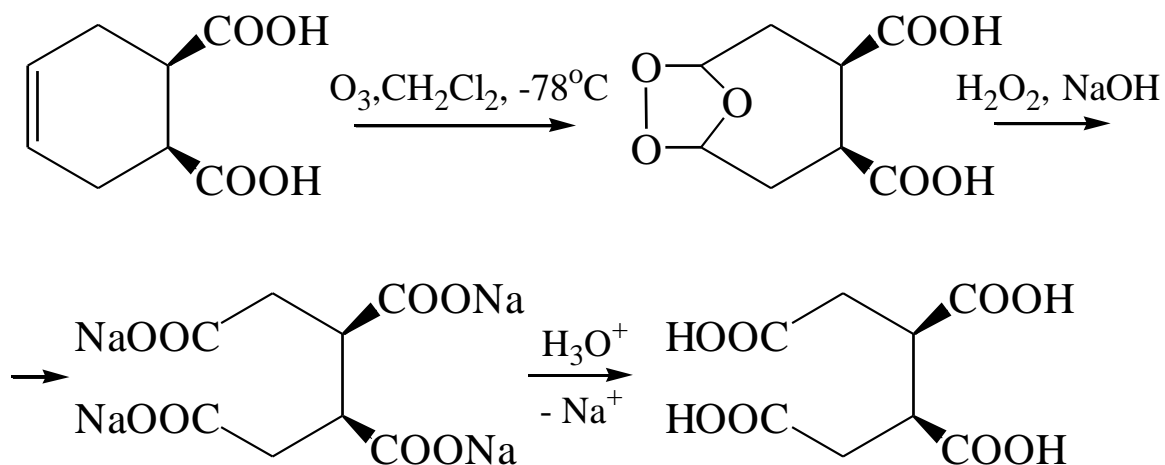
3,4-дикарбоксигександиовая кислота

Получите соединение А реакцией Дильса-Альдера.

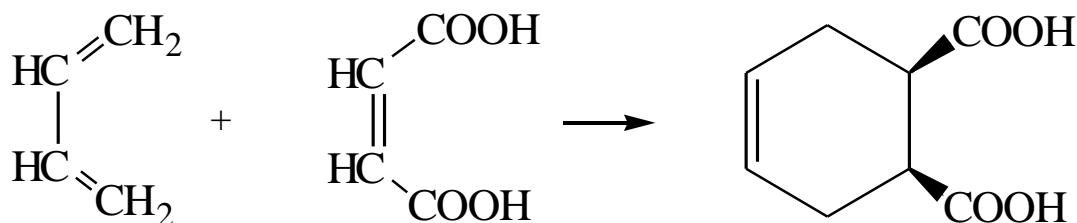
Для справки: реакция Дильса-Альдера – это реакция между соединением, содержащим сопряженные двойные связи, и ненасыщенным соединением. Продукт реакции содержит шестичленный цикл. Например:



### Решение



Реакция получения А по Дильсу-Альдеру:

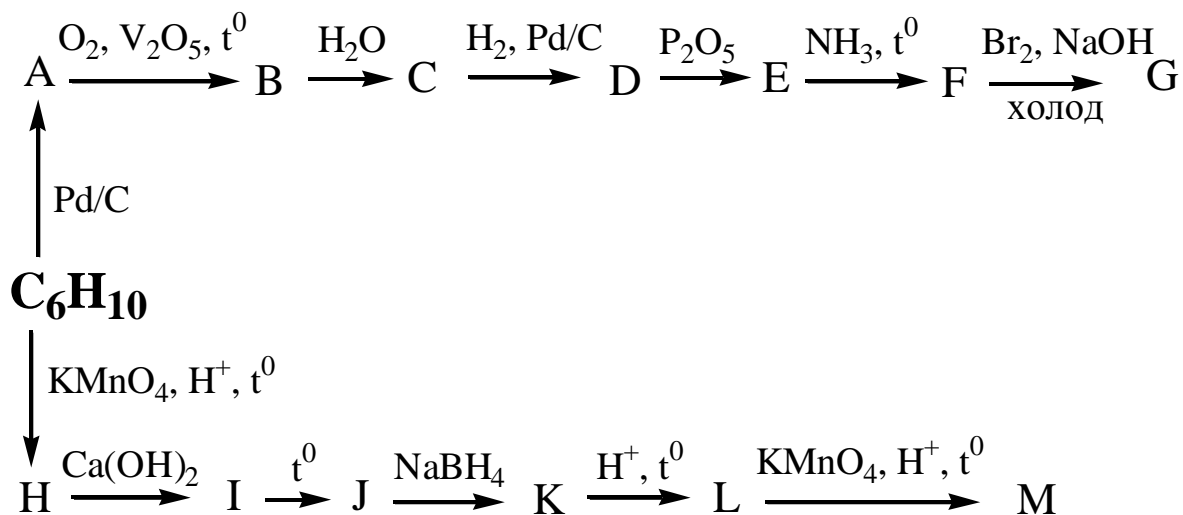


Соединение А – циклогексен-4-дикарбоновая-1,2 кислота (1,2,3,6-тетрагидрофталевая кислота).

### №38

В приведенной схеме циклическое вещество  $C_6H_{10}$  претерпевает ряд химических превращений. Приведите все уравнения реакции, назовите и расшифруйте все вещества.

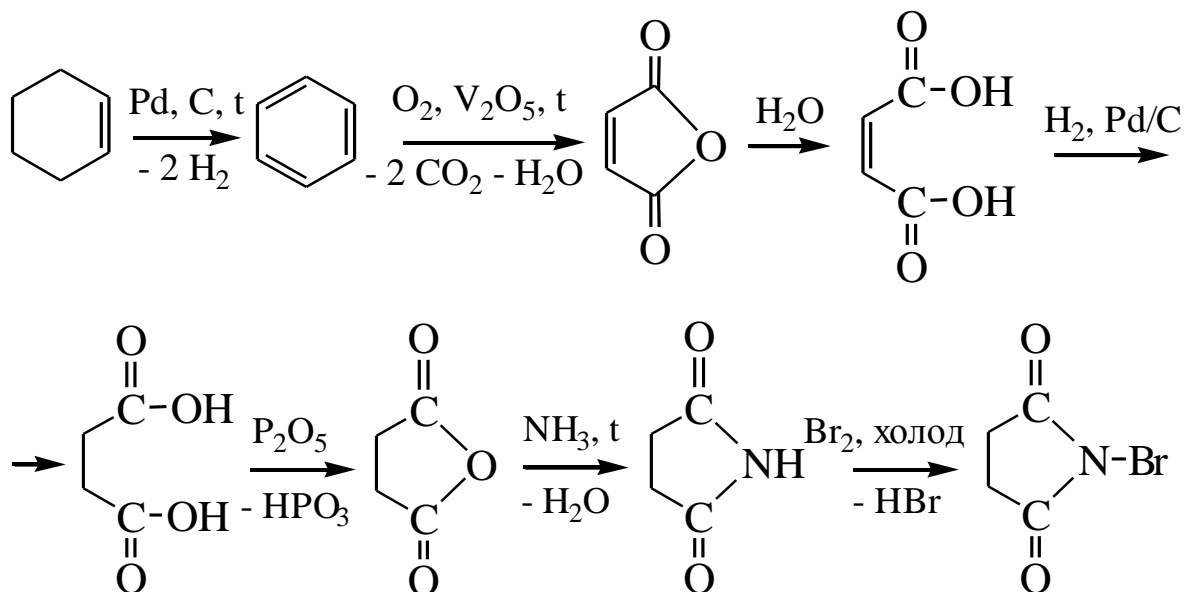
Учтите, что вещества D и M играют большую роль в биохимических циклах, а вещество H является сырьем для производства нейлона. Вещество G используется для проведения реакций селективного бромирования органических веществ.



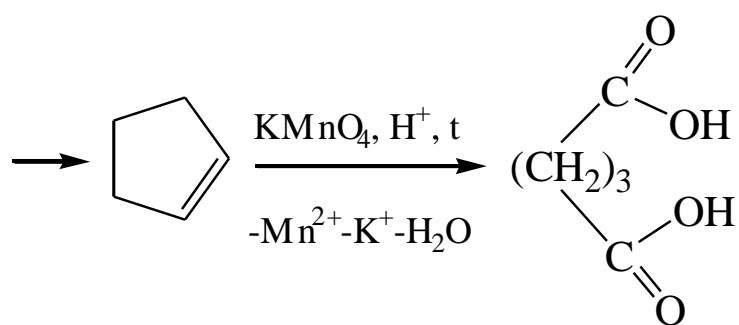
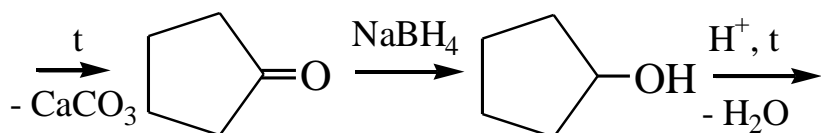
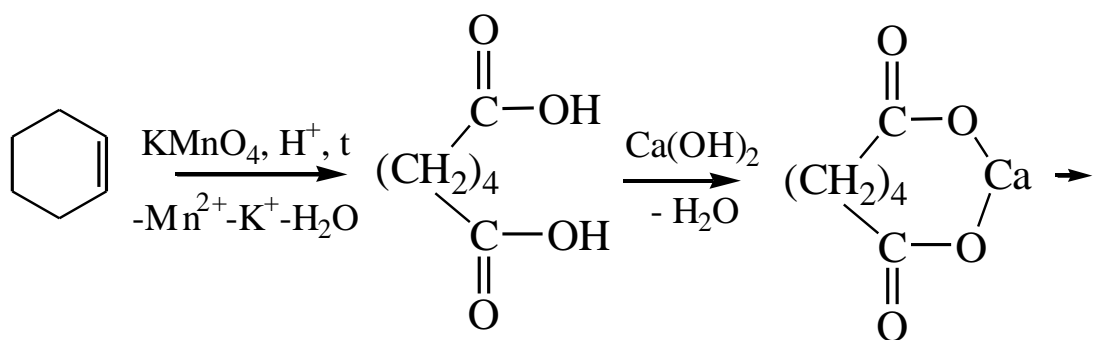
### Решение

Исходное вещество  $C_6H_{10}$  – это циклогексен.

Первая линия превращений:



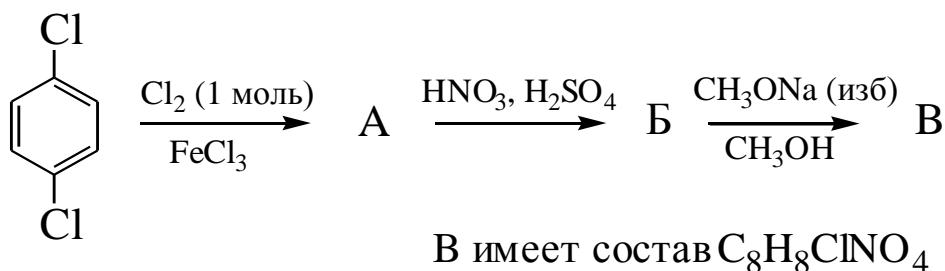
Вторая линия превращений:



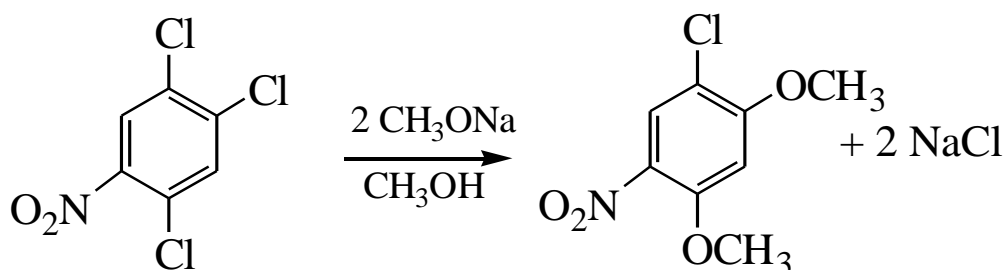
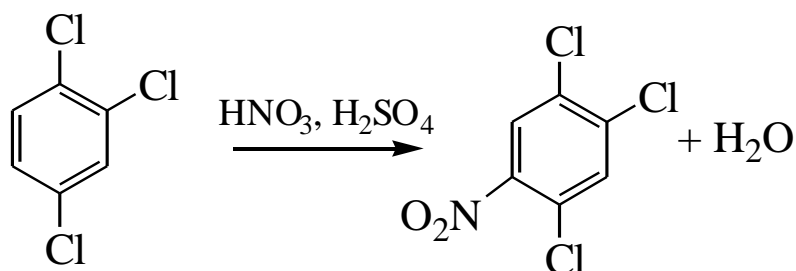
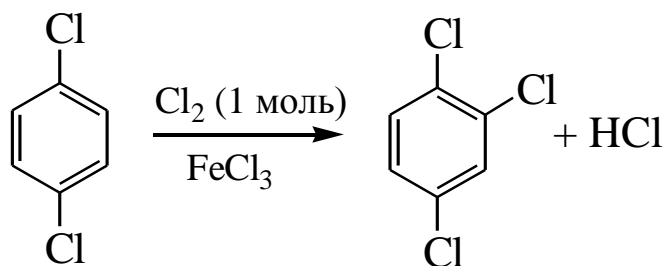
- |                        |                         |
|------------------------|-------------------------|
| А – бензол             | В – малеиновый ангидрид |
| С – малеиновая кислота | Д – янтарная кислота    |
| Е – янтарный ангидрид  | Ф – сукцинимид          |
| Г – N-бромсукцинимид   | Н – адипиновая кислота  |
| И – адипинат кальция   | Ж – циклопентанон       |
| К – циклопентанол      | Л – циклопентен         |
| М – глутаровая кислота |                         |

### №39

Расшифруйте цепочку превращений. Напишите уравнения всех протекающих реакций, назовите исходное вещество и вещества А, Б, В.



## Решение



Исходное вещество – 1,4-дихлорбензол

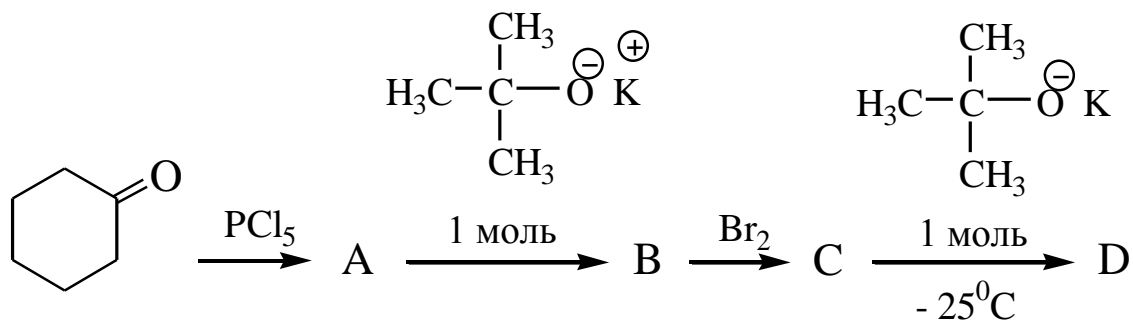
А – 1,2,4-трихлорбензол

Б – 1-нитро-2,4,5-трихлорбензол (возможны варианты, старшинство заместителей не абсолютно)

В – 1,3-диметокси-4-нитро-6-хлорбензол (возможны варианты, старшинство заместителей не абсолютно)

### №40

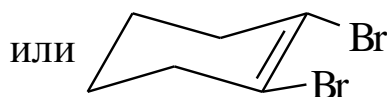
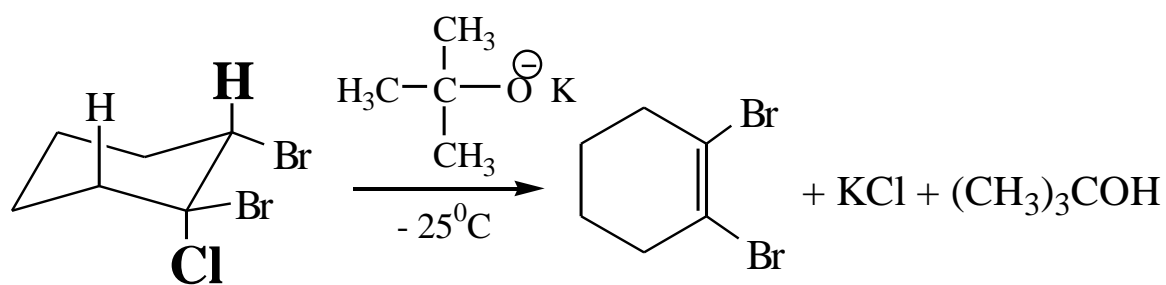
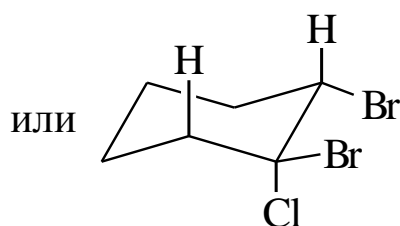
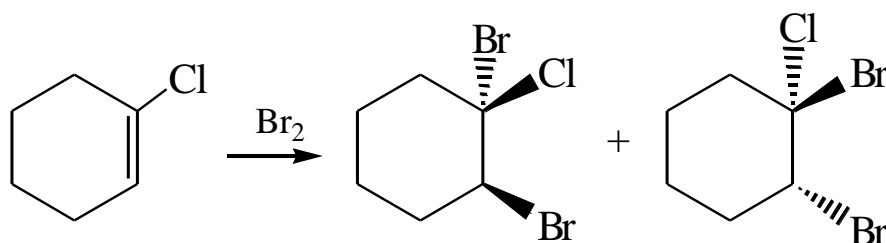
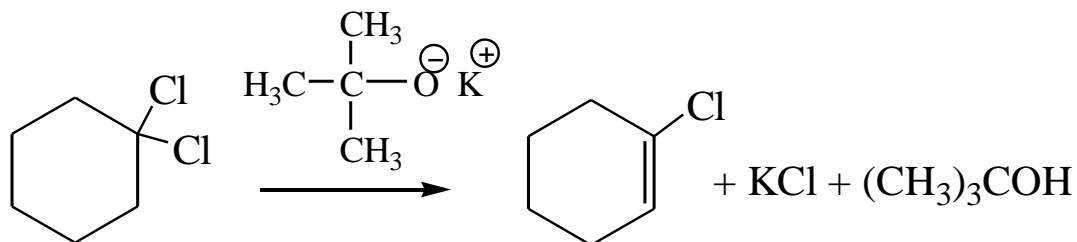
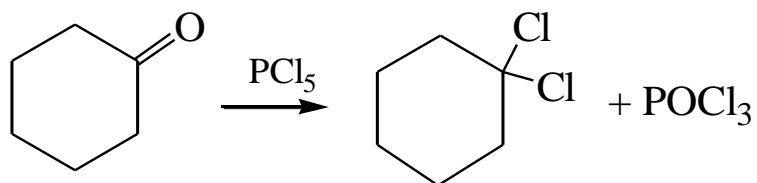
Расшифруйте схему превращений. Приведите все уравнения химических реакций. Назовите все вещества.



Обоснуйте выбранное вами направление отщепления в последней реакции.

Для справки: трет-бутилат калия (трет-бутоксид калия) используется для проведения реакций отщепления в органическом синтезе.

### Решение



Исходное вещество – циклогексанон

A – 1,1-дихлор-циклогексан

B – 1-хлорциклогексен-1

C – 1,2-дибром-1-хлор-циклогексан

D – 1,2-дибромциклогексен-1



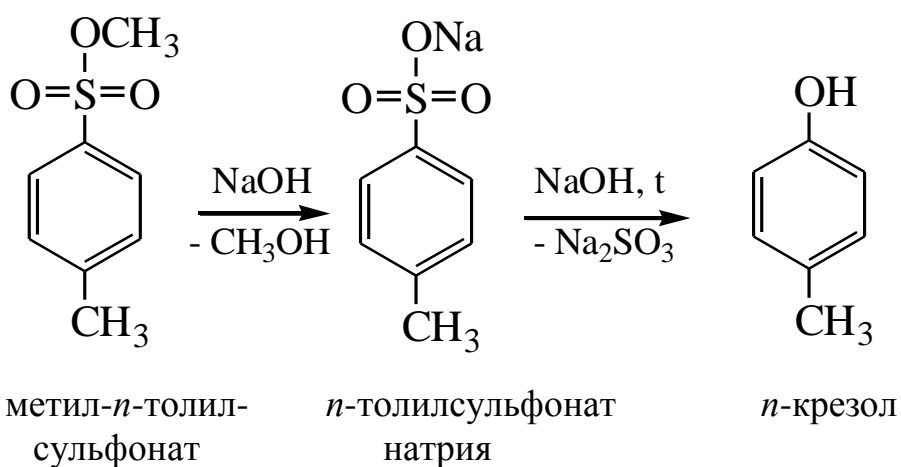
Наиболее устойчивой конформацией соединения С является конформация кресла, в которой объемные атомы брома занимают экваториальные положения. Для элиминирования уходящая группа и атом водорода должны находиться в антиперипланарной конформации (в аксиальных положениях), то есть при элиминировании в роли уходящей группы выступает хлор. Одновременно с хлором отщепляется атом водорода, присоединенный к наиболее замещенному атому углерода (по правилу Зайцева).

### №41

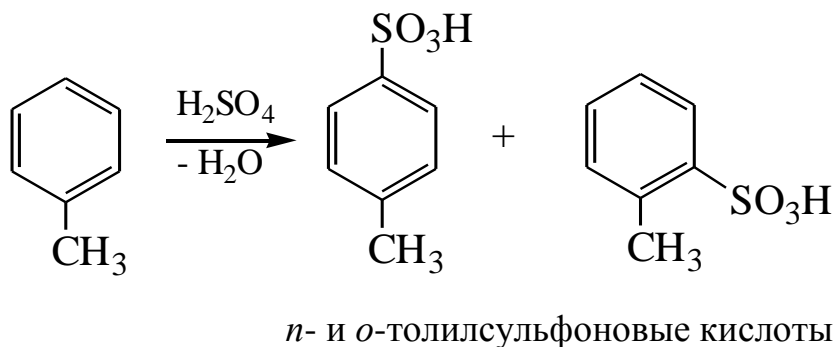
Нерастворимое в воде вещество состава  $C_8H_{10}O_3S$  гидролизovali водным раствором щелочи и получили соль состава  $C_7H_7O_3SNa$ . При сплавлении полученной соли с твердым гидроксидом натрия образуется *n*-крезол. Установите строение исходного вещества и получите его из толуола и других реагентов.

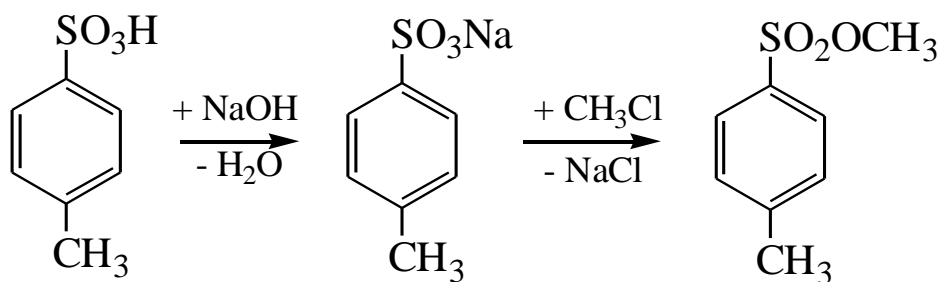
Приведите уравнения всех химических реакций и назовите все органические вещества.

### Решение



Получение (возможны варианты):



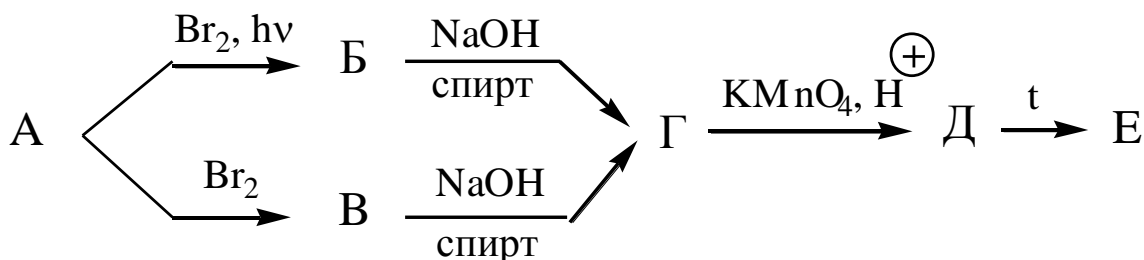


*n*-толилсульфонат  
натрия

CH<sub>3</sub>Cl – хлорметан.

### №42

Расшифруйте схему превращений, если известно, что соединение А – это циклоалкен, не имеющий боковых цепей, а массовая доля брома в соединении В больше массовой доли брома в соединении Б в 1,3306 раза. Напишите уравнения всех протекающих реакций, назовите химические вещества А – Е.



### Решение

Вещество А – это C<sub>n</sub>H<sub>2n-2</sub>.

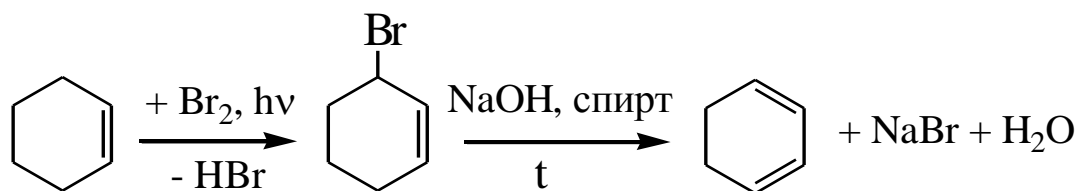
Вещество Б – это продукт замещения водорода на бром (C<sub>n</sub>H<sub>2n-3</sub>Br).  $\omega(\text{Br в } \text{C}_n\text{H}_{2n-3}\text{Br}) = 80 / (14 \cdot n + 77)$

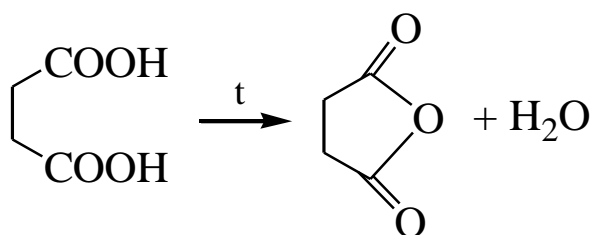
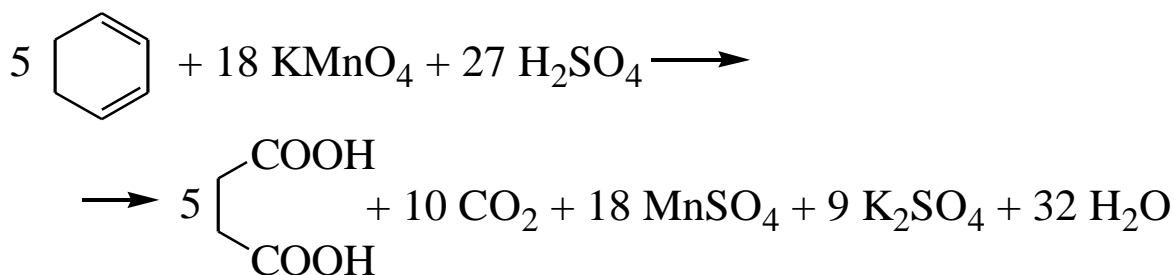
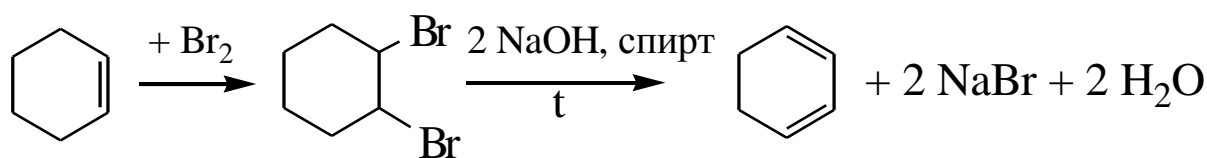
Вещество В – это продукт присоединения брома по двойной связи (C<sub>n</sub>H<sub>2n-2</sub>Br<sub>2</sub>).  $\omega(\text{Br в } \text{C}_n\text{H}_{2n-2}\text{Br}_2) = 160 / (14 \cdot n + 158)$

Составим алгебраическое уравнение:

$$80 \cdot 1,3306 / (14 \cdot n + 77) = 160 / (14 \cdot n + 158)$$

Решаем и получаем n = 6. Это циклогексен.





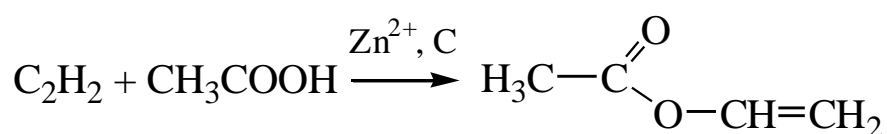
- |                           |                        |
|---------------------------|------------------------|
| А – циклогексен           | Б – 3-бромциклогексен  |
| В – 1,2-дибромциклогексан | Г – циклогексадиен-1,3 |
| Д – янтарная кислота      | Е – янтарный ангидрид  |

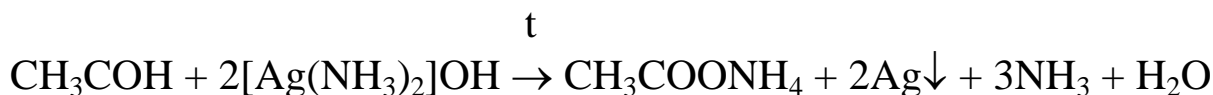
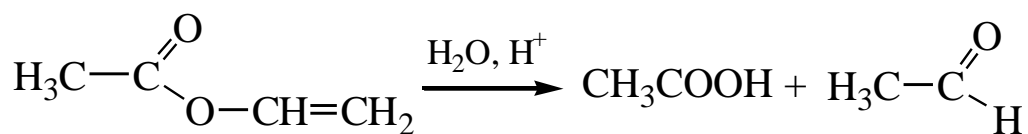
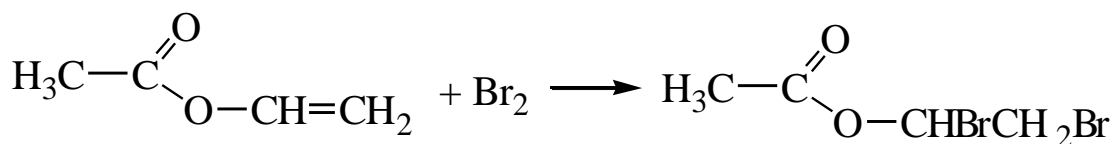
### №43

Два органических вещества А и Б имеют молярные массы 26 и 60 г/моль, соответственно. При их взаимодействии в присутствии катализатора образуется вещество В (М = 86 г/моль), которое обесцвечивает бромную воду, но не окисляется аммиачным раствором оксида серебра. Вещество В подвергается гидролизу в присутствии кислоты. Продукты гидролиза не обесцвечивают бромную воду, но окисляются аммиачным раствором оксида серебра с образованием «серебряного зеркала» и ацетата аммония как единственного органического продукта. Приведите формулы и названия веществ А, Б и В, а также уравнения всех упомянутых в задаче реакций.

Как называется популярный клей, получаемый при полимеризации вещества В? Приведите эту реакцию.

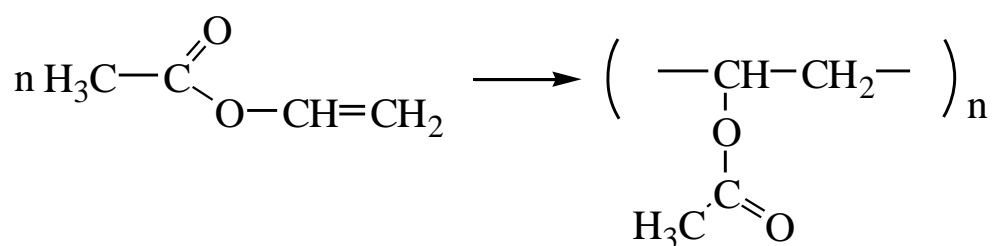
### Решение





А – этин, Б – уксусная кислота, В – винилацетат.

При полимеризации вещества В получают клей ПВА (поливинилацетатный клей).

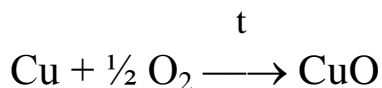


#### №44

Дипептид сожгли в избытке кислорода, а полученную газовую смесь охладили. В составе этой смеси обнаружили четыре газа в объемном соотношении 1:1:4:6. Если полученную смесь пропустить над избытком раскаленной медной стружки, то ее объем уменьшается в 1,5 раза. Предложите один из вариантов строения дипептида и приведите реакцию его гидролиза избытком раствора гидроксида калия.

#### Решение

При сжигании пептида образовались три газа –  $\text{CO}_2$ ,  $\text{N}_2$ ,  $\text{SO}_2$ , – и остался непрореагировавший  $\text{O}_2$ .



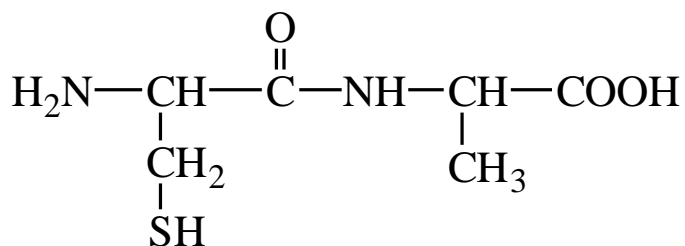
После пропускания этой смеси газов над медью остаются  $\text{CO}_2$ ,  $\text{N}_2$ ,  $\text{SO}_2$ .

1 + 1 + 4 + 6 = 12 объемов полученной охлажденной газовой смеси превращаются в  $12 / 1,5 = 8$  объемов. То есть непрореаги-

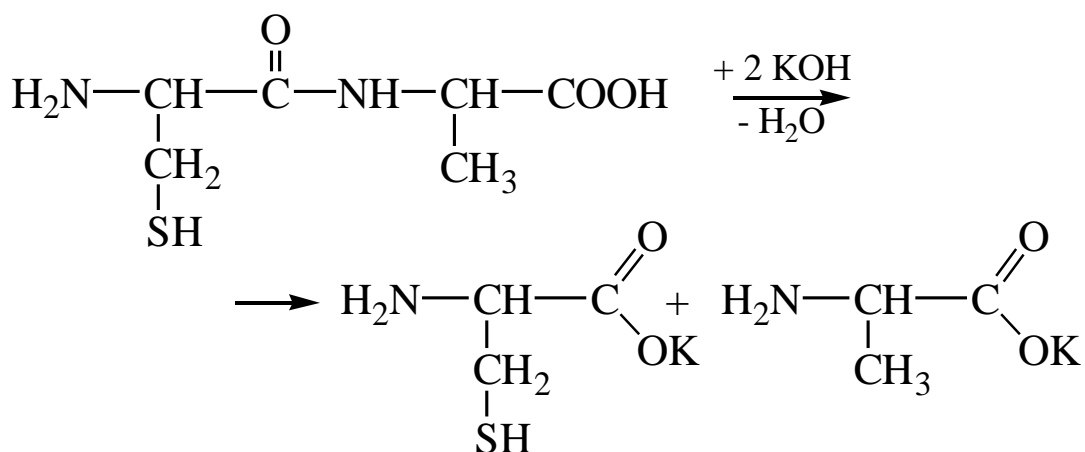
ровавший  $O_2$  составлял  $12 - 8 = 4$  части газовой смеси, 6 частей – это  $CO_2$ , 1 часть – это  $N_2$ , а еще 1 часть –  $SO_2$ .

В исходном пептиде на 6 атомов углерода приходится 2 атома азота и один атом серы. Серосодержащая аминокислота – цистеин (метионин содержит 5 атомов углерода и поэтому не подходит под условие задачи). Другая аминокислота должна содержать 3 атома углерода – это серин или аланин.

Пептид – это, например, цистеилаланин:



Гидролиз дипептида в щелочной среде ведет к образованию солей аминокислот:

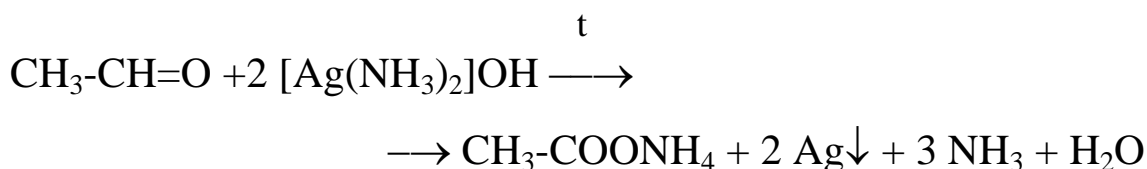
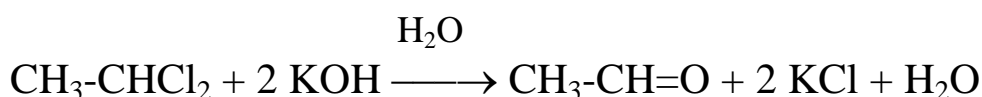
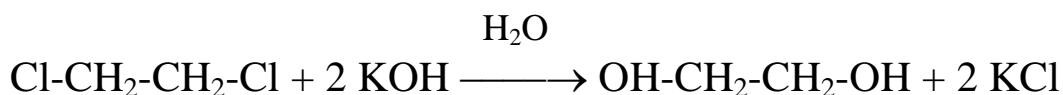
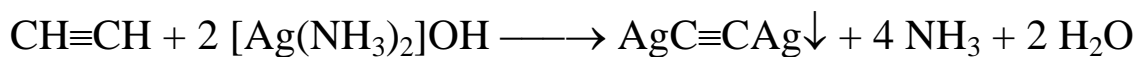
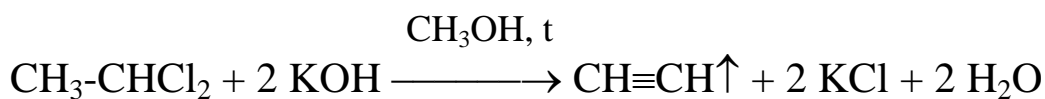
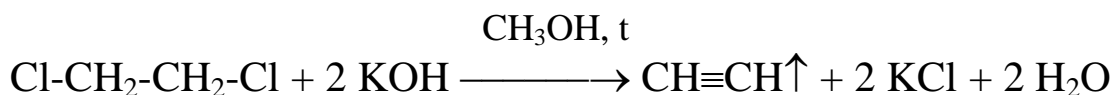


#### №45

Смесь дихлорэтанов обработали раствором гидроксида калия в метаноле при нагревании. При этом выделился газ, который пропустили в аммиачный раствор оксида серебра и получили 9,6 г осадка. Если такое же количество исходной смеси обработать последовательно водным раствором гидроксида калия и аммиачным раствором оксида серебра при нагревании, то образуется 6,48 г осадка. Определите массу исходной смеси и мольную долю каждого изомера в ней. Приведите уравнения всех химических реакций.

#### Решение

Дихлорэтаны – это 1,2-дихлорэтан и 1,1-дихлорэтан.



$\nu(\text{Ag}_2\text{C}_2) = 9,6 / 240 = 0,04$  моль, следовательно  $\nu_{\text{общ}}(\text{C}_2\text{H}_4\text{Cl}_2) = 0,04$  моль.

$$m_{\text{исх смеси}} = 0,04 \cdot 99 = 3,96 \text{ г}$$

$\nu(\text{Ag}) = 6,48 / 108 = 0,06$  моль, следовательно  $\nu(\text{CH}_3\text{-CH=O}) = \nu(\text{CH}_3\text{-CHCl}_2) = 0,03$  моль, поэтому  $\nu(\text{Cl-CH}_2\text{-CH}_2\text{-Cl}) = 0,01$  моль.

Вычислим мольные доли компонентов:

$$\chi(\text{Cl-CH}_2\text{-CH}_2\text{-Cl}) = 0,01 / 0,04 = 25\%$$

$$\chi(\text{CH}_3\text{-CHCl}_2) = 0,03 / 0,04 = 75\%$$

**Ответ:** 3,96 г смеси,  $\chi(\text{Cl-CH}_2\text{-CH}_2\text{-Cl}) = 25\%$ ,  $\chi(\text{CH}_3\text{-CHCl}_2) = 75\%$ .

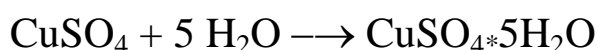
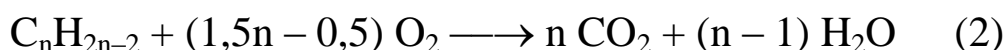
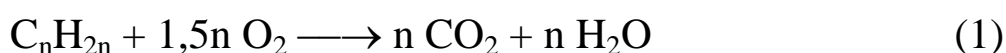
#### №46

Два нециклических углеводорода содержат одинаковое число атомов углерода. При их гидратации образуются одноатомный спирт и кетон, причем количества вещества спирта в два раза больше количества вещества кетона. Продукты полного сгорания исходной смеси пропустили над безводным сульфатом меди (II), при этом масса продуктов сгорания уменьшилась на 27,27%. Установите строение исходных углеводородов, если известно, что

один из них имеет разветвленный углеродный скелет, а при пропуске исходной смеси через аммиачный раствор оксида серебра выпадает осадок. Приведите все уравнения реакций.

### Решение

Два исходных углеводорода – это алкен  $C_nH_{2n}$  и алкин  $C_nH_{2n-2}$ .



Так как количество вещества спирта в два раза больше количества вещества кетона, количества вещества алкена в два раза больше количества вещества алкина. Пусть  $\nu(C_nH_{2n}) = 2$  моль, тогда  $\nu(C_nH_{2n-2}) = 1$  моль

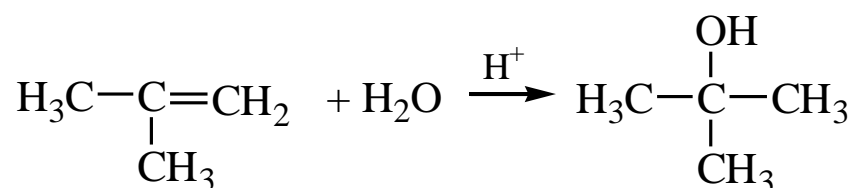
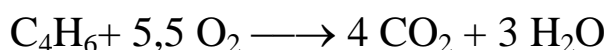
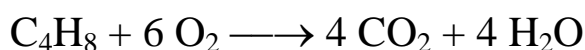
Тогда  $\nu(CO_2) = 2n + n = 3 \cdot n$  моль, а  $\nu(H_2O) = 2 \cdot n + (n - 1) = 3 \cdot n - 1$  моль.

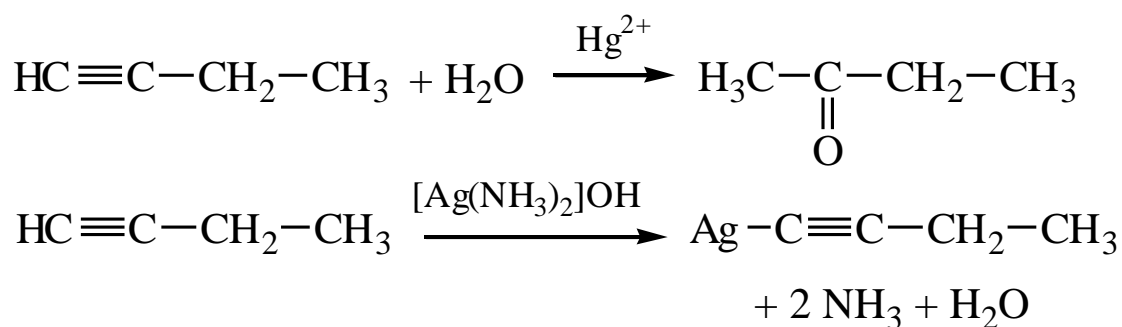
$m(CO_2) = 44 \cdot 3 \cdot n = 132 \cdot n$  г, а  $m(H_2O) = 18 \cdot 3 \cdot n - 18 = 54 \cdot n - 18$  г.

Зная, что масса воды составляет 27,27% от массы всех продуктов сгорания, составляем уравнение

$$\frac{54n - 18}{132n + 54n - 18} = 0,2727$$

Решаем и получаем  $n = 4$ . Разветвленный скелет может быть только у алкена, алкен – это изобутен (метилпропен)  $CH_2=C(CH_3)_2$ . Тройная связь алкина находится у первого углерода, алкин – это бутин-1  $HC \equiv CCH_2CH_3$ .





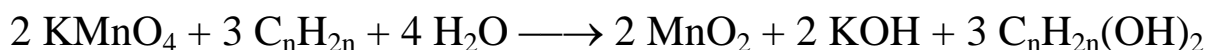
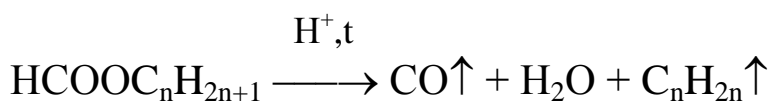
**Ответ:** изобутен и бутин-1.

#### №47

При нагревании сложного эфира с 80% серной кислотой образовалась смесь газов. Какие возможные структуры вы можете предложить для исходного сложного эфира, если после пропускания полученной смеси газов через избыток водного раствора перманганата калия ее объем уменьшился в два раза, а плотность уменьшилась в полтора раза? Какие из предложенных вами структур наиболее и наименее вероятны? Обоснуйте. Приведите все химические реакции. Считайте, что они протекают количественно.

#### Решение

При гидролизе сложного эфира образуются спирт и карбоновая кислота. В условиях реакции спирт дегидратируется до ненасыщенного углеводорода, а кислота разлагается. Простейший вариант: эфир муравьиной кислоты и предельного одноатомного спирта.



Пусть количество веществ алкена и CO составляет по 0,5 моль. Тогда плотность исходной смеси  $(0,5 \cdot 28 + 0,5 \cdot 14 \cdot n) / 22,4$ . Плотность вышедшего из раствора перманганата калия газообразного CO составляет  $28 / 22,4$ . Составляем уравнение:

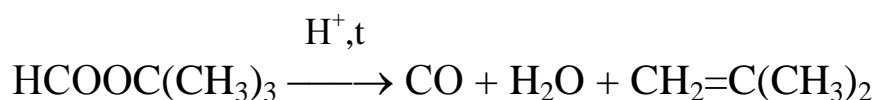
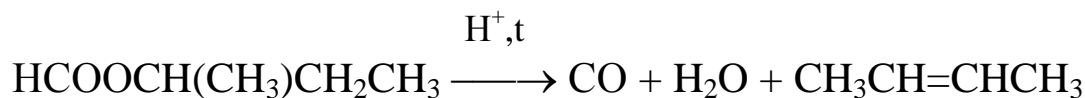
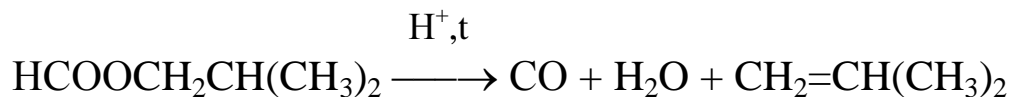
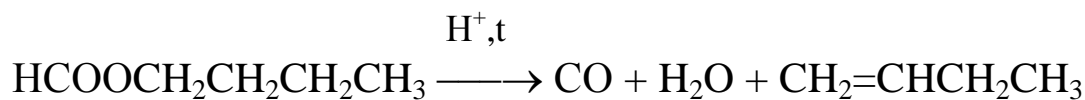
$$(0,5 \cdot 28 + 0,5 \cdot 14 \cdot n) / 22,4 = 1,5 \cdot 28 / 22,4$$

Решаем и получаем  $n = 4$ .

Сложный эфир – это бутилформиат (4 изомера). Наименее вероятны структуры *n*-бутилформиата и изобутилформиата, так



как первичные спирты дегидратируются в более жестких условиях, чем указано в условии задачи (требуется 98% H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>). Больше подходят условию задачи *втор*-бутилформиат и *трет*-бутилформиат.



**Ответ:** бутилформиат, 4 изомера. Наиболее вероятны *втор*-бутилформиат и *трет*-бутилформиат, наименее вероятны *н*-бутилформиат и *изобутил*формиат.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Сборник задач по неорганической химии: учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений / Е.И. Ардашникова, Г.Н. Мазо, М.Е. Тамм; под ред. Ю.Д. Третьякова. – М.: Издательский центр «Академия», 2008. – 208 с. – Текст: непосредственный.
2. Задачи по органической химии с решениями / А.Л. Курц [и др.]. – 3-е изд., перераб. и доп.. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2011. – 350 с. – Текст: непосредственный.

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение	3
Общая химия	4
Физическая химия	9
Неорганическая химия	17
Органическая химия	31
Литература	50