

## 11 класс

### Задача 11-1

В навеске ртути массой 49,00 г при 20 °С растворяли неизвестный металл до насыщения. Полученную амальгаму полностью растворили в 850 см<sup>3</sup> 49%-й HI с плотностью 1,54 г/см<sup>3</sup>. В процессе растворения выделилось 24,15 дм<sup>3</sup> (н.у.) газа.

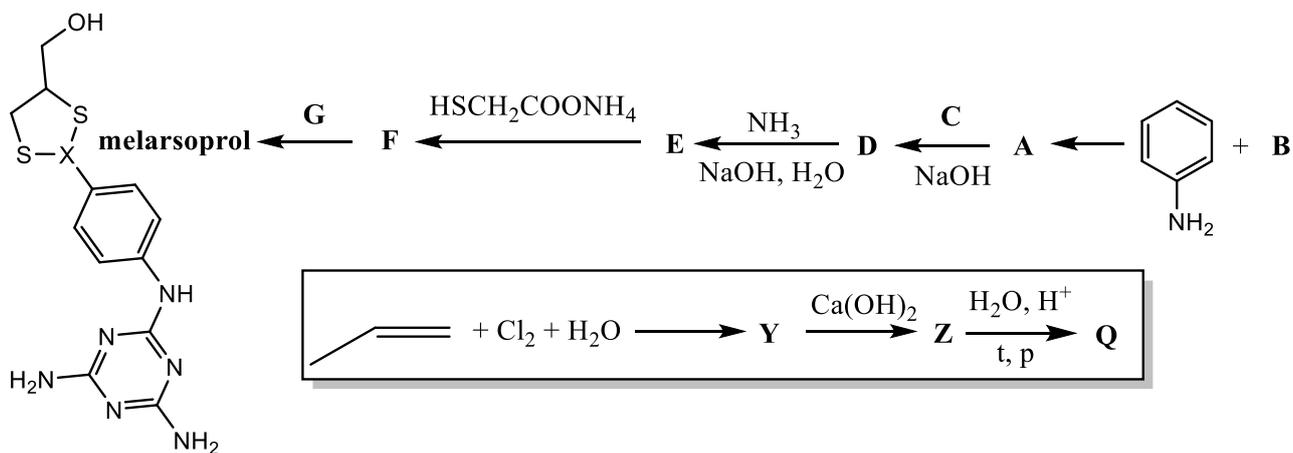
- а) Установите неизвестный металл и приведите уравнения описанных превращений, если известно, что этот металл является рекордсменом по растворимости в ртути, и его массовая доля в насыщенной (20 °С) амальгаме составляет 56,52%.
- б) Рассчитайте массы компонентов в полученном после растворения амальгамы растворе.
- в) В 500 г насыщенного при 20 °С раствора иодида этого неизвестного металла содержится  $5,837 \cdot 10^{24}$  атомов. Рассчитайте массу дигидрата иодида, которую можно выделить из этого раствора.

Данный неизвестный металл представлен в природе двумя изотопами, причем один из них радиоактивен и претерпевает  $\beta^-$ -распад ( $\tau_{1/2} = 441 \cdot 10^{12}$  лет). Активность образца неизвестного металла массой 12 г составляет 3 Бк (1 Бк = 1 распад/с).

- г) Рассчитайте мольную долю стабильного изотопа в образце.
- д) Установите массовые числа изотопов неизвестного металла, если известно, что они отличаются на 2. Какой изотоп является продуктом описанного  $\beta^-$ -распада радиоактивного изотопа неизвестного металла?

### Задача 11-2

Необычное лекарство под названием **меларсопрол** или **арсобал**, формула которого представлена на схеме, используют для лечения сонной болезни. Для синтеза меларсопрола в качестве стартового используют соединение **A**, получаемое взаимодействием анилина с неорганической кислотой **B**, содержащей элемент **X** в высшей степени окисления. Вещество **A** вводят во взаимодействие с соединением **C** с массовой долей хлора 57,67%, молекула которого имеет ось симметрии третьего порядка. Мольные доли всех трех элементов в **C** равны. Синтез проводят по схеме, представленной ниже. На стадии превращения **D** в **E** используется избыток аммиака. На стадии превращения **E** в **F** реагент, указанный на схеме, выступает в роли восстановителя. Массовая доля углерода в **G** составляет 29,00%.



а) Какой химический элемент обозначен в схеме **X**? Свой ответ поясните.

б) Приведите структурные формулы веществ **A–G**.

В одной из серий сериала «Доктор Хаус» команда врачей применяет меларсопрол для лечения пациента. Герои ужасаются тому, что лекарство растворяет пластик, поэтому они используют стеклянные шприцы и специальные капельницы. Один из врачей справедливо называет лекарство «**X**, смешанный с антифризом». Химикам же известно, что сам меларсопрол неспособен растворять пластик, этим свойством лекарство обязано полярному растворителю **Q**, на основе которого готовят капельницу. По совместительству **Q** является основным компонентом некоторых антифризов. Вариант получения этого растворителя также представлен на схеме в рамке.

в) Приведите структурные формулы **Y**, **Z** и **Q**.

г) Зачастую при получении **Q** из **Z** (особенно при использовании больших концентраций **Z**) образуется ряд схожих между собой побочных продуктов, содержащих фрагменты  $\text{C-O-C}$ . Приведите структурную формулу простейшего подобного продукта и механизм его образования.

Вещество **G** носит название меркапрол или «Британский антилюизит». Последнее название оно получило благодаря использованию в качестве противоядия при отравлении люизитом, или «росой смерти».  $\alpha$ -Люизит получают присоединением галогенида элемента **X** с массовой долей галогена 58,67% к молекуле ацетилену в присутствии кислот Льюиса. Последующая реакция  $\alpha$ -люизита с еще одной молекулой ацетилену дает  $\beta$ -люизит.

д) Приведите формулу галогенида **X** и структурные формулы  $\alpha$ -люизита и  $\beta$ -люизита, свой ответ подтвердите расчетом.

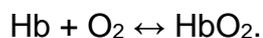
### Задача 11-3

Гемоглобин – белок, содержащийся в эритроцитах, выполняющий функцию переносчика кислорода. В капиллярах легких молекулы кислорода присоединяются к молекуле гемоглобина и потоком крови доставляются к органам и тканям, где высвобождаются из гемоглобина. Степень насыщения гемоглобина кислородом определяется как отношение количества оксигенированного гемоглобина (связанного с кислородом) к общему количеству гемоглобина в обеих формах. При связывании кислорода изменяется спектр поглощения гемоглобина в области видимого света, значит, основываясь на светопоглощении, можно определить степень насыщения гемоглобина крови кислородом. Этот подход лежит в основе функционирования пульсоксиметров.

Молекулярная масса белков обычно измеряется в кДа (килодальтонах),  $1 \text{ Да} = 1 \text{ а.е.м.}$  Светопоглощение  $A$  раствора определяется как  $A = \lg(I_0/I)$ , где  $I_0$  – интенсивность падающего света,  $I$  – интенсивность прошедшего через раствор света. Светопоглощение раствора зависит от молярного коэффициента светопоглощения (коэффициента экстинкции)  $\varepsilon$  ( $\text{дм}^3/(\text{моль} \cdot \text{см})$ ), концентрации вещества в растворе  $c$  ( $\text{моль/дм}^3$ ) и длины светового пути  $l$  ( $\text{см}$ ):  $A = \varepsilon l c$ .

- а) *Определите молекулярную массу гемоглобина (кДа), если измеренное при длине волны излучения 555 нм светопоглощение раствора гемоглобина концентрацией 1 мг/мл составило 0,845. Измерения проводились в кювете толщиной 1 см. Коэффициент экстинкции гемоглобина при длине волны излучения 555 нм составляет  $54\,520 \text{ дм}^3/(\text{моль} \cdot \text{см})$ .*

Реакция оксигенирования гемоглобина в упрощенном виде может быть записана следующим образом:



- б) *Рассчитайте степень насыщения гемоглобина кислородом (%) при парциальном давлении кислорода в легочных альвеолах  $p(\text{O}_2) = 100 \text{ мм. рт. ст.}$ , если стандартная энергия Гиббса реакции оксигенирования гемоглобина при температуре  $37 \text{ }^\circ\text{C}$  равна  $-11,50 \text{ кДж/моль}$ .*
- в) *Определите константу скорости отщепления  $\text{O}_2$  от оксигенированного гемоглобина при температуре  $37 \text{ }^\circ\text{C}$  и  $p(\text{O}_2) = 100 \text{ мм. рт. ст.}$ , если константа скорости связывания  $\text{O}_2$  с гемоглобином при этих условиях составляет  $1,906 \cdot 10^3 \text{ с}^{-1}$ .*
- г) *На основании рассчитанной константы скорости отщепления  $\text{O}_2$  от оксигенированного гемоглобина рассчитайте среднюю продолжительность существования (с) гемоглобина в оксигенированном состоянии.*

#### Задача 11-4

В атмосфере Марса происходят интересные химические процессы. Так, ученым удалось обнаружить в ней метан, причем из-за смены сезонов его концентрация в приповерхностном слое меняется от 0,24 ppb (part per billion – частей на миллиард) до 0,65 ppb. Такие изменения связывают с разложением клатратов (газовых гидратов) метана на поверхности Марса. Клатрат метана массой 100 г содержит 12,97 моль атомов водорода.

*а) Установите формулу клатрата. Рассчитайте, какая масса клатрата метана должна разложиться на поверхности Марса, чтобы обеспечить такое изменение концентрации метана в приповерхностном слое атмосферы Марса толщиной 1 км. Давление у поверхности Марса можно считать постоянным и равным 1/170 от нормального земного атмосферного давления, а средняя температура составляет  $-63^{\circ}\text{C}$ . Радиус Марса 3389,5 км.*

Не менее интересное явление – полярное сияние – одно из самых красивых природных явлений на Земле. Возникает оно в результате попадания низкоэнергетических заряженных частиц солнечного ветра в ионосферу. При столкновении таких частиц с атомами и молекулами газов, входящих в состав атмосферы, происходит их возбуждение. Возбужденные атомы и молекулы газов впоследствии переходят в основное состояние и излучают свет в видимом диапазоне, создавая необычное свечение, называемое нами северным, или полярным, сиянием. Естественно, что цвет полярного сияния будет зависеть от состава атмосферы планеты. На Земле при полярном сиянии наблюдаются, в основном, три цвета: зеленый, фиолетовый и красный.

*б) Известно, что:*

- наиболее яркая линия в спектре излучения ионизированного молекулярного азота соответствует длине волны 3914 Å;*
- энергии наиболее интенсивных переходов для возбужденного атома кислорода: 214,6 и 189,9 кДж/моль.*

*Соотнесите цвет сияния и упомянутые выше переходы возбужденных частиц атмосферы. Ответ подтвердите расчетом.*

В верхних слоях атмосферы Юпитера распространен атомарный водород, именно он обуславливает цвет полярных сияний на этой планете.

*в) Какого цвета будет полярное сияние на Юпитере, если частицы солнечного ветра передадут атомам водорода энергию, соответствующую переходу электрона на энергетический уровень с  $n = 2$ ?*

*г) На каком энергетическом уровне будет находиться электрон в атоме водорода, если он поглотит квант энергией 12,76 эВ?*

Справочная информация: энергия кванта ( $E$ ) связана с длиной волны ( $\lambda$ ) формулой Планка  $E = \frac{hc}{\lambda}$ , где  $h$  – постоянная Планка ( $6,626 \cdot 10^{-34}$  Дж/с), а  $c$  – скорость света ( $2,998 \cdot 10^8$  м/с); энергия водородоподобного атома (атома или иона с одним электроном) связана с зарядом ядра ( $Z$ ) и порядковым номером энергетического уровня ( $n$ ), на котором находится электрон, по формуле Бора:  $E_n = -13,606 \frac{Z^2}{n^2}$ , эВ ;  $1 \text{ эВ} = 1,602 \cdot 10^{-19}$  Дж.

### Задача 11-5

В бесцветный сильноокислый раствор галогенида **A** внесли металлический цинк и добавили небольшое количество кислоты, что привело к изменению окраски на фиолетовую – характерную для ионов металла, входящего в состав образовавшегося при этом вещества **B**. После завершения реакции со временем раствор вещества **B** обесцвечивается на воздухе. Упаривание и охлаждение свежеполученного фиолетового раствора позволяет получить вещество **B** – темно-фиолетовые кристаллы гексагидрата вещества **B**. Дополнительное насыщение фиолетового раствора хлороводородом приводит к выделению зеленых кристаллов вещества **Г**, имеющего одинаковый качественный и количественный состав с **B**.

- а) *Приведите химические формулы галогенидов **A** и **B**, если массовая доля металла в **A** составляет 25,22%, а отношение числа атомов галогена в веществах **A** и **B** составляет 1,33.*
- б) *Приведите структурные формулы веществ **B** и **Г**, если отношение объемов 0,5 М раствора  $\text{AgNO}_3$ , необходимого для быстрого осаждения галогенид-ионов из растворов, в которых массы веществ **B** и **Г** равны, составляет 3:1.*
- в) *Назовите вещества **B** и **Г**.*
- г) *Приведите уравнение наиболее вероятного процесса, ответственного за исчезновение окраски сильноокислого раствора галогенида **B** на воздухе. Назовите вещество **Д**, содержащее металл, которое образуется в этом процессе.*
- д) *Основываясь на данных об окраске веществ **B** и **Г**, определите, для какого вещества – **B** или **Г** – энергия расщепления кристаллическим полем будет больше? Ответ подробно поясните.*