

Из предложенных шести задач оцениваются пять с наибольшим баллом!

Указания: а) при решении задач используйте точные значения атомных масс, приведенные в периодической системе Д. М. Менделеева, б) в решении задачи обязательно нужно привести необходимые расчеты и рассуждения, ответ без доказательств может быть оценен в 0 баллов.

Задача 1. Ртуть образует значительное количество как неорганических, так и органических соединений. Многие из них вплоть до конца XX века применялись в медицине, некоторые используются и сейчас. В незначительных количествах ртуть необходима для нормальной жизнедеятельности.

На схеме представлены реакции получения различных соединений ртути. Про некоторые соединения дополнительно известно:

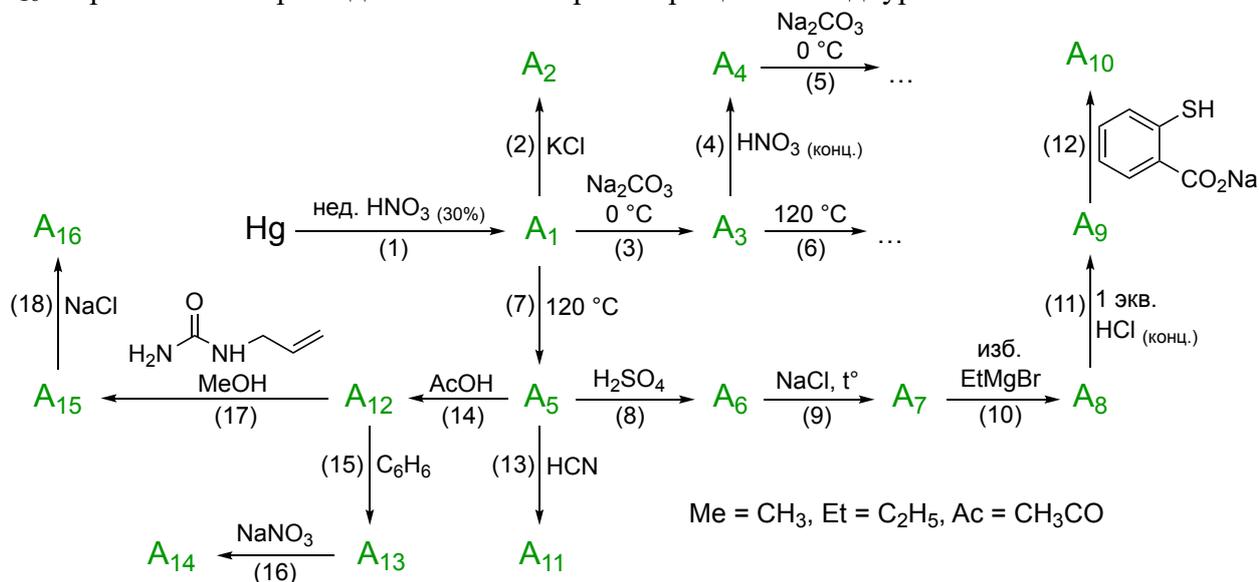
A_2 – применялось как противомикробное средство.

A_{10} – использовалось в качестве консерванта в вакцинах.

A_{11} – применялось для лечения больных сифилисом.

A_{14} – используется в качестве консерванта в глазных каплях.

A_{16} – применялось при недостаточности кровообращения как диуретик.



1. Укажите какая(ие) степень(и) окисления характерна(ы) для ртути.
2. С чем связан практически полный отказ от использования соединений ртути в медицине?
3. Какой химический элемент был открыт, используя соединение ртути?
4. Определите зашифрованные соединения A_1 – A_{16} (всего 16 веществ). Для органических и ртутьорганических соединений используйте структурные формулы.
5. Запишите уравнения реакций (1) – (18) (всего 18 реакций).

Задача 2. Элементы X и Y образуют друг с другом множество соединений, о химии которых пойдет речь в этой задаче. При взаимодействии простых веществ A и B , образованных элементами X и Y , образуется газообразное вещество B , отличающееся крайне низкой реакционной способностью и практически нетоксичное. Бинарное диамагнитное соединение $Г$ представляет собой бесцветную легкокипящую жидкость, пары которой в несколько раз токсичнее фосгена. При нагревании до $150^\circ C$ вещество $Г$ распадается с образованием эквимольной смеси бинарных газообразных соединений B и $Д$. Получить газ $Д$ можно при взаимодействии соли кобальта $Е$ (содержание кобальта 50,84% (по массе)) с простым веществом A . Молекула $Д$ содержит связи между элементами X и Y разной длины. Если вместо

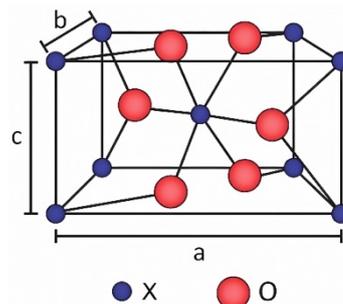
соли кобальта использовать соль серебра **Ж** (содержание серебра 73,95%), то образуется другое бинарное соединение элементов **X** и **Y** – вещество **З**, молекула которого содержит две гетероядерные и одну гомоядерную одинарные связи. При нагревании выше 180 °С газ **З** распадается на простое вещество **A** и газ **Д**. Известно, что вещество **A** в больших количествах получают при переработке нефти.



1. Определите элементы **X** и **Y**, а также неизвестные вещества **A – З** (всего 8 веществ).
2. Для молекул веществ **B, Г, Д, З** изобразите пространственное строение.
3. Запишите уравнения пяти упомянутых реакций.
4. В ходе какой стадии нефтепереработки получают вещество **A**?

Задача 3. Основным минералом металла **X** в природе является оксид **A**, кристаллическая структура которого приведена на рисунке (параметры ячейки: $a = b = 0,4738$ нм, $c = 0,3187$ нм). Плотность идеального кристалла **A** составляет $6,999$ г/см³.

1. Определите металл **X** и формулу оксида **A**. Ответ подтвердите расчетом.



Оксид **A** смешали с углем и прокалили в токе хлора, получив жидкость **B** дымящую во влажном воздухе. При атмосферном давлении жидкость **B** имеет температуру кипения 114,15 °С, а ее молярная теплота испарения составляет 38,5 кДж/моль. Перед использованием жидкость **B** решили очистить перегонкой при пониженном давлении.

2. Запишите уравнение реакции получения **B**.

3. Рассчитайте температуру кипения жидкости **B** при давлении 50 мм рт. ст.

Зависимость давления насыщенного пара от температуры описывается уравнением Клаузиуса-Клапейрона:

$$\ln \frac{p_2}{p_1} = \frac{\Delta H_{исп}}{R} \left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2} \right)$$

где R – универсальная газовая постоянная, $\Delta H_{исп}$ – энтальпия испарения, а p_2 и p_1 – давления насыщенного пара при температурах T_1 и T_2 , соответственно.

Жидкость **B** необратимо гидролизуется водой, однако из подкисленных растворов удается выделить кристаллогидрат **B**, содержащий 33,86% металла **X** (по массе).

4. Запишите уравнение гидролиза **B**.

5. Определите состав кристаллогидрата **B**. Ответ подтвердите расчетом.

В структуре кристаллогидрата **B** часть молекул воды входит в координационную сферу металла **X**, а часть находится во внешней сфере.

6. Запишите формулу комплексной частицы, входящей в состав кристаллогидрата **B**.

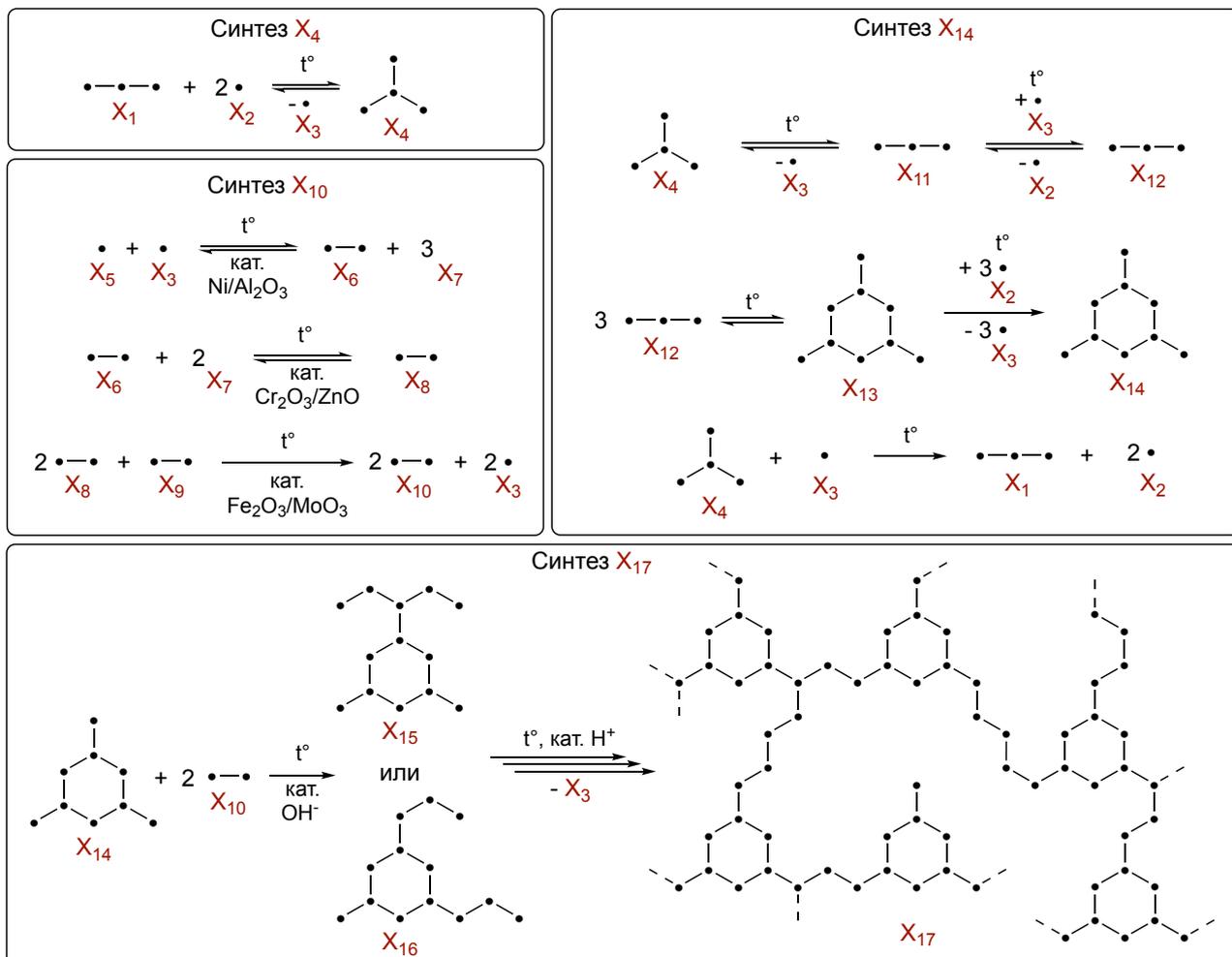
Металл **X** часто используют в виде сплавов с металлом **Y**, с которым он образует интерметаллид **Z**, в котором массовая доля металла **X** составляет 32,528%, а мольная доля металла **X** составляет 20,513%.

7. Определите металл **Y** и формулу интерметаллида **Z**. Ответ подтвердите расчетом.

8. Как называется сплав на основе металлов **X** и **Y**?

Задача 4. Смолы – это собирательное название для полимеров, характеризующихся аморфным стеклообразным состоянием. Одну из таких смол **X₁₇** получают из **X₁₀** и **X₁₄**. В свою очередь **X₁₀** производят в три стадии из компонента природного газа **X₅**. Получение **X₁₄** из **X₄** включает две стадии (образование **X₁₂** и образование **X₁₄**) и протекает при нагревании. Первая стадия требует гетерогенного катализатора кислотного типа (например, цеолитов), вторая стадия протекает без катализатора. В условиях синтеза выделяется вещество **X₃**, при высокой температуре разлагающее **X₄** до **X₁** и **X₂**, в результате чего выход **X₁₄** снижается. Образующиеся **X₁** и **X₂** повторно направляют на синтез **X₄**.

На схеме приведены зашифрованные реакции, соответствующие описанным процессам. При этом символы химических элементов, кроме водорода, заменены на символ «•», а атомы водорода, π-связи и заряды на атомах не показаны (например, молекуле азота будет соответствовать запись «•—•»), а молекуле хлороводорода («•»)). Во всех реакциях указаны все продукты. Все реакции, кроме получения X₁₇, уравнированы. Вещества, участвующие в реакциях, являются крупнотоннажными продуктами (в том числе промежуточными) промышленного синтеза или извлекаются из природных источников.

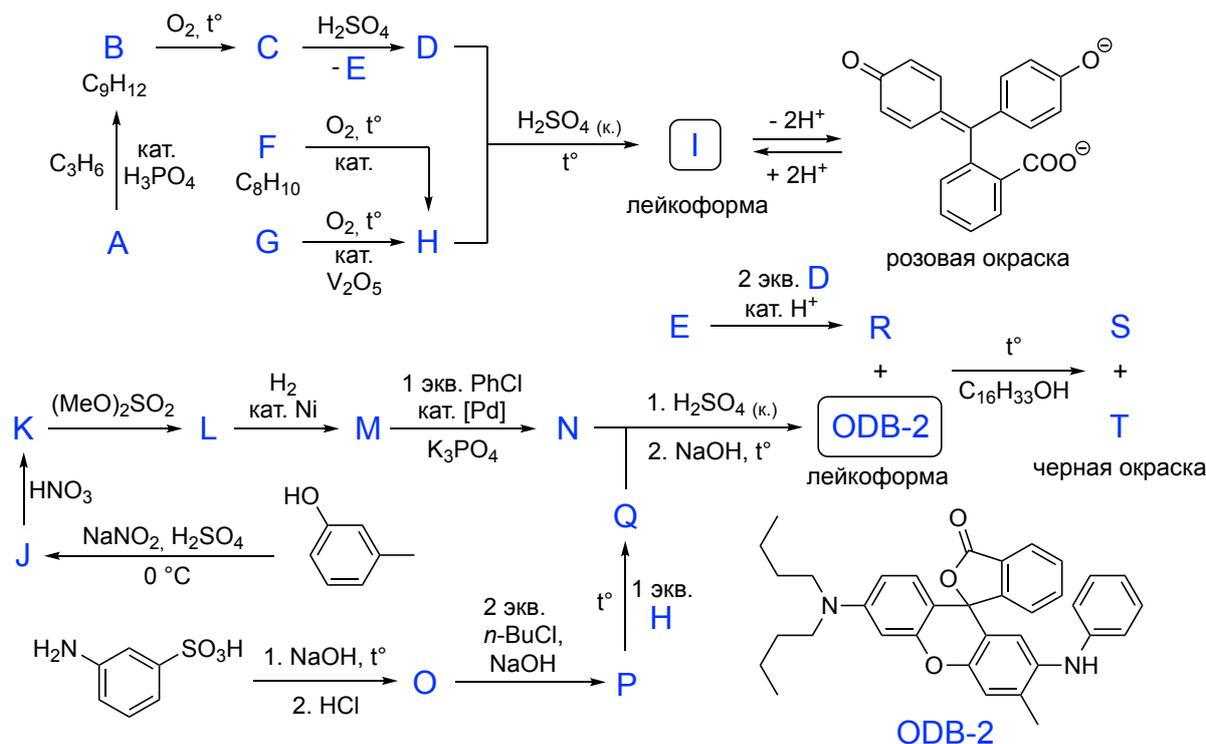


1. Определите структурные формулы веществ X₁ – X₁₇ (всего 17 веществ).
2. Запишите суммарное уравнение реакции синтеза X₁₄ из X₄.
3. Есть ли среди зашифрованных веществ изомеры? Если есть, запишите их, если нет, укажите «нет».
4. Приведите еще один пример смолы, укажите ее название и ее общую структурную формулу.

Задача 5. Лейкокрашители (от греч. *лейко* – белый) – соединения, которые в обычных условиях не имеют цвета, но становятся окрашенным при изменении внешних факторов, таких как температура или pH. Синтез двух таких лейкокрашителей **I** и **ODB-2** приведен на схеме ниже.

Соединение **I** является одним из наиболее известных лейкокрашителей, окраска возникает при изменении среды раствора. Появление окраски **ODB-2** также происходит при изменении среды. Твердую смесь, состоящую из **ODB-2**, слабой кислоты **R** и гексадеканол-1, используют для изготовления термобумаги, например, для кассовых чеков. При нагревании гексадеканол-1 плавится, возникает раствор, в котором кислота **R** протонирует **ODB-2**, в результате образуется анион **S** и окрашенный практически плоский катион **T**.

Определите структурные формулы веществ **A** - **T** (всего 20 веществ).



Задача 6. Седиментационный анализ основан на измерении скорости осаждения частиц в жидкости под действием гравитации или центробежной силы. Его применяют для определения размеров частиц, например, для анализа песка для строительных смесей. Этот метод важен, поскольку размер песчинок влияет на прочность бетона и свойства готовых материалов.

В ходе опыта проводили седиментационный анализ суспензии кварцевого песка в воде, содержащей частицы различного радиуса от 20 до 80 мкм ($r_{\text{мин}}$, r_1 , ..., $r_{\text{макс}}$). Высота столба суспензии – 50 см.

1. Какие частицы будут оседать быстрее других, более крупные, или более мелкие?

Время полного осаждения частиц зависит от радиуса частиц. Зависимость описывается законом Стокса (*все величины в СИ*):

$$t = \frac{H}{V} = \frac{k^2 \cdot H}{r^2} = \frac{H \cdot 9 \cdot \eta}{2 \cdot (\rho - \rho_0) \cdot g \cdot r^2}$$

где t – время полного осаждения частиц; H – высота столба суспензии; V – скорость осаждения частиц; k – константа Стокса; η – вязкость среды (для воды 1 мПа·с); r – радиус сферической частицы; ρ – плотность частиц (для песка 2,5 г/см³); ρ_0 – плотность среды (для воды 1 г/см³); g – ускорение силы тяжести (9,8 м/с²).

2. Запишите выражение для нахождения константы Стокса. Рассчитайте ее значение, укажите размерность.

3. Вычислите время полного осаждения всех частиц в растворе. Ответ приведите в секундах с точностью до целых.

Седиментационный анализ проводят с помощью специальных весов (рис. 2). Полученные данные опыта по осаждению частиц песка этой суспензии привели в виде зависимости веса осевших частиц от времени (фиолетовая линия А на рис. 1). Также на график нанесены некоторые дополнительные построения (с сохранением масштаба). По этим данным можно оценить гранулометрический состав образца – относительное содержание в песке частиц различных размеров.

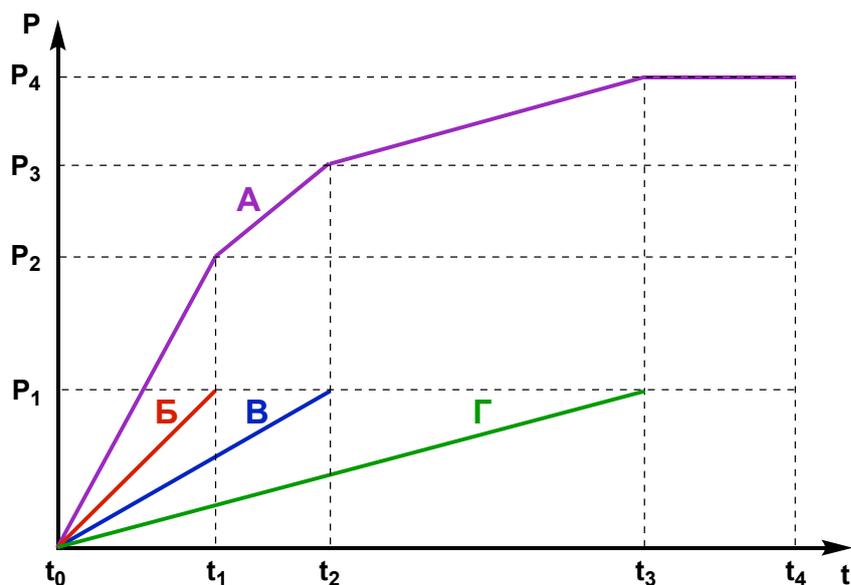


Рис. 1. Полученная зависимость веса осевших частиц от времени.

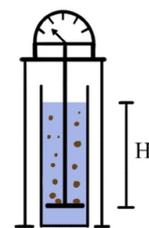


Рис. 2. Весы для седиментационного анализа.

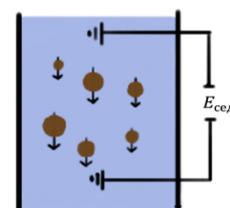


Рис. 3. Возникновение потенциала при движении частиц.

- Ответьте на нижеприведенные вопросы, основываясь на полученных экспериментальных данных (там, где это возможно), все ответы сопроводите размышлениями. Используйте приведенные обозначения: кривая **Б**, вес P_1 , время t_1 , частицы радиусом r_1 и т. д.
4. Чему равен вес образца, использованного для анализа?
 5. За какое время осели частицы всех радиусов?
 6. Сколько типов частиц с различным радиусом входят в состав этого образца песка? Обозначьте их как $r_{\text{мин}}$, r_1 , ..., $r_{\text{макс}}$.
 7. Частицы какого радиуса оседают в промежутке от t_1 до t_2 .
 8. Что показывают кривые **Б**, **В** и **Г**?
 9. Оцените содержание (в массовых процентах) каждой из фракций, состоящей из частиц одного радиуса. Обозначьте их как $\omega(r_{\text{мин}})$, и т. д.

При оседании частиц в жидкости возникает потенциал седиментации (эффект Дорна), связанный с возникновением дипольного момента у движущихся частиц. Рассчитать величину потенциала можно по формуле (все величины в СИ):

$$E_{\text{сед}} = \frac{\varepsilon \cdot \varepsilon_0 \cdot r^3 \cdot v \cdot H \cdot (\rho - \rho_0)}{3 \cdot \eta \cdot \lambda}$$

где $E_{\text{сед}}$ – потенциал седиментации; ε – относительная диэлектрическая проницаемость среды (для воды = 81); ε_0 – диэлектрическая проницаемость вакуума ($8,85 \cdot 10^{-12}$ Ф/м); v – число частиц в м^3 суспензии; λ – удельная электропроводность раствора (для воды = 0,1 мСм/м).

10. Рассчитайте величину потенциала, который возникнет при седиментации песка массой 50 г, состоящего только из частиц с радиусом 80 мкм, равномерно распределенных в воде в цилиндре высотой 50 см, диаметром 10 см.
11. Что будет наблюдаться при измерении потенциала седиментации с течением времени?
12. Какое будет значение потенциала через 12 секунд после начала опыта?

Эффект возникновения потенциала седиментации наблюдается на производствах, где осуществляется транспортировка суспензий (технологических растворов). Возникающие при этом разности потенциалов между частями длинных трубопроводов и аппаратов могут стать причинами пожаров и взрывов.

13. Приведите три параметра, которые можно изменить в проделанном опыте для уменьшения значения потенциала седиментации. Ответ сопроводите размышлениями.