

## 9 класс

### Задача 9-1

В 1885 году на одном из рудников в Германии был найден новый минерал, который был назван Юлиусом Вайсбахом, математиком и естествоиспытателем, «аргиродит», от греческого «серебросодержащий». Найденный минерал вызвал большой научный интерес, поскольку содержал в своем составе новый элемент **X**.

*а) Расчетom установите, какой химический элемент входит в состав аргиродита, если в природе этот элемент состоит из смеси пяти стабильных изотопов с массовыми числами 70, 72, 73, 74, 76, при этом распространенность изотопа с массовым числом 70 составляет 22,55%, 72 – 27,37%, 74 – 34,74%, а распространенность изотопов с массовыми числами 73 и 76 одинакова.*

При прокаливании в токе воздуха аргиродит образует серебро, оксид элемента **X** в его высшей степени окисления и некоторый газообразный продукт реакции, который является оксидом элемента **Y** в его немаксимальной степени окисления, причем мольное отношение оксидов элементов **X** и **Y** в реакции прокалывания составляет 1:6.

*б) Расчетom установите формулу аргиродита, если массовая доля серебра в нем 76,50%, а элемента **X** – 6,44%, и в состав аргиродита не входят другие химические элементы, помимо Ag, **X** и **Y**.*

Разделить смесь образовавшегося в описанном процессе серебра и оксида элемента **X** можно действием концентрированного раствора гидроксида натрия, поскольку химические свойства **X** сходны с химическими свойствами алюминия.

*в) Запишите в молекулярном виде уравнение реакции, позволяющей разделить серебро и оксид элемента **X**. Приведите названия образующихся в ней веществ.*

Широко известно водородное соединение элемента **X** в его высшей степени окисления. Любопытна реакция этого соединения с эквимольным количеством натрия в диметоксиэтаноле при пониженной температуре, в результате которой выделяется газообразный водород и образуется соединение, содержащее натрий, элемент **X** и водород.

*г) Приведите химическую формулу и название этого водородного соединения элемента **X**. Каково пространственное строение такой молекулы? Запишите уравнение описанной реакции взаимодействия водородного соединения элемента **X** с натрием. Какова степень окисления элемента **X** в продукте реакции? Как называется продукт реакции?*

## Задача 9-2

Области применения соединения **A** разнообразны: это вещество с древности использовалось как пигмент для окрашивания стекла и глазурей, применялось как компонент красок для покрытия подводных частей судов, поскольку предотвращало обрастание этих частей судов водорослями. В настоящее время интерес к соединению **A** не ослабевает, так как оно является перспективным материалом для электроники.

В лаборатории вещество **A** может быть получено по следующей схеме. Навеску медного купороса растворяют в воде и при интенсивном перемешивании к раствору добавляют водный раствор соответствующих количеств иодида калия и тиосульфата натрия. При этом образуется плотный белый осадок, который отфильтровывают, промывают и тщательно высушивают. Массовая доля меди в образующемся осадке составляет 33,37%. К полученному осадку добавляют горячий (95 °С) раствор гидроксида натрия. После завершения реакции образуется красно-кирпичный осадок вещества **A**, который отделяют фильтрованием, промывают и высушивают.

*а) Запишите уравнения реакций, описанных в условии задачи, приводящих к образованию вещества **A**.*

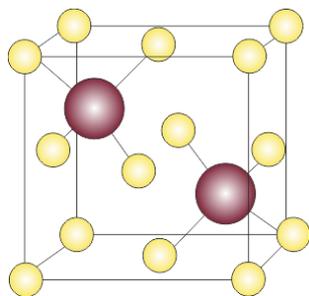
Помимо описанного пути, соединение **A** может быть получено электролитическим восстановлением ионов  $\text{Cu}^{2+}$  в водном растворе в кислой среде с использованием платиновых электродов. Кислая среда поддерживается для минимизации протекания побочного процесса.

*б) Запишите уравнение полуреакции образования соединения **A**, проходящей на катоде при электролизе. Запишите ионное уравнение реакции побочного процесса, протекающего в растворе при высоких значениях pH.*

При растворении вещества **A** в концентрированной горячей серной кислоте раствор приобретает голубую окраску, и выделяется бесцветный газ с резким запахом. Вещество **A** растворяется и в разбавленной  $\text{H}_2\text{SO}_4$  с аналогичным изменением цвета раствора, однако при этом выделения газа не происходит, но образуется некоторый осадок.

*в) Запишите молекулярные уравнения реакций взаимодействия **A** с концентрированной горячей серной кислотой и с разбавленной серной кислотой. Укажите химическую формулу и цвет осадка, образующегося при взаимодействии **A** с разбавленной серной кислотой.*

Вещество **A** было одним из первых материалов твердотельной электроники и использовалось в производстве полупроводниковых диодов. В настоящее время **A** рассматривается как перспективный низкотоксичный и дешевый материал для создания солнечных батарей. Кристаллическая структура **A** представлена на рисунке.



г) Укажите, исходя из химической формулы соединения **A**, какими сферами на рисунке обозначены атомы металла и атомы неметалла, входящие в состав **A**. Рассчитайте плотность соединения **A** ( $\text{г/см}^3$ ), если параметр кристаллической решетки равен  $0,43 \text{ нм}$ .

### Задача 9-3

*«Погода - прелесть!*

*Пойду-ка я по грибы!*

*Где мои лыжи?»*

*хокку неизвестного автора*

Лентионин – органическое вещество, отвечающее за характерный запах гриба шиитаке. Этот гриб, известный также как японский лесной гриб, употребляется в пищу сырым и является целебным. Японский химик взялся исследовать это вещество, и для начала из мешка грибов выделил лентионин массой  $5,276 \text{ г}$ . Первым делом он решил установить элементный состав вещества и сжёг половину его в кислороде, полностью поглотив продукты сгорания избытком раствора гидроксида бария. Полученный осадок массой  $20,74 \text{ г}$  он тщательно промыл избытком щелочной жавелевой воды (так называют продукт поглощения хлора холодным водным раствором  $\text{KOH}$ ), и масса осадка выросла до  $21,86 \text{ г}$ . Промывание полученного осадка избытком разбавленной соляной кислоты привело к снижению его массы до  $16,34 \text{ г}$ .

а) *Какие растворённые вещества присутствуют в щелочной жавелевой воде? Составьте уравнение реакции, протекающей при промывании ею первого осадка.*

б) *По данным анализа продуктов сгорания установите массовые доли элементов в лентионине.*

Вторую половину лентионина японский химик изучал в университете, где спектроскопические исследования в числе прочего показали, что все атомы водорода в молекуле лентионина эквивалентны, а молекулярная формула вещества совпадает с простейшей. Химик догадался, какова структура молекулы лентионина, и сумел с небольшим выходом синтезировать его из дихлорметана и смеси двух калиевых солей, которую можно получить, смешивая равные массы двух простых веществ.

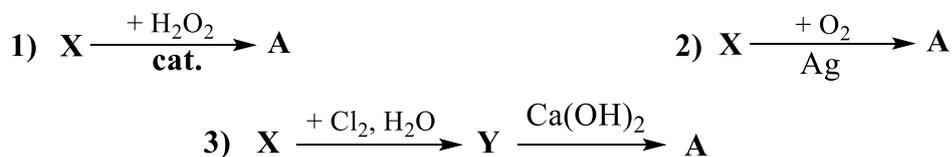
в) *Установите молекулярную формулу лентионина.*

- г) Составьте уравнения реакций, протекающих при упомянутом смешивании простых веществ.
- д) Отталкиваясь от накопленных данных, установите структурную формулу лентиионина.

### Задача 9-4

«Зеленая химия» – новое словосочетание индустриальной эры, это научное направление и философия. Ее задача – сделать химическую продукцию и сам процесс производства безопасными и безотходными, для чего химики и технологи оценивают «зеленость» уже существующих методик и разрабатывают новые. Для оценки «зелености» той или иной методики синтеза используется ряд «зеленых метрик», самой распространенной из которых можно назвать всем знакомую величину выхода в химической реакции. Тем не менее, зачастую химикам необходимо оценить теоретически спланированную стратегию синтеза, для чего используется процент экономии атомов. Этот фактор рассчитывается как отношение молярной массы целевого продукта к сумме молярных масс исходных веществ с учетом стехиометрических коэффициентов в реакции. Для удобства в случае многостадийных процессов расчет ведут по суммарному уравнению реакции. Катализаторы в расчетах не учитываются. Очевидно, что процент экономии атомов и «зеленость» синтеза можно оценить априори, исходя из типа реакции.

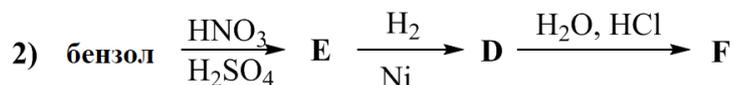
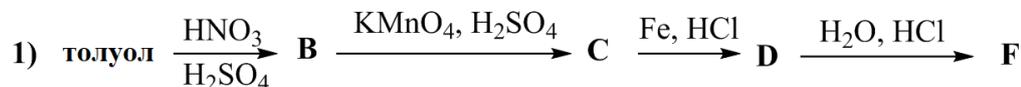
Органическое соединение **A** в промышленности получают тремя путями из одного и того же исходного соединения – углеводорода **X** с относительной плотностью по гелию 7,0. Альтернативные пути синтеза представлены на схеме:



- а) Как будут соотноситься между собой (качественно) проценты экономии атомов реакций замещения, элиминирования (отщепления), изомеризации и присоединения?
- б) Приведите структурные формулы веществ **X**, **A** и **Y**, а также уравнения всех реакций на схеме. Как называется соединение **A**? Какой из путей синтеза **A** более «зеленый»? Свой ответ подтвердите расчетами процентов экономии атомов для всех трех путей получения **A**. При расчетах учтите, что гидроксид кальция в третьем пути синтеза вводится непосредственно в реакцию

смесь, полученную после первой стадии, без выделения Y. Избыток хлора при этом предварительно удаляется.

Флороглюцин или 1,3,5-тригидроксибензол (соединение F) получают из бензола или из толуола по приведенным ниже схемам (реакции с азотной кислотой идут в мольном отношении 1:3). На стадии получения D из C выделяется углекислый газ.



в) Приведите структурные формулы соединений B-F, а также уравнения всех протекающих реакций. Сравните численные значения процента экономии атомов для обоих путей получения флороглюцина. Какой метод более предпочтительно использовать с точки зрения зеленой химии?

г) Предложите метод синтеза 1-метилциклогексена из доступных реагентов со 100% экономией атомов.

### Задача 9-5

Школьник Семён обратил внимание, что химический стакан, в котором протекает реакция нейтрализации между серной кислотой и гидроксидом калия, разогревается. Тогда Семён решил провести реакцию между растворами азотной кислоты и гидроксида натрия и также зафиксировал разогрев стакана, в котором протекала реакция. Семён задумался, одинаково ли количество теплоты, которое выделяется в реакциях нейтрализации между различными кислотами и основаниями.

Семён знал, что изменение температуры какого-либо вещества, например, воды, при его нагревании пропорционально теплоемкости этого вещества:

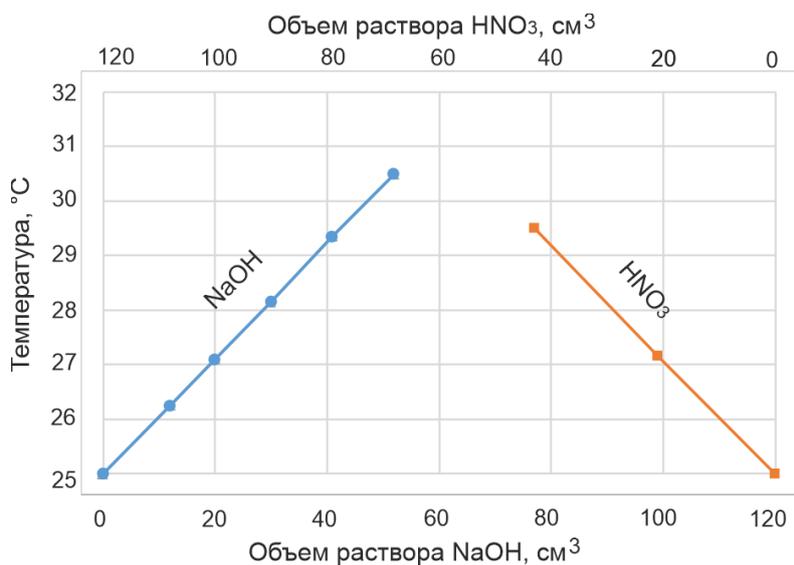
$$Q = c(\text{H}_2\text{O}) \cdot m(\text{H}_2\text{O}) \cdot \Delta T(\text{H}_2\text{O}),$$

где Q – количество тепла, сообщенного веществу, Дж;  $c(\text{H}_2\text{O})$  – удельная теплоемкость воды ( $c(\text{H}_2\text{O}) = 4,18 \text{ Дж}/(\text{г} \cdot \text{K})$ );  $\Delta T$  – изменение температуры воды при нагревании, K.

Тогда количество выделяющегося в реакции нейтрализации тепла можно оценить по изменению температуры растворителя, если считать, что все выделяющееся в реакции количество тепла переходит к растворителю без потерь и расходуется только на изменение температуры растворителя. Количество поглощенной или выделенной энергии можно в первом приближении отождествить с изменением энтальпии процесса ( $Q = -\Delta_r H$ , где Q –

количество тепла, образующееся в реакции (кДж/моль),  $\Delta_r H$  – изменение энтальпии реакции (кДж/моль)).

В закрытый сосуд из материала, плохо проводящего тепло, Семён закрепил термометр, после чего изучал реакцию нейтрализации между растворами гидроксида натрия и азотной кислоты – смешивал различные объемы щелочи и кислоты так, чтобы их общий объем был постоянным и равнялся 120,0 см<sup>3</sup>. При этом Семён фиксировал изменение температуры раствора. Концентрации использованных им для исследования растворов кислоты и щелочи были 1,0 моль/дм<sup>3</sup>. По полученным экспериментальным данным Семён построил график:



- Выделяется или поглощается теплота в реакции нейтрализации? Реакция нейтрализации является экзотермической или эндотермической? Положительная или отрицательная величина изменения энтальпии данной реакции? Зачем Семён использовал сосуд из материала, плохо проводящего тепло?
- Определите объемы (см<sup>3</sup>) растворов гидроксида натрия и азотной кислоты, при сливании которых наблюдалось максимальное изменение температуры растворителя.
- Рассчитайте по приведенным экспериментальным данным изменение энтальпии реакции нейтрализации (кДж/моль) (на один моль образующейся воды), если плотность растворов гидроксида натрия и азотной кислоты концентрацией 1,0 моль/дм<sup>3</sup> равна  $\rho(\text{NaOH}) = 1,041 \text{ г/см}^3$ ,  $\rho(\text{HNO}_3) = 1,032 \text{ г/см}^3$ .

У Семёна также имелись следующие справочные данные:

	$\text{Na}^+_{(p-p)}$	$\text{OH}^-_{(p-p)}$	$\text{H}^+_{(p-p)}$	$\text{NO}_3^-_{(p-p)}$	$\text{H}_2\text{O}_{(ж)}$
$\Delta_f H^\circ_{298}$ , кДж/моль	-240,2	-229,8	0	-207,16	-285,49

г) Рассчитайте по имеющимся справочным данным теоретическое значение изменения энтальпии реакции нейтрализации (кДж/моль), если она рассчитывается как разность суммы величин  $\Delta_f H^\circ_{298}$  всех продуктов реакции и суммы величин  $\Delta_f H^\circ_{298}$  реагентов с учетом стехиометрических коэффициентов. Как зависит изменение энтальпии реакции нейтрализации от химической природы кислоты и щелочи, участвующей в реакции? Рассчитайте (в %) различие экспериментального и теоретического значения. Объясните расхождение экспериментальной и теоретической величины.