

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«КАЗАНСКИЙ (ПРИВОЛЖСКИЙ) ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

**Олимпиада школьников по химии и химической
технологии
«Потомки Менделеева»
2025/2026 учебный год**

Комплект заданий теоретического тура

10-й класс

Контактные данные

сайт: <https://malun.kpfu.ru/mendeleev>
telegram: <https://t.me/potomkimendeleeva>
email: ammoniy.olimpiada@mail.ru
тел.: +7(843)206-54-04 (5403)

Теоретический тур. 10 класс

Задача 10-1

–Best!
–Asbestos...
–Best asbestos!
–Not the best asbestos...

Минералы группы асбеста имеют долгую историю прикладного применения. Известный человеку с глубокой древности по характерной волокнистой структуре, асбест использовался в изготовлении предметов одежды, статуэток и прочих бытовых изделий. Этот минерал является армирующей основой популярного в прошлом кровельного «шифера» и современных композитных стройматериалов, а в среде химиков – ассоциируется с термостойким изоляционным одеялом. По добыче асбеста Россия с большим отрывом занимает 1 место в мире. В связи с обнаружением канцерогенных свойств микроволокон минерала сферы его применения во многих странах регулируются всё жёстче, однако ряд структурных особенностей асбеста придаёт ему перспективы в контексте нанотехнологий.

Химическую основу асбеста составляет индивидуальное вещество **X**, которое можно отнести к классу основных солей. Одновременное присутствие в нём элементов третьего периода **A** и **B** ($\omega_A = 26.31\%$, $\omega_B = 20.27\%$) резко сужает список реагентов, способных растворять его целиком. Так, смесь азотной и плавиковой кислот переводит **X** в раствор средней соли **A1** и комплексной кислоты **B1**. Если с той же целью использовать раствор средней соли **C** широко известного комплексона, то образуется раствор комплексной соли **A2**, средней соли **B2** и гидроксида с общим катионом.

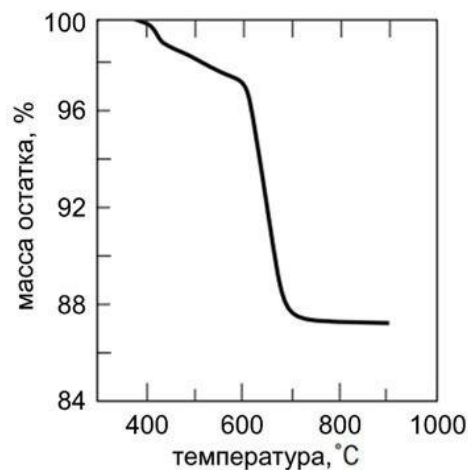
При нагревании выше $400\text{ }^\circ\text{C}$ **X** подвергается разложению (см. график справа), сопровождаемому кристаллизацией средней соли **Y** ($\omega_A = 34.55\%$, $\omega_B = 19.96\%$) и оксида **Z** в твёрдой фазе.

Известно, что навеска **C** массой 1.000 г при сжигании в избытке кислорода образует ряд продуктов: 0.558 г средней соли **D**, 0.284 г чистого водяного конденсата и 579 мл (при $25\text{ }^\circ\text{C}$ и 1.0 атм) осушенной смеси газов. После пропускания газовой смеси через избыток водного раствора соли **D** объём газа уменьшается в 9 раз.

1. Определите формулы загаданных соединений. При наличии количественных данных выбор подтвердите расчётом.

2. Рассмотрим горение простого вещества **A** на воздухе. Опишите преимущества асбестового одеяла перед минимум тремя другими способами тушения на основе физико-химических явлений.

Поскольку природный асбест имеет неоднородный химический состав, были разработаны способы гидротермального синтеза химически чистого **X**. Согласно одной из



Термогравиметрическая кривая минерала **X**

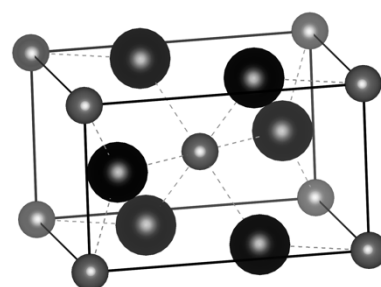
методик, стехиометрическая смесь твёрдых оксидов загружается в автоклав, к ней приливается 0.1 М раствор щёлочи, после чего содержимое автоклава подвергается воздействию температуры 300 °С и давления 70 МПа на протяжении 24 ч. Затем реакционную смесь охлаждают, фильтруют и промывают водой до достижения рН = 8, а далее осушают при 80 °С.

3. Вычислите выход синтеза, если на 1.000 г оксида **Z** удаётся получить 2.260 г **X**, не содержащего примесей.

4. Укажите два побочных продукта, которые образуются в ходе синтеза, но могут быть удалены при промывке водой.

Задача 10-2

Трёхэлементное соединение **X** разлагается с образованием смеси продуктов, состав которых зависит от температуры процесса. Так, при 370 °С можно получить твёрдое соединение **X₅** идентичного качественного состава. При 700 °С в смеси твёрдых продуктов удаётся обнаружить бинарные соединения **X₁** (см. Рис.) и **X₂**, причем соединения **X₁** образуется в 6.084 раза больше по массе. Если же проводить разложение при 1000 °С, среди продуктов разложения можно обнаружить соединение **X₃**. Последнее образуется вместе с простым веществом **X₄** при разложении соединений **X₁** и **X₂**; других продуктов в этих реакциях не обнаружено. Данные о массовой доле элемента **Y** в соединениях **X₁** - **X₃** и потери массы при разложении **X** при различных температурах приведены в таблице:



Соединение	X₁	X₂	X₃	Температура разложения X / °С			
				370	700	1000	
Массовая доля Y / %	90.3	91.6	93.3	Потеря массы / %	3.63	43.31	43.31

При любой температуре среди продуктов разложения **X** присутствует ядовитый газ **Z₁**. **Z₁** практически не взаимодействует с простым веществом элемента **Y**, однако широко известны реакция ионных форм **Y** с анионами **Z⁻** – продуктами восстановления газа **Z₁**. Среди продуктов таких реакций можно обнаружить соединения **X** и **X₅**.

Соединения **Z₂-Z₅** – структурно близкие производные газа **Z₁**, отличающиеся друг от друга одним атомом. Их молярные массы относятся друг к другу как 1 : 1.37 : 2.35 : 3.40. **Z₃** реагирует с **NH₃** с образованием соединения **Z₆**, которое при температуре выше 150 °С тримеризуется с образованием высокосимметричного продукта **Z₇**, молекула которого содержит 15 атомов.

1. Определите соединения **X**, **X₁-X₅**, **Z₁-Z₇**, ответ подтвердите расчетом.

2. Запишите уравнение реакции разложения **X** при 370 °С, 700 °С и 1000 °С, учитывая, что:

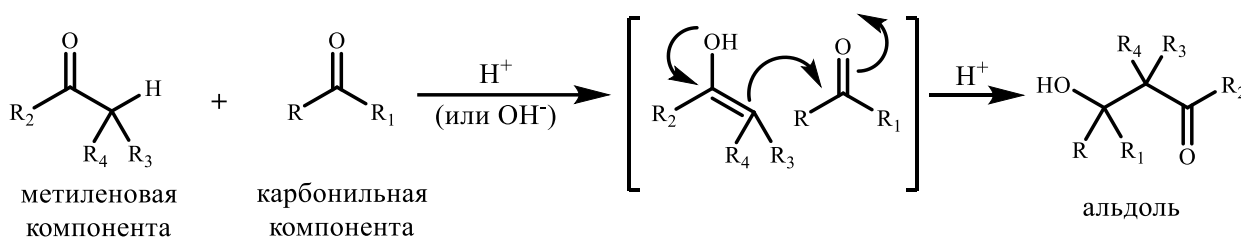
- в реакции разложения **X** при 370 °С образуется только два продукта;

- среди твёрдых продуктов разложения при 1000 °С может быть обнаружено два простых вещества, а все коэффициенты уравнения этой реакции, приведённые к 1 моль **X**, – целые числа.

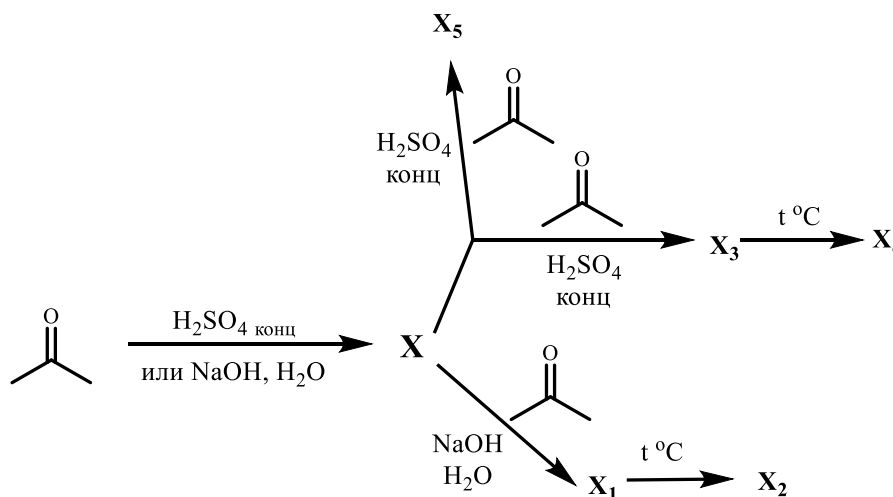
3. Изобразите структурную формулу **Z7**, приведите его тривиальное название. Почему годовой объем мирового производства **Z7** часто превышает 1 млн тонн?

Задача 10-3

Альдольно-кетоновая конденсация – один из самых мощных типов превращений органических соединений. Схематично её можно описать как катализируемое кислотой или основанием взаимодействие двух карбонильных соединений, одно из которых выступает в роли метиленовой компоненты, а второе – в роли карбонильной компоненты.



Однако в том случае, если вещество способно выступать в роли и метиленовой, и карбонильной компонент, конденсации редко бывают селективными. Например, ацетон вступает в реакцию самоконденсации, где на первой стадии вне зависимости от условий превращается в **X**, которое в щелочных или кислых условиях даёт смеси разных веществ.

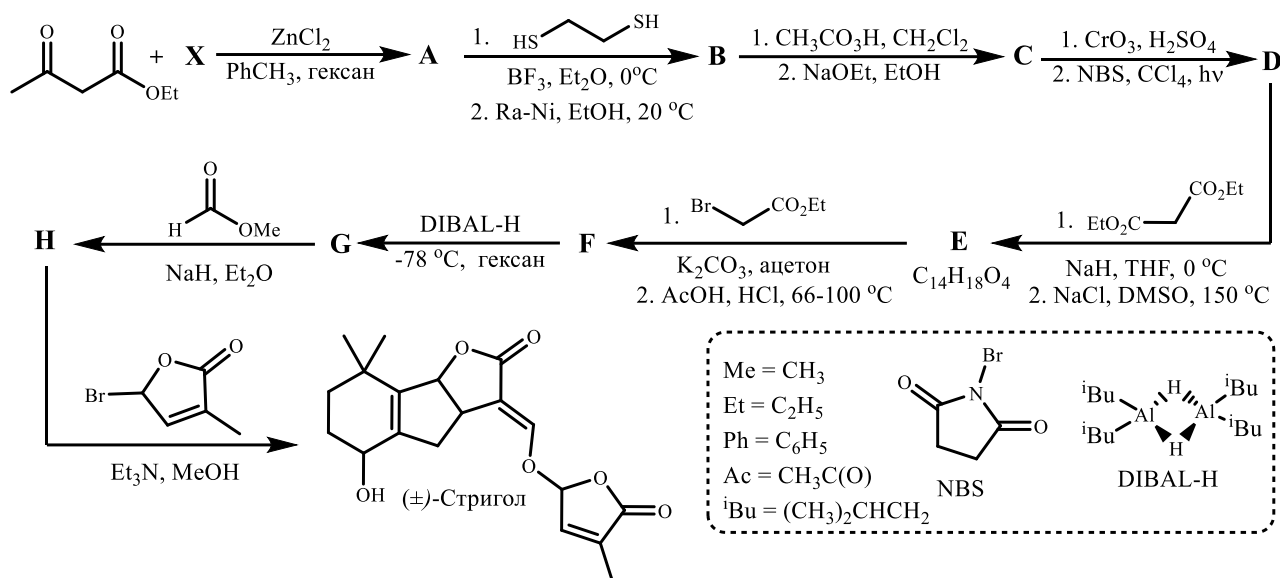


1. Напишите структуры веществ **X**, **X1-X5**, представленных на схеме, если известно следующее:

- Все вещества претерпевают дегидратацию при их получении;
- **X2** и **X4** имеют циклическое строение;
- Во всех соединениях, кроме **X1**, присутствует сопряженная система связей.

X широко используется в органическом синтезе. Например, оно выступает в качестве исходного соединения в синтезе стригола, вещества группы стриголактонов. Особый интерес соединения этой группы вызвали после обнаружения их в растениях рода *Striga*,

полупаразитах, которые являются одной из распространённых причин гибели злаковых культур на африканском континенте. Схема синтеза стигола приведена ниже:



2. Изобразите структурные формулы зашифрованных на схеме веществ **A-H**, учитывая, соединения **A-D** содержат один, **E-F** – два, а **G-H** – три цикла в структуре.

3. Этил-3-оксобутаноат (ацетоуксусный эфир), как и вещество **X**, является продуктом самоконденсации. Изобразите структурную формулу вещества, из которого его можно получить; напишите схему реакции, указав условия.

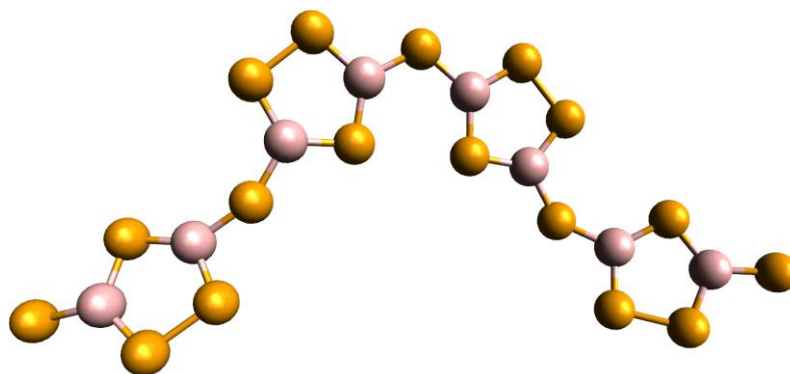
Задача 10-4

Соединения, одновременно содержащие элементы **X** и **Y**, очень неустойчивы, что затрудняет их получение и дальнейшее изучение. Так, например, до сих пор неизвестно бинарное соединение **X** и **Y**, в котором эти элементы проявляют наиболее характерные для себя степени окисления, однако известно близкое к нему элементарноорганическое соединение **I**.

Для синтеза **I** нагревают 1.173 г белого порошка **X**-органического соединения **A** ($\omega_{\text{X}} = 89.29\%$, $\omega_{\text{H}} = 6.25\%$) с иодом в мольном соотношении 1 : 2, в результате чего получают реакционноспособный интермедиат **B**. Затем в реакционный сосуд вводят 0.589 г газообразного соединения **C** ($\omega_{\text{Y}} = 97.51\%$), после чего смесь нагревают до температур порядка 1000 К, медленно охлаждают и получают продукт **I**, теоретически ожидаемая масса которого в описанном процессе составляет 1.000 г. Молекулы **I** содержат пятичленный цикл из атомов **X** и **Y**, который является ключевым в соединениях, содержащих эти элементы.

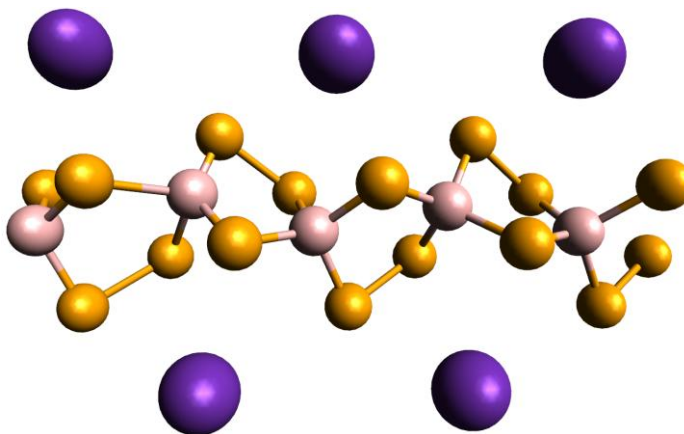
1. Определите элементы **X** и **Y**, вещества **A-C**. Ответ подтвердите расчётом. Изобразите структурную формулу **I**.

Вещество **II** – наиболее устойчивое бинарное соединение **X** и **Y**, можно получить реакцией из простых веществ при температуре 1300 К. Оно имеет полимерную структуру, фрагмент которой приведен на рисунке.



Фрагмент структуры II

Помимо прочего, эти два элемента образуют ряд анионов, строение которых близко к II. Пример такого соединения – вещество III, получаемое спеканием стехиометрических количеств D, X и Y в кремниевом тигле. Вещество D же получают реакцией металлического рубидия с бинарным соединением E ($\omega_Y = 28.25\%$) в жидком аммиаке. Фрагмент структуры соединения III приведен ниже.



2. Определите вещества II, III, D и E. Аргументируйте свой ответ.

3. Почему для синтеза III берется соединение D, а не металлический рубидий?

Сравнив структуры II и аниона III, можно заметить, что заряженные полимерные цепи III можно представить как продукт добавления анионов Z к нейтральным цепям II.

4. Определите анион Z, схематично изобразите механизм формирования цепей III.

Для тяжелых щелочных металлов известны и другие соединения с анионами, содержащими X и Y. Так, для рубидия были выделены вещества IV и V. В структуре анионов IV, в отличие от анионов III, мостиковые атомы Y в каждом третьем пятичленном цикле заменены на анион Z. В структуре анионов V аналогичная замена проведена в половине пятичленных циклов.

5. Изобразите фрагменты структурных формул IV и V, определите их брутто-формулы.

Нагреванием смеси D, X и Y также можно получить и соединение VI, содержащее в своей структуре восьмизарядный анион. Его строение можно описать комбинацией нескольких фрагментов: первый – F₁ – центральный фрагмент, представляющий собой высокосимметричный кластер, встречающийся, помимо прочего, в серии двухзарядных

анионов с массовой долей **X** 91.47 %, и вторые – **F₂** – анионы калиевой соли **G** с массовой долей **Y** 64.90 %. Все атомы **Y**, входящие в **F₁**, являются общими с фрагментами **F₂**.

6. Определите вещество **G**. Установите формулы фрагментов **F₁** и **F₂** и брутто-формулу аниона **VI**. Аргументируйте свой ответ.

Задача 10-5

Как Вам уже известно, Республика Татарстан обладает развитой перерабатывающей промышленностью. На фоне амбициозных планов по расширению производственных мощностей в последние годы всё чаще озвучивается идея возведения атомной энерготехнологической станции (АЭС) вблизи г. Менделеевска. Предполагается, что основными потребителями новой станции будут предприятия АО «Аммоний».

Представим устройство будущей АЭС. За выработку тепловой и электрической энергии будут отвечать реакторы, использующие в качестве топлива UO_2 . Типичные свойства реакторного топлива: исходная степень обогащения по ^{235}U 5 мол. %; расход ^{235}U за полтора года составляет 88%. Основная часть энергии, выделяемой в реакторе, обусловлена распадом ^{235}U ($3.150 \cdot 10^{-11}$ Дж на 1 ядро), однако значительный вклад в общую величину – около трети – вносят побочные процессы.

При цепном распаде ^{235}U выделяется большое количество энергии, основная часть обусловлена первичным распадом материнского ядра ($3.150 \cdot 10^{-11}$ Дж на 1 ядро).

1. Рассчитайте массу топлива, требуемого для полуторогодичной работы реактора со средней тепловой мощностью 200 МВт. Ответ приведите в тоннах.

2. Укажите изотоп, сопутствующий урану в отработанном топливе, образующийся при работе реактора из ^{238}U в три стадии и способный перейти в одну стадию в ^{235}U .

Выделяющаяся тепловая энергия будет направляться на осуществление паровой конверсии метана (реакция 1). Оксид **A**, образующийся в ходе конверсии, способен реагировать с избыточным количеством водяных паров (реакция 2) с образованием другого оксида **B**. Для протекания реакций 1-2 обычно используют умеренно высокие температуру и давление (850 °С, 25 бар). Целевой продукт конверсии **C** будут очищать от примесей, а затем – смешивать с веществом **D**, широко распространённым в природе, и проводить синтез соединения **E** (реакция 3; равновесные условия – 500 °С, 355 бар).

3. Запишите уравнения реакций 1-3.

4. Как можно очистить вещество **C** от примесей после паровой конверсии метана?

5. Для реакции 1 рассчитайте изменение энтальпии $\Delta_r H^\circ$, изменение энтропии $\Delta_r S^\circ$ и константу равновесия K_p в указанных условиях (850 °С).

6. Для реакции 3 определите равновесный выход **D** в реакторе постоянного объёма, исходя из стехиометрического соотношения реагентов. Константа равновесия в указанных условиях для реакции, записанной с целочисленными коэффициентами, $K_p(3) = 1.111 \cdot 10^{-5}$.

7. Объясните, в какую сторону сместится равновесие в каждой из реакций 1-3 при небольшом увеличении: а) общего давления; б) температуры.

Одной из задач, которую решает создание АЭТС, является минимизация выбросов **В** в атмосферу. Вероятнее всего, для осуществления благого замысла побочный продукт конверсии **В** будут смешивать с **Е** с образованием соли **Г** (реакция 4), впоследствии отщепляющей воду и переходящей в вещество **Г** (реакция 5), применимое в качестве удобрения.

8. Запишите уравнения реакций 4-5. Качественно обоснуйте выбор оптимальной температуры при синтезе **Г**, если известно, что $\Delta_r H(4) = -117.0$ кДж моль⁻¹, а $\Delta_r H(5) = 15.5$ кДж моль⁻¹.

Дополнительная информация:

Термодинамические параметры газообразных веществ (при 25 °С и 1 бар).

Вещество	CH ₄	H ₂ O _(г)	А	В	С	Д	Е
$\Delta_f H^\circ$, кДж моль ⁻¹	-74.81	-241.82	-110.53	-393.51	0	0	-46.11
S° , Дж моль ⁻¹ К ⁻¹	186.3	188.8	197.7	213.7	130.7	191.6	192.5
C_p , Дж моль ⁻¹ К ⁻¹	35.3	33.6	29.1	37.1	28.8	29.1	35.1

$$\Delta_r H^\circ(T) = \Delta_r H^\circ(T_0) + \Delta_r C_p \cdot (T - T_0)$$

$$\Delta_r S^\circ(T) = \Delta_r S^\circ(T_0) + \Delta_r C_p \cdot \ln \frac{T}{T_0}$$

$$K_p(T) = e^{-\frac{\Delta_r G^\circ(T)}{R \cdot T}} = e^{-\frac{\Delta_r H^\circ(T)}{R \cdot T}} \cdot e^{\frac{\Delta_r S^\circ(T)}{R}}$$