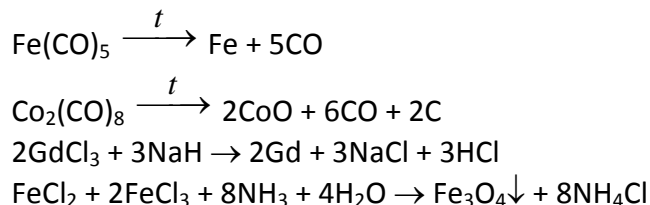




Химия для школьников 7 – 11 класса (очный тур)
Решения. Вариант III

Решение задачи 1. Синтез магнитных наночастиц (8 баллов)



(2 балла за каждое уравнение, 1 балл – если неправильные коэффициенты)

Решение задачи 2. Нанокластер золота (8 баллов)

Пусть в кластере – x атомов золота ($A_r = 197$) и y остатков $\text{C}_6\text{H}_5\text{CH}_2\text{CH}_2\text{S}$ ($M_r = 137$, содержит 18 атомов), тогда из условий на массу и число атомов получаем систему двух уравнений:

$$\begin{aligned} 197x + 137y &= 7391 \\ x + 18y &= 349 \end{aligned}$$

$x = 25$, $y = 18$. Формула кластера – $\text{Au}_{25}(\text{C}_6\text{H}_5\text{CH}_2\text{CH}_2\text{S})_{18}$.

Отношение масс: $m(\text{Au}) / m(\text{S}) = 25 \cdot 197 / (18 \cdot 32) = 8.55$.

Решение задачи 3. Фторографен (8 баллов)

В sp^2 -гибридном состоянии находятся атомы углерода, не связанные с фтором. Из каждых 4-х атомов С со фтором связан один. Простейшая формула фторографена – C_4F .

Уравнение реакции образования фторографена: $8\text{C} + \text{XeF}_2 \rightarrow 2\text{C}_4\text{F} + \text{Xe}$.

$\nu(\text{C}) = 5 / 12 = 0.417$ моль, $\nu(\text{XeF}_2) = 0.417 / 8 = 0.0521$ моль, $m(\text{XeF}_2) = 0.0521 \cdot 169 = \mathbf{8.80}$ г.

Уравнение восстановления фторографена: $4\text{C}_4\text{F} + \text{N}_2\text{H}_4 \rightarrow 16\text{C} + \text{N}_2 + 4\text{HF}$.

$\nu(\text{C}) = 5 / 12 = 0.417$ моль, $\nu(\text{N}_2\text{H}_4) = 0.417 / 16 = 0.0260$ моль, $m(\text{N}_2\text{H}_4) = 0.0260 \cdot 32 = \mathbf{0.83}$ г.

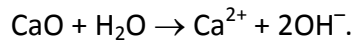
Решение задачи 4. Наночистратационные мембраны (8 баллов)

На поверхности оксида титана (IV) в водном растворе присутствуют OH-группы, которые могут быть либо протонированы (заряд поверхности положительный), либо депротонированы (заряд поверхности отрицательный).

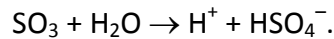
Уравнение реакции протонирования: $\text{HO} - \text{Ti}(\text{O}) - \text{OH} + \text{H}^+ \rightarrow \text{HO} - \text{Ti}(\text{O}) - \text{OH}_2^+$.

Уравнение реакции депротонирования: $\text{HO} - \text{Ti}(\text{O}) - \text{OH} \rightarrow \text{HO} - \text{Ti}(\text{O}) - \text{O}^- + \text{H}^+$.

Наночастицы из оксида кальция изготавливать нельзя, так как он взаимодействует с водой с образованием растворимого гидроксида кальция:



Из оксида серы (VI) также изготавливать нельзя, так как это жидкость, которая к тому же взаимодействует с водой с образованием растворимой серной кислоты:



Решение задачи 5. Криотехнология (8 баллов)

Давление насыщенных паров воды в 10 раз больше установившегося давления. Значит, в рамках описанного эксперимента водяной пар не мог сконденсироваться. Более того, его свойства оказываются близкими к свойствам идеального газа. Тогда, в соответствии с уравнением Клапейрона- Менделеева, получим

$$p_{\text{пара}} V_{\text{пара}} = \frac{m_{\text{воды}}}{M_{\text{воды}}} RT$$

$$m_{\text{воды}} = \frac{p_{\text{пара}} V_{\text{пара}} M_{\text{воды}}}{RT}$$

$$m_{\text{воды}} = \frac{350 \text{ Па} \cdot 1 \text{ м}^3 \cdot 0,018 \frac{\text{кг}}{\text{МОЛЬ}}}{8,31 \frac{\text{Дж}}{\text{МОЛЬ} \cdot \text{К}} \cdot (273 + 27) \text{ К}} = 2,53 \cdot 10^{-3} \text{ кг} = 2,53 \text{ г}$$

Так как масса раствора была равна 2,76 г, то масса растворённого нитрата натрия составляла $m_{\text{соли}} = 2,76 \text{ г} - 2,53 \text{ г} = 0,23 \text{ г}$. При этом объём раствора был равен:

$$V_{\text{раствора}} = \frac{m_{\text{раствора}}}{\rho_{\text{раствора}}} = \frac{2,76 \text{ г}}{1,05 \frac{\text{г}}{\text{мл}}} = 2,63 \text{ мл} = 2,63 \cdot 10^{-3} \text{ л}$$

Концентрация соли составляла

$$C = \frac{v_{\text{соли}}}{V_{\text{раствора}}} = \frac{m_{\text{соли}}}{M_{\text{соли}} V_{\text{раствора}}} = \frac{0,23 \text{ г}}{85 \frac{\text{г}}{\text{МОЛЬ}} \cdot 2,63 \cdot 10^{-3} \text{ л}} = 1,03 \frac{\text{МОЛЬ}}{\text{л}}$$

Объём одной наночастицы можно определить по формуле $V_1 = \frac{4}{3} \pi R^3$. Значит, объём N

наночастиц равен $V_N = V_1 N = \frac{4}{3} \pi R^3 N$. С другой стороны, суммарный объём равен $V_N = \frac{m_{\text{соли}}}{\rho_{\text{соли}}}$.

Тогда

$$\frac{4}{3}\pi R^3 N = \frac{m_{\text{соли}}}{\rho_{\text{соли}}}$$

$$N = \frac{3m_{\text{соли}}}{4\pi R^3 \rho_{\text{соли}}} = \frac{3 \cdot 0,23 \cdot 10^{-3} \text{ кг}}{4 \cdot 3,14 \cdot (14 \cdot 10^{-9} \text{ м})^3 \cdot 2257 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}} = 8,9 \cdot 10^{15}$$

Решение задачи 6. Углеродные композиты (20 баллов)

1. Композит состоит из одностенной нанотрубки и фуллерена. Молекулы фуллеренов – это окружности внутри, между двумя параллельными линиями (стенки трубки).
2. Снимок сделан с помощью электронного микроскопа высокого разрешения.
3. Фуллерены – единственный относительно летучий углеродный материал. Смесь трубок и фуллеренов нагревают в вакууме до высокой температуры ($T \sim 800 \text{ К}$). Молекулы фуллеренов «перелетают» внутрь трубок.
4. Больше тепла (энергии) выделится в случае (а). Графит стабильнее любого чисто углеродного композита. Энтальпии образования фуллерена и нанотрубок – величины положительные.
5. Обратите внимание на черные точки внутри окружностей на рис. 2. Это атомы металлов внутри фуллереновых сфер. Во *втором композите* внутри нанотрубки не фуллерены, а эндо-фуллерены.

Решение задачи 7. Наносенсоры в пищевой промышленности (20 баллов)

1. Рассчитаем мольное соотношение С, N и H (остаток атомов, исходя из малой массовой доли, скорее всего приходится именно на водород) в соединениях **A** и **B**:

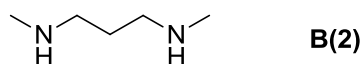
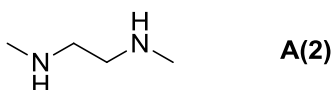
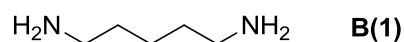
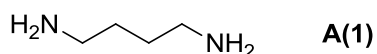
Соединение **A**

$$n(C):n(N):n(H) = \frac{\omega(C)}{A_r(C)} : \frac{\omega(N)}{A_r(N)} : \frac{\omega(H)}{A_r(H)} = 2 : 1 : 6 = 4 : 2 : 12$$

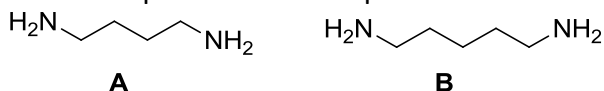
Соединение **B**

$$n(C):n(N):n(H) = \frac{\omega(C)}{A_r(C)} : \frac{\omega(N)}{A_r(N)} : \frac{\omega(H)}{A_r(H)} = 5 : 2 : 14$$

С учетом ограничения по молярной массе простейшая формула соединений **A** и **B** совпадет с истинной. Тогда для такого количества типов атомов N и H можно предложить следующие структурные формулы:



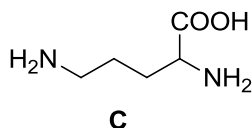
2. Так как корректные структуры содержат максимально возможное число связей С–С легко осуществить окончательный выбор (**A** – путресцин, **B** – кадаверин, продукты гнилостного распада белков с чрезвычайно неприятным запахом):



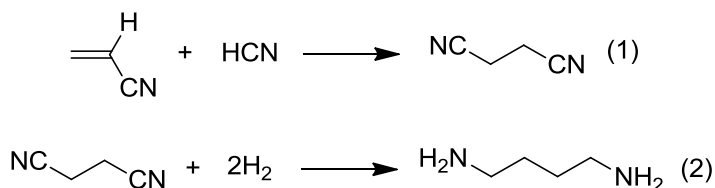
3. Рассчитаем мольное соотношение С и N в соединении **C**:

$$n(C):n(N) = \frac{\omega(C)}{A_r(C)} : \frac{\omega(N)}{A_r(N)} = 5:2$$

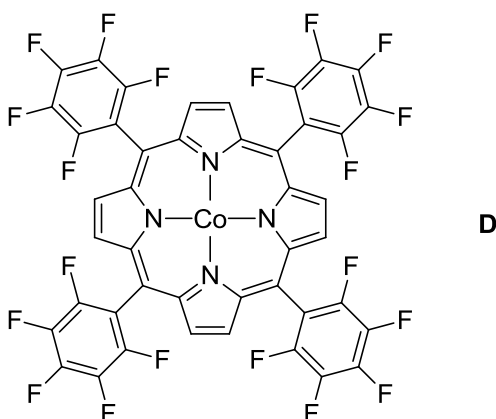
Если предположить наличие двух атомов кислорода в **C** (так как мы имеем дело с α-аминокислотой), то остаток молярной массы приходится на водород, и простейшая формула соединения **C** выглядит как C₅H₁₂N₂O₂. При переходе **C** в **A** теряется группа атомов 1C + 2O (C₅H₁₂N₂O₂ – C₄H₁₂N₂), что соответствует декарбоксилированию. Тогда с учетом симметричности путресцина соединению **C** соответствует аминокислота орнитин:



- 4.



5. Образование путресцина и кадаверина как маркеров гнилостных процессов в мясе может протекать в отсутствие кислорода в присутствии анаэробных бактерий. Тем самым, сенсор может определять возможность использования в пищу мяса, предварительно подвергнутого вакуумированию.
6. Число атомов азота в молекуле **D** с учетом того, что **X** не содержит N, составляет 4. Тогда нетрудно посчитать, что число атомов водорода в **D** равно восьми, число атомов С равно 44, а молярная масса металла равна 58.93, что соответствует кобальту. Чтобы определить заместитель X, рассчитаем число атомов углерода в нем: (44–20) / 4 = 6. Остаток молярной массы, приходящийся на неизвестный заместитель, равен 380 / 4 = 95 г/моль. С учетом ароматичности X можно предположить, что он содержит 5 атомов фтора, и тогда структура **D**:



7. Нетрудно видеть, что общая формула соединения **E** равна CH_2 . С учетом числа типа атомов **C** и отсутствия цикла в молекуле мы имеем дело с этиленом $\text{CH}_2=\text{CH}_2$.

Решение задачи 8. Бинарные наночастицы (20 баллов)

1. По цвету соединений (красно-фиолетовый, желтый, оранжевый, красный и зеленый) можно сделать вывод, что речь в задаче идет о соединениях хрома. Таким образом, желтый X_5 – это хромат калия, K_2CrO_4 , который при подкислении превращается сначала в дихромат, а затем в хромовый ангидрид CrO_3 (вещество X_1). При нагревании CrO_3 могут образоваться только соединения хрома с кислородом ($X - \text{Cr}$, $Y - \text{O}$). Зная массовую долю хрома в них, определим состав:

$$X_2: n(\text{Cr}) : n(\text{O}) = 55.32/52 : 44.68/16 = 1.0638 : 2.7925 = 1 : 2.625 = 8 : 21.$$

Cr_8O_{21} , или дихромат хрома (III) $\text{Cr}_2(\text{Cr}_2\text{O}_7)_3$.

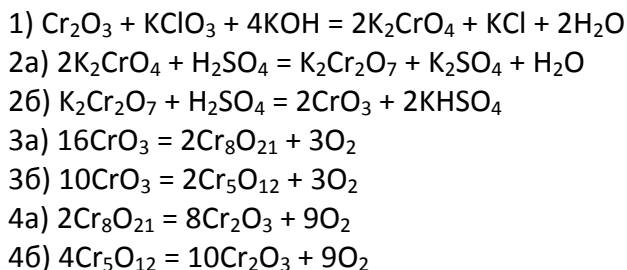
$$X_3: n(\text{Cr}) : n(\text{O}) = 57.52/52 : 42.48/16 = 1.0615 : 2.655 = 1 : 2.4 = 5 : 12$$

Cr_5O_{12} , или хромат хрома (III) $\text{Cr}_2(\text{CrO}_4)_3$.

Конечный продукт термического разложения этих оксидов – Cr_2O_3 (X_4).

X_1	X_2	X_3	X_4	X_5
CrO_3	Cr_8O_{21}	Cr_5O_{12}	Cr_2O_3	K_2CrO_4

Уравнения реакций:



2. Наноразмерный Cr_2O_3 обладает высокой каталитической активностью и повышенной токичностью

Система оценивания:

5 веществ по 2 балла	10 баллов
4 реакции по 2 балла	8 баллов
Свойства X_4	2 балла