

Задача 1 (автор Д.В. Кандаскалов)

1. Линейные связи $Y-X-Y$ имеются только в среднем слое (m) на гранях пентагонов – горизонтальные связи в рамках одного слоя. Всего таких связей 9. Имеются еще 2 вертикальные связи $Y-X-Y$, образованные атомами в центре пентагонов. Таким образом, всего 11 связей (1 балл).

2. Элементарная ячейка должна содержать целое число структурных единиц $X_{13}Y_4$, то есть число атомов кратно 17. Молекулярная формула кластера $A - X_{31}Y_{12}$ (43 атома). Два кластера содержат 86 атомов. Учитывая, что в состав ячейки входит ещё до 30 склеивающих атомов, число атомов может варьироваться от 87 до 116. Единственное число в этом интервале, кратное 17, равно 102 (2 балла).

3. Таким образом, элементарная ячейка содержит 102 атома: $(X_{13}Y_4)_6 = 2$ кластера $(X_{31}Y_{12})_2$ и 16 склеивающих атомов X . Исходя из данных задачи, можно рассчитать молекулярную массу элементарной ячейки и, зная массовую долю склеивающих атомов, найти атомную массу X и затем Y :

$$\left. \begin{aligned} \rho &= \frac{m}{V} = \frac{m}{abc} \\ n &= \frac{m}{M} = \frac{N}{N_A} \Rightarrow m = \frac{MN}{N_A} \end{aligned} \right\} \rho = \frac{MN}{N_A abc} \Rightarrow M = \frac{\rho N_A abc}{N}$$

$$M = \frac{\rho N_A abc}{N} = \frac{4018 \cdot 10^3 \cdot 6.02 \cdot 10^{23} \cdot (8.16 \cdot 12.34 \cdot 14.45) \cdot 10^{-30}}{1} = 3519.5 \text{ г/моль}$$

Элементарная ячейка содержит 78 атомов X и 24 атома Y . Обозначая атомные массы этих металлов за x и y , получим:

$$\begin{cases} 78x + 24y = 3519.5 \\ 16x/3519.5 = 0.1227 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} x = 26.99 \\ y = 58.93 \end{cases}$$

Таким образом, $X - Al$, $Y - Co$, так что $X_{13}Y_4 - Al_{13}Co_4$ (число склеивающих атомов 1 балл, молекулярная масса элементарной ячейки 1.5 балла, X и Y по 1 баллу, всего 3.5 балла).

4.

$$\left. \begin{aligned} k_1 &= A \exp\left(-\frac{E_A(1)}{RT}\right) \\ k_2 &= A \exp\left(-\frac{E_A(2)}{RT}\right) \end{aligned} \right\} \Rightarrow \ln \frac{k_1}{k_2} = -\frac{E_1 - E_2}{RT} \Rightarrow E_1 - E_2 = -RT \ln \frac{k_1}{k_2}$$

Найдём разность энергий:

$$E_1 - E_2 = -8.314 \cdot 300 \cdot \ln(5 \cdot 10^7) = -44216 \text{ Дж/моль}$$

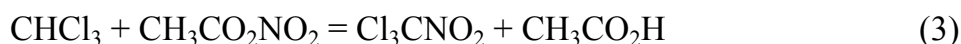
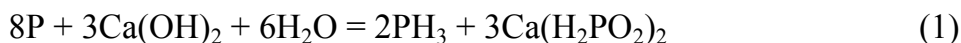
Также дано, что $E_1 = 0.55E_2$, поэтому получаем $E_2 = 98.257 \text{ кДж/моль}$, $E_1 = 54.041 \text{ кДж/моль}$ (1.5 балла за ΔE , по 0.75 балла за E_1 и E_2 , всего 3 балла).

5. $k_1 = 10^5 \cdot \exp\left(-\frac{54041}{8.314 \cdot 350}\right) = 8.60 \cdot 10^{-4} \text{ моль/л}\cdot\text{с}$ (0.5 балла).

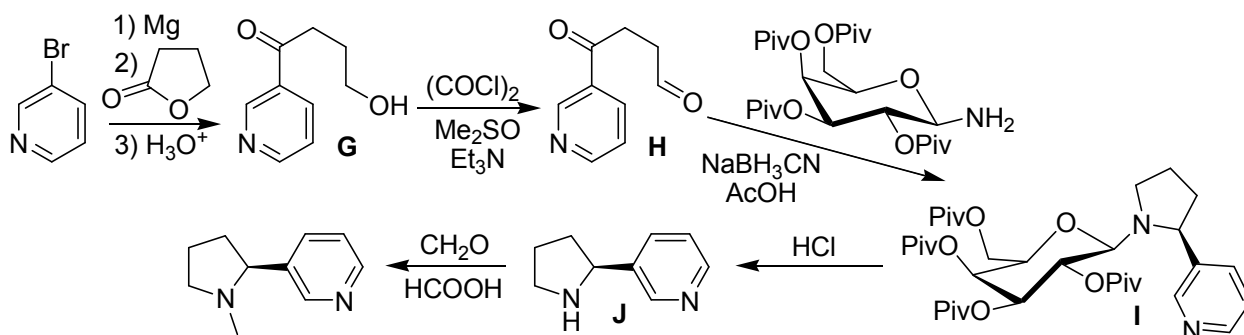
Задача 2 (автор И.В. Трушков)

1. Соединение **B** – цианид металла $M(CN)_x$. По содержанию азота в нём можно рассчитать атомную массу металла как $20x$. Это – кальций ($x = 2$), а **B** – цианид кальция, $Ca(CN)_2$. Тогда **A** – HCN, синильная кислота, а **C** – гидроксид кальция, $Ca(OH)_2$ (1 балл за **B**, по 0.5 балла за **A** и **C**, всего 2 балла).

2. Поскольку хлорпикрин получают хлорированием одного часто используемого растворителя или нитрованием другого, можно предположить, что это – соединение с формулой $CCl_y(NO_2)_{4-y}$. Содержанию хлора, приведённому в условии, удовлетворяет трихлорнитрометан, Cl_3CNO_2 (**D**). Один растворитель – хлороформ, $CHCl_3$ (**E**), другой – нитрометан, CH_3NO_2 (**F**) (1 балл за **D**, по 0.5 балла за **E** и **F**, по 0.5 балла за каждое из 4 уравнений реакций, всего 4 балла).



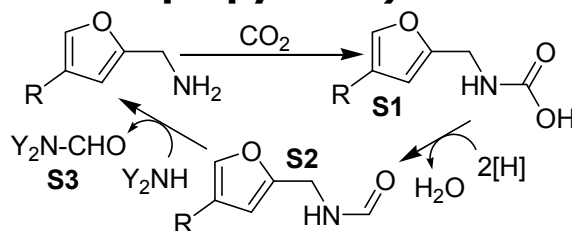
3. Молекулярная формула **G** подсказывает, что это – продукт атаки реактива Гриньяра, образующегося из 3-бромпиридина по карбонильной группе лактона, причём в реакцию вступает 1 эквивалент реактива Гриньяра. Превращение **G** в **H** протекает с отщеплением двух атомов водорода. Напрашивается вывод, что это – окисление спиртовой группы в альдегид. С учётом приведенной структуры никотина и молекулярных формул **I** и **J**, можно догадаться, что далее протекает последовательная восстановительная конденсация аминогруппы в производном галактозамина с двумя карбонильными группами в **H**, приводящая к образованию *N*-замещенного 2-(пиридил)пирролидина **I**, который при действии кислоты отщепляет остаток галактозы. Последняя стадия представляет собой метилирование NH-фрагмента 2-пиридилпирролидина **J** (структуры **G** – **J** по 1 баллу, всего 4 балла).



Задача 3 (авторы Ю.С. Головки, Б.Н. Гарифуллин)

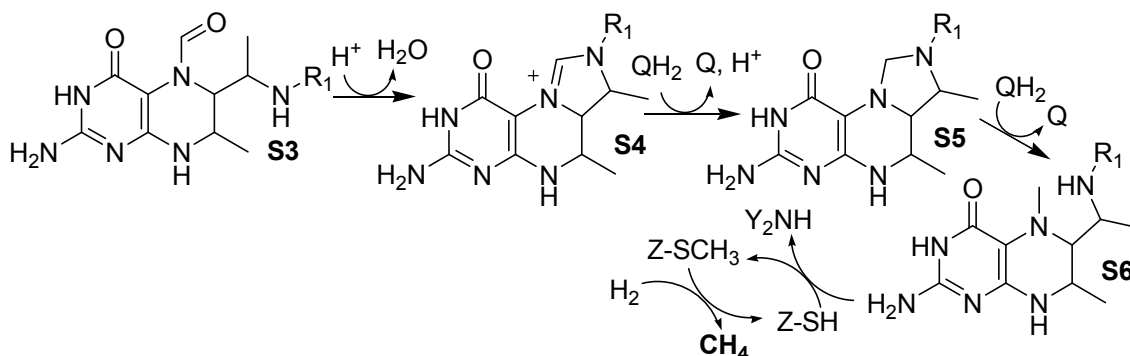
1. $\text{CO}_2 + 4\text{H}_2 = \text{CH}_4 + 2\text{H}_2\text{O}$ (1 балл).

2. Анализ верхней части цикла показывает, что на первой стадии происходит образование производного карбаминовой кислоты с его



последующим восстановлением до производного формамида. Далее следует стадия переаминирования. Для ответа на последующие вопросы не обязательно устанавливать структуры всех интермедиатов, поскольку стадиями двухэлектронного восстановления являются: $\text{S4} \rightarrow \text{S5}$, $\text{S5} \rightarrow \text{S6}$ и $\text{Z-SCH}_3 \rightarrow \text{Z-SH}$. Соответственно, степень окисления атома углерода, происходящего из CO_2 , в S3 и S4 равна +2, в S5 равна 0, в S6 равна -2 (по 0.5 балла за каждую структуру, по 0.5 балла за каждую степень окисления, всего 3 балла).

3. Отщепление молекулы воды на стадии $\text{S3} \rightarrow \text{S4}$ указывает на конденсацию amino- и карбонильной групп. По стерическим соображениям в такой реакции может участвовать только вторичная аминогруппа, связанная с R_1 . Тогда (1.5 балла за S4):



4. Ежегодно атмосферу пополняет $\frac{600 \cdot 10^{12}}{16.0} = 3.75 \cdot 10^{13}$ моль метана, который в указанных условиях занимает объем $\frac{3.75 \cdot 10^{13} \cdot 8.314 \cdot (273 - 20)}{0.50 \cdot 10^5} = 1.6 \cdot 10^{12} \text{ м}^3$. Высота

атмосферы ничтожна в сравнении с радиусом Земли, поэтому для тонкого сферического слоя метана будет справедливо: $dV = 4\pi R^2 dR$. Годовое приращение толщины составит всего-то: $\frac{1.6 \cdot 10^{12}}{4 \cdot 3.14 \cdot (6370 \cdot 10^3)^2} = 3.1 \cdot 10^{-3} \text{ м}$ (около 3 мм) (2.5 балла).

5. Ограничение по плотности полученного газа исключает из рассмотрения оксид углерода(IV). Условию отвечает эквимолярная смесь H_2 и CO . Тогда X – вода (в виде пара), а уравнения реакций выглядят так: $2\text{H}_2 + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{H}_2\text{O}$ (1) и $\text{C} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CO} + \text{H}_2$ (2) (1 балл за X , по 0.5 балла за каждое уравнение, всего 2 балла).

Задача 4 (автор М.К. Беклемишев)

1. Рассчитаем количества перманганата, необходимые для окисления 1 моль иодида ($n(\text{Mn}^{\text{VII}}) : n(\text{I}^-)$, моль/моль) при переходе перманганата и иодида в разные устойчивые степени окисления:

Продукт восстановления перманганата	Продукт окисления I^-			
	$\frac{1}{2}\text{I}_2 (-1e^-)$	$\text{IO}^- (-2e^-)$	$\text{IO}_3^- (-6e^-)$	$\text{IO}_4^- (-8e^-)$
$\text{MnO}_4^{2-} (+e^-)$	1	2	6	8
$\text{MnO}_2 (+3e^-)$	1/3	2/3	2	8/3
$\text{Mn}^{2+} (+5e^-)$	1/5	2/5	6/5	8/5

(Заметим, что на самом деле периодат в растворе существует в виде солей ортоиодной кислоты H_5IO_6 .) Как видно из таблицы, различающиеся в 10 раз количества перманганата (2.4 и 24 мл) могут быть затрачены при $n(\text{Mn}^{\text{VII}}) : n(\text{I}^-) = 1/5$ и 2 (т.к. $1/5 : 2 = 1 : 10$), т.е. в случае реакций титрования $[\text{I}^- \rightarrow \text{I}_2; \text{MnO}_4^- \rightarrow \text{Mn}^{2+}]$ ($1/5$) и либо $[\text{I}^- \rightarrow \text{IO}_3^-; \text{MnO}_4^- \rightarrow \text{MnO}_2]$, либо $[\text{I}^- \rightarrow \text{IO}^-; \text{MnO}_4^- \rightarrow \text{MnO}_4^{2-}]$ (на самом деле иодид окисляется до иодата, но вариант с образованием манганата и гипоиодита также принимается). Количеству титранта (96 мл), вчетверо большему, чем у второго химика, отвечает $n(\text{Mn}^{\text{VII}}) : n(\text{I}^-) = 8$, т.е. реакция $[\text{I}^- \rightarrow \text{IO}_4^-; \text{MnO}_4^- \rightarrow \text{MnO}_4^{2-}]$. Таким образом, можно записать реакции, протекавшие при титровании:

первый химик: $10\text{I}^- + 2\text{MnO}_4^- + 16\text{H}^+ = 5\text{I}_2 + 2\text{Mn}^{2+} + 8\text{H}_2\text{O}$ (1 балл)

второй: $\text{I}^- + 2\text{MnO}_4^- + \text{H}_2\text{O} = \text{IO}_3^- + 2\text{MnO}_2\downarrow + 2\text{OH}^-$;

теоретический вариант: $\text{I}^- + 2\text{MnO}_4^- + 2\text{OH}^- = \text{IO}^- + 2\text{MnO}_4^{2-} + \text{H}_2\text{O}$ (2 балла за любое из двух уравнений)

третий: $\text{I}^- + 8\text{MnO}_4^- + 8\text{Ba}^{2+} + 8\text{OH}^- = \text{IO}_4^- + 8\text{BaMnO}_4\downarrow + 4\text{H}_2\text{O}$ (2 балла)

Таким образом, первый юный химик титровал в кислой среде, второй – в нейтральной или слабощелочной, а третий – в щелочной (осаждение манганата бария ускоряет восстановление перманганата до манганата, позволяя избежать более медленного образования MnO_2) (всего 5 баллов).

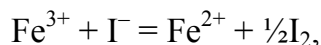
2. Концентрацию KMnO_4 можно найти из любого титрования, например, из первого: $5c_{\text{Mn}}V_{\text{Mn}} = n_{\text{iod}}$, откуда $c_{\text{Mn}} = 0.100 \text{ г} / (166 \text{ г/моль KI} \cdot 5 \cdot 2.4 \text{ мл}) = 5.02 \cdot 10^{-2} \text{ М}$ (1 балл).

3. Соотношение количеств титранта ($9.6 \text{ мл} \cdot 0.025 \text{ моль/л} = 0.24 \text{ ммоль}$) и иодида ($0.1 \text{ г} = 0.60 \text{ ммоль}$) будет равно $24 : 60 = 2 : 5$ (1 балл). Поскольку среда кислая, перманганат восстанавливается до $\text{Mn}^{2+} (+5e^-)$, значит, иодид теряет два электрона, окисляясь до I^+ . Устойчивое соединение иода(+) – монохлорид иода (1 балл, всего 2 балла):

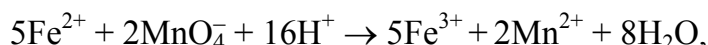


В ходе титрования сначала выделяется иод, экстрагирующийся четыреххлористым углеродом и окрашивающий его в розово-фиолетовый цвет. Присутствующий в конечной точке моноклорид иода имеет практически незаметную слабо желтую окраску.

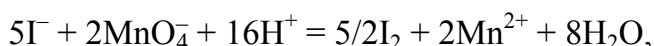
4. Железо(III) выделяет свободный иод (0.5 балла):



но далее железо(II) вступает в реакцию (0.5 балла):

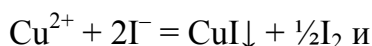


т.е. суммарно имеем:



т.е. железо катализирует окисление иодида. В конечной точке титрования оно окислится в исходное железо(III) и не повлияет на количество израсходованного титранта.

Аналогично для меди (по 0.5 балла):



Таким образом, результат определения перманганата будет правильным независимо от присутствия солей меди и железа (всего 2 балла).

Задача 5 (автор Р.В. Панин)

1. Сера сгорает в кислороде с образованием SO_2 : $\text{S} + \text{O}_2 = \text{SO}_2$, а в присутствии катализатора (Pt) идет дальнейшее окисление: $2\text{SO}_2 + \text{O}_2 = 2\text{SO}_3$. Таким образом, **E** = SO_2 , **F** = SO_3 .

Расчет молярной массы газа **G** по его плотности: $4.42 \cdot 22.4 = 99$ г/моль. Принимая во внимание, что в состав **G** могут входить C, O и Cl, перебором вариантов находим, что **G** = COCl_2 .

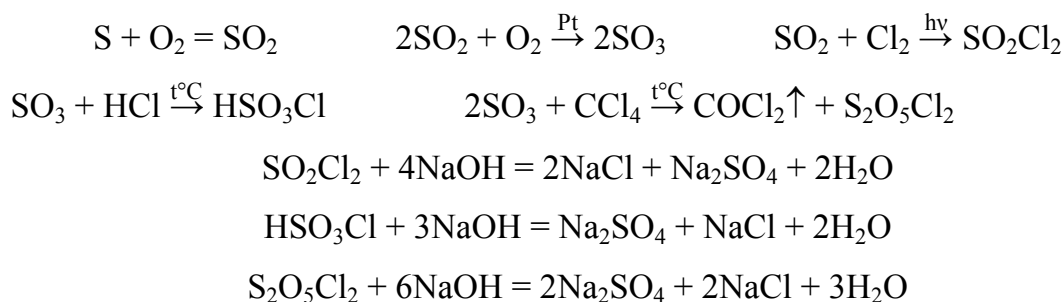
Белые нерастворимые в кислотах осадки **K** и **L** – это BaSO_4 и AgCl соответственно. В состав молекул **H** и **J** входят S, O, Cl, а в состав **I**, по данным ИК-спектроскопии еще и водород ($\nu = 3500 - 3700 \text{ см}^{-1}$).

Согласно расчету молярных масс, отношение $M(\text{BaSO}_4) / M(\text{AgCl}) = 1.628$, что совпадает со значением m_1 / m_2 для **I** и **J** и вдвое больше, чем для **H**. Таким образом, в продуктах гидролиза **I** и **J** $\nu(\text{Cl}^-) = \nu(\text{SO}_4^{2-})$, а в случае **H** $\nu(\text{Cl}^-) = 2\nu(\text{SO}_4^{2-})$.

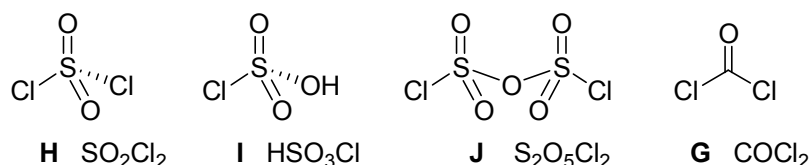
С учетом этих данных формулу **Н** можно записать как SCl_2O_m , из условия электронейтральности молекулы $m = \frac{6-2}{2} = 2$, т.е. **Н** = SO_2Cl_2 (хлористый сульфурил), для **Ж** формула выглядит как SClO_n , $n = \frac{6-1}{2} = 2.5$, т.е. $\text{SClO}_{2.5}$ или после удвоения $\text{S}_2\text{Cl}_2\text{O}_5$ (хлористый пиросульфурил).

Общая формула **И** имеет вид SClO_qH_r . Маловероятно, чтобы $r > 1$ (2, 3 и т.д.), т.к. в этом случае молекула легко разлагалась бы с отщеплением воды. Поэтому наиболее вероятным представляется $r = 1$, откуда $q = \frac{6-1+1}{2} = 3$, т.е. **И** = $\text{SO}_2\text{Cl}(\text{OH})$ или HSO_3Cl (хлорсульфоновая кислота) (по 0.5 балла за каждое вещество, всего 4 балла).

2. Уравнения реакций (по 0.5 балла за каждую реакцию, всего 4 балла):



3. С учетом валентностей элементов структурные формулы имеют вид (по 0.5 балла за каждую структурную формулу, всего 2 балла):



Задача 6 (автор Р.В. Панин)

1. Если предположить отсутствие других элементов, кроме Na, N и O, в составе кислородсодержащих солей, то расчет формул дает следующие результаты:

A $\text{Na} : \text{N} : \text{O} = 46.9/23 : 9.5/14 : 43.6/16 = 2.039 : 0.678 : 2.725 = 3:1:4$ **A** = Na_3NO_4

B $\text{Na} : \text{N} : \text{O} = 27.1/23 : 16.5/14 : 56.4/16 = 1.178 : 1.178 : 3.525 = 1:1:3$ **B** = NaNO_3

C $\text{Na} : \text{N} : \text{O} = 33.3/23 : 20.3/14 : 46.4/16 = 1.448 : 1.45 : 2.9 = 1:1:2$ **C** = NaNO_2

D $\text{Na} : \text{N} : \text{O} = 43.4/23 : 26.4/14 : 30.2/16 = 1.887 : 1.886 : 1.888 = 1:1:1$ **D** = $(\text{NaNO})_n$,

точнее, $\text{Na}_2\text{N}_2\text{O}_2$

Для солей фосфора

E $\text{Na} : \text{P} : \text{O} = 42.1/23 : 18.9/31 : 39/16 = 1.83 : 0.61 : 2.44 = 3:1:4$ **E** = Na_3PO_4

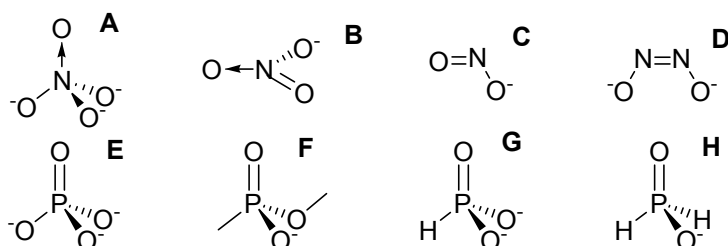
F $\text{Na} : \text{P} : \text{O} = 22.5/23 : 30.4/31 : 47.1/16 = 0.978 : 0.98 : 2.944 = 1:1:3$ **F** = NaPO_3

G $\text{Na} : \text{P} : \text{O} = 36.5/23 : 24.6/31 : 38.9/16 = 1.587 : 0.794 : 2.431 = 1.999:1:3.062$,

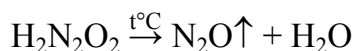
Возможная формула Na_2PO_3 не подходит, т.к. соответствует фосфору в степени окисления +4, а не +3. Можно предположить, что в состав соли входит атом водорода, что типично для солей кислородных кислот фосфора в низких степенях окисления. Тогда состав **G** = Na_2HPO_3 .

H $\text{Na} : \text{P} : \text{O} = 26.1/23 : 35.2/31 : 38.7/16 = 1.135 : 1.135 : 2.419 = 1:1:2$, аналогичные рассуждения приводят к ответу **H** = NaH_2PO_2 .

С учетом того, что максимальная валентность азота равна 4, а для фосфора она всегда равна пяти, структурные формулы анионов солей (по 0.25 балла за химическую формулу **A – F**, по 0.75 балла **G** и **H**, по 0.5 балла за каждую структуру, всего 7 баллов):



2. Кислотами, образующими соли $\text{Na}_2\text{N}_2\text{O}_2$ и NaH_2PO_2 являются $\text{H}_2\text{N}_2\text{O}_2$ и H_3PO_2 соответственно. Термолиз $\text{H}_2\text{N}_2\text{O}_2$ протекает как разложение, т.е. без твердых продуктов:



В случае H_3PO_2 вода не выделяется, а единственным газообразным соединением может быть фосфин, следовательно, термолиз – это реакция диспропорционирования:



Таким образом, **I** = $\text{H}_2\text{N}_2\text{O}_2$, **J** = H_3PO_2 , **K** = N_2O , **L** = H_3PO_3 , **M** = H_3PO_4 , **Q** = PH_3 (по 0.25 балла за химическую формулу, по 0.25 балла за уравнение реакции, всего 2.25 балла).

3. Структурную формулу N_2O можно представить в виде (0.25 балла)



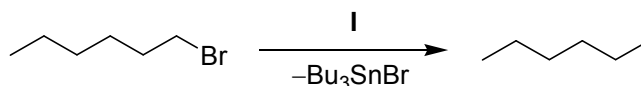
N_2O и H_2O образуются также при разложении нитрата аммония и нитрамида:



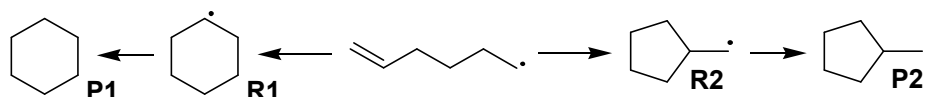
(по 0.25 балла за формулу соединения и уравнение реакции термолиза, всего 0.75 балла).

Задача 7 (автор С.Г. Бахтин)

1. Из механизма, приведённого в условии, понятно, что RX превращается в RH . То есть продукт – *n*-гексан (1 балл).

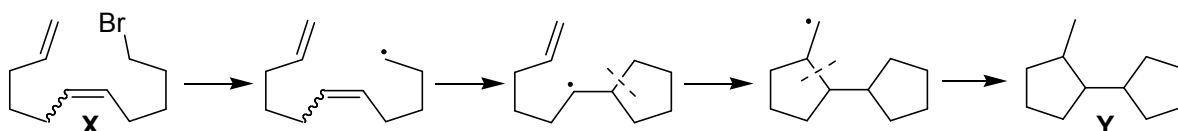


2. Образующийся из 6-бромгексена-1 радикал R· может образовать цикл двумя путями: в результате присоединения радикального центра по атому C(1) или по атому C(2). В результате образуется, соответственно, 6- или 5-членный цикл; циклогексан (ЦГ) и метилциклопентан (МЦП) (по 1 баллу за структурные формулы радикалов **R1** и **R2**, по 0.5 балла за формулы продуктов **P1** и **P2**, всего 3 балла).

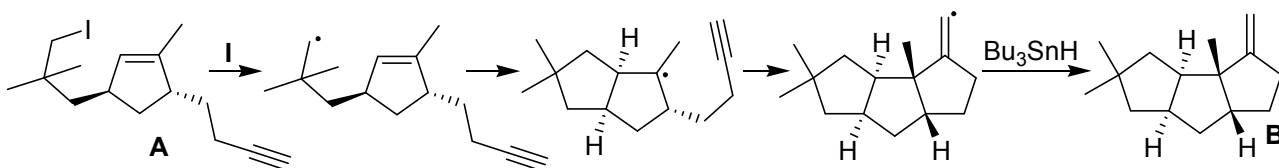


3. Пусть X – мольная доля ЦГ (в %), а $(100 - X)$ – мольная доля МЦП. Тогда соотношение метиленовых и метильных протонов для смеси равно $\frac{12X + 8(100 - X)}{3(100 - X)} = 2.8$; $X = 3\%$. Содержание МЦП 97%. ЦГ более устойчив по сравнению с МЦП. Значит в случае термодинамического контроля в смеси должен преобладать именно он. Однако согласно расчету главный компонент – МЦП. Это возможно лишь в случае кинетического контроля образования продуктов реакции (переходное состояние при образовании пятичленного цикла из R· обладает меньшей энергией по сравнению с переходным состоянием при образовании шестичленного цикла) (по 1 баллу за расчёт состава смеси и указание кинетического контроля, всего 2 балла).

4. С учётом ответа на вопрос 3 можно сделать вывод, что вещество **Y** – это 2-метилбициклопентил, образующийся в результате двух последовательных циклизаций с образованием пятичленного цикла (по 1 баллу за структуры **X** и **Y**, всего 2 балла):

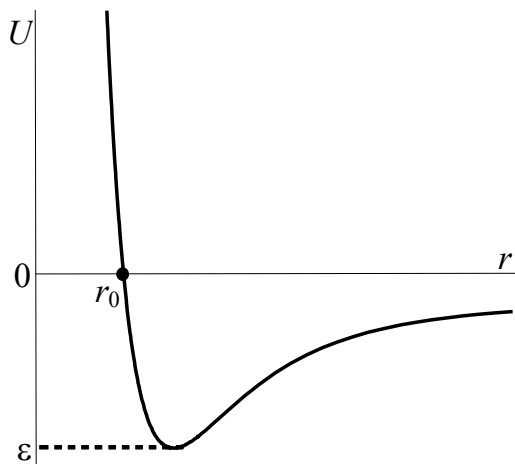


5. Молекула **B** содержит три цикла. Следовательно, можно сделать вывод, что она образовалась в результате двух последовательных циклизаций. Первая протекает в результате атаки алкильного радикала по связи C=C, вторая – при атаке образовавшегося радикала по связи C≡C. В обоих случаях в соответствии с результатами, приведёнными выше, следует ожидать образования пятичленного цикла. Два пятичленных цикла всегда имеют *цис*-сочленение вследствие стерических ограничений. Отсюда мы можем написать структуру хирсутена (по 1 баллу за структуры **A** и **B**, всего 2 балла).



Задача 8 (автор Д.Г. Гулевич-Сырлыбаева)

1. Рассматривая переменную J как непрерывную, надо решить уравнение $dN_J/dJ = 0$. Дифференцирование по J приводит к уравнению $(2J+1)^2 = 4k_B T I / \hbar^2$, откуда $J = (k_B T I)^{1/2} - 1/2 = 6.69$. Так как значения J могут быть только целыми, то округлив, получим $J = 7$ (по 1 баллу за дифференцирование уравнения и значение J , всего 2 балла).



2. а) На горизонтальной оси $r = r_0$. При этом значении энергия U обращается в нуль. На вертикальной оси $U = -\epsilon$, т.е. ϵ – глубина потенциальной ямы. б) Равновесное значение r соответствует минимуму энергии U . Приравняв производную dU/dr к нулю и решив уравнение относительно r , найдём, что $r_e = \sqrt[6]{2} r_0$ (по 0.25 балла за r_0 и ϵ , 0.5 балла за r_e , всего 1 балл).

3. Для соседних вращательных уровней имеем $\Delta E_J = E_{J+1} - E_J = B_e(J+1)(J+2) - B_e J(J+1) = 2B_e(J+1)$. Следовательно, спектр представляет собой серию линий, отстоящих друг от друга на одинаковом расстоянии $2B_e$. Таким образом, $\nu_1 = 2B_e/h = 2 \cdot 7.093 \cdot 10^{-24} / 6.63 \cdot 10^{-34} = 2.14 \cdot 10^{10}$ Гц; $\nu_2 = 2\nu_1 = 4.28 \cdot 10^{10}$ Гц (1.5 балла за выражение для ΔE_J , по 0.75 балла за расчёт ν_1 и ν_2 , всего 3 балла).

4. Находим разность энергий уровней $\Delta E = \Delta E_{Jn} = E_{00} - E_{11} = 2B_e + \hbar\omega = 2B_e + \hbar\sqrt{k/\mu}$

$$\Delta E = 2 \cdot 2.26 \cdot 10^{-23} + 1.055 \cdot 10^{-34} \sqrt{239 \frac{127+35}{(127+35) \cdot 1.66 \cdot 10^{-27}}} = 4.52 \cdot 10^{-23} + 7.64 \cdot 10^{-21}$$

$$\Delta E = 7.68 \cdot 10^{-21} \text{ Дж (1.5 балла)}$$

Далее $\lambda = hc / \Delta E = 6.63 \cdot 10^{-34} \cdot 3 \cdot 10^8 / 7.68 \cdot 10^{-21} = 2.59 \cdot 10^{-5}$ м (1 балл, всего 2.5 балла)

5. Исходя из выражения $\omega = \sqrt{k/\mu}$, и пользуясь тем, что k для обеих молекул одинакова, пишем (1.25 балла):

$$\frac{\omega(^{81}\text{BrF})}{\omega(^{79}\text{BrF})} = \sqrt{\frac{\omega(^{79}\text{BrF})}{\omega(^{81}\text{BrF})}} = \sqrt{\frac{2.55 \cdot 10^{-26}}{2.56 \cdot 10^{-26}}} = 0.998$$

Отсюда $\omega(^{81}\text{BrF}) = 0.998 \cdot 1326 = 1323 \text{ см}^{-1}$ (0.25 балла, всего 1.5 балла).