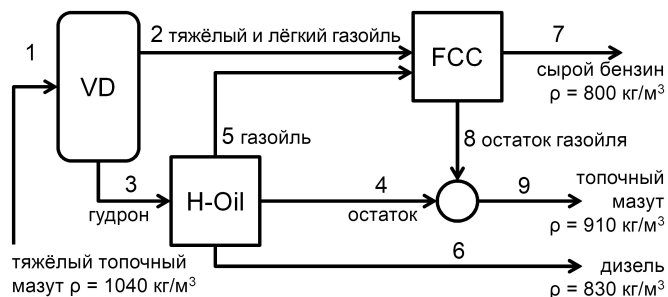


**Задачи заключительного тура олимпиады по химии 2017/2018 уч. г.
9–10 класс**

1. Янус измерил в питьевой воде содержание ионов кальция и магния, которые придают воде жёсткость. Для этого он провёл два комплексонометрических титрования с ЭДТА при $\text{pH} = 10$ и $\text{pH} = 12$. При $\text{pH} = 12$ ионы Mg^{2+} выпали в осадок, поэтому стало возможным определение содержания исключительно ионов Ca^{2+} . На титрование $100,0 \text{ см}^3$ питьевой воды при $\text{pH} = 10$ потребовалось $19,25 \text{ см}^3$ $0,02000 \text{ M}$ раствора ЭДТА, а при $\text{pH} = 12$ его понадобилось $17,62 \text{ см}^3$. С каждым из ионов ЭДТА реагирует в соотношении 1:1.

- Напишите ионное уравнение реакции осаждения Mg^{2+} . (1)
- Рассчитайте общую жёсткость воды (ммоль/дм^3). (1)
- Рассчитайте молярные концентрации ионов Mg^{2+} и Ca^{2+} . (2)
- Напишите ионное уравнение смягчения воды с помощью Na_3PO_4 . (1)
- Рассчитайте, сколько граммов Na_3PO_4 требуется для смягчения ровно 100 см^3 данной питьевой воды. (2) **7 6**

2. Приведённая ниже схема показывает упрощённую версию переработки тяжёлого топочного мазута (промежуточный продукт рафинирования сырой нефти), в результате которой получают топлива с более высокой удельной теплотой сгорания.



В колонну вакуумной дистилляции (VD) поступает 37800 баррелей тяжёлого топочного мазута (1) в день. Газойли (2), полученные в ходе дистилляции, направляются в реактор для каталитического крекинга (FCC), где газойли разлагаются на сырой бензин (7) и остаток газойля (8). Получаемый при дистилляции гудрон (3), обладающий высокой вязкостью, направляют в другой каталитический реактор (H-Oil), продуктами которого являются дизель (6), подаваемый в реактор FCC газойль (5) и остаток (4), который смешивают для получения топочного мазута (9). 35% от гудрона не разлагается на достаточно маленькие молекулы и выделяется из реактора H-Oil в качестве остатка (4). Общая масса газойлей, поступающих в реактор FCC, равна 2840 тоннам в день. В ходе всего процесса 31,3% и 26,4% от тяжёлого топочного мазута по массе преобразуется соответственно в дизель и сырой бензин. 1 баррель = 159 дм^3 .

- Сколько тонн тяжёлого топочного мазута перерабатывают за день? (1)
- Сколько баррелей сырого бензина, топочного мазута и дизеля производят за день? (3)
- Сколько процентов от всех газойлей, поступающих в реактор FCC,

составляют газойли, полученные непосредственно при вакуумной дистилляции? (3)

На рафинировочном заводе сырую нефть очищают от соединений серы перед её дальнейшей переработкой.

- Назовите две причины, почему содержание серы в конечных продуктах рафинирования должно быть низким. (2) **9 6**

3. В твёрдых веществах атомы, молекулы или ионы могут располагаться по-разному. Кристаллические вещества состоят из множества регулярно повторяющихся в пространстве «единиц» (т.н. элементарных ячеек) и имеют симметричное строение. В различных типах кристаллической решётки плотность упаковки (ПУ) ячейки может сильно различаться. Три простейших типа решётки – это простая кубическая (ПУ = 52%), объёмно-центрированная кубическая (ПУ = 68%) и гранецентрированная кубическая (ПУ = 74%).

- Определите тип кристаллической решётки калия ($\rho = 0,862 \text{ г/см}^3$, атомный радиус $0,230 \text{ нм}$). (5)

В кристалле KCl ионы K^+ образуют гранецентрированную кубическую решётку, в которой ионы Cl^- заполняют октаэдрические пустоты.

- Сколько соседних хлорид-ионов имеет каждый ион калия?
 - Отличается ли радиус ионы K^+ от радиуса атома K, если параметр решётки KCl равен $0,630 \text{ нм}$, а радиус иона Cl^- равен $0,167 \text{ нм}$? Обоснуйте свой ответ. (4) **9 6**

4. Газообразный углеводород **A** (28 г/моль) способствует природному созреванию плодов, поэтому его используют и для «дозревания» собранных незрелыми фруктами (напр., банан и папайя). Обработка газом **A** должна проводиться в контролируемых условиях, иначе некоторые плоды могут созреть слишком быстро, и станет выделяться газ **B**, который затормаживает созревание ещё незрелых плодов. Газ **B** также выделяется организмами в процессе дыхания. Для «дозревания» плодов в одном хранилище используют смесь газа **A** и обычного воздуха, где содержание **A** равно 1000 ppm по объёму. Согласно научным исследованиям, оптимальное содержание газа **A** равно 10 микrolитрам на 1 литр воздуха.

- Использует ли владелец хранилища слишком высокую, слишком низкую или оптимальную концентрацию газа **A**? Подтвердите ответ расчётами. (1)

Газ **A** получают при удалении одной молекулы воды из одной молекулы этанола (реакция 1). Газ **X** (26 г/моль), очень похожий на газ **A**, можно получить в реакции карбида кальция с водой (реакция 2). Отрицательное влияние газа **B** на созревание плодов обосновывают тем, что он подкисляет сок плодов, реагируя с его основным компонентом (реакция 3).

- Напишите уравнения реакций 1–3. (3)

В хранилище с размерами $500 \text{ м} \times 200 \text{ м} \times 5,0 \text{ м}$ складывают при $20 \text{ }^\circ\text{C}$ незрелые бананы, которые занимают половину от объёма хранилища.

с) Сколько кг этанола надо потратить, чтобы достичь содержания вещества **A** в воздушном пространстве хранилища в 1000 ppm по объёму? Учтите, что смесь газов имеет свойства идеального газа, давление в хранилище равно 1,0 атм, выход реакции равен 90% и для компенсации постоянных потерь вещества **A** его изначально необходимо произвести на 20% больше. (4)

д) Поясните, повышает ли применение газа **A** или выделение газа **B** из плодов пожароопасность в хранилище? (2)

е) Каким образом Вовочка может ускорить созревание неспелой папайи, если у него есть соль, сахар, водопроводная вода, уксус, пищевая сода и спелые бананы? Сформулируйте ответ в виде 1–2 предложений. (1)

11 б

5. Во время грозы происходит реакция между азотом и кислородом, в ходе которой образуется оксид **A** (реакция 1). В реакции **A** с кислородом образуется цветной оксид **B** (реакция 2), который может образовывать бесцветный димер **C** (реакция 3) ($\omega_N = 30,4\%$). При реакции оксида **B** с водой образуются кислота ($\omega_O = 76,2\%$) и оксид **A** (реакция 4) или же смесь кислот (реакция 5).

а) Напишите уравнения реакций 1–5. (5)

В среде бедной кислородом некоторые организмы используют для жизнедеятельности нитрат-ионы вместо кислорода: $5[\text{CH}_2\text{O}] + 4\text{NO}_3^- + 4\text{H}^+ \rightarrow 2\text{N}_2 + 7\text{H}_2\text{O} + 5\text{CO}_2$, где $[\text{CH}_2\text{O}]$ обозначает эмпирическую формулу углевода.

б) Напишите уравнение реакции, протекающей в организме между нитратами и углеводами, если конечным продуктом жизнедеятельности является не N_2 , а N_2O . (1)

В лаборатории аммиак получают путём гидролиза нитрида магния (реакция 6). При реакции аммиак с пероксидом водорода образуется гидразин (реакция 7), который используется в составе ракетного топлива. При избытке пероксида водорода в ходе реакции может образоваться нестабильный диимид ($\omega_N = 93,3\%$) (реакция 8).

с) Напишите уравнения реакций 6–8. (3)

д) В природе оксиды **A** и **B** не реагируют между собой, поскольку образующийся продукт нестабилен. В лабораторных условиях в ходе реакции получают синий оксид азота **D** ($\omega_N = 36,8\%$) (реакция 9). Поясните, является ли реакция 9 окислительно-восстановительной? (1)

е) Нарисуйте структурные формулы Льюиса и укажите формальные заряды для следующих соединений: i) кислота, образующаяся в реакции 4, ii) гидразин, iii) оксид **D**. (3) **13 б**

6. В походе бывает непросто приготовить горячую пищу. Поэтому существуют упаковки, в которых порция бульона (400 г) разогревается за счёт энергии химической реакции. Наиболее часто используется эндотермическая реакция между CaO и водой. В солдатских пайках используется реакция Mg с водой. Их упаковка содержит воду и смесь хлорида натрия с порошком из сплава Mg и Fe ($\omega_{\text{Mg}} = 95\%$). Примите значение теплоёмкости бульона равным 4,2 Дж/(К·г).

	ΔH_f , кДж/моль
CaO , тв	-634,9
H_2O , ж	-285,8
$\text{Ca}(\text{OH})_2$, тв	-986,1
$\text{Mg}(\text{OH})_2$, тв	-924,5

а) Рассчитайте, сколько граммов CaO нужно для подогрева порции бульона с 21,0 °C до 70,0 °C при потере тепла в 40%. (4,5)

б) Рассчитайте, сколько граммов порошка из сплава Mg и Fe нужно, чтобы разогреть порцию бульона при потере тепла в 40%. (3,5)

с) i) Зачем в упаковку добавляют хлорид натрия? ii) Почему вместо чистого Mg используют сплав? iii) Почему данный тип упаковок опаснее, чем описанный выше? (3)

Для быстрого разогрева пищи используют и микроволновую печь, где пища разогревается под влиянием электромагнитного излучения с длиной волны $\lambda = 12,0$ см.

д) Рассчитайте, как долго надо разогревать порцию бульона, если микроволновая печь излучает в секунду $5,45 \cdot 10^{26}$ фотонов. (2) **13 б**

7. Олимпийский комитет заказал у ювелира медали. Ювелир решил сэкономить серебро за счёт своих знаний по химии и использовать более дешёвый материал. Сначала он добавил в воду порошок $\text{Hg}(\text{NO}_3)_2$. В результате в колбе появился белый осадок **A** (реакция 1), который растворился при добавлении малого количества азотной кислоты. Затем ювелир очистил старые бронзовые медали от продуктов окисления и поместил медали в приготовленный раствор. Начались реакции 2 и 3, и после нескольких часов «серебряные» медали были готовы.

Олимпийский комитет заподозрил обман и решил проверить совесть ювелира. Для этого подозреваемому пришлось подержать красного цвета бумажку в форме сердца над горячей плитой. Через несколько секунд цвет сердца стал чёрно-коричневым. Ну ясно, обман налицо! Бумажное сердце было изначально окрашено веществом **B**, получение которого началось из того же раствора, куда поместили медали. К раствору $\text{Hg}(\text{NO}_3)_2$ добавили насыщенный раствор соли **C** (реакция 4) и образовался красный осадок **D**. При последующем добавлении вещества **C** (реакция 5) осадок **D** растворился и образовалось бесцветное вещество **E**. К раствору **E** добавили раствор соли **F** (реакция 6) и наконец образовался индикатор совести, красный осадок **B**. Вещество **C** содержит 76,4% йода, а 64,2% от вещества **F** составляет главный компонент «серебряной» медали.

а) Напишите формулы веществ **A–F**. (3)

б) Напишите уравновешенные уравнения реакций 1–6. (6)

с) Как называется слой, покрывающий «серебряную» медаль? (1)

- d) Напишите наименование вещества **B**. Почему его цвет изменился при нагревании? (2)
- e) Каким образом можно легче всего сменить цвет „совести“ обратно на красный? (1) **13 б**

8. Кислота Фейста ($C_6H_6O_4$) была открыта уже в 1893. году, однако её структуру стало возможным определить только в 1950. годах с помощью ЯМР-спектроскопии. До этого рассматривались два варианта структуры. Молекула каждого из вариантов содержит один трехчленный углеродный цикл. Каждый из углеродов, входящих в состав цикла, имеет заместитель, причём два заместителя идентичны. В молекуле каждого из вариантов есть двойная связь между неидентичными углеродами.

- a) Нарисуйте обе структуры, не учитывая стереохимию. (2)
После изучения ЯМР-спектра выяснилось, что кислота Фейста имеет два хиральных центра.
- b) Обозначьте в нарисованных структурах хиральные атомы углерода звёздочкой (*) и обведите кружком структуру кислоты Фейста. (4)
- c) Нарисуйте все стереоизомеры кислоты Фейста. Обозначьте, какие изомеры являются энантиомерами. (7) **13 б**

9. Фосфорная кислота – это трёхосновная кислота (константы диссоциации $K_{a1} = 7,6 \cdot 10^{-3}$, $K_{a2} = 6,2 \cdot 10^{-8}$, $K_{a3} = 4,4 \cdot 10^{-13}$) которую добавляют в напитки типа колы. Для определения содержания фосфорной кислоты в коле Мари использовала потенциометрическое титрование, измеряя изменение значения pH при добавлении щелочи к напитку. На титрование $50,0 \text{ см}^3$ дегазированной колы до первой точки эквивалентности потребовалось $5,49 \text{ см}^3$ $0,0500 \text{ M}$ раствора NaOH. В первой точке эквивалентности H_3PO_4 полностью прореагировал до NaH_2PO_4 .

- a) Рассчитайте молярную концентрацию фосфорной кислоты в коле. (1)
- b) Рассчитайте pH $0,0500 \text{ M}$ раствора NaOH. (2)
- c) Рассчитайте pH колы до титрования. (2)
- d) Рассчитайте pH титруемого раствора после добавления $8,00 \text{ см}^3$ $0,0500 \text{ M}$ раствора NaOH. (3)
- e) Рассчитайте объем добавленного раствора NaOH, если pH титруемого раствора равен 7,39. (4)
- f) Почему важна предварительная дегазация колы? (1) **13 б**