

10 класс

Задание 1.

1. Цвета соединений, ярко выраженные окислительные свойства ряда веществ и связь названия элемента с цветом позволяет предположить, что речь идёт о хrome: **X – Cr (2 балла)**.

Формулы соединений (по 1 баллу):

А	Б	В	Г
Cr	K₂CrO₄	K₂Cr₂O₇	Cr₂(SO₄)₃
Д	Е	Ж	З
K₃[Cr(OH)₆]	CrO₃	CrO₂Cl₂	CrO(O₂)₂·C₅H₅N

Состав соединения **З** можно установить расчётом. В предположении, что вещество содержит 1 атом хрома, имеем:

$$M(\mathbf{З}) = 52/0.2464 = 211 \text{ г/моль}$$

За вычетом массы самого хрома и массы как минимум одной молекулы пиридина ($M = 79 \text{ г/моль}$) получаем остаток 80 г/моль. Этот остаток может быть получен следующими комбинациями: $\text{C}_5\text{H}_5\text{N} + \text{H}$, $\text{S} + 3\text{O}$, $2\text{S} + \text{O}$ или 5O . Верным является последний вариант: соединение обогащено атомами кислорода за счёт реакций с пероксидом водорода и содержит в структуре пероксидные фрагменты O-O.

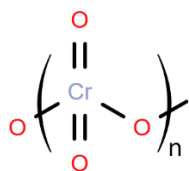
2. Название элемента происходит от греческого слова «цвет» **(1 балл)**

3. Уравнения реакций:

- $\text{Cr} + 2\text{KOH} + \text{KClO}_3 \rightarrow \text{K}_2\text{CrO}_4 + \text{KCl} + \text{H}_2\text{O}$**
- $2\text{K}_2\text{CrO}_4 + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 + \text{K}_2\text{SO}_4 + \text{H}_2\text{O}$**
- $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 + 3\text{SO}_2 + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3 + \text{K}_2\text{SO}_4 + \text{H}_2\text{O}$**
- $4\text{K}_2\text{CrO}_4 + 3\text{N}_2\text{H}_4 + 4\text{KOH} + 4\text{H}_2\text{O} \rightarrow 4\text{K}_3[\text{Cr}(\text{OH})_6] + 3\text{N}_2$**
- $n\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 + 2n\text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow 2(\text{CrO}_3)_n + 2n\text{KHSO}_4 + n\text{H}_2\text{O}$ (допустимо написание CrO_3 , вариант с K_2SO_4 оценивается в 0.5 балла)**
- $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 + 6\text{H}_2\text{SO}_4 + 4\text{KCl} \rightarrow 2\text{CrO}_2\text{Cl}_2 + 6\text{KHSO}_4 + 3\text{H}_2\text{O}$ (вариант с K_2SO_4 оценивается в 0.5 балла)**
- $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 + \text{H}_2\text{SO}_4 + 4\text{H}_2\text{O}_2 + 2\text{C}_5\text{H}_5\text{N} \rightarrow 2\text{CrO}(\text{O}_2)_2 \cdot \text{C}_5\text{H}_5\text{N} + \text{K}_2\text{SO}_4 + 5\text{H}_2\text{O}$
(каждое уравнение – 1 балл)**

4. Хромпик или хромовая смесь (любое из названий – 1 балл)

5. В условиях, указанных в задаче, дихромат полимеризуется с образованием $(\text{CrO}_3)_n$



(1 балл за структурную формулу)

Всего максимум 20 баллов

Задание 2.

Рассчитаем средние молярные массы газовых смесей умножением их плотностей при н.у. на молярный объём при н.у.:

Смесь	Плотность смеси (н.у.), г/л	$M_{\text{ср}}$, г/моль	Основной продукт	Побочный продукт
A + B	0.380	8.5	C	-
A + D	0.476	10.66	M	- (примеси E, W)
C + D	1.005	22.5	P	W
C + E	0.737	16.5	P	A
F + C	1.161	26.0	U	W

Небольшие величины средней молярной массы в случае первых двух смесей позволяют предположить, что там содержится водород. Предположим, что это A – общий для двух смесей компонент. При этом остаток 0.66 в средней молярной массе второй смеси позволяет сделать допущение, что её компоненты смешаны в соотношении 1 : 2 или 2 : 1. Тогда:

$M_{\text{ср}}(A + D) = 10.66 = 1/3 \cdot 2 + 2/3 \cdot M(D)$ или $2/3 \cdot 2 + 1/3 \cdot M(D)$, что даёт для $M(D)$ варианты 15 или 28 г/моль. Для первого случая затруднительно подобрать газ, а второй молярной массе могут соответствовать азот N_2 , угарный газ CO, этилен C_2H_4 или диборан B_2H_6 (с грубыми округлениями). Основной продукт M – жидкий, поэтому азот можно исключить. Этилен также не даёт с водородом жидкий продукт, диборан с водородом не реагирует. Остаётся CO. Учитывая соотношение $CO + 2H_2$ и отсутствие побочных продуктов, можно прописать веществу M формулу CH_4O . Это метанол.

Вернёмся к первой смеси и обратим внимание, что газообразный продукт её взаимодействия используется в других смесях. Учитывая наличие в смеси водорода, разумно предположить, что это аммиак. Средняя молярная масса смеси N_2 и $3H_2$ равна 8.5 г/моль, что подтверждает эту гипотезу. Итак, B – N_2 , C – NH_3 .

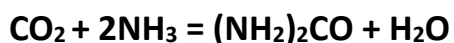
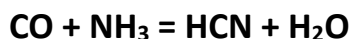
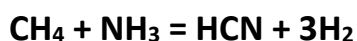
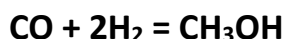
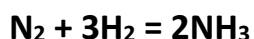
Четвёртая смесь содержит NH_3 и газ Е. Последний, учитывая условия его получения, может содержать углерод, водород и кислород. Учитывая, что молярная масса смеси равна 16.5, Е должен иметь молярную массу меньше этой величины. Подходит только метан CH_4 . Смесь NH_3 и CH_4 реагирует с образованием Р и выделением водорода. Продукт этой реакции должен содержать углерод, водород и азот и, как следует из вопроса 3, иметь плотность паров меньше плотности воздуха. Следовательно, его молярная масса меньше 29 г/моль. Единственный подходящий вариант – HCN . Обратим внимание, что Р также получают из смеси NH_3 и CO , содержащей кислород в элементном составе. Разумно предположить, что W – H_2O .

В пятой смеси в качестве побочного продукта образуется вода, поэтому F – кислородсодержащий газ. Предположение о составе смеси 1:1 даёт для F нереалистичную молярную массу 35 г/моль, предположение о составах 1:2 или 2:1 – 30.5 или 44 г/моль. Последняя соответствует N_2O или CO_2 . Для синтеза ценного промышленного продукта используется последний: смесь 2NH_3 и CO_2 даёт мочевины $(\text{NH}_2)_2\text{CO}$.

A	B	C	D	E
H_2	N_2	NH_3	CO	CH_4
F	M	W	P	U
CO_2	CH_3OH	H_2O	HCN	$(\text{NH}_2)_2\text{CO}$

По 1 баллу за формулу

Уравнения реакций:



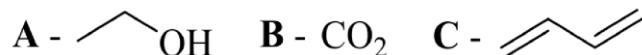
По 1 баллу за уравнение

Молярная масса HCN равна 27 г/моль. Рассчитаем плотность по преобразованному уравнению Менделеева-Клапейрона: $\rho = p \cdot M / (R \cdot T) = 98.67 \cdot 27 / (8.314 \cdot 320) = 1.00 \text{ г/л}$ (2 балла)
(98.67 – давление в кПа, полученное переводом из 740 мм рт.ст.)

Всего максимум 17 баллов.

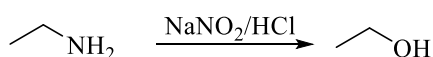
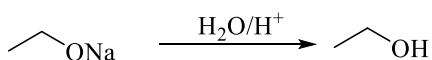
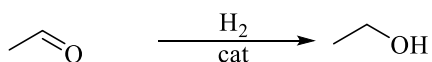
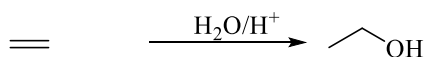
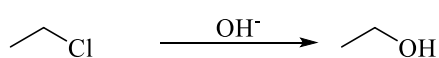
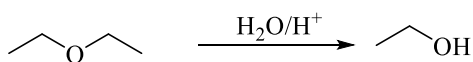
Задание 3.

1. Первое превращение, реакция ферментации, есть спиртовое брожение глюкозы, в результате которого образуется углекислый газ, CO_2 (**B**) и этанол, $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ (**A**). Далее под действием оксидов металлов происходит окисление и сочленение двух молекул этилового спирта с выделением органического продукта в виде бутадиена-1,3 (**C**). Таким образом:



Каждая верная структура вещества по 1 баллу

Бутадиен-1,3 можно получить другими методами, например:



3 возможных способа - по 1 баллу

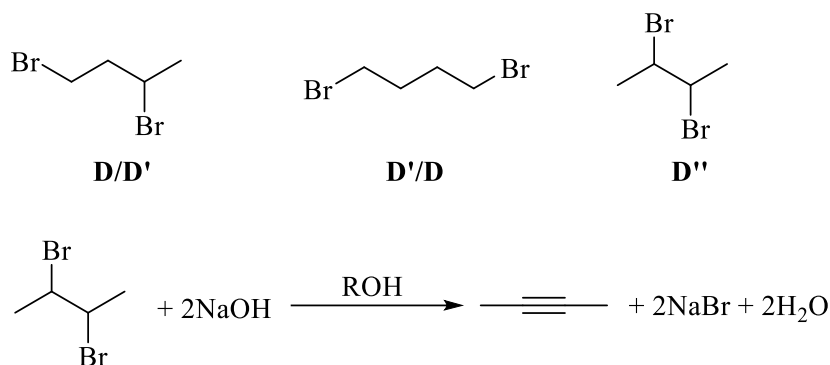
2. Реакция Лебедева. Уравнение:



За указание названия реакции 1 балл

За уравнение реакции 1 балл

3. Решим вместе 3 и 4 пункты. При дегидратации изомеров **D** и **D'** образуется сопряженный диен без побочных продуктов реакции. В этом случае атомы брома не могут находиться на одном или соседних атомах углерода, потому что иначе стоит ожидать образование алкина. В случае **D''** образование алкина, напротив, является доминирующим процессом, поэтому атомы брома расположены на соседних атомах углерода. Указание на наличие плоскости симметрии позволяет выбрать 2,3-дибромбутан.



Структуры веществ по 1 баллу

За структуру продукта реакции (бутина-2) 1 балл

5. Гомологами этанола являются метанол, пропанол и изопропанол. Так как в ходе всей цепочки реакций количество атомов углерода не увеличивается, а исходные газы легче воздуха и их молярная масса не превышает 29 г/моль, веществом **Е** является метиловый спирт или метанол. Действительно, CH_3OH является ядом, приём которого вызывает сильное отравление вплоть до летального исхода. В промышленности метанол получают из двух газов: водорода и угарного газа.

F/G – H_2 , G/F – CO , E – CH_3OH , H – CH_2O , I – HCOOH

По 1 баллу за каждое вещество

Всего максимум 17 баллов

Задание 4.

$n/n_{\max} = 0.9$. Решаем уравнение вида:

$$0.9 = \frac{5 \cdot 10^{-3} \cdot p}{1 + 5 \cdot 10^{-3} \cdot p}$$

Откуда **$p = 1800$ Па (2 балла).**

Взяв две произвольные точки, составим и решим систему уравнений вида:

$$n_1 = \frac{131 \cdot 10^{-3}}{28} = n_{\max} \cdot \frac{K \cdot p_1}{1 + K \cdot p_1} = n_{\max} \cdot \frac{K \cdot 5000}{1 + K \cdot 5000}$$

$$n_2 = \frac{224 \cdot 10^{-3}}{28} = n_{\max} \cdot \frac{K \cdot p_2}{1 + K \cdot p_2} = n_{\max} \cdot \frac{K \cdot 12000}{1 + K \cdot 12000}$$

Что даёт **$K = 8.1 \cdot 10^{-5} \text{ Па}^{-1}$ (2 балла), $n_{\max} = 1.62 \cdot 10^{-2}$ моль (2 балла).**

Давление 8000 Па будет соответствовать количеству вещества:

$$n = 1.62 \cdot 10^{-2} \cdot \frac{8.1 \cdot 10^{-5} \cdot 8000}{1 + 8.1 \cdot 10^{-5} \cdot 8000} = 6.36 \cdot 10^{-3} \text{ моль}$$

$$m = 6.36 \cdot 10^{-3} \cdot 28 \cdot 10^3 = \mathbf{178 \text{ мг (2 балла)}}$$

Для нахождения давления, соответствующего массе 300 мг, решаем уравнение вида:

$$n = \frac{350 \cdot 10^{-3}}{28} = 1.62 \cdot 10^{-2} \cdot \frac{8.1 \cdot 10^{-5} \cdot p}{1 + 8.1 \cdot 10^{-5} \cdot p}$$

Откуда $p = \mathbf{24200 \text{ Па (2 балла)}}$.

В случае предельной адсорбции материал адсорбирует $N = n_{\max} \cdot N_A = 1.62 \cdot 10^{-2} \cdot 6.022 \cdot 10^{23} = 9.76 \cdot 10^{21}$ молекул. Учитывая, что площадь одной молекулы равна $16 \text{ \AA}^2 = 16 \cdot 10^{-20} \text{ м}^2$, общая площадь материала составит $9.76 \cdot 10^{21} \cdot 16 \cdot 10^{-20} = 1562 \text{ м}^2$, а удельная площадь поверхности $1562/0.434 = \mathbf{3600 \text{ м}^2/\text{г (3 балла)}}$.

Адсорбция из газовой фазы происходит за счёт образования новых связей между поверхностью и молекулами сорбата. Образование связей – экзотермический процесс, которому соответствует **отрицательная энтальпия адсорбции (1 балл за ответ и 1 балл за объяснение)**.

Всего максимум 15 баллов