

Министерство науки и высшего образования РФ
ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет»
Химический институт им. А.М. Бутлерова

**МЕЖРЕГИОНАЛЬНАЯ ПРЕДМЕТНАЯ ОЛИМПИАДА
КАЗАНСКОГО ФЕДЕРАЛЬНОГО УНИВЕРСИТЕТА
ПО ПРЕДМЕТУ «ХИМИЯ»**

Очный тур

2024-2025 учебный год

Задания для 10 и 11 классов

Казань – 2025

Содержание:

10 класс.....	1
11 класс.....	6

Рекомендации

Максимальный балл за каждую задачу – 25.

При решении расчётных задач желательно использовать численные значения с точностью до четырёх значащих цифр. Особенно это касается относительных **атомных масс**, которые рекомендуется использовать с **точностью до сотых**.

Успехов!

Серов Н.Ю., Курамшин Б.К.

Задача 1. Таинственные комплексы

Металлический марганец при растворении в растворе соляной кислоты образует вещество **A**, выделяющееся из раствора в виде гидратов **A₁** или **A₂**. Гидрат **A₁** состоит из отдельных полярных молекул, имеющих форму октаэдра, и не содержит дополнительных молекул воды, кроме координированных к металлу. Структура гидрата **A₂** – линейный полимер, в котором каждый хлорид-ион является мостиковым между соседними атомами марганца, а завершают оболочку марганца до КЧ 6 молекулы воды.

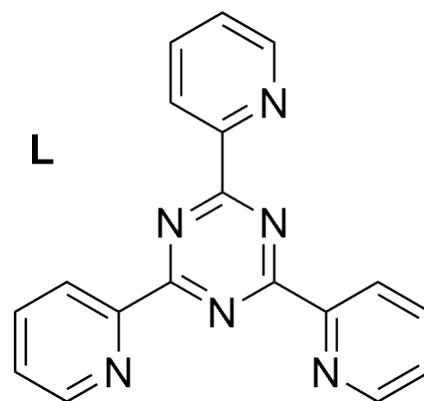
?1. Запишите реакцию растворения металлического марганца и определите формулы **A₁** и **A₂**. Изобразите их структуры с указанием геометрии.

Раствор **A** получается также при растворении в горячей концентрированной соляной кислоте вещества **B** черного цвета. Единственный побочный продукт реакции, кроме воды – желто-зеленый газ. **B** содержит марганец в двух соседних степенях окисления.

?2. Какова формула **B**? Как называется природный минерал, образованный веществом **B**? Запишите уравнение описанной реакции.

?3. Какова электронная конфигурация валентных электронов двух типов ионов марганца в составе **B**?

Взаимодействие водного раствора **A** с лигандом **L** даёт нейтральный комплекс **B**, содержащий 47,39% С и 3,09% Н. Нитрат марганца(II) с **L** в метаноле образует либо комплекс **Г** (43,61% С, 3,08% Н), либо комплекс **Д** (43,25% С, 3,63% Н). Интересно, что ацетат марганца(II) в реакции с тем же лигандом **L** даёт комплекс **Е**, содержащий несколько атомов марганца и 50,41% С. Структура **Е** содержит центр симметрии, причем все атомы марганца имеют КЧ 6, а часть атомов кислорода ацетат-ионов – мостиковые. В комплексах **B–Е** лиганд **L** выступает как тридентатный лиганд, в структурах его можно схематически изображать следующим образом:



?4. Определите формулы комплексов **B**, **Г**, **Д**, **Е**; **L** можете записывать в виде брутто-формулы.

?5. Изобразите структуры возможных геометрических изомеров **B**.

?6. Изобразите структуру **E**.

Задача 2. Загадочные вещества

Вещество **X** – бесцветное твердое вещество, разлагающееся даже при небольшом нагревании. Выдерживание 131,0 мг **X** при 500°C даёт смесь газов с плотностью по водороду 15,5 и 71,2 мг вещества **Y**. Выдерживание полученного **Y** при 1300°C даёт 28,8 мг **Z**. **Y** при помещении в соляную кислоту выделяет бесцветный газ. **Z** на воздухе реагирует с содержащимися в нем веществами и постепенно превращается в смесь **Y** и **U**.

Вещество **Z** используется в синтезе различных веществ. Так, при взаимодействии с Al_2O_3 **Z** даёт такие вещества как **A**₁ ($w(Al) = 50,00\%$) или **A**₂ ($w(Al) = 40,93\%$). Сплавление с MnO_2 в зависимости от условий даёт целый ряд различных веществ, таких как **M**₁ и **M**₂, причем 1,000 г **M**₁ выделяет из горячей концентрированной HCl 185,8 мл, а 1,000 г **M**₂ – 191,7 мл газа (при н.у.). Взаимодействием с диоксидом **G** в массовых соотношениях 1:24.51 и 1:15.76 даёт вещества **G**₁ и **G**₂, соответственно.

?1. Определите неизвестные вещества **Z**, **Y**, **G**, **A**₁, **A**₂, **M**₁, **M**₂, **G**₁, **G**₂, **U**.

?2. В качестве каких материалов изучаются вещества, подобные **A**₁, **A**₂, **M**₁, **M**₂, **G**₁, **G**₂?

?3. Запишите уравнения реакций:

- синтеза **M**₁;

- взаимодействия **M**₁ с соляной кислотой.

Известно, что растворение вещества **X** в сернокислом растворе перманганата калия сопровождается его обесцвечиванием и выделением газа без цвета и запаха с плотность по водороду 20. **X** представляет собой сольват.

?4. Определите формулу **X**. Изобразите структурные формулы ионов и сольватных молекул, из которых состоит **X**.

Можно получить растворы веществ **X**₁ и **X**₂, простейшие формулы которых совпадают с **X**. Раствор **X**₂ при хранении превращается в раствор **X**₁.

?5. Определите формулы веществ **X**₁ и **X**₂, изобразите структурные формулы ионов, из которых они состоят. Предложите способ получения обоих растворов из **U** и доступных реагентов.

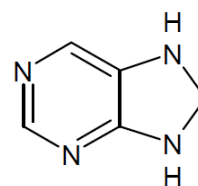
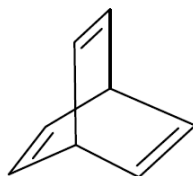
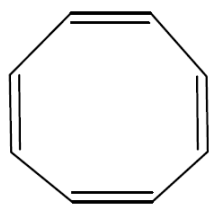
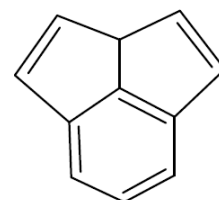
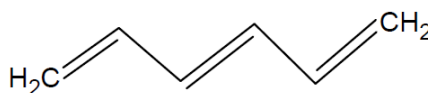
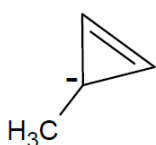
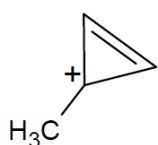
Задача 3. За и против ароматики

Правило Хюккеля – это совокупность критериев, которая определяет наличие ароматичности. Согласно этому правилу, соединение обладает ароматичностью если оно имеет:

- 1) плоскую геометрию строения;
- 2) замкнутую π -систему сопряжённых связей, в которую могут входить как двойные связи, заряженные атомы, так и гетероатомы с неподелёнными электронными парами;
- 3) количество π электронов равно $4n+2$.

В случае, когда первые два критерия выполняются и в системе присутствует $4n$ π электронов, такие соединения относят к антиароматичным неустойчивым веществам. Однако, если молекула способна принять в пространстве неплоскую структуру, тогда вещество становится неароматичным. При невыполнении одного из трёх критериев правила Хюккеля соединение не обладает ароматичностью и его относят к неароматичным.

?1. Объясните с помощью правила Хюккеля какие из приведённых ниже соединений можно отнести к ароматичным, антиароматичным и неароматичным? Кратко поясните свой выбор.

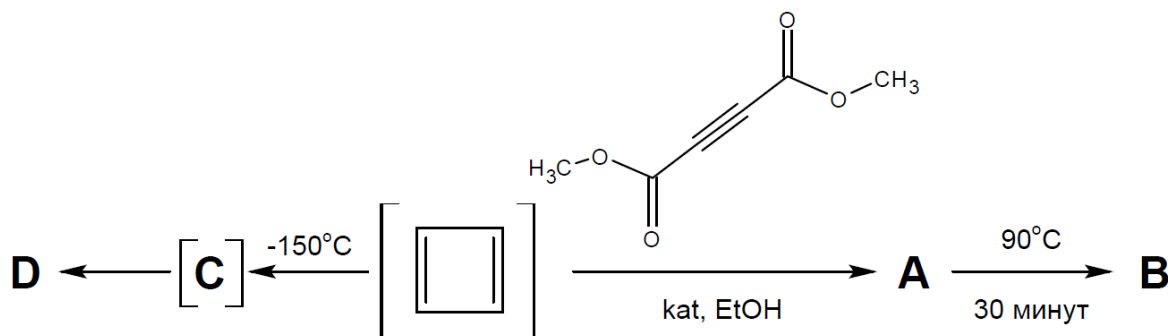


Несмотря на то, что полностью *цис*-циклодекапентаен обладает количеством электронов, удовлетворяющим $4n+2$, соединение не является ароматичным из-за неплоского строения. Добиться ароматичности можно, введя в молекулу метиленовый мостик в положение 1,6 (конфигурация двойных связей: *транс*, *цис*, *цис*, *транс*, *цис*).

?2. Нарисуйте формулу двух упомянутых геометрических изомеров циклодекапентаена. Объясните, почему для молекулы соединения (конфигурация

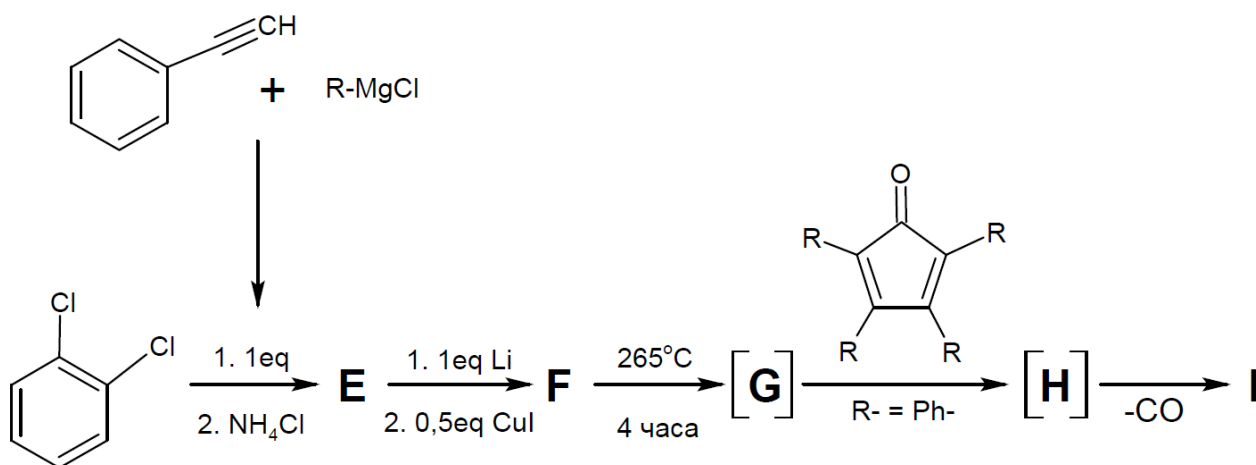
всех двойных связей *цис*) наблюдается неплоская геометрия? Подсказка: необходимо рассмотреть углы в цикле между углеродами.

Циклобутадиен – антиароматичное соединение. Из-за крайней неустойчивости он является высоко реакционноспособным. Так, циклобутадиен способен к димеризации даже при пониженной температуре, а в присутствии алкинов с акцепторными группами вступает в реакцию [2+2] циклоприсоединения.



?3. Приведите формулы соединений А-Д.

Производные бутадиена с объёмными заместителями могут быть получены на практике, однако они также, как и С, быстро превращаются в большие циклы:



?4. Приведите формулы соединений Е-І.

Задача 4. В поисках равновесия

Меллитин – пептид, состоящий из последовательности 26 аминокислот. Вблизи биологических значений рН он способен существовать в трех формах различной протонированности (обозначим их H_2X^{2+} , HX^+ , X), а также способен к тетрамеризации с образованием $(\text{X})_4$.

На основании исследований разбавленных растворов, в которых тетрамеризация не происходит, были определены константы кислотности H_2X^{2+} : $K_{a1} = 10^{-7,5}$, $K_{a2} = 10^{-8,5}$.

?1. При каких рН более 99% меллитина находится в непротонированной форме (X)? Приведите ваши выкладки.

?2. Как влияет рН на тетрамеризацию меллитина? Ответ кратко объясните.

На тетрамеризацию меллитина влияет рН и температура. Так, при одной и той же температуре 25°C $\Delta_r G^\circ$ процесса тетрамеризации при изменении рН от 4 до 9,5 изменяется на 3,6 ккал/моль.

?3. Во сколько раз отличаются константы равновесия тетрамеризации при указанных рН? *Полезная информация:* 1 кал = 4,184 Дж.

При фиксированном рН при изменении температуры от 20 до 30°C $\Delta_r G^\circ$ процесса тетрамеризации уменьшилась на 0,35 ккал/моль.

?4. Какую величину можно рассчитать из приведенных данных – энтропию или энтальпию тетрамеризации? Рассчитайте её.

?5. Можно ли рассчитать по указанным данным, во сколько раз изменилась константа равновесия тетрамеризации при изменении температуры от 20 до 30°C? Если да – рассчитайте, если нет – покажите, почему.

В некотором опыте использовался раствор, в котором отсутствуют протонированные формы меллитина. Оказалось, что при общей концентрации меллитина 0,2 мМ равновесные концентрации тетрамера (X)₄ и мономера X равны.

?6. Рассчитайте константу равновесия $4 X \rightleftharpoons X_4$ в указанном опыте. Помните, что необходимо подставлять в константу равновесия концентрации, выраженные в моль/л.

?7. Насколько изменится равновесная концентрация тетрамера в этом растворе, если в систему добавить 1 мкмоль/л меллитина и дождаться установления равновесия?

Необходимые формулы:

$$pH = -\lg[H^+]$$

$$\Delta G^\circ = \Delta H^\circ - T\Delta S^\circ$$

$$\Delta G^\circ = -RT \cdot \ln K$$

11 класс

Задача 1. Непростые полимеры

Вещества X_1 , X_2 и X_3 – координационные полимеры, которые получают по реакции органического бескислородного вещества L с солями A (для получения X_1), B и B (для получения X_2), A и B (для получения X_3) в метаноле.

Вещество L при обычных условиях – твердое белое вещество. При сжигании 1,000 г L в кислороде образуется 1,722 л газов (при 25°C и 1 атм) и 461 мг воды. При пропускании газов в раствор КОН объём газа уменьшается в 11 раз. L состоит из плоских молекул, которые в структуре полимера способны быть линейным мостиком (в отличие от 5 других изомеров L , которые вместе с L принято объединять в группу лигандов с общим названием).

?1. Определите брутто-формулу L , приведите ваши расчеты.

?2. Изобразите структуру L и 5 его изомеров. Как называют эту группу лигандов?

?3. Какой тип межмолекулярных взаимодействий обуславливает твердое агрегатное состояние L ?

Для $X_1 - X_3$ известен массовый C, H, N, S состав:

	w(C), %	w(H), %	w(N), %	w(S), %
X_1	14,67	0,99	10,27	0
X_2	20,94	1,00	10,47	15,97
X_3	27,33	1,67	11,59	6,63

Помимо указанных элементов эти вещества содержат только металл и (некоторые) кислород. $X_1 - X_3$ не содержат молекул растворителя.

?4. Определите металл, содержащийся в этих соединениях, и формулы $X_1 - X_3$ (в виде, соответствующем их составу – с выделением содержащихся в них ионов и лигандов).

Согласно методике, в реакции получения X_1 для реакции с 100 мг L берут 424 мг A ; при получении X_2 с 100 мг L смешивают 417 мг B и 249 мг B .

?5. Определите формулы солей A , B и B .

В структуре X_3 каждый однозарядный анион – мостиковый, причем один тип анионов координируется к каждому металлу одним донорным атомом, а другой тип анионов – сразу двумя донорными атомами к каждому из двух атомов металлов, с которыми он связан. L в структуре X_3 также является мостиковым.

?6. Каково координационное число атома металла в структуре X_3 ?

Один из изомеров **L**, упомянутых выше, реагирует с метанольным раствором, содержащим две соли из трех, использовавшихся в качестве исходников при синтезе **X**₁ – **X**₃ с образованием нейтрального молекулярного комплекса **X**₄. КЧ металла в **X**₄ равно 5. Плотность **X**₄ равна 2,242 г/см³, параметры элементарной ячейки: $a = 6,543 \text{ \AA}$, $b = 13,575 \text{ \AA}$, $c = 16,172 \text{ \AA}$, $\beta = 97,56^\circ$.

7. Определите формулу **X**₄, изобразите его структурную формулу.

Задача 2. ИИ расправил плечи

У ней внутри думатель!

Химик Умар продолжал эксперименты. Кривизна собственных ручек не позволяла экспериментировать с настоящими веществами, однако стоящий в лаборатории компьютер с доступом к Отечественному Современному Сверхпроизводительному Искусственному Интеллекту (в лаборатории было принято сокращать его до ИИ) позволял Умару забавляться в теории.

Умар попросил ИИ рассказать ему о веществе **X**. ИИ выдал 7 реплик:

(1) Красное твердое бинарное вещество **X** с углем в токе хлора при нагревании даёт тяжелые пары, которые конденсируются в твердое бинарное вещество, растворимое в воде.

(2) Вещество **X** содержит 30,1% кислорода.

(3) Вещество **X** реагирует с твёрдым КОН при нагревании с образованием трёхэлементного вещества, которое в воде даёт осадок гидратированного оксида. Последний растворим в концентрированных щелочах.

(4) Раствор, полученный из бинарного вещества **X** и раствора КОН, при соответствующем рН содержит шестизарядные анионы, содержащие несколько атомов металла. Аналогичные анионы образует в растворе аналог металла, содержащегося в **X**, по группе.

(5) Вещество **X** содержит элемент 6 периода и хлор.

(6) Вещество **X** содержит 53,6% одного из элементов и имеет темную окраску.

(7) В составе **X** присутствует четвертичный аммониевый катион, содержащий две пары одинаковых алкильных радикалов. **X** получается при восстановлении метанолом трихлорида металла сложного олигомерного строения в присутствии четвертичной аммониевой соли.

Умар долго пытался оправиться от потока нахлынувших противоречий, после чего выяснил у научного руководителя, что ИИ помнит исходный запрос только три реплики подряд. То есть при составлении, например, реплики 4 ИИ ориентируется только на информацию реплик 2 и 3 и рассказывает о любом

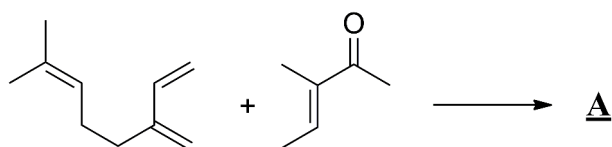
объекте, удовлетворяющем им. Так и получилось, что всего ИИ описал 5 разных веществ!

?1. Определите формулы всех неизвестных веществ, описанных в тройках подряд идущих реплик.

?2. Запишите уравнения всех описанных реакций для каждого из загаданных веществ.

Задача 3. В получении ароматов

В 1959 году Олофф в поиске соединений, идентичных компонентам природных эфирных масел, используя реакцию Дильса-Альдера, получил АмбRELЮКС (A):



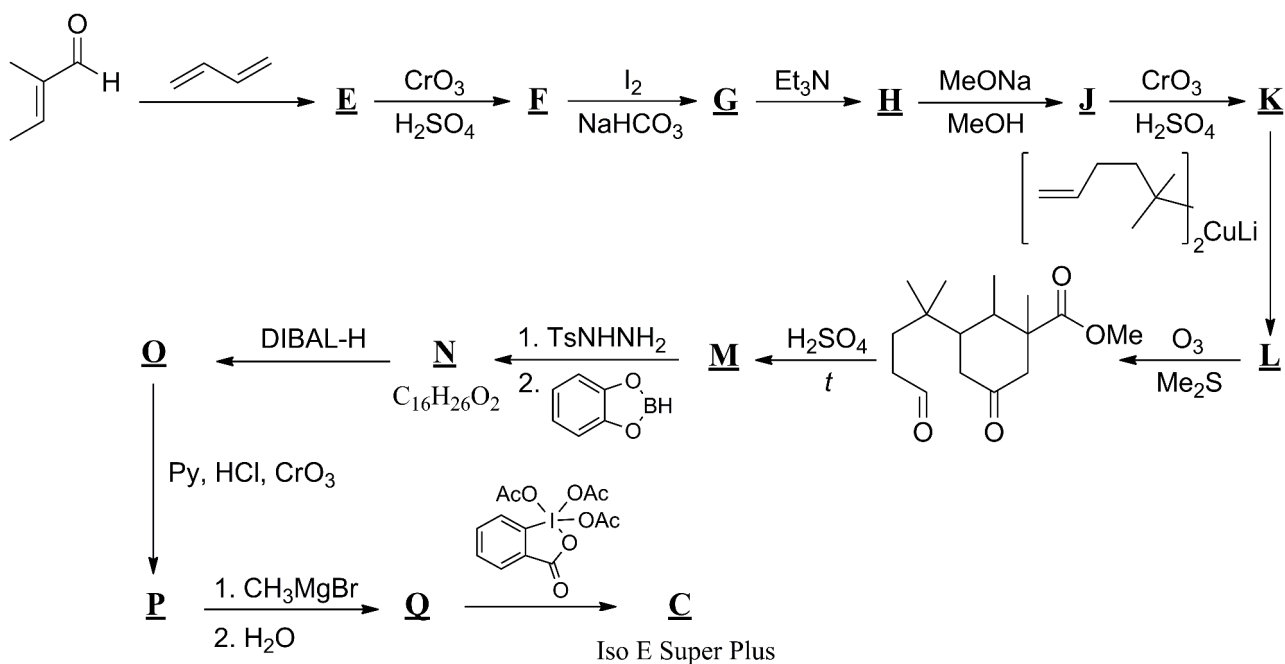
?1. Приведите структурную формулу соединения A.

16 лет спустя Холл и Сандерс установили, что при обработке A фосфорной кислотой происходит катионная циклизация, в результате которой в сопоставимых количествах образуются соединения B, C и D, известные в настоящее время как Iso E Super®, Iso E Super Plus® и Georgywood® и входящие в состав многих знаменитых ароматов. Известно, что циклизация с образованием C и D предваряется миграцией двойной связи в составе цикла, а из трёх этих соединений только C при озоноллизе даёт альдегид.

?2. Приведите структурные формулы соединений B, C и D.

?3. Соединения B, C и D содержат несколько хиральных центров. Какое число оптических изомеров имеет каждое из этих соединений?

В 2006 Хонг и Кори предложили способ стереоселективного синтеза наиболее подходящего для задач парфюмерии стереоизомера Iso E Super Plus® (C) на основе следующей последовательности превращений:



*DIBAL-H – диизобутилалюминийгидрид; Py – пиридин; Ts – *para*-CH₃C₆H₄SO₂

?4. Приведите структурные формулы соединений **E-Q**. Stereoхимию указывать необязательно.

Задача 4. Плавься вещество большое и маленькое

Плавление и кристаллизация – процессы, которые нашли широчайшее применение в различных областях промышленности. Они используются в ходе очистки веществ, получения нужных форм лекарственных препаратов, формовке изделий из сплавов и полимеров, для охлаждения и обогрева. Неудивительно, что проблематике плавления и кристаллизации посвящено большое число исследований, а одна из первых характеристик, которую определяют для впервые синтезированных веществ, – температура плавления.

С точки зрения термодинамики плавление происходит, когда свободная энергия Гиббса процесса плавления становится отрицательной. Так как эта величина зависит от температуры, вещества, как правило, плавятся в единственной точке, где выполняется требуемое условие.

?1. Рассчитайте температуру плавления адамантана, если для этого вещества $\Delta_{пл}H^\circ = 10,9$ кДж моль⁻¹ и $\Delta_{пл}S^\circ = 20,1$ Дж моль⁻¹ К⁻¹.

Циклы плавления-кристаллизации можно использовать для аккумуляции тепла. Там, где в течение суток происходит большой перепад температур, используются ёмкости, заполненные легкоплавким веществом. В жаркий день за счёт энергии солнца оно плавится, а ночью, когда температура опускается ниже температуры плавления, кристаллизуются, выделяя тепло. Для создания подобных систем используют алканы, жирные эфиры и сахара.

Вещество	$T_{пл} / ^\circ\text{C}$	$\Delta_{пл}H^\circ / \text{кДж моль}^{-1}$	$\rho / \text{г см}^{-3}$
<i>n</i> -эйкозан	35,9	67,8	0,78
триглицерид миристиновой кислоты	57,0	152,2	0,86
ксилит	93,0	37,6	1,52

?2. Приведите брутто-формулы веществ, представленных в таблице, учитывая, что систематическое название миристиновой кислоты – тетрадекановая кислота, а ксилит – многоатомный спирт, получаемый восстановлением ксилозы, изомерной рибозе.

?3. Укажите, какое из представленных в таблице соединений обладает наибольшей эффективностью аккумуляции тепла в расчёте на а) единицу массы; б) единицу объёма. Приведите ваши расчёты.

?4. Температуры плавления триглицерида миристиновой кислоты и ксилита достаточно высоки. Каким образом можно снизить температуру плавления этих соединений, чтобы солнечного тепла было достаточно для перевода этих веществ в расплав?

Если охладить вещество ниже температуры плавления, оно закристаллизуется не мгновенно, так как этот процесс требует упорядочивания молекул. При этом дальнейшее понижение температуры делает процесс более выгодным с точки зрения термодинамики, но повышает вязкость системы, снижая подвижность молекул. Поэтому скорость кристаллизации имеет сложную температурную зависимость:

$$r = \text{const} \cdot e^{-\frac{E_D}{RT}} \cdot \left(1 - e^{-\frac{\Delta_{пл}G^\circ}{RT}}\right),$$

где E_D – энергия активации диффузии, $\Delta_{пл}G^\circ$ – свободная энергия Гиббса плавления. По причине такой сложной зависимости для каждого вещества существует температура, при которой скорость его кристаллизации максимальна.

?5. Выразите температуру T_{\max} , соответствующую максимуму скорости кристаллизации, через величины E_D , R , $\Delta_{пл}H^\circ$ и $\Delta_{пл}S^\circ$ и рассчитайте эту температуру для бензокаина ($E_D = 25,0 \text{ кДж моль}^{-1}$, R , $\Delta_{пл}H^\circ = 23,6 \text{ кДж моль}^{-1}$ и $\Delta_{пл}S^\circ = 55,0 \text{ Дж моль}^{-1} \text{ K}^{-1}$).

Если экспериментально определять скорость кристаллизации при разных температурах, а потом описывать полученные данные уравнением Аррениуса, то окажется, что определяемая таким образом энергия активации зависит от температуры.

?6. Выразите кажущуюся энергию активации через E_D , R и $\Delta_{пл}H^\circ$ и рассчитайте эту величину для бензокаина при $T = 0,6T_{пл}$ и $T = 0,95T_{пл}$.

Необходимые формулы:

$$\Delta G^\circ = \Delta H^\circ - T\Delta S^\circ$$

ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИЙ РЯД НАПРЯЖЕНИЙ МЕТАЛЛОВ

Li, Rb, K, Cs, Ba, Sr, Ca, Na, Mg, Be, Al, Mn, Zn, Cr, Fe, Cd, Co, Ni, Pb, (H), Bi, Cu, Hg, Ag, Pd, Pt, Au

РАСТВОРИМОСТЬ СОЛЕЙ, КИСЛОТ И ОСНОВАНИЙ В ВОДЕ

анион катион	OH ⁻	NO ₃ ⁻	F ⁻	Cl ⁻	Br ⁻	I ⁻	S ²⁻	SO ₃ ²⁻	SO ₄ ²⁻	CO ₃ ²⁻	SiO ₃ ²⁻	PO ₄ ³⁻	CH ₃ COO ⁻
H ⁺		P	P	P	P	P	P	P	P	P	H	P	P
NH ₄ ⁺	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	-	P	P
K ⁺	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P
Na ⁺	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P
Ag ⁺	-	P	P	H	H	H	H	H	M	H	-	H	P
Ba ²⁺	P	P	M	P	P	P	P	H	H	H	H	H	P
Ca ²⁺	M	P	H	P	P	P	M	H	M	H	H	H	P
Mg ²⁺	H	P	M	P	P	P	M	H	P	H	H	H	P
Zn ²⁺	H	P	M	P	P	P	H	H	P	H	-	H	P
Cu ²⁺	H	P	P	P	P	-	H	H	P	-	-	H	P
Co ²⁺	H	P	P	P	P	P	H	H	P	H	-	H	P
Hg ²⁺	-	P	-	P	M	H	H	-	P	-	-	H	P
Pb ²⁺	H	P	H	M	M	H	H	H	H	H	H	H	P
Fe ²⁺	H	P	P	P	P	P	H	H	P	H	H	H	P
Fe ³⁺	H	P	P	P	P	-	-	-	P	-	-	H	P
Al ³⁺	H	P	P	P	P	P	-	-	P	-	-	H	P
Cr ³⁺	H	P	P	P	P	P	-	-	P	-	-	H	P
Sn ²⁺	H	P	H	P	P	M	H	-	P	-	-	H	P
Mn ²⁺	H	P	P	P	P	P	H	H	P	H	H	H	P

P – растворимо **M** – малорастворимо (< 0,1 M) **H** – нерастворимо (< 10⁻⁴ M) **-** – не существует или разлагается водой

ПЕРИОДИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ЭЛЕМЕНТОВ Д. И. МЕНДЕЛЕЕВА

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	
1	1 H 1.008																	2 He 4.0026	
2	3 Li 6.941	4 Be 9.0122												5 B 10.811	6 C 12.011	7 N 14.007	8 O 15.999	9 F 18.998	10 Ne 20.180
3	11 Na 22.990	12 Mg 24.305												13 Al 26.982	14 Si 28.086	15 P 30.974	16 S 32.066	17 Cl 35.453	18 Ar 39.948
4	19 K 39.098	20 Ca 40.078	21 Sc 44.956	22 Ti 47.867	23 V 50.942	24 Cr 51.996	25 Mn 54.938	26 Fe 55.845	27 Co 58.933	28 Ni 58.693	29 Cu 63.546	30 Zn 65.39	31 Ga 69.723	32 Ge 72.61	33 As 74.922	34 Se 78.96	35 Br 79.904	36 Kr 83.80	
5	37 Rb 85.468	38 Sr 87.62	39 Y 88.906	40 Zr 91.224	41 Nb 92.906	42 Mo 95.94	43 Tc 98.906	44 Ru 101.07	45 Rh 102.91	46 Pd 106.42	47 Ag 107.87	48 Cd 112.41	49 In 114.82	50 Sn 118.71	51 Sb 121.75	52 Te 127.60	53 I 126.91	54 Xe 131.29	
6	55 Cs 132.91	56 Ba 137.33	57 La 138.91	72 Hf 178.49	73 Ta 180.9	74 W 183.84	75 Re 186.21	76 Os 190.23	77 Ir 192.22	78 Pt 195.08	79 Au 196.97	80 Hg 200.59	81 Tl 204.38	82 Pb 207.20	83 Bi 208.98	84 Po [209]	85 At [210]	86 Rn [222]	
7	87 Fr [223]	88 Ra [226]	89 Ac [227]	104 Rf [265]	105 Db [268]	106 Sg [271]	107 Bh [270]	108 Hs [277]	109 Mt [276]	110 Ds [281]	111 Rg [280]	112 Cn [285]	113 Nh [284]	114 Fl [289]	115 Mc [288]	116 Lv [293]	117 Ts [294]	118 Og [294]	
*	58 Ce 140.12	59 Pr 140.91	60 Nd 144.24	61 Pm [145]	62 Sm 150.36	63 Eu 151.96	64 Gd 157.25	65 Tb 158.93	66 Dy 162.50	67 Ho 164.93	68 Er 167.26	69 Tm 168.93	70 Yb 173.04	71 Lu 174.97					
**	90 Th 232.04	91 Pa 231.04	92 U 238.029	93 Np [237]	94 Pu [242]	95 Am [243]	96 Cm [247]	97 Bk [247]	98 Cf [251]	99 Es [252]	100 Fm [257]	101 Md [258]	102 No [259]	103 Lr [262]					