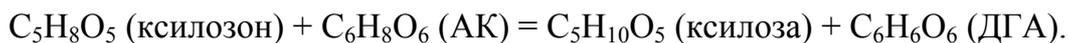


Задача 1 (автор М.К. Беклемишев)

1. Реакция титрования: $3C_6H_8O_6 + KIO_3 = KI + 3C_6H_6O_6 + 3H_2O$ (1 балл). Окраска крахмала появляется при избытке иодата вследствие выделения иода: $KIO_3 + 5KI + 6HCl = 3I_2 + 6KCl + 3H_2O$ (0.5 балла). Если затрачено 9.5 мл иодата, то количество аскорбиновой кислоты в образце равно $9.5 \cdot 0.100 \cdot 3 = 2.85$ ммоль (1 балл, всего 2.5 балла).

2. Превращения дегидроаскорбиновой кислоты (ДГА) (по 1 баллу, всего 2 балла):



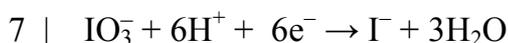
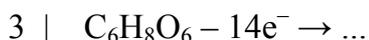
Эта схема объясняет автокаталитический распад аскорбиновой кислоты.

3. Поскольку титрование уже было начато, в растворе образовалось некоторое количество ДГА. При стоянии раствора ДГА постепенно переходила в ксилозон, который быстро образовывал ксилозу (она частично переходила в фурфурол, но для решения не важна степень этого перехода, т.к. авторы задачи услужливо сообщили нам *общую* концентрацию этих двух продуктов). Заметим, что реакция образования ксилозы требовала участия эквивалентного количества исходной АК, поэтому расход АК равен количеству образовавшейся ксилозы и фурфурола, т.е. 0.55 ммоль. (При этом не играет роли первоначальное количество ДГА, так как она регенерируется. Когда вся АК израсходовалась, превращение ДГА остановилось на стадии ксилозона). Итак, аналитик недотитровал 0.55 ммоль АК, т.е. оттитровал $1 - 0.55 = 0.45$ ммоль АК (1 балл), на что должно было потребоваться $0.45 \text{ ммоль} / (0.100 \text{ М} \cdot 3) = 1.5 \text{ мл } 0.100 \text{ М}$ раствора иодата (1 балл).

4. Кроме ксилозы и фурфурола (0.55 ммоль) в растворе оставалось 0.45 ммоль ДГА, которая постоянно регенерировалась, пока образовывалась ксилоза. Когда же АК закончилась, эта ДГА должна была медленно перейти в ксилозон, который и будет конечным продуктом в отсутствие АК. Итак, в условиях равновесия в растворе, кроме 0.55 ммоль ксилозы/фурфурола, находилось 0.45 ммоль ксилозона (1 балл).

5. Например, окисление кислородом воздуха (до ДГА или других продуктов) (0.5 балла).

6. Поскольку 3 ммоль АК реагирует с 7 ммоль иодата, а иодат при восстановлении до иодида принимает 6 электронов, то молекула АК отдает 14 электронов (0.5 балла):



Формальная степень окисления углерода в $C_6H_8O_6$ равна $(6 \cdot 2 - 8) / 6 = +2/3$. Если молекула отдает 14 электронов, т.е. $14/6 = 7/3$ электрона на атом углерода, то средняя степень

окисления должна повыситься до $2/3 + 7/3 = 9/3 = +3$. Среди кислородсодержащих соединений столь высокая степень окисления углерода достигается только в щавелевой кислоте $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$ и ее солях. Уравнение реакции титрования: $3\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_6 + 7\text{KIO}_3 = 9\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4 + 7\text{KI} + 3\text{H}_2\text{O}$ (1 балл за состав $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$, 0.5 балла за структуру, всего 1.5 балла).

Задача 2 (автор С.С. Федотов)

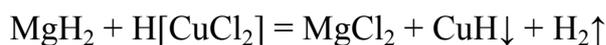
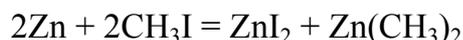
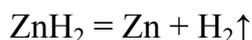
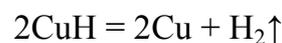
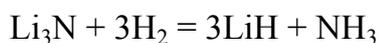
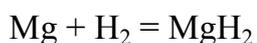
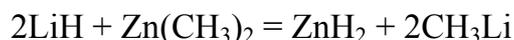
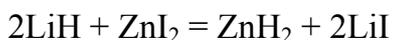
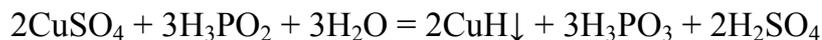
1. Определим соединение **G** – нитрид. Представим нитрид как M_3N_x и определим металл **M**, зная содержание азота в нитриде:

$$3 : x = \frac{w(\text{M})}{M(\text{M})} \cdot \frac{w(\text{N})}{M(\text{N})} = \frac{100 - w(\text{N})}{M(\text{M})} \cdot \frac{w(\text{N})}{M(\text{N})} = \frac{59.80}{M(\text{M})} \cdot \frac{40.20}{14} = \frac{20.826}{M(\text{M})}$$

Перебором определяем, что при $x = 1$ молярная масса металла $M = 6.94$ г/моль – это **Li**. **L** – гидрид лития, LiH . LiH и его производные (LiBH_4 , LiAlH_4 и другие) применяются в синтетической химии в качестве восстановителей. **F** – водород H_2 . Поскольку **E** присутствует в перечисленных минералах (оливин Mg_2SiO_4 , доломит $(\text{Mg,Ca})\text{CO}_3$ и карналлит $\text{KCl} \cdot \text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) и является простым веществом, делаем вывод, что это **Mg**. **Z** – гидрид магния, MgH_2 .

Реакция получения соединения **D**: $x\text{CH}_3\text{I} + 2\text{H} = \text{HI}_x + \text{H}(\text{CH}_3)_x$, где **D** это $\text{H}(\text{CH}_3)_x$. $M(\text{H}) = M(\text{D}) - xM(\text{CH}_3)$. При $x = 2$ молярная масса $M(\text{H}) = 65.4$ г/моль, что соответствует цинку. Тогда, **H** – цинк, **D** – $\text{Zn}(\text{CH}_3)_2$, **C** – ZnI_2 , **Y** – ZnH_2 . Соседи цинка по Периодической таблице химических элементов Д.И. Менделеева – медь (слева) и Ga (справа). Соль голубого цвета может иметь только медь, поскольку, простые соли галлия бесцветны. **K** – медь, **A** – $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$. В данном случае **X** гидрид одновалентной меди, CuH , что подтверждается расчетом по массовой доле тяжелого компонента $w(\text{Cu}) = \frac{w(\text{Cu})}{M(\text{CuH})} = \frac{63.5}{64.5} = 0.9845$. Таким образом, реакция между **A** и **B** – окислительно-восстановительная. Фосфорсодержащая одноосновная кислота, проявляющая в данной реакции восстановительные свойства – это H_3PO_2 – фосфорноватистая кислота. Соединение **J** должно содержать медь, это может быть $\text{H}[\text{CuCl}_2]$ (по 0.2 балла за **K** и **H**, за остальные соединения по 0.25 балла, по 0.2 балла за расчеты, всего 4 балла).

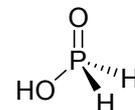
2. Уравнения реакций (за каждую реакцию по 0.3 балла, всего 3 балла):



3. Находясь в водном растворе, гидриды меди и цинка покрываются тонкой пленкой нерастворимых гидроксидов и, тем самым, пассивируются. Гидрид магния образует при контакте с водой малорастворимый гидроксид, который препятствует протеканию бурной реакции. Тем не менее, разложение довольно заметно. Гидроксид лития же хорошо растворим, и реакция гидрида с водой происходит практически мгновенно с выделением большого количества теплоты (всего 1 балл).

4. MgH_2 предлагали использовать в качестве накопителя водорода для его безопасной транспортировки и последующего извлечения. Кроме того, была продемонстрирована возможность использования гидрида магния как анода для литий-ионных аккумуляторов (1 балл).

5. H_3PO_2 имеет в своем составе лишь одну гидроксильную группу, чей протон участвует в процессе диссоциации в водной среде (по 0.5 балла за структуру и объяснение, всего 1 балл).



Задача 3 (автор Р.В. Панин, Е.Б. Деева)

1. Уравнения реакций самоионизации (по 0.5 балла за уравнение, всего 1 балл):



2. Из описания свойств газа **X** следует, что это NO . Синий цвет раствора, который получился при взаимодействии меди с азотной кислотой, однозначно указывает на присутствие нитрата меди (II), т.е. **A** = $Cu(NO_3)_2 \cdot 2.5H_2O$, тогда безводная соль **D** = $Cu(NO_3)_2$.

Согласно данным элементного анализа основной соли, $\nu(Cu) : \nu(N) = \frac{52.9}{63.5} : \frac{5.8}{14} = 0.83 : 0.41 = 2 : 1$. Разумно предположить, что азот входит в состав **B** в виде нитратной группы, тогда формулу соли **B** можно представить в виде $Cu_2NO_3(OH)_k$. Т.к. при разложении $Cu(NO_3)_2 \cdot 2.5H_2O$ удаление меди в виде летучих соединений исключено, то из 2 моль $Cu(NO_3)_2 \cdot 2.5H_2O$ образуется 1 моль $Cu_2NO_3(OH)_k$, откуда молярная масса основной соли **B** $2 \cdot 232.5 \cdot 0.516 = 240$ г/моль, $k = \frac{240 - 127 - 62}{17} = 3$, т.е. **B** = $Cu_2NO_3(OH)_3$.

Для оксида **C** получаем $\nu(Cu) : \nu(O) = \frac{79.9}{63.5} : \frac{20.1}{16} = 1.26 : 1.26 = 1 : 1$, т.е. **C** = CuO .

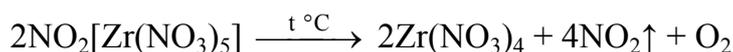
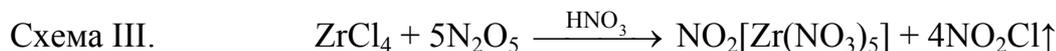
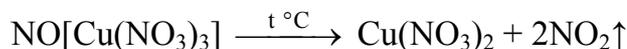
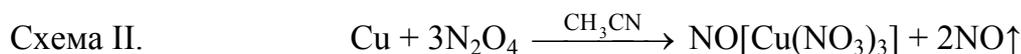
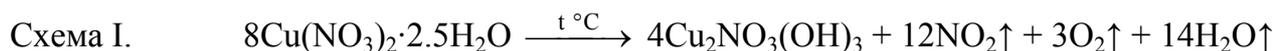
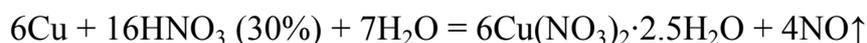
С учетом уравнения диссоциации NO_2 можно предположить, что в состав **Y** входят ионы NO^+ и NO_3^- . В этом случае формула CuN_4O_{10} может быть представлена единственным образом: $NO^+[Cu(NO_3)_3]^-$.

На основании данных о составе **Z**: $v(\text{Zr}) : v(\text{N}) = \frac{20.4}{91.2} : \frac{18.8}{14} = 0.22 : 1.34 = 1 : 6$.

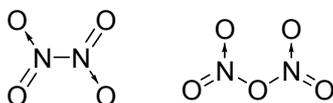
Учитывая аналогию **Y** и **Z**, можно ожидать, что на формульную единицу **Z** приходится один атом циркония, тогда молярную массу **Z** можно оценить как $91.2 / 0.204 = 447.06$ г/моль. Исходя из условия задачи, **Z** содержит только Zr, N и O, т.е. формула **Z** может быть записана в виде ZrN_6O_m , откуда $m = \frac{447.06 - 91.2 - 84}{16} = 17$, т.е. **Z** = $\text{ZrN}_6\text{O}_{17}$.

Рассуждая аналогичным образом, **Z** включает ионы NO_2^+ и NO_3^- , откуда формула $\text{ZrN}_6\text{O}_{17}$ может быть представлена как $\text{NO}_2^+[\text{Zr}(\text{NO}_3)_5]^-$. Безводным нитратом **E** является $\text{Zr}(\text{NO}_3)_4$ (по 0.5 балла за каждое из веществ **A** – **E**, **X**, **Z**, по 0.25 балла за состав каждого из 4 ионов, всего 4.5 балла).

3. Уравнения указанных в задаче реакций могут быть записаны следующим образом (по 0.5 балла за уравнение, всего 3.5 балла):



4. В структуре N_2O_4 присутствует связь N–N. При изображении структурных формул необходимо учесть, что максимальная валентность атома азота равна 4 (по 0.5 балла за структурную формулу, всего 1 балл).

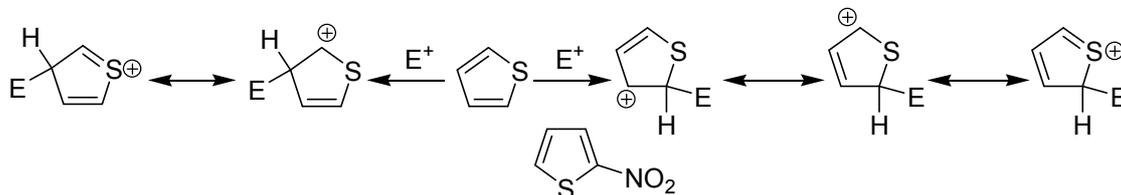


Задача 4 (автор Д.В. Кандаскалов)

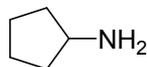
1. Тиофен является более электрон-обогащенным соединением, чем бензол, поэтому быстрее вступает в реакции с электрофилами (1 балл).

2. Реакции электрофильного замещения легче протекают по α -положению тиофенового цикла, поскольку образующийся на медленной стадии σ -комплекс более стабилен, чем аналогичный σ -комплекс, образующийся при атаке по β -положению.

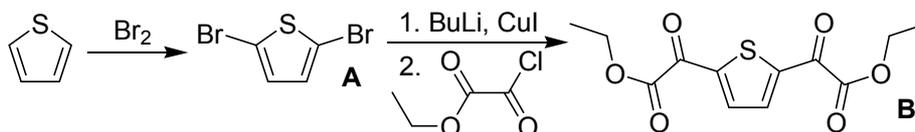
Это обусловлено тем, что в первом случае существует три мезомерных формы σ -комплекса, а во втором только две. То есть положительный заряд более делокализован при атаке электрофила по α -положению. Значит, основным продуктом будет 2-нитротиофен (1 балл).



3. Исходя из молекулярных формул вещества **G** ($C_{22}H_{18}N_2O_4S_3$) и **F** ($C_{12}O_6S_3$) можно сделать вывод, что в реакцию вступает 2 эквивалента RNH_2 . Из этого следует, что формула $RNH_2 - C_5H_{11}N$. Учитывая, что молекула содержит 3 типа атомов углерода, единственный подходящий вариант – циклопентиламин (1 балл).

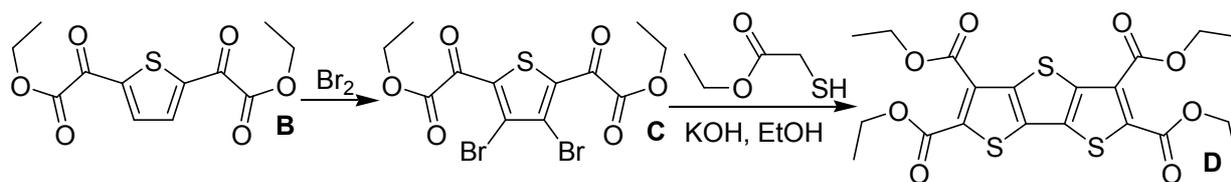


4. При взаимодействии тиофена с бромом возможно образование как моно-, так и различных полибромпроизводных. На следующей стадии происходит реакция обмена атомов брома на литий и затем реакция продукта с производным щавелевой кислоты (моноэфир-монохлорангидрид). По молекулярной формуле вещества **B** ($C_{12}H_{12}O_6S$) можно сделать вывод, что в реакцию вступает 2 эквивалента хлорангидрида. Таким образом вещество **A** – 2,5-дибромтиофен. Итак,

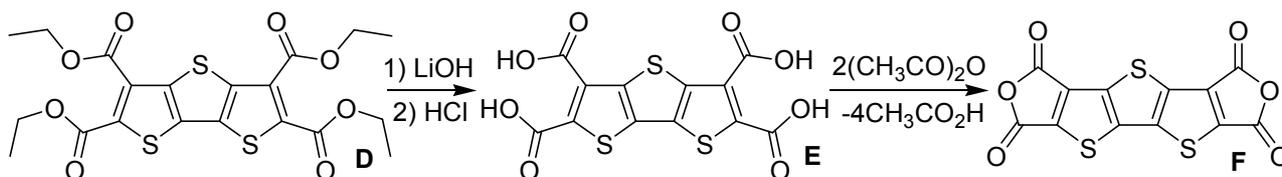


Затем продукт **B** снова бромировали, после чего обрабатывали этиловым эфиром тиогликолевой кислоты. Молекулярная формула вещества **D** ($C_{20}H_{20}O_8S_3$) позволяет сделать вывод, что на второй из этих стадий в реакцию вступило две молекулы этилтиогликолята. Значит, вещество **C** является дибромпроизводным. На этой стадии может происходить бромирование только β -положений тиофена. Сравнивая молекулярные формулы **C** ($C_{12}H_{10}Br_2O_6S$) и **D**, можно сделать вывод, что превращение **C** в **D** – не только реакция замещения брома S -нуклеофилом, но и отщепление двух молекул воды. При этом известно, что вещество **D** содержит четыре типа атомов водорода ($4 + 4 + 6 + 6$). Вещество **C** содержало две симметричные этильные группы. Вещество **D** образовалось при действии двух молей этилового эфира тиогликолевой кислоты, значит еще два типа атомов водорода принадлежат этильным группам из

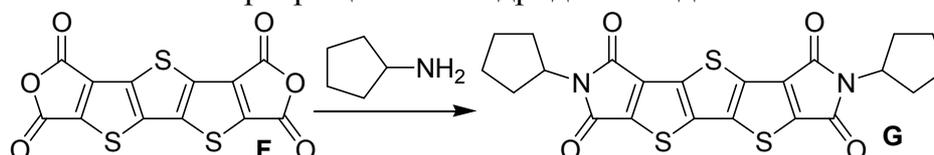
этого реагента, также расположенным симметрично. Учитывая все это, получаем, что **D** является продуктом нуклеофильного замещения и последующей конденсации с образованием двух новых тиофеновых циклов:



Далее происходит омыление эфира с образованием тетракарбоновой кислоты **E**, которая при дегидратации образует двойной ангидрид **F** ($C_{12}O_6S_3$):



Последний этап синтеза – превращение ангидрида в имид:



(7 структурных формул по 1 баллу, всего 7 баллов)

Задача 5 (автор А.Я. Борщевский)

1. Обозначим для краткости $m/z = a$. Пусть зарядовое число протонированного иона равно z . Поскольку масс-спектрометр измеряет отношение массы к заряду, ион будет зарегистрирован на шкале масс со значением $a = \frac{M + zm_p}{z}$, где m_p – масса протона H^+ . Выберем два иона (1 и 2), заряды которых отличаются на величину k (целое число). Пик иона 2 с меньшим зарядом z расположен правее. Тогда заряд иона 1 равен $z + k$. Имеем следующую систему уравнений (2 балла за уравнения):

$$\begin{aligned} \frac{M + zm_p}{z} &= a_2, & \frac{M + (z+k)m_p}{z+k} &= a_1, \text{ откуда} \\ z &= \frac{a_1 - m_p k}{a_2 - a_1}, & M &= z(a_2 - m_p). \end{aligned}$$

Пусть, например, $a_1 = 939.2$, $a_2 = 1372.5$, $k = 6$, тогда (2 балла за результаты расчета):

$$z = \frac{939.2 - 1.0073}{1372.5 - 939.2} \cdot 6 = 12.99 \approx 13, \quad M = 13 \cdot (1372.5 - 1.0073) = 17829.4 \approx 17829 \text{ Да}$$

2. Так как заряды соседних ионов в масс-спектре отличаются на единицу, то, прибавляя или вычитая ее из значения $z = 13$, получим заряды ионов для всего ряда (слева направо): 20, 19, 18, 17, 16, 15, 14, 13, 12 (0.5 балла).

3. Капля жидкости устойчива по отношению к распаду на две части, когда $U_{\text{эл}} + U_{\text{пов}}$ меньше, чем суммарная энергия двух одинаковых капель меньшего размера. Капля объема $V/2$ имеет радиус $r/\sqrt[3]{2}$, поэтому, учитывая, что $S = 4\pi r^2$, получаем неравенство (4 балла):

$$\frac{q^2}{8\pi\epsilon_0 r} + 4\pi\sigma r^2 < 2 \cdot \left[\frac{(q/2)^2}{8\pi\epsilon_0 (r/\sqrt[3]{2})} + 4\pi\sigma (r/\sqrt[3]{2})^2 \right], \text{ откуда}$$

$$q^2 < \frac{2^{1/3} - 1}{2 - 2^{1/3}} \cdot 64\pi^2 \epsilon_0 \sigma r^3 = 0.35 \cdot 64\pi^2 \epsilon_0 \sigma r^3 \quad (1)$$

4. Заменяя в (1) знак неравенства равенством, получим (0.75 балла):

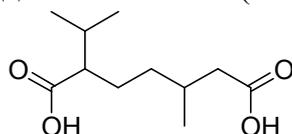
$$q_{\text{max}} = \sqrt{0.35 \cdot 64\pi^2 \epsilon_0 \sigma r^3} = 8\pi(0.35 \cdot 8.854 \cdot 10^{-12} \text{ Дж}^{-1} \text{ Кл}^2 \text{ м}^{-1} \cdot 7.28 \cdot 10^{-2} \text{ Дж} \cdot \text{м}^{-2} \cdot (10^{-7} \text{ м})^3)^{1/2}$$

$$q_{\text{max}} = 3.775 \cdot 10^{-16} \text{ Кл} = 2356e$$

5. а) Пик с самой низкой массой 720 Да отвечает иону C_N^+ , полностью лишенному функциональных групп, поэтому $N = 720 / 12 = 60$, т.е. фуллерен – C_{60} (0.25 балла). б) Интервалы между пиками одинаковы, равны 69 Да, и соответствуют последовательному отрыву групп CX_3 от углеродного каркаса фуллерена. Молекулярная масса X равна $(69 - 12) / 3 = 19$, поэтому элемент X – фтор (0.25 балла). в) Масс-спектр содержит 13 пиков, между которыми 12 интервалов, значит, число функциональных групп равно 12. Таким образом, мы имеем дело с трифторметилпроизводным фуллерена $C_{60}(CF_3)_{12}$ (0.25 балла, всего 0.75 балла).

Задача 6 (автор С.Г. Бахтин)

1. 2-Изопропил-5-метилгептандиовая кислота (1 балл)



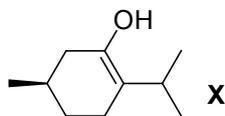
2. 2-Изопропил-5-метилциклогексанон. Молекула вещества **I** содержит 2 асимметрических атома С, поэтому для неё возможно $2^2 = 4$ стереоизомера (название 1 балл, 4 структуры по 0.5 балла; всего 3 балла)



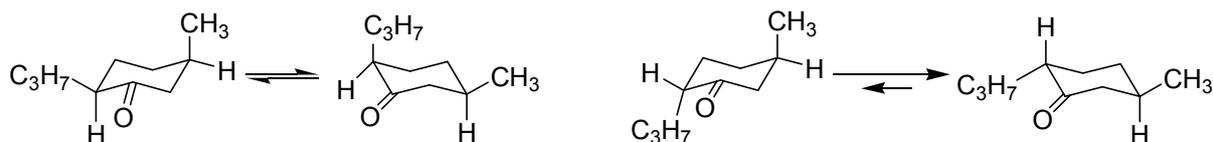
3. Пусть χ – мольная доля (-)-**I**. Тогда $-30\chi + 92(1 - \chi) = -3$. $\chi = 0.78$. $\chi((-)\text{-I}) = 78\%$, $\chi((+)\text{-isoI}) = 22\%$. $K = 22/78 = 0.28$.

Эпимеры различаются конфигурацией одного асимметрического центра. В кислой среде это возможно для взаимопревращения двух диастереомеров через енол **X**

(полоса в ИК-спектре свидетельствует о наличии ОН группы) (структура енола – 1 балл, без правильного указания стереоцентра – 0.5 балла; расчет содержания изомеров 2 балла, расчет константы равновесия 1 балл; максимум 4 балла):



4. Изобразим возможные кресловидные конформации для (2*R*,5*R*)- и (2*S*,5*R*)-ментонов:



В первом случае в любой из конформаций один алкильный заместитель всегда находится в аксиальном положении, а второй в экваториальном. Для другого соединения существует наиболее устойчивая конформация, когда оба алкила занимают экваториальное положение. Следовательно, этим соединением выступает термодинамически более стабильный (-)-**I** (преобладает в равновесии), а первое вещество соответствует (+)-*isoI* (две структуры по 1 баллу, всего 2 балла).

Задача 7 (автор Д.В. Кандаскалов)

1. а) $^{147}_{62}\text{Sm} \rightarrow ^{143}_{60}\text{Nd} + ^4_2\text{He}$ (0.5 балла);

$$b) \quad k = \frac{\ln 2}{\tau_{1/2}} = \frac{\ln 2}{1.06 \cdot 10^{11}} = 6.52 \cdot 10^{-12} \text{ год}^{-1} \quad (1.5 \text{ балла, всего 2 балла}).$$

2. Общее количество изотопов ^{143}Nd является суммой начального количества $n_0(^{143}\text{Nd})$ и количества $n_t(^{143}\text{Nd})$, которое образовалось при распаде ^{147}Sm :

$$n(^{143}\text{Nd}) = n_0(^{143}\text{Nd}) + n_t(^{143}\text{Nd}).$$

Величину $n_t(^{143}\text{Nd})$ мы можем выразить из кинетического уравнения распада (реакция 1-го порядка):

$$\ln \frac{n_0(^{147}\text{Sm})}{n_t(^{147}\text{Sm})} = \ln \frac{n_t(^{147}\text{Sm}) + n_t(^{143}\text{Nd})}{n_t(^{147}\text{Sm})} = kt \Rightarrow n_t(^{143}\text{Nd}) = n_t(^{147}\text{Sm}) \cdot (e^{kt} - 1)$$

Таким образом, мы получим

$$n(^{143}\text{Nd}) = n_0(^{143}\text{Nd}) + n_t(^{147}\text{Sm}) \cdot (e^{kt} - 1)$$

Теперь разделим это уравнение на количество ^{144}Nd :

$$\frac{n(^{143}\text{Nd})}{n(^{144}\text{Nd})} = \frac{n_0(^{143}\text{Nd})}{n(^{144}\text{Nd})} + \frac{n_t(^{147}\text{Sm})}{n(^{144}\text{Nd})} (e^{kt} - 1) \equiv y = b + ax$$

Это уравнение описывает прямую. Зная значения x и y для двух точек, можно найти коэффициенты a и b . Коэффициент b – это как раз отношение $n_0(^{143}\text{Nd}) / n_0(^{144}\text{Nd})$:

$$\begin{cases} 0.510 = b + a \cdot 0.111 \\ 0.515 = b + a \cdot 0.280 \end{cases} = \begin{cases} a = 0.0297 \\ b = 0.5061 \end{cases}$$

Таким образом, $n_0(^{143}\text{Nd}) / n_0(^{144}\text{Nd}) = 0.5061$ (4 балла).

3. В предыдущем пункте мы нашли, что $a = 0.0297$, теперь можно найти возраст метеорита (2 балла):

$$a = e^{kt} - 1 \Rightarrow e^{kt} = a + 1 \Rightarrow t = \frac{\ln(a + 1)}{k} = \frac{\ln(1.0297)}{6.52 \cdot 10^{-12}} = 4.49 \cdot 10^9 \text{ лет}$$

4. Так как время полураспада самария-147 порядка сотни миллиардов лет, нельзя с приемлемой точностью определить возраст пород порядка 10000 лет, распад за это время очень незначителен.

Для примера допустим, что $t = 10000$ лет. Тогда

$$\frac{n(^{143}\text{Nd})}{n(^{144}\text{Nd})} = \frac{n_0(^{143}\text{Nd})}{n(^{144}\text{Nd})} + \frac{n(^{147}\text{Sm})}{n(^{144}\text{Nd})}(e^{kt} - 1) = \frac{n_0(^{143}\text{Nd})}{n(^{144}\text{Nd})} + \frac{n(^{147}\text{Sm})}{n(^{144}\text{Nd})}(e^{6.52 \cdot 10^{-12} \cdot 10^4} - 1) \approx \frac{n_0(^{143}\text{Nd})}{n(^{144}\text{Nd})}$$

То есть, конечное отношение $^{143}\text{Nd} / ^{144}\text{Nd}$ очень близко к начальному (2 балла).

Задача 8 (автор Ю.С. Головкин, Б.Н. Гарифуллин)

1. $^{226}\text{Ra} \rightarrow ^{222}\text{Rn} + ^4\text{He}$ (0.5 балла)

2. В единицу времени радиоактивный распад претерпевает одинаковое число атомов обоих образцов. Отсюда: $\lambda(^{226}_{86}\text{Ra})N(^{226}_{86}\text{Ra}) = \lambda(\text{X})N(\text{X})$, где N – число атомов соответствующего изотопа в образце. Используя формулу расчета молярной массы, получаем уравнение расчета $M(\text{X})$:

$$M(\text{X}) = \frac{m(\text{X}) \cdot T_{1/2}(^{226}_{86}\text{Ra}) \cdot M(^{226}_{86}\text{Ra})}{T_{1/2}(\text{X}) \cdot m(^{226}_{86}\text{Ra})} = \frac{0.001 \text{ г} \cdot 1601 \cdot 365.25 \text{ дн} \cdot 226 \text{ г/моль}}{138.4 \text{ дн} \cdot 4.55 \text{ г}} = 210 \text{ г/моль}$$

Найденная молярная масса подходит для многих нуклидов, принадлежащих разным элементам. Установить конкретный изотоп невозможно (1.5 балла).

3. α -Активность – аддитивная величина, складывающаяся из активностей отдельных изотопов. Наблюдающаяся в норме α -радиоактивность (естественные радиоактивные ряды) постоянна. Анализ тканей целесообразно проводить при активности изотопа X не менее $0.3 - 0.2 = 0.1$ Бк/кг.

Из уравнения $\ln \frac{A}{A_0} = -\lambda(\text{X})T$, где $\lambda(\text{X}) = 5.80 \cdot 10^{-8} \text{ с}^{-1}$ получаем формулу для расчета времени, прошедшего с момента введения яда:

$$T = -\frac{1}{\lambda} \ln \frac{M(\mathbf{X})A}{\lambda m(\mathbf{X})N_A} = -\frac{1}{5.80 \cdot 10^{-8} \text{ с}^{-1}} \ln \frac{210 \text{ г/моль} \cdot 0.1 \text{ кг}^{-1} \text{ с}^{-1} \cdot 70 \text{ кг}}{5.80 \cdot 10^{-8} \text{ с}^{-1} \cdot 1 \cdot 10^{-6} \text{ г} \cdot 6.02 \cdot 10^{23}} = 2.93 \cdot 10^8 \text{ с},$$

что равняется примерно девяти годам и трем месяцам. Скоропостижность кончины политика позволяет принять, что даты отравления и смерти фактически совпадают. Эксгумация тела Я. Арафата потеряла бы актуальность в конце 2014 года (2 балла).

4. Из массового числа нуклида (210) и соотношения нейтронов и протонов (1.5) следует: $2.50 \cdot Z = 210$. Тогда атомный номер элемента 84 – полоний. В задаче рассмотрен самый распространенный изотоп ^{210}Po (1 балл).

5. (по 1 баллу за реакцию, всего 2 балла)



6. Образец X имеет массу 9.2 г ($9.2 \text{ г/см}^3 \cdot 1 \text{ см}^3$) и содержит атомы ^{210}Po в количестве $N = \frac{m(\mathbf{X})}{M(\mathbf{X})} N_A = \frac{9.2 \text{ г}}{210 \text{ г/моль}} \cdot 6.0 \cdot 10^{23} = 2.6 \cdot 10^{22}$. Из них каждую секунду распадается $N(\text{расп.}) = \lambda(\mathbf{X})N = 5.8 \cdot 10^{-8} \cdot 2.6 \cdot 10^{22} = 1.5 \cdot 10^{15}$ атомов и образуется такое же количество α -частиц с суммарной начальной кинетической энергией 1210 Дж, что в пересчете на одну частицу дает (3 балла):

$$E_k = \frac{1210 \text{ Дж}}{1.5 \cdot 10^{15} \cdot 1.6 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}} = 5.0 \cdot 10^6 \text{ эВ} = 5.0 \text{ МэВ}$$