

Задачи и решения заключительного тура

Задача 1.

При обжиге в атмосфере кислорода неизвестного минерала **A** золотисто-жёлтого цвета массой 1,00 г в сухом остатке было обнаружено только одно вещество **B** массой 0,825 г (*реакция 1*). Выделившийся газ **C** объемом 245 мл (при н.у.) при пропускании через раствор перманганата калия способен его обесцветить (*реакция 2*). Вещество **B** способно растворяться как в разбавленной серной кислоте при нагревании (*реакция 3*), так и в горячей концентрированной щелочи (*реакция 4*). Также известно, что **B** является основным рудным источником для получения металла **X**. Так, чтобы получить 1,19 грамма **X**, необходимо взять 1,51 грамм вещества **B** и нагреть его с избытком угля (*реакция 5*).

1. Определите неизвестные вещества **A**, **B**, **C**, **X**.
2. Напишите уравнения реакций 1-5.
3. Как вы думаете, какое применение находит вещество **A**? Напишите одну область применения.

Решение

1. **A** – SnS₂, **B** – SnO₂, **C** – SO₂, **X** – Sn
2. $\text{SnS}_2 + 3\text{O}_2 = \text{SnO}_2 + 2\text{SO}_2$
 $5\text{SO}_2 + 2\text{KMnO}_4 + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{H}_2\text{SO}_4 + \text{K}_2\text{SO}_4 + 2\text{MnSO}_4$
 $\text{SnO}_2 + 2\text{H}_2\text{SO}_4 = \text{Sn}(\text{SO}_4)_2 + 2\text{H}_2\text{O}$
 $\text{SnO}_2 + 2\text{NaOH} + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Na}_2[\text{Sn}(\text{OH})_6]$
 $\text{SnO}_2 + 2\text{C} = \text{Sn} + 2\text{CO}$

3. SnS₂ используется в полупроводниковой электронике, а также в качестве сусального золота.

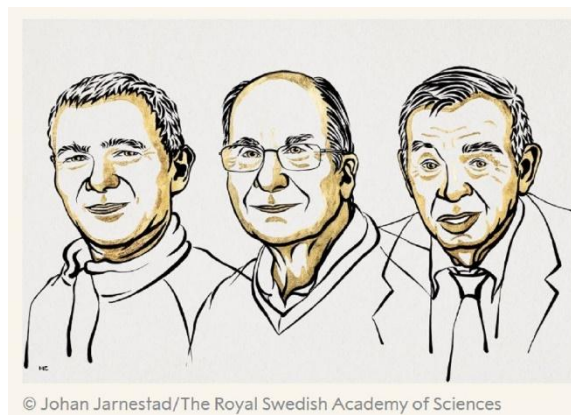
Критерии оценивания

П.1	4*2 балла = 8
П.2	5*2 балла = 10
П.3	2 балла
Всего	20 баллов

Задача 2.

В 2023 году Нобелевская Премия по химии была вручена “за открытие и синтез квантовых точек” Мунги Бавенди, Луису Брюсу и Алексею Екимову.

Квантовые точки представляют собой кристаллические полупроводниковые наночастицы. Из-за своего небольшого размера, их оптические свойства во многом определяются квантовыми эффектами, и поэтому они сильно отличаются от макрокристаллических полупроводников. В частности, разница между энергетическими уровнями валентных электронов и электронов проводимости в квантовых точках отличается от ширины



© Johan Jarnestad/The Royal Swedish Academy of Sciences

запрещенной зоны в объемном полупроводнике, и сильно зависит от размера частицы. Поэтому свойства квантовых точек можно менять, варьируя их размер.

Для получения наночастиц **A** пропускали ток бинарного газа **B** через разбавленный раствор ацетата **C** ($\omega_{\text{металла}} = 35,52\%$). Для того чтобы предотвратить слипание частиц и образование крупнокристаллического осадка, в раствор соли добавляют поверхностно-активные вещества, например, олеиновую кислоту $C_{18}H_{34}O_2$.

1. Напишите вещества **A**, **B**, **C**, если известно, что массовая доля одного из двух элементов в **B** составляет 97,53%.
2. Напишите уравнение реакции получения наночастиц **A**. (Примечание: олеиновая кислота не входит в уравнение реакции).
3. При анализе этих квантовых точек их размер оказался равен 3,5 нм. Рассчитайте число наночастиц в полученном образце, если известно, что наночастицы представляют собой одинаковые идеальные сферы. А для синтеза был взят раствор ацетата металла **C** объемом 10 мл и концентрацией 0,1 М. Радиус одной “структурной единицы” вещества **A** примите за 0,24 нм. Объем шара: $V = \frac{4}{3}\pi r^3$.

Решение

1. **A** – ZnSe, **B** – H₂Se, **C** – Zn(CH₃COO)₂.
2. $H_2Se + Zn(CH_3COO)_2 = 2CH_3COOH + ZnSe$
3. $N(ZnSe) = 0,1 \cdot 0,01 \cdot N_A = 6,02 \cdot 10^{20}$

$$\text{Число структурных единиц в одной наночастице: } \frac{\frac{4}{3}\pi r^3}{\frac{4}{3}\pi r^3} = \frac{\frac{4}{3}\pi \cdot 3,5^3}{\frac{4}{3}\pi \cdot 0,24^3} = 3100$$

$$\text{Число наночастиц: } \frac{6,02 \cdot 10^{20}}{3100} = 1,94 \cdot 10^{17} \text{ штук}$$

Критерии оценивания

П.1	3*3 балла = 9
П.2	3 балла
П.3. Число единиц селенида цинка 2 балла, число структурных единиц в одной наночастице 2 балла, число наночастиц 2 балла	6 баллов
Всего	18 баллов

Задача 3.

При нагревании белого вещества **X** до 150°C масса навески уменьшилась на 1,8 г. Полученный твердый остаток **Y** нагрели до 500°C при этом образовался оксид **Z** массой 2 г и эквимольная смесь газов **A** и **B** объемом 2,24 л. Также известно, что качественный состав газов **A** и **B** одинаков, а плотность газовой смеси равна 1,61 г/л (при н.у.).

1. Определите газы **A** и **B**, если известно, что **B** тяжелее, чем **A**.
2. Определите вещества **X**, **Y**, **Z**.
3. Напишите уравнения реакций разложения при 150°C, а также при 500°C.
4. Как вы думаете, что будет происходить при разложении соли меди (II), содержащей такой же анион, как и **Y**? Напишите уравнение реакции.

Решение

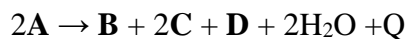
1. **A** – CO, **B** – CO₂
2. **X** – Mg(C₂O₄)₂*2H₂O, **Y** – Mg(C₂O₄)₂, **Z** – MgO.
3. Mg(C₂O₄)₂*2H₂O = Mg(C₂O₄)₂ + 2H₂O
Mg(C₂O₄)₂ = MgO + CO + CO₂
4. CuC₂O₄ = Cu + 2CO₂

Критерии оценивания

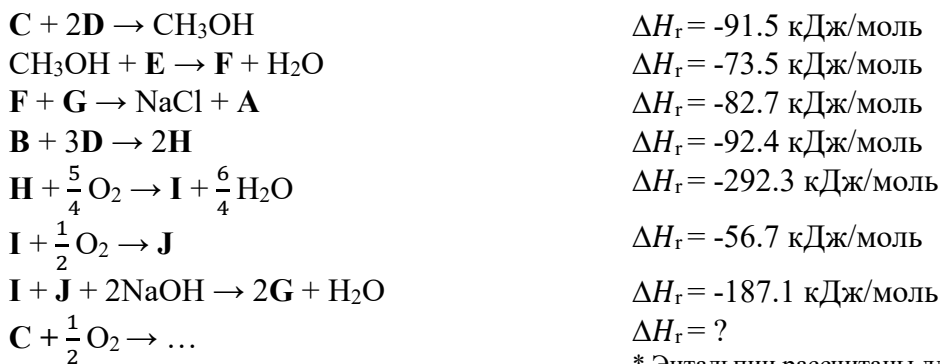
П.1 A, B	2*2 балла = 4
П.2 X, Y, Z	3*2 балла = 6
П.3. Реакции	2*2 балла = 4
П.4.	3 балла
Всего	17 баллов

Задача 4.

A – удивительное соединение, так как оно может гореть и в отсутствии кислорода, благодаря данному свойству, оно активно используется в аэрокосмической отрасли. Этот процесс можно описать следующей реакцией:



Для получения вещества **A**, используют каскад нескольких химических реакций (все коэффициенты расставлены):



* Энтальпии рассчитаны для представленных реакций

1. Определите **A-J**. Изобразите структуру **A**.
2. Определите $\Delta H_f(\mathbf{H})$ и $\Delta H_f(\mathbf{G})$.
3. Определите, какое количество теплоты выделится при сгорании 3.66 г **A**.
4. Используя свои знания, определите, является ли последняя реакция экзотермической или эндотермической. Ответ объясните.
5. Напишите реакцию сгорания **A** в атмосфере кислорода.

Справочная информация:

В реакции получения **H** в качестве катализатора используется губчатое железо, а для получения **I** как катализатор можно использовать оксид хрома (III) или же платину.

$$\Delta H_f(\text{H}_2\text{O}) = -285.8 \text{ кДж/моль}$$

$$\Delta H_f(\text{NaCl}) = -411.1 \text{ кДж/моль}$$

$$\Delta H_f(\text{NaOH}) = -470.2 \text{ кДж/моль}$$

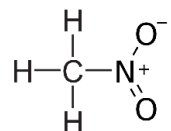
$$\Delta H_f(\text{E}) = -92.3 \text{ кДж/моль}$$

Решение

1. Из реакции получения метанола, можно сделать вывод, что **C – CO, D – H₂**. Используя эти данные, коэффициенты в реакции и информацию о необходимости катализатора для получения **H**, можно понять, что **H – NH₃**, который образуется из **D – H₂ и B – N₂**. Тогда, последующие реакции, являются способами получения оксидов азота. **I – NO, J – NO₂**. Исходя из этого, **G – NaNO₂**.

Из полученных данных, можно сделать вывод, что **A** содержит NO₂ группу. Это подтверждается выделением азота при горении. Проанализировав вторую и третью реакцию в каскаде, ясно, что **E – HCl**. Так как атом хлора из вещества **E** переходит в **F**, а затем в NaCl, то **F – CH₃Cl, A – CH₃NO₂**.

Структура нитрометана (CH₃NO₂):



2. В реакции получения аммиака участвуют только простые вещества, следовательно, $\Delta H_f(\text{NH}_3)$ равна половине энтальпии реакции. $\Delta H_f(\text{NH}_3) = -46.2$ кДж/моль. Используя это значение и справочные данные, можем найти: $\Delta H_f(\text{NO})$, $\Delta H_f(\text{NO}_2)$, $\Delta H_f(\text{NaNO}_2)$. Они равны 90.2 кДж/моль, 33.5 кДж/моль и -359.0 кДж/моль, соответственно.

$$\underline{\Delta H_f(\text{H}) = \Delta H_f(\text{NH}_3) = -46.2 \text{ кДж/моль}, \quad \Delta H_f(\text{G}) = \Delta H_f(\text{NaNO}_2) = -359.0 \text{ кДж/моль}}$$

Используем закон Гесса к первым трем реакциям. В результате получим такую реакцию:



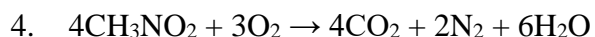
$$\begin{aligned} &\left(-285.8 \frac{\text{кДж}}{\text{моль}} + \Delta H_f(\text{CH}_3\text{NO}_2) - 411.1 \frac{\text{кДж}}{\text{моль}}\right) - \left(-359 \frac{\text{кДж}}{\text{моль}} + \Delta H_f(\text{CO}) - 92.3 \frac{\text{кДж}}{\text{моль}}\right) = \\ &= -247.7 \frac{\text{кДж}}{\text{моль}} \end{aligned}$$

Следовательно, $\Delta H_f(\text{CO}) - 2.1 \frac{\text{кДж}}{\text{моль}} = \Delta H_f(\text{CH}_3\text{NO}_2)$. Подставим это в выражение для энтальпии реакции горения **A**.

$$\Delta H_r(\text{A}) = \left(2 \cdot \left(-285.8 \frac{\text{кДж}}{\text{моль}}\right) + 2\Delta H_f(\text{CO})\right) - \left(2\Delta H_f(\text{CO}) - 4.2 \frac{\text{кДж}}{\text{моль}}\right) = -567.4 \frac{\text{кДж}}{\text{моль}}$$

$$\frac{0.06 \text{ моль}}{x \text{ кДж}} = \frac{2 \text{ моль}}{567.4 \text{ кДж}} \Rightarrow Q = 17.022 \text{ кДж}$$

3. Реакция образования углекислого газа из угарного, является экзотермической. Это происходит по причине образования более устойчивого оксида углерода (энергия связей в CO_2 намного больше).



Критерии оценивания:

1.	Соединения А – J – по 1 баллу Структура А – 1 балл	11 балла
2.	Верное определение $\Delta H_f(\text{H})$ и $\Delta H_f(\text{G})$ – по 2 балла	4 балла
3.	Использование закона Гесса для трех реакций – 2 балла Верное $\Delta H_r(\text{A})$ – 1 балл Верное количество теплоты – 3 балла $Q = -17.01$ – 1 балла	6 баллов
4.	Верное определение знака теплового эффекта – 2 балл <i>Без объяснения – 1 балла</i>	2 балла
5.	Верная реакция – 2 балла	2 балл
ИТОГО		25 баллов

Задача 5.

Углерод – является одним из основных элементов в составе биологических организмов и присутствует в земной атмосфере в виде стабильных изотопов ^{12}C (98,89%), ^{13}C (1,11%) и радиоактивного ^{14}C , который присутствует в следовых количествах. Концентрация изотопа ^{14}C в атмосферном воздухе (в составе CO_2) последние несколько десятков тысяч лет постоянна и соответствует активности 15 Бк (распадов в секунду) на 100 грамм углерода. Постоянство концентрации вызвано тем, что он непрерывно образуется в верхних слоях атмосферы при столкновении нейтронов космического излучения с ядрами азота (*реакция 1*).

1. Рассчитайте мольное содержание ^{14}C в природе, если известно, что его период полураспада составляет 5730 лет.

При фотосинтезе растения усваивают углекислый газ, содержащий радиоуглерод, затем он попадает и в организмы животных. В результате, активность углерода во всех живых организмах одинакова. Но как только организм погибает он перестает усваивать радиоактивный углерод, а тот, который в нем уже есть, непрерывно распадается по бета-распаду (*реакция 2*). Если имеется материал растительного или животного происхождения, то, измеряя активность оставшегося радиоуглерода можно установить возраст образца.

2. При археологических раскопках была обнаружена кость мамонта, содержание ^{14}C в которой составляет 25% от нормального. Оцените возраст кости мамонта.

Однако метод радиоуглеродного датирования не подходит для анализа объектов старше 57300 лет (за это время проходит 10 периодов полураспада и активность углерода падает в

1024 раза). Поэтому для датирования более старых объектов, необходимо использовать изотопы с большим периодом полураспада.

3. При образовании звездного скопления 47 Тукана соотношение изотопов $^{238}\text{U}/^{192}\text{Ir} = 0,050$. А в настоящее время в самых старых звёздах этого скопления соотношение $^{238}\text{U}/^{192}\text{Ir} = 0,00625$. Период полураспада ^{238}U составляет 4,47 млрд лет, а ядра иридия стабильны. Оцените возраст звездного скопления.
4. Напишите реакции 1, 2.
5. В 1940—1960-е года концентрация углерода-14 резко возросла, поэтому для корректного определения возраста некоторых образцов пришлось вводить нормировочные поправки. Объясните, какие исторические события и каким образом повлияли на природное содержание изотопа углерода-14.

Решение

1. 15 распадов в секунду, следовательно за 1 период полураспада (5730) пройдет $15 \cdot 60 \cdot 60 \cdot 24 \cdot 365 \cdot 5730 = 2,7 \cdot 10^{12}$ распадов. Соответственно в 100 граммах изначально содержится в 2 раза больше атомов $5,4 \cdot 10^{12}$. 100 грамм углерода содержит $100 : 12 \cdot 6,02 \cdot 10^{23} = 5 \cdot 10^{24}$ атомов. Мольная доля $= 1,1 \cdot 10^{-10} \% = 0,0011$ ррб.
2. За 1 период полураспада остается 50%, за 2 периода полураспада 25%. Соответственно прошло 2 периода полураспада, возраст равен 11460 лет.
3. Количество урана уменьшилось в 8 раз, три периода полураспада. Возраст 13,4 млрд лет.
4. ${}_0^1\text{n} + {}_7^{14}\text{N} \rightarrow {}_6^{14}\text{C} + {}_1^1\text{H}$.
 ${}_6^{14}\text{C} \rightarrow {}_7^{14}\text{N} + e^- + \bar{\nu}_e$.
5. Из-за активного проведения ядерных испытаний и использования атомных бомб, в атмосферу стали поступать быстрые нейтроны не только от солнечной радиации, соответственно концентрация 14-углерода увеличилась.

Критерии оценивания

П.1	4 балла
П.2	3 балла
П.3.	3 балла
П.4.	2*3 балла = 6
П.5.	4 балла
Всего	20 баллов