

Решение задачи по аналитике

Автор – М.К.Беклемишев

1. $\beta = [\text{Zn}(\text{CN})_4^{2-}] / [\text{Zn}^{2+}][\text{CN}^-]^4$; $[\text{CN}^-] = c_{\text{CN}} \cdot \alpha_{\text{CN}}$; $\alpha_{\text{CN}} = 1 / (1 + [\text{H}^+]/K_a) = 0.0476$; $[\text{Zn}(\text{CN})_4^{2-}] \approx c_{\text{Zn}}$;

отсюда $c_{\text{CN}} = \sqrt[4]{\frac{c_{\text{Zn}}}{\alpha^4 \beta [\text{Zn}^{2+}]}} = (0.01 / (0.048^4 \cdot 4 \cdot 10^{19} \cdot 1 \cdot 10^{-10}))^{1/4} = 0.026 \text{ М}$; к 100 мл надо добавить 0.0026

моль, или 0.17 г.

2. В точке экв. $c_{\text{Zn}} (\text{не с Y}) = c_{\text{Y}} (\text{не с Zn})$, или $[\text{Zn}^{2+}] = [\text{Y}^{4-}] / \alpha_{\text{Y}}$;

из выражения для β : $[\text{Y}^{4-}] = [\text{ZnY}] / \beta_{\text{ZnY}}[\text{Zn}^{2+}]$, но $[\text{ZnY}] \approx c_{\text{Zn}}$, тогда

$[\text{Zn}^{2+}] = (c_{\text{Zn}} / (\beta_{\text{ZnY}} \cdot \alpha_{\text{Y}}))^{1/2} = 9.6 \cdot 10^{-9} \text{ М}$.

3. Из выражений для констант устойчивости:

$$[\text{ZnY}] = \beta_{\text{ZnY}}[\text{Zn}^{2+}][\text{Y}^{4-}] \quad \text{и} \quad [\text{Zn}(\text{CN})_4^{2-}] = \beta_{\text{Zn}(\text{CN})_4^{2-}}[\text{Zn}^{2+}][\text{CN}^-]^4$$

Деля выражения друг на друга и сокращая концентрации свободного Zn^{2+} , получаем:

$$[\text{Zn}(\text{CN})_4^{2-}] / [\text{ZnY}] = \beta_{\text{Zn}(\text{CN})_4^{2-}}[\text{CN}^-]^4 / \beta_{\text{ZnY}}[\text{Y}^{4-}] = 99 \text{ по условию, тогда:}$$

$$[\text{CN}^-] = \sqrt[4]{\frac{\beta_{\text{ZnY}} \alpha_{\text{Y}} c_{\text{Y}}}{\beta_{\text{Zn}(\text{CN})_4^{2-}}}} = (2.0 \cdot 10^{16} \cdot 5.4 \cdot 10^{-3} \cdot 0.01 / 4.0 \cdot 10^{19})^{1/4} = 0.013 \text{ М}.$$

Это равновесная концентрация CN^- , а требуется рассчитать c_{CN} при pH 8.0:

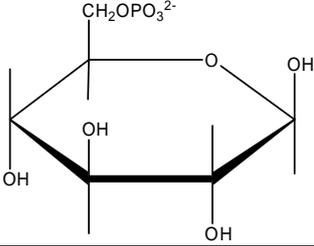
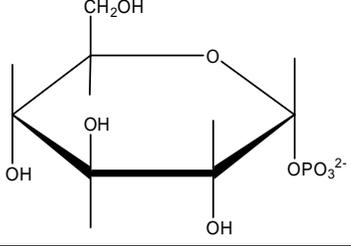
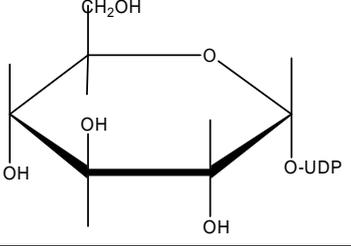
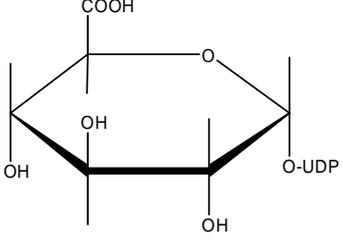
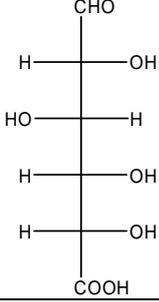
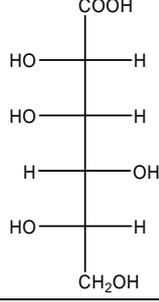
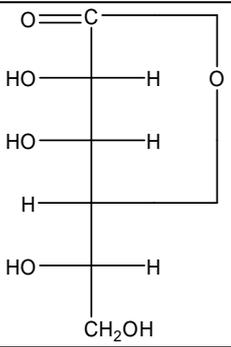
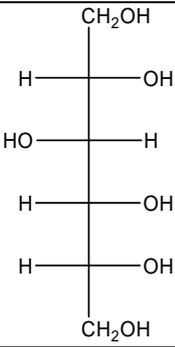
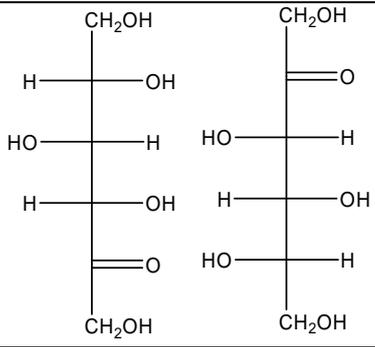
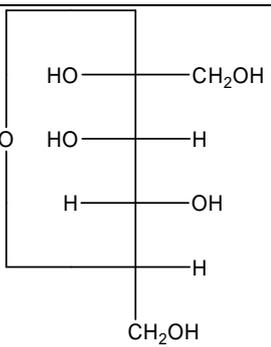
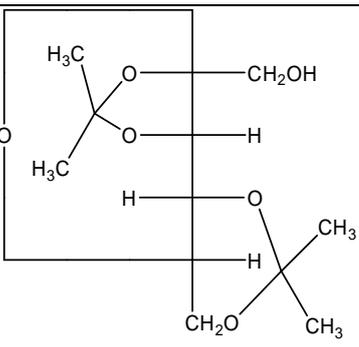
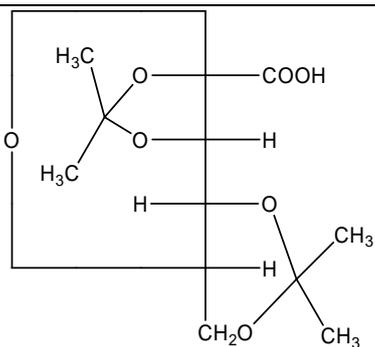
$$c_{\text{CN}} = [\text{CN}^-] / \alpha_{\text{CN}} = [\text{CN}^-] / 0.048 = 0.27 \text{ М},$$

что не превышает растворимости KCN. Ответ: можно использовать.

Биохимия – решение

Автор – А.К.Гладилин

Решение (каждая структура по 1 баллу)

А	В	UDP-D-Глюкоза
		
С	Д	Е
		
Ф	Г	Н
		
И	Ж	К
		
Л	М	Вит. С со стереохимией

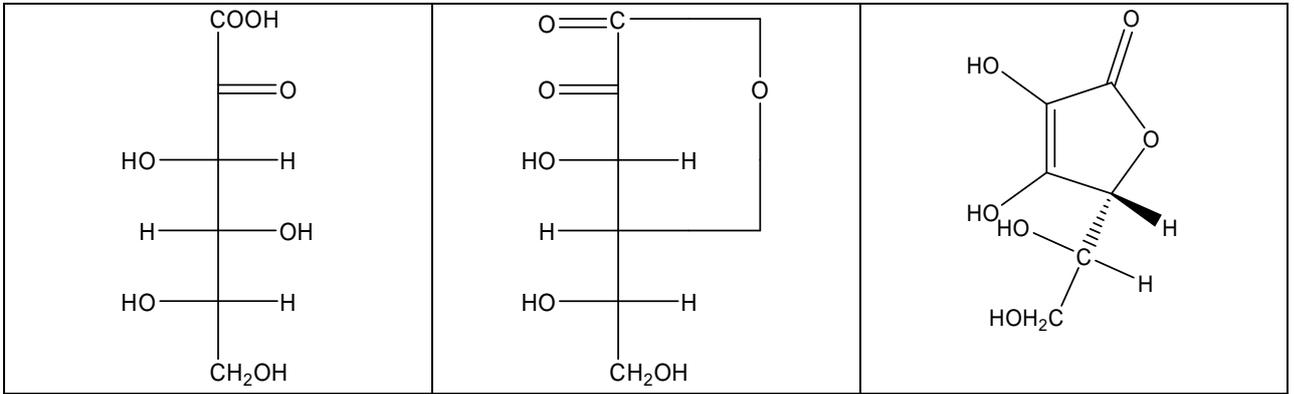
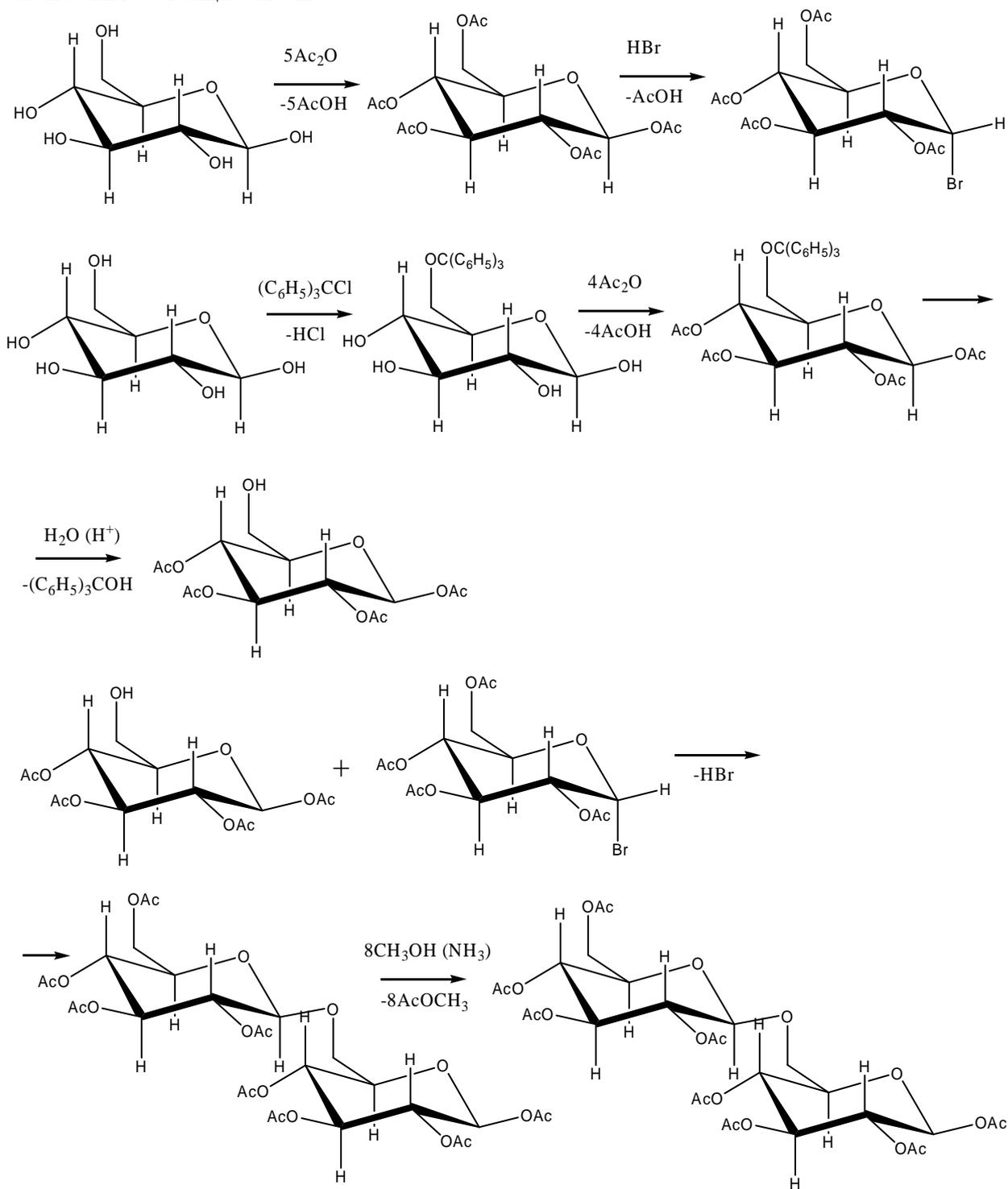


Схема синтеза генциобиозы.



- Разбалловка: правильное написание конформац. формул или проекций Хеурса – 0,5 балл
 Выбор правильного аномера – 2 x 0,5 балла, итого 1 балл
 Реакция ацилирования на первой стадии – 0,5 балл
 Последующая реакция в бромоводородом – 0,5балл
 Введение трифенилхлорметановой защиты – 1 балл
 Последующее ацилирование – 1 балл
 Снятие защиты с С-6 – 0,5 балла
 Снятие ацильных групп метанолом или водой – 0,5 балла
 Итого по Части 2 – 5.5 баллов
 Суммарно по задаче – 20.5 баллов

Нанохимия – решение

Автор – М.В.Коробов

Если $m = n$, то трубки принадлежат к семейству $\frac{n}{m} = 1$. Тогда

$$D = \sqrt{m^2 + n^2 + mn} \times \frac{\sqrt{3} \times \alpha}{\pi} = n \times \sqrt{\frac{m^2}{n^2} + 1 + \frac{m}{n}} \times \frac{\sqrt{3} \times \alpha}{\pi} = n \times \sqrt{3} \times \frac{\sqrt{3} \times \alpha}{\pi} =$$
$$= n \times \frac{3 \times \alpha}{\pi}; \quad (n = 1; 2; \dots)$$

Расстояние между стенками трубок в матрешке для семейства $\frac{n}{m} = 1$ равно

$$\frac{D_m - D_k}{2} = \frac{3\alpha}{2\pi} \times (n_m - n_k).$$

Расстояние между трубками должно лежать в интервале 0.34-0.36 нм. $\alpha=0.142$ нм.

Неравенство

$$0.33 < \frac{3\alpha}{\pi} (n_m - n_k) < 0.36$$

выполняется при $(n_m - n_k) = 5$.

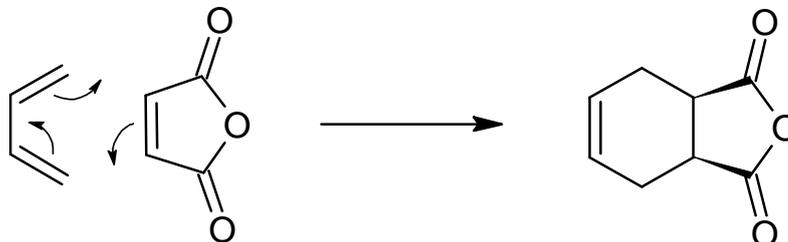
Можно утверждать, что трубки с $\frac{n}{m} = 1$ способны образовывать матрешку. Например,

внешняя трубка может иметь хиральность (8;8), а внутренняя – (3;3)

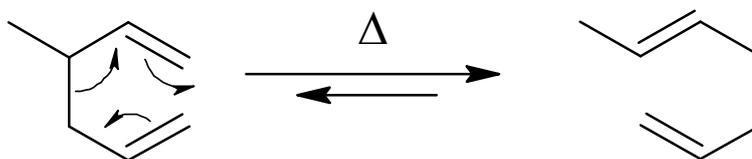
Органическая химия - решение

Автор – А.А.Зейфман

1. Это – классический пример реакции Дильса-Альдера. Она проходит диастереоспецифично:

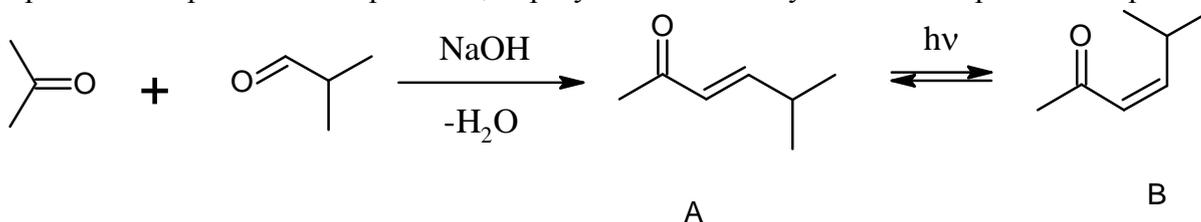


2. Термическая перегруппировка 3-метил-1,5-гексадиена:

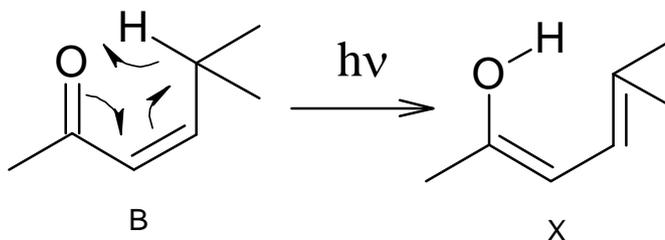


В результате реакции образуется более замещенный и, следовательно, более стабильный алкен.

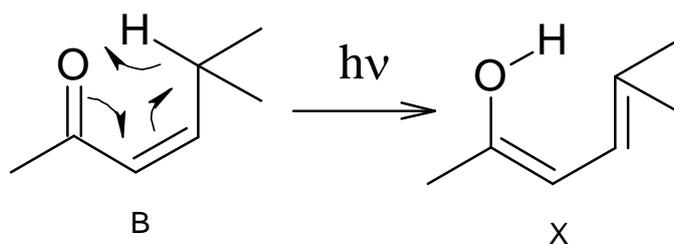
3. Первая реакция – обычная альдольно-кетоновая конденсация, при этом карбонильной компонентой выступает альдегид, т.к. его карбонильная группа более реакционноспособна. В этой реакции получается непредельный кетон А, который фотохимически изомеризуется в геометрический изомер В. Логично, что в ходе АКК, практически равновесной реакции, образуется наиболее устойчивый транс-изомер.



Итак, осталось понять, что представляет собой X. Оно нестабильно, изомерно непредельному кетону А, а также реагирует с дейтерометанолом. Введение дейтериевой метки в α -положение кетона напоминает о кето-енольной таутомерии. То, что произошло внедрение только одного атома дейтерия, подтверждает эту гипотезу. Механизм этой перегруппировки – [1,5]-гидридный сдвиг, проходящий через 6-членное ПС.

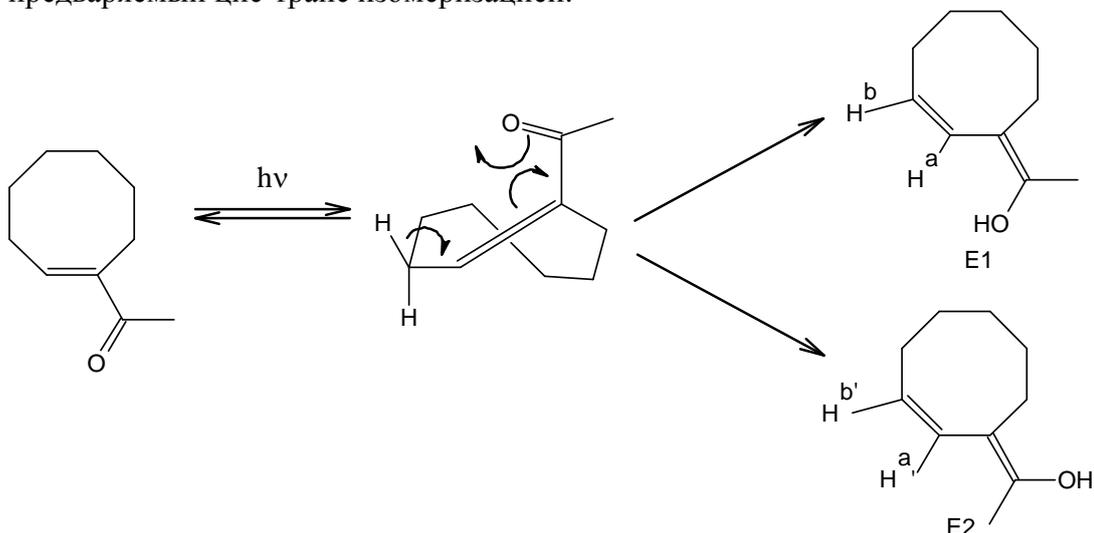


Присоединение к енольной форме дейтерометанола приводит к нужному продукту.

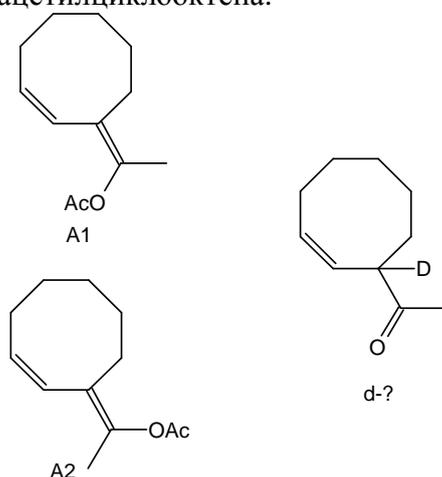


4.

5,6,7. Для 1-ацетилциклооктена проходит аналогичный гидридный сдвиг, предваряемый цис-транс изомеризацией:



Отличить E1 и E2 по ЯМР-спектру можно на основании хим.сдвигов протонов в области 6-7 м.д. Это – протоны H^a и $H^{a'}$. Из них в более слабом поле будет находиться протон H^a , поскольку у этого изомера атом кислорода пространственно ближе к водороду. Соединения A1 и A2 представляют собой ацетаты этих енолов, а d-? – продукт дейтерирования 3-ацетилциклооктена.



8. То же самое, потому что 2-ацетилциклооктен – это неправильно названный 1-АСО.

Полимеры – решение

Авторы – А.Беркович и Е.Карпушкин

Поликонденсация ω -аминогексановой кислоты ($d= 1.03$ г/мл) приводит к промышленно важному полимеру – нейлону-6 ($d= 1.14$ г/мл).

При проведении поликонденсации ω -аминогексановой кислоты в некоторый момент времени потеря массы реакционной смеси составила 13.07%. Остаточная влажность реакционной смеси при этом составила 0.12% (по весу).

1. Рассчитайте конверсию карбоксильных групп. (2 балла)

Для простоты проведем расчет для 1.000 г исходного мономера. В нем содержится $1.000/131.2 = 7.622 \cdot 10^{-3}$ моль карбоксильных групп. Рассчитаем количество выделившейся при конденсации воды. Ее масса складывается из непосредственной массы смеси ($0.1307 \cdot 1.000 = 0.1307$ г) и воды, содержащейся во влажной реакционной смеси $(1-0.1307) \cdot 0.0012 = 0.0010$ г, в сумме 0.1317 г или $7.309 \cdot 10^{-3}$ моль. Тогда конверсия карбоксильных групп равна $7.309/7.622 = \underline{0.9589}$ (так как при конденсации с участием 1 моль карбоксильных групп выделяется 1 моль воды).

2. При заданной конверсии рассчитайте среднечисловую степень полимеризации и среднечисловую молекулярную массу реакционной смеси. (1 балл)

При отсутствии побочных реакций среднечисловая степень полимеризации равна $\langle X \rangle = 1/(1-p) = \underline{24.33}$. Молярная масса повторяющегося фрагмента полимера равна 113.15 г/моль, поэтому среднечисловая молекулярная масса полимера будет равна $M = 113.15 \cdot 24.33 + 18.02 = \underline{2771}$.

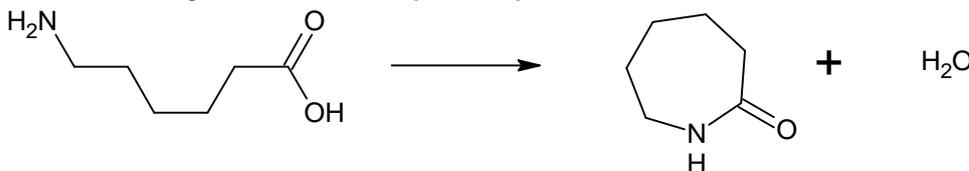
3. Рассчитайте мольную долю гомолога со степенью полимеризации, соответствующей среднечисловой степени полимеризации смеси. (1 балл)

Рассчитаем мольную долю 24-мера в смеси. Образование олигомера, включающего 24 звена, подразумевает, что на 23 прореагировавшие карбоксильные группы мономера приходится одна непрореагировавшая. При валовой конверсии (или, что то же самое, вероятности того, что произвольная карбоксильная группа в смеси прореагировала) 0.9589 вероятность наступления такого события, а значит, и мольная доля 24-мера равна $0.9589^{23}(1-0.9589) = \underline{0.0157}$.

Интересно, что молекул с наиболее вероятной степенью полимеризации в смеси менее 2%, то есть молекулярно-массовое распределение очень широко.

Экспериментально определенное значение среднечисловой степени полимеризации реакционной смеси оказалось равным 23.

4. Запишите уравнение наиболее значимой из побочных реакций, приводящей к такому отклонению. (1 балл)



Образование лактама приводит фактически к повышению кажущейся конверсии функциональных групп при неизменной степени полимеризации, то есть к занижению

степени полимеризации при заданной конверсии по сравнению с подсчетом, игнорирующим эту побочную реакцию.

5. Повлияет ли протекание этой побочной реакции на среднечисловую степень полимеризации полиамида при предельной конверсии ω -аминогексановой кислоты (не повлияет, увеличит, уменьшит)? Ответ подтвердите при необходимости расчетами и уравнениями реакций. (1 балл)

Нет, не повлияет. Реакция конденсации обратима, поэтому возможна переамидизация с участием лактама (фактически – полиприсоединение с раскрытием цикла), поэтому M_n и M_w финального продукта при предельной конверсии не зависят от протекания побочной реакции циклизации.

6. Рассчитайте предельно достижимую среднечисловую степень полимеризации при отсутствии побочных реакций в закрытой системе и при удалении воды (остаточная влажность 0.12% по весу). Константа равновесия реакции полиамидирования равна 1300. (2 балла)

а) в закрытой системе

$$K = \frac{[\text{COO}][\text{H}_2\text{O}]}{[\text{COOH}][\text{NH}_2]} = \frac{[\text{COO}]^2}{[\text{COOH}]^2} = \left(\frac{p}{1-p} \right)^2$$

Полученное выражение позволяет выразить p через K , а затем рассчитать и среднечисловую степень полимеризации: $\langle X \rangle = 1300^{1/2} + 1 \approx \underline{37}$.

б) в открытой системе.

$$K = \frac{[\text{COO}][\text{H}_2\text{O}]}{[\text{COOH}][\text{NH}_2]} = \frac{[\text{COO}]^2}{[\text{COOH}]^2} = \frac{p}{(1-p)^2} \frac{[\text{H}_2\text{O}]}{C_0}, \text{ откуда аналогичным образом}$$

выражаем p и рассчитываем $\langle X \rangle$

$$p = 1 + \frac{[\text{H}_2\text{O}]}{2C_0K} - \sqrt{\frac{[\text{H}_2\text{O}]}{C_0K} + \frac{[\text{H}_2\text{O}]^2}{2C_0^2K^2}} \approx 1 - 8.63 \cdot 10^{-5}$$

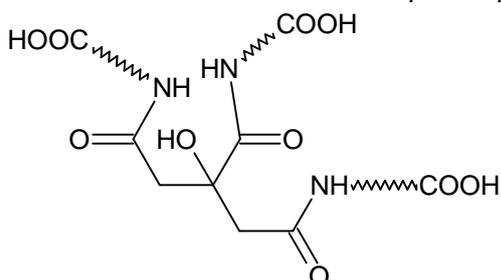
(начальная концентрация функциональных групп оценивается по плотности мономера, концентрация воды – по плотности полимера). $C_0 = 7.85$ моль/л, $[\text{H}_2\text{O}] = 7.59 \cdot 10^{-5}$ моль/л.

Тогда $\langle X \rangle = 1/(1-p) = 1/8.63 \cdot 10^{-5} = \underline{11600}$.

Для регулирования молекулярной массы полиамида в реакционную смесь была введена лимонная (2-гидрокси-1,2,3-пропантрикарбоновая) кислота – 0.1% по весу.

7. Изобразите строение образовавшегося полимера и рассчитайте предельно достижимую среднечисловую степень полимеризации реакционной смеси при конверсии аминогрупп, равной конверсии в условиях остаточной влажности 0.12 вес.% (вопр. 6) и отсутствии побочных реакций. (3 балла)

Схематически строение полученного полимера можно представить так (волнистыми линиями обозначены полимерные фрагменты):



Иначе говоря, каждая молекула полимера в смеси будет иметь три карбоксильные группы (одну карбоксильную группу несет исходный мономер).

Концентрация лимонной кислоты в мономере равна $0.001 \cdot 1030 / 192.12 = 0.00536$ моль/л.

Концентрация мономера равна 7.844 моль/л.

Таким образом, количество аминогрупп в 1 л исходной системы равно 7.844 моль, а карбоксильных групп – 7.860 моль.

При конверсии аминогрупп ($1 - 8.63 \cdot 10^{-5}$) в смеси останется $6.77 \cdot 10^{-4}$ моль непрореагировавшего мономера, а число полимерных молекул будет равно числу молекул лимонной кислоты ($5.36 \cdot 10^{-3}$ моль).

По определению среднечисловой степени полимеризации она равна отношению числа мономерных звеньев в системе (7.844 моль) к общему числу молекул ($5.36 \cdot 10^{-3}$ моль + $6.77 \cdot 10^{-4}$ моль), то есть $\langle X \rangle = 7.844 / 6.037 \cdot 10^{-3} = \underline{1299}$.

Строение молекул и квантовая химия – решение

Авторы – И.О.Глебов и В.В.Еремин

1. Что такое [6]аннулен? Напишите его общепринятое название (**0.5 балла**)

Бензол

2. Для [18]аннулена изобразите распределение электронов по уровням для основного и первого возбужденного состояния (**2 балла**)

3. Найдите энергию резонанса в [18]аннулене (выразите через α и β) (**2 балла**)

Расчет:

$$E_{\text{резон}} = 18(\alpha + \beta) - 2E_0 - 4E_1 - 4E_2 - 4E_3 - 4E_4 = (18 - 4 - 8\cos(20^\circ) - 8\cos(40^\circ) - 8\cos(60^\circ) - 8\cos(80^\circ))\beta = -3.03\beta$$

$$E_{\text{резон}} = -3.03\beta$$

Основное состояние

Первое возбужденное состояние

4. Ниже приведены волновые функции [10]аннулена в приближении Хюккеля. Для каждой из них определите число узлов и номер уровня n (учтите, что уровни с $n = 1-4$ двукратно вырождены)
(5 баллов)

Ψ	Число узлов	Номер уровня n
$0,138 \cdot \varphi_1 + 0,362 \cdot \varphi_2 + 0,447 \cdot \varphi_3 + 0,362 \cdot \varphi_4 + 0,138 \cdot \varphi_5 -$ $- 0,138 \cdot \varphi_6 - 0,362 \cdot \varphi_7 - 0,447 \cdot \varphi_8 - 0,362 \cdot \varphi_9 - 0,138 \cdot \varphi_{10}$	2	1
$0,316 \cdot \varphi_1 - 0,316 \cdot \varphi_2 + 0,316 \cdot \varphi_3 - 0,316 \cdot \varphi_4 + 0,316 \cdot \varphi_5 -$ $- 0,316 \cdot \varphi_6 + 0,316 \cdot \varphi_7 - 0,316 \cdot \varphi_8 + 0,316 \cdot \varphi_9 - 0,316 \cdot \varphi_{10}$	10	5
$0,263 \cdot \varphi_1 + 0,425 \cdot \varphi_2 - 0,425 \cdot \varphi_4 - 0,263 \cdot \varphi_5 + 0,263 \cdot \varphi_6 + 0,425 \cdot \varphi_7 - 0,425 \cdot \varphi_9 - 0,263 \cdot \varphi_{10}$	4	2
$0,263 \cdot \varphi_1 + 0,425 \cdot \varphi_2 + 0,425 \cdot \varphi_3 + 0,263 \cdot \varphi_4 - 0,263 \cdot \varphi_6 - 0,425 \cdot \varphi_7 - 0,425 \cdot \varphi_8 - 0,263 \cdot \varphi_9$	2	1
$0,263 \cdot \varphi_1 - 0,425 \cdot \varphi_2 + 0,425 \cdot \varphi_3 - 0,263 \cdot \varphi_4 + 0,263 \cdot \varphi_6 - 0,425 \cdot \varphi_7 + 0,425 \cdot \varphi_8 - 0,263 \cdot \varphi_9$	8	4
$0,138 \cdot \varphi_1 - 0,362 \cdot \varphi_2 + 0,447 \cdot \varphi_3 - 0,362 \cdot \varphi_4 + 0,138 \cdot \varphi_5 +$ $+ 0,138 \cdot \varphi_6 - 0,362 \cdot \varphi_7 + 0,447 \cdot \varphi_8 - 0,362 \cdot \varphi_9 + 0,138 \cdot \varphi_{10}$	8	4
$0,362 \cdot \varphi_1 - 0,362 \cdot \varphi_2 - 0,138 \cdot \varphi_3 + 0,447 \cdot \varphi_4 - 0,138 \cdot \varphi_5 -$ $- 0,362 \cdot \varphi_6 + 0,362 \cdot \varphi_7 + 0,138 \cdot \varphi_8 - 0,447 \cdot \varphi_9 + 0,138 \cdot \varphi_{10}$	6	3
$0,362 \cdot \varphi_1 + 0,362 \cdot \varphi_2 - 0,138 \cdot \varphi_3 - 0,447 \cdot \varphi_4 - 0,138 \cdot \varphi_5 +$ $+ 0,362 \cdot \varphi_6 + 0,362 \cdot \varphi_7 - 0,138 \cdot \varphi_8 - 0,447 \cdot \varphi_9 - 0,138 \cdot \varphi_{10}$	4	2
$0,316 \cdot \varphi_1 + 0,316 \cdot \varphi_2 + 0,316 \cdot \varphi_3 + 0,316 \cdot \varphi_4 + 0,316 \cdot \varphi_5 +$ $+ 0,316 \cdot \varphi_6 + 0,316 \cdot \varphi_7 + 0,316 \cdot \varphi_8 + 0,316 \cdot \varphi_9 + 0,316 \cdot \varphi_{10}$	0	0
$0,263 \cdot \varphi_1 - 0,425 \cdot \varphi_2 + 0,425 \cdot \varphi_4 - 0,263 \cdot \varphi_5 - 0,263 \cdot \varphi_6 + 0,425 \cdot \varphi_7 - 0,425 \cdot \varphi_9 + 0,263 \cdot \varphi_{10}$	6	3

5. В электронном спектре [18]аннулена максимум наблюдается при 342 нм.

а) Найдите значение β (в кДж/моль) (2 балла)

Расчет:

$$E = E_{\text{НСМО}} - E_{\text{ВЗМО}} = E_5 - E_4 = \alpha + 2 \cos(100^\circ) \beta - \alpha - 2 \cos(80^\circ) \beta = -4 \cos(80^\circ) \beta$$

$$E = hcN_A / \lambda$$

$$\beta = -hcN_A / (4 \cos(80^\circ) \lambda) = -491 \text{ кДж/моль}$$

б) Найдите радиус [18]аннулена r , считая что к нему можно применить модель частицы на окружности. Уровни энергии для нее имеют вид:

$$E_n = \frac{\hbar^2 n^2}{2mr^2},$$

Все уровни энергии, кроме 0-го, двукратно вырождены. **(2 балла)**

Расчет:

18 π -электронов занимают уровни с 0-го по 4-й.

$$hc / \lambda = E_5 - E_4 = \frac{9\hbar^2}{2mr^2}$$

$$r = \left(\frac{9\hbar^2 \lambda}{2mhc} \right)^{1/2} = \left(\frac{9\hbar \lambda}{4\pi mc} \right)^{1/2} = \left(\frac{9 \cdot 1.05 \cdot 10^{-34} \cdot 342 \cdot 10^{-9}}{4\pi \cdot 9.11 \cdot 10^{-31} \cdot 3.00 \cdot 10^8} \right)^{1/2} = 3.07 \cdot 10^{-10} \text{ м} = 0.307 \text{ нм}$$

в) Максимум в спектре поглощения бензола находится при 250 нм. Во сколько раз $|\beta|$ для бензола меньше аналогичного значения для [18]аннулена **(2 балла)**

Расчет:

$$\frac{hc}{\lambda_{\text{бенз}}} = E_2 - E_1 = 2\beta_{\text{бенз}} \left(\cos\left(\frac{2\pi}{3}\right) - \cos\left(\frac{\pi}{3}\right) \right) = -2\beta_{\text{бенз}}$$

$$\frac{hc}{\lambda_{[18]}} = E_5 - E_4 = 2\beta_{[18]} \left(\cos\left(\frac{5\pi}{9}\right) - \cos\left(\frac{4\pi}{9}\right) \right) = -0.6946\beta_{[18]}$$

$$\frac{|\beta_{[18]}|}{|\beta_{\text{бенз}}|} = E_2 - E_1 = \frac{2\lambda_{\text{бенз}}}{0.6946\lambda_{[18]}} = 2.10$$

Термодинамика – решение

Автор – А.С.Белов

1. за вопрос – **6 баллов**

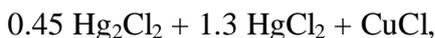
Конечный состав можно представить в виде



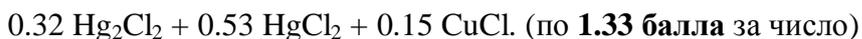
поэтому нужно выяснить, в какую сторону пойдет реакция, заключенная в скобки. Эта реакция – комбинация $(-(2)+(1)+(3)-(4))$ реакций из условия и ее термодинамические характеристики таковы (по **0.67 балла** за число):

$$\Delta H^\circ_{298} = 29.66 \frac{\text{кДж}}{\text{моль}} \quad \Delta S^\circ_{298} = -27.68 \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \times \text{К}} \quad \Delta G^\circ_{298} = 37.91 \frac{\text{кДж}}{\text{моль}}$$

$\Delta G^\circ_{298} > 0$, значит реакция пойдет в сторону образования CuCl и HgCl_2 , и состав смеси будет таков:



или, в массовых долях,



2. за вопрос – **5 баллов**

электронейтральность: $[\text{Cu}^+] = [\text{NCS}^-] + [\text{I}^-]$ (**1 балл**)

равновесие: $[\text{Cu}^+][\text{NCS}^-] = K_{S,1}$ $[\text{Cu}^+][\text{I}^-] = K_{S,2}$ (**0.5 балла** за каждое)

$$[\text{Cu}^+]^2 = [\text{Cu}^+][\text{NCS}^-] + [\text{Cu}^+][\text{I}^-] = K_{S,1} + K_{S,2}$$

$$[\text{Cu}^+] = (K_{S,1} + K_{S,2})^{1/2} = 1.19 \cdot 10^{-6} \text{ М. (1.5 балла)}$$

$$E = E^\circ + RT/F \ln[\text{Cu}^+] = 0.171 \text{ В. (1.5 балла)}$$

3. за вопрос – **5 баллов**

Суммарная кинетическая энергия атомов при установлении равновесия не меняется, поэтому, в соответствии с теоремой о распределении энергии по степеням свободы, справедливо равенство:

$$\omega_1 \frac{m_1 V^2}{2} + \omega_2 \frac{m_2 V^2}{2} = \frac{3}{2} kT$$

Отсюда

$$V = \sqrt{\frac{3kT}{\omega_1 m_1 + \omega_2 m_2}} = \sqrt{\frac{3kT}{\langle m \rangle}} = \sqrt{\frac{3RT}{\langle M \rangle}} = 944 \text{ м/с}$$

Данные

CuCl

$\Delta_f H^\circ_{\text{solid}}$ -138.07 kJ/mol Review Chase, 1998 Data last reviewed in March,
 S°_{solid} 87.04 J/mol*K Review Chase, 1998 Data last reviewed in March, 1966

CuCl₂

$\Delta_f H^\circ_{\text{solid}}$ -205.85 kJ/mol Review Chase, 1998 Data last reviewed in March,
 S°_{solid} 108.06 J/mol*K Review Chase, 1998 Data last reviewed in March, 1966

HgCl₂

$\Delta_f H^\circ_{\text{solid}}$ -230.12 kJ/mol Review Chase, 1998 Data last reviewed in March,
 S°_{solid} 144.50 J/mol*K Review Chase, 1998 Data last reviewed in March, 1962

Hg₂Cl₂

$\Delta_f H^\circ_{\text{solid}}$ -265.37 ± 0.40 kJ/mol Review Cox, Wagman, et al., 1984 CODATA
 $S^\circ_{\text{solid, 1 bar}}$ 191.6 ± 0.8 J/mol*K Review Cox, Wagman, et al., 1984

Cu

S°_{solid} 33.17 J/mol*K Review Chase, 1998 Data last reviewed in June, 1977

Cl₂

$S^\circ_{\text{gas, 1 bar}}$ 223.081 ± 0.010 J/mol*K Review Cox, Wagman, et al., 1984

Hg

S°_{liquid} 75.90 ± 0.12 J/mol*K Review Cox, Wagman, et al., 1984