

ЗАДАЧА 1 (10 класс). Смесь газов после высокотемпературного (1500 °С) пиролиза метана имеет плотность по водороду 5. Определите выход реакции пиролиза. **(2 балла)**

РЕШЕНИЕ.

Уравнение реакции $2\text{CH}_4 \rightarrow \text{C}_2\text{H}_2 + 3\text{H}_2$. Возьмем 1 моль метана. Пусть в реакции пиролиза получилось a моль ацетилена. Составим для наглядности таблицу и рассчитаем моли всех веществ в соответствии со стехиометрическими коэффициентами

Время	v, МОЛЬ		
	CH ₄	C ₂ H ₂	H ₂
До реакции	1	0	0
По уравнению	2a	a	3a
Осталось	1-2a	a	3a

Масса 1 моль метана равна 16 г. Очевидно, что после реакции сумма масс всех веществ тоже равна 16 г.

После реакции средняя молярная масса смеси равна

$$M_{\text{см}} = 5 \cdot 2 = 10 \text{ (г/моль)}.$$

Количество все веществ после реакции

$$v = 1 - 2a + a + 3a = 1 + 2a$$

В соответствии с уравнением $m = vM$ получаем:

$$(1 + 2a) \cdot 10 = 16, \text{ откуда } a = 0,3 \text{ моль.}$$

Теоретически по уравнению реакции из 1 моль метана можно было получить 0,5 моль ацетилена, следовательно выход $\eta = \frac{0,3 \cdot 100\%}{0,5} = 60\%$

ОТВЕТ. 60%

ЗАДАЧА 1(11 класс).** Продукты высокотемпературного (1500 °С) пиролиза метана были пропущены через избыток бромной воды. Непоглощенная газовая смесь имеет плотность по воздуху 0,2. Определите выход реакции пиролиза. **(2 балла)**

РЕШЕНИЕ.

Уравнение реакции $2\text{CH}_4 \rightarrow \text{C}_2\text{H}_2 + 3\text{H}_2$. Возьмем 1 моль метана. Пусть в реакции пиролиза получилось a моль ацетилена. Составим для наглядности таблицу и рассчитаем моли всех веществ в соответствии со стехиометрическими коэффициентами

Время	v, МОЛЬ		
	CH ₄	C ₂ H ₂	H ₂
До реакции	1	0	0
По уравнению	2a	a	3a
Осталось	1-2a	a	3a

После пропускания смеси через избыток бромной воды из смеси пропал ацетилен, остались метан и водород в количестве $v = 1 - 2a + 3a = 1 + a$

Средняя молярная масса этой смеси равна $0,2 \cdot 29 = 5,8$ (г/моль). В соответствии с уравнением

$$m_{\text{смеси}} = m_{\text{CH}_4} + m_{\text{H}_2}$$

получаем: $(1 + a) \cdot 5,8 = (1 - 2a) \cdot 16 + 3a \cdot 2$, откуда $a = 0,321$ моль.

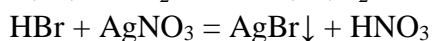
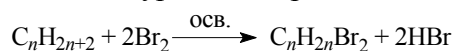
Теоретически по уравнению реакции из 1 моль метана можно было получить 0,5 моль ацетилена, следовательно выход $\eta = \frac{0,321 \cdot 100\%}{0,5} = 64,2\%$

ОТВЕТ. 64,2%

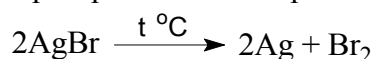
ЗАДАЧА 2 (10 класс). 7,48 г алкана пробромировали с получением смеси дибромпроизводных. Образовавшийся при этом бромоводород пропустили через избыток раствора нитрата серебра, осадок отфильтровали, высушили и прокалили до постоянной массы, равной 36,72 г. Определите, какой алкан был взят для бромирования. **(3 балла)**

РЕШЕНИЕ.

Запишем уравнения реакций



При прокаливании бромид серебра разлагается



Откуда следует $v(\text{HBr}) = v(\text{AgBr}) = v(\text{Ag}) = 36,72/108 = 0,34$ (моль);

$$v(\text{C}_n\text{H}_{2n+2}) = v(\text{HBr})/2 = 0,17 \text{ моль}$$

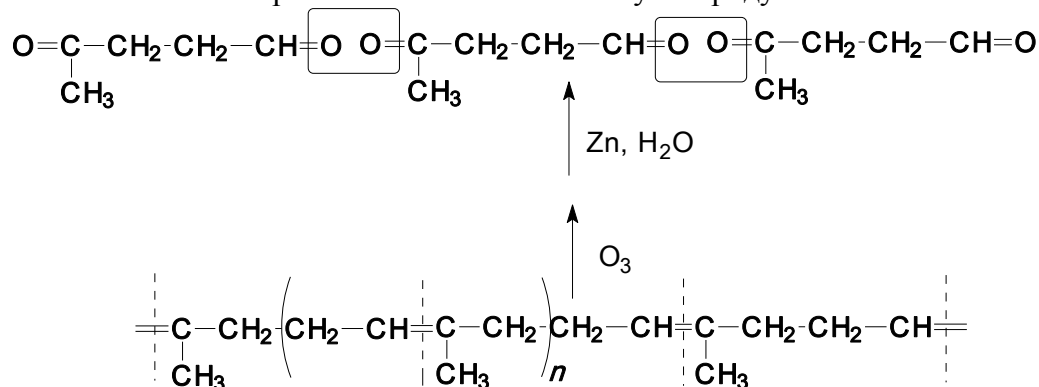
$$M(\text{C}_n\text{H}_{2n+2}) = \frac{7,48}{0,17} = 44 \text{ (г/моль)};$$

$$14n + 2 = 44; \quad n = 3; \quad \text{это пропан } \text{C}_3\text{H}_8$$

ОТВЕТ. C₃H₈

ЗАДАЧА 3 (10 и 11 классы). При озонлизе (с последующим восстановительным гидролизом) образца некоторого полимера в качестве единственного продукта был получен 4-оксопентаналь. Установите строение полимера. Где он используется? **(4 балла)**

РЕШЕНИЕ. Постараемся состыковать молекулы продукта озонлиза.

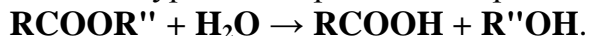


ОТВЕТ. Это изопреновый каучук (или гуттаперча, *транс*-изомер)

ЗАДАЧА 4 (11 класс).** Сложный эфир массой 2,1 г (не содержащих элементов, кроме углерода, водорода и кислорода) был гидролизован в присутствии каталитических количеств серной кислоты. Полученная смесь органических продуктов имела плотность паров по воздуху $D_{\text{возд}} = 1,759$. При добавлении к этой смеси избытка аммиачного раствора оксида серебра выпал осадок массой 9,475 г. Определите строение сложного эфира. **(4 балла)**

РЕШЕНИЕ.

Запишем уравнение реакции гидролиза сложного эфира



Средняя молярная масса смеси полученных спирта и кислоты равна $M_{\text{см}} = 1,759 \cdot 29 = 51$ (г/моль)

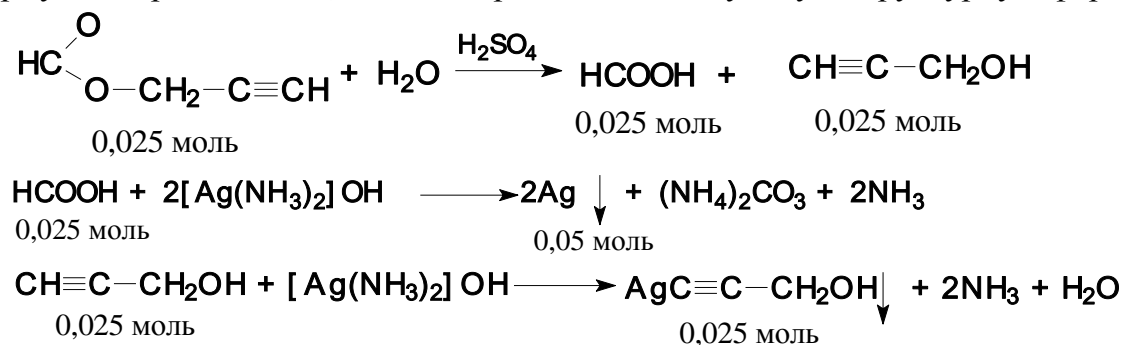
Сумма молярных масс спирта и кислоты, полученных из 1 моля эфира, в 2 раза больше и равна $M(\text{спирта}) + M(\text{карб. кислоты}) = 102$

Следовательно, молярная масса эфира равна $102 - M(\text{H}_2\text{O}) = 84$ (г/моль) **(1 балл)**

Для молярной массы 84 можно предложить только одну брутто формулу C₄H₄O₂ (т.к. C₃O₃ не имеет смысла). **(1 балл)**

Найдем количество вещества эфира $\nu(\text{эф}) = \frac{2,1}{84} = 0,025$ (моль)

Так как масса осадка очень велика (на 1 моль эфира – 379 г осадка), можно предположить, что за выпадение осадка отвечает и кислота (в таком случае это муравьиная кислота) и спирт (и формула спирта C₃H₃OH). Можно предложить следующую структурную формулу эфира



(2 балла)

Проверим, чему равна масса осадков

$m(\text{осад}) = 0,05 \cdot 108 + 0,025 \cdot 163 = 9,475$ (г), что соответствует условию задачи

ОТВЕТ. пропаргиловый эфир муравьиной кислоты или пропаргилформиат

ЗАДАЧА 4 (10 класс). После гидролиза сложного эфира при нагревании в присутствии концентрированной серной кислоты получилась газовая смесь с относительной плотностью по гелию $D_{\text{He}} = 7$. Определите строение сложного эфира. Напишите уравнения всех реакций. Предложите метод синтеза этого эфира из метана, если в Вашем распоряжении имеются любые неорганические вещества и катализаторы, а также органические вещества, полученные на предыдущих стадиях. **(4 балла)**

РЕШЕНИЕ.

Запишем уравнение реакции гидролиза сложного эфира $\text{RCOOR}'' + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{RCOONH}_4 + \text{R}''\text{OH}$.

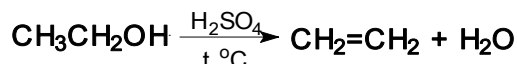
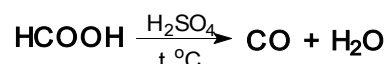
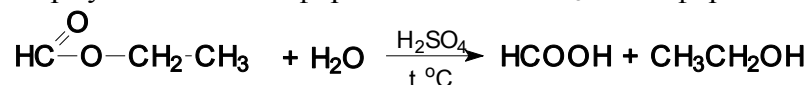
Средняя молярная масса смеси продуктов равна $M_{\text{см}} = 7 \cdot 4 = 28$ (г/моль), т.е.

Но нам неизвестны ни спирт, ни кислота, у которых молярные массы ≤ 28 г/моль. Следовательно, продукты гидролиза должны разлагаться при нагревании с концентрированной серной кислотой.

Спирты превращаются в алкены, причем у всех $M \geq 28$ (самый легкий алкен $M(\text{C}_2\text{H}_4) = 28$ г/моль).

Поэтому продукт разложения кислоты должен иметь $M \leq 28$ г/моль. При нагревании с серной кислотой разлагается муравьиная кислота в соответствии с уравнение $\text{HCOOH} \rightarrow \text{CO} + \text{H}_2\text{O}$. ($M(\text{CO}) = 28$ г/моль), что удовлетворяет условию задачи

Формула сложного эфира $\text{HCOOCH}_2\text{CH}_3$ - этилформиат.



Синтезируете уж как-нибудь сами

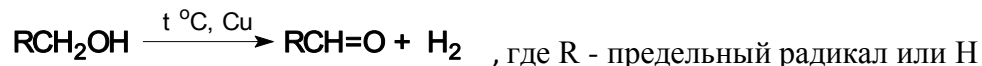
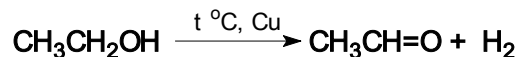
ЗАДАЧА 5 (11 класс).** 7,8 г смеси этанола и его гомолога (этанола в смеси 59 масс.%) окислили над раскаленной медной сеткой. Продукты окисления были обработаны избытком аммиачного раствора оксида серебра, при этом выпал осадок массой 64,8 г. Определите строение гомолога этанола. **(3 балла)**

РЕШЕНИЕ.

Масса этанола $m(\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}) = 7,8 \cdot 0,59 = 4,6$ (г); масса гомолога $m(\text{RCH}_2\text{OH}) = 3,2$ (г);

Количество этанола в смеси $\nu(\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}) = \frac{4,6}{46} = 0,1$ (моль), получающийся из него ацетальдегид

приведет к выделению только **0,2 моль Ag**, или 21,6 г. Поэтому оба спирта были первичными. Запишем уравнения реакций:



В избытке аммиачного раствора оксида серебра происходят реакции:



$$\nu_1(\text{Ag}) = 2\nu(\text{CH}_3\text{CHO}) = 2\nu(\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}) = 0,2 \text{ моль Ag}$$

Если гомолог не метиловый спирт, то уравнение второй реакции



или (если метиловый спирт)



(1 балл)

Всего в осадок выпало серебра $\nu(\text{Ag}) = \frac{64,8}{108} = 0,6$ (моль)

Следовательно в реакции с вторым альдегидом выделилось $\nu_1(\text{Ag}) = 0,6 - 0,2 = 0,4$ моль Ag,

т.е. $\nu(\text{RCH}_2\text{OH}) = \nu(\text{RCHO}) = 0,2$ моль или $\nu(\text{CH}_2\text{O}) = \frac{\nu(\text{Ag})}{4} = 0,1$ (моль)

и тогда молярная масса второго спирта $M(\text{RCH}_2\text{OH}) = \frac{3,2}{0,2} = 16$ $\left(\frac{\text{г}}{\text{моль}}\right)$. Такого спирта нет. **(1 балл)**

Значит гомолог - это метанол и при дегидрировании из него получился формальдегид, Найдем для проверки молярную массу спирта

$$M(\text{CH}_3\text{OH}) = \frac{3,2}{0,1} = 32 \left(\frac{\text{г}}{\text{моль}} \right), \text{ что соответствует действительности.} \quad (1 \text{ балл})$$

ОТВЕТ. метанол

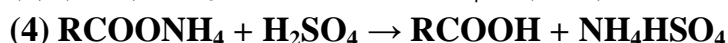
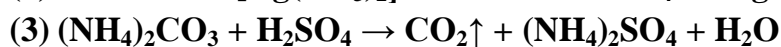
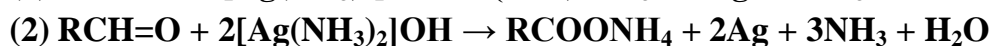
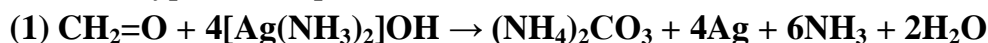
ЗАДАЧА 5 (10 класс). При взаимодействии смеси двух предельных альдегидов избытком аммиачного раствора оксида серебра образуется 60,5 г осадка. При дальнейшей обработке отфильтрованного раствора серной кислотой выделяется 1,792 л газа (н.у.) и получается предельная одноосновная карбоновая кислота в количестве, достаточном для образования с избытком этанола 12,25 г сложного эфира. Найти массовые доли альдегидов в исходной смеси.

(3 балла)

РЕШЕНИЕ.

Если при обработке серной кислотой фильтрата выделялся газ, значит при окислении аммиачным раствором оксида серебра получился карбонат, и в исходной смеси один из альдегидов был формальдегид.

Запишем уравнения реакций



Найдем количество вещества формальдегид

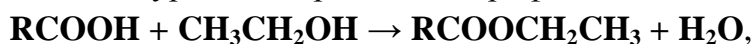
$$v(\text{CH}_2\text{O}) = v((\text{NH}_4)_2\text{CO}_3) = v(\text{CO}_2) = \frac{1,792}{22,4} = 0,08 \text{ (моль)} \quad (1 \text{ балл})$$

Следовательно, в реакции (1) в осадок выпало серебра $v_1(\text{Ag}) = 4 v(\text{CH}_2\text{O}) = 0,32 \text{ (моль)}$

$$\text{Всего в реакциях (1) и (2)} \quad v(\text{Ag}) = \frac{64,5}{108} = 0,56 \text{ (моль)}$$

Поэтому в реакции (2) $v(\text{Ag}) = 0,56 - 0,32 = 0,24 \text{ (моль)}$ и $v(\text{RCH}=\text{O}) = \frac{v(\text{Ag})}{2} = 0,12 \text{ моль}$

Запишем уравнение реакции этерификации



причем $v(\text{эфира}) = v(\text{RCOOH}) = v(\text{RCH}=\text{O}) = 0,12 \text{ моль}$

$$\text{Найдем молярную массу сложного эфира: } M(\text{C}_n\text{H}_{2n}\text{O}_2) = \frac{12,25}{0,12} = 102 \text{ (г/моль)}$$

Откуда $14n + 32 = 102$; $n = 5$. Так как в спирте 2 атома углерода, то в кислоте их 3. Это пропионовая кислота. **(1 балл)**

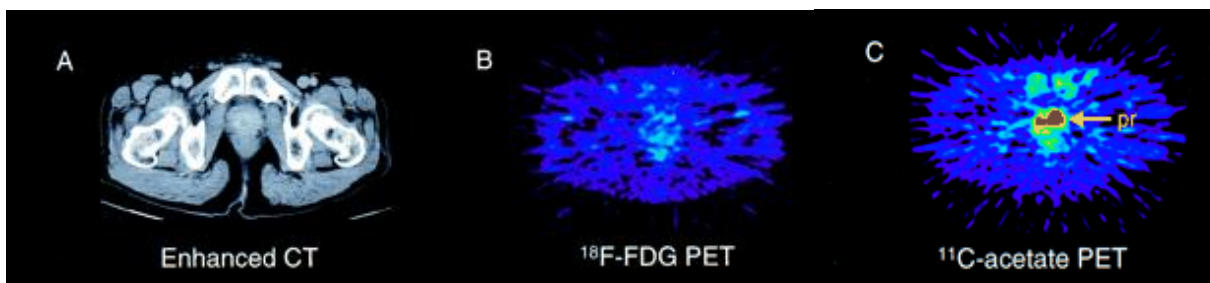
Найдем массы альдегидов и их массовые доли:

$$m(\text{CH}_2\text{O}) = v \cdot M = 0,08 \cdot 30 = 2,4 \text{ (г)}; \quad m(\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CHO}) = v \cdot M = 0,12 \cdot 58 = 6,96 \text{ (г)};$$

$$m_{\text{смеси}} = 9,36 \text{ г.} \quad \omega(\text{CH}_2\text{O}) = 2,4/9,36 \cdot 100 \% = 25,6 \% ; \quad \omega(\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CHO}) = 74,4 \% ; (1 \text{ балл})$$

ОТВЕТ. $\omega(\text{CH}_2\text{O}) = 25,6 \% ; \quad \omega(\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CHO}) = 74,4 \% ;$

ЗАДАЧА 7(10 класс). В Вашем распоряжении имеется углекислый газ $^{11}\text{CO}_2$, меченный углеродом-11 ($T_{1/2} = 20$ мин). Напишите уравнения реакций, позволяющих синтезировать из этого соединения радиофармпрепарат $\text{CH}_3^{11}\text{COONa}$, содержащий углерод-11 в отмеченном положении. $1\text{-}[^{11}\text{C}]\text{ацетат}$ применяется в диагностике раковых заболеваний и выявления метастазов, а также как индикатор окислительного метаболизма карбоновых кислот в миокарде.



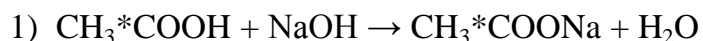
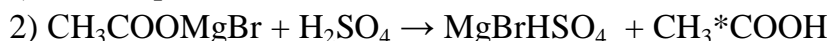
Сравнение информативности визуализации опухоли с помощью КТ, и радионуклидных диагностических процедур с $[^{18}\text{F}]\text{фтордезоксиглюкозы}$ и $[^{11}\text{C}]\text{ацетата}$

Для синтеза можно использовать любые органические и неорганические реактивы. Нежелательна потеря активности на побочные реакции и разбавление другими изотопами углерода, а также использование медленных реакций. **(2 балла)**

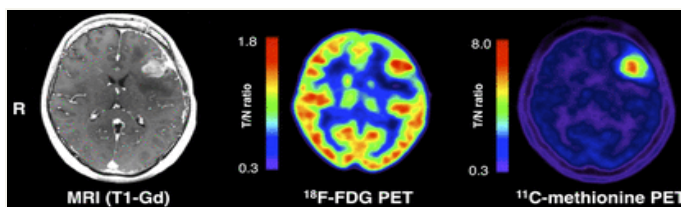
РЕШЕНИЕ. (возможное)



2) *Растворение в воде и катионообменная очистка в модуле синтеза, на выходе кислота*



ЗАДАЧА 8 (11 класс). В Вашем распоряжении имеется углекислый газ $^{11}\text{CO}_2$ ($T_{1/2} = 20$ мин), меченный углеродом-11. Напишите уравнения реакций, позволяющих синтезировать из этого соединения метилйодид $^{11}\text{CH}_3\text{I}$ - один из основных предшественников в синтезе $[^{11}\text{C}]\text{радиофармпрепаратов}$, например,



Визуализация опухоли головного мозга с $[^{11}\text{C}]\text{метионином}$

Можно использовать любые органические и неорганические реактивы. Нежелательна потеря активности на побочные реакции и разбавление другими изотопами углерода. **(2 балла)**

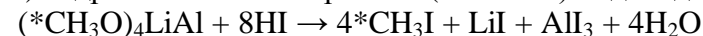
РЕШЕНИЕ. (возможное)

В модуле автоматизированного синтеза это делают так:

1) восстановление алюмогидридом лития в ТГФ



2) гидролиз метилата крепкой (56%-ной) йодоводородной кислотой



3) Пары и газообразные продукты (метилйодид, HI, пары воды) пропускают через аскарит (вроде асбест, пропитанный KOH, не помню). На свободу вырывается только [^{11}C]CH₃I