

3. ЗАКЛЮЧИТЕЛЬНЫЙ ЭТАП

Предметный тур

6.1. Геномное редактирование. Химия. 10-11 класс

Задача 6.1.1. По мотивам «Марсианина» (14 баллов)

Вы приземлились на Марсе и тут ваш космический корабль сломался. Ваша ситуация намного лучше, чем у героя известного фильма «Марсианин» - ваша система коммуникации с Землей не нарушена и к вам уже выслали спасательную миссию. Однако вы, как истинный исследователь, отправились изучать планету. На красной планете вы обнаружили красное простое вещество А, образованное элементом Х. Вы сразу же отметили следующие свойства обнаруженного вами вещества:

Простое вещество А не блестит, не растворяется в воде. При нагревании вещество А возгоняется и образует белое вещество В.

1. Какой элемент образует вещества А и В? Какой состав и строение имеют молекулы вещества В?
2. Напишите формулы всех известных вам оксидов элемента Х, назовите эти оксиды по номенклатуре, а также напишите уравнения реакции их образования из простых веществ.

Известно, что высший оксид элемента Х образует кислоту средней силы D. Кислотные остатки D встречаются в структуре многих биологических молекул.

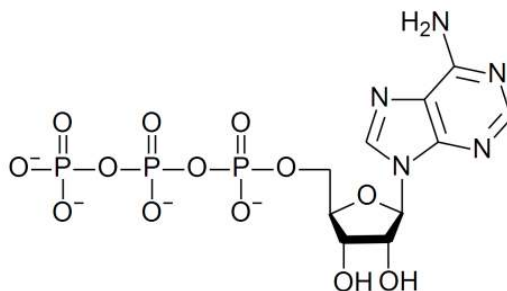
3. Напишите уравнение реакции образования кислоты D из оксида.
4. Изобразите структурную формулу молекулы – универсального источника энергии для всех биохимических процессов, в состав которой входит кислотный остаток D.

Решение

1. Единственный элемент, имеющий белую и красную аллотропную модификацию – фосфор **P** (элемент **X**). Соответственно, веществом **A** является красный фосфор, а веществом **B** – белый. В молекуле белого фосфора четыре атома P расположены в вершинах тетраэдра.
2. P_2O_3 – оксид фосфора (III); $2P + 3O_{2(\text{недостаток})} = P_2O_3$ (**реакция 1**)
 P_2O_5 – оксид фосфора (V); $2P + 5O_{2(\text{избыток})} = P_2O_5$ (**реакция 2**)
3. $P_2O_5 + 3H_2O = 2H_3PO_4$ (**реакция 3**)
 H_3PO_4 – кислота D

4. Универсальным источником энергии всех биохимических процессов считается **аденозинтрифосфат (АТФ)**.

Структурная формула АТФ:



Задача 6.1.2. Среда – не только день недели (11 баллов)

У ученых естественнонаучных специальностей слово «среда» ассоциируется не только с третьим днём недели, но и с показателем кислотности среды в растворе. Самой известной шкалой, используемой для выражения кислотности среды, является шкала, выражаемая в единицах рН. Диапазон шкалы рН – от 0 до 14.

1. Напишите формулу для расчёта значения рН в растворе. Рассчитайте рН в водных растворах:

а) 0.3 М HCl ;

б) 0.4 М CH_3COOH .

Для расчётов: соляная кислота диссоциирует полностью, а константа диссоциации уксусной кислоты $K_a = 1.8 \cdot 10^{-5}$

Работа с клетками в лаборатории ведётся в определённых условиях. В том числе, учёные строго следят за значением рН. Растворы, способные поддерживать постоянную, заданную концентрацию ионов водорода при многократном разбавлении и добавлении небольших количеств кислоты или щелочи, называются буферными (или просто буферами). Молекулярные биологи обычно работают в диапазоне рН от 5.5 до 7, поэтому предпочитают фосфатные буферы. Такие буферы готовятся из гидрофосфатов и дигидрофосфатов щелочных металлов.

рН в буферном растворе можно рассчитать по формуле:

$pH = pK_a + \lg \frac{C_0(A^-)}{C_0(HA)}$, где $pK_a = -\lg K_a$ – логарифмическая функция от константы диссоциации кислоты HA , C_0A^- – заданная концентрация аниона, C_0HA – заданная концентрация кислоты.

2. Напишите уравнение реакции диссоциации H_3PO_4 по первой и второй ступени.
3. Рассчитайте рН буферного раствора, содержащего 0.5 М KH_2PO_4 и 1 М K_2HPO_4 .

Для расчетов: $pK_{a_2}(H_3PO_4) = 7.2$, считать, что соли диссоциируют нацело.

4. Можете ли вы и ваши коллеги использовать раствор из пункта 3 для исследований в области молекулярной биологии? Аргументируйте свой ответ, основываясь на проведенных в пункте 3 расчетах.

Решение

1. Формула для расчёта pH:

$H = -\lg[H^+]$, где $[H^+]$ – равновесная концентрация ионов водорода в растворе.

- а) HCl – сильная кислота, следовательно, диссоциирует нацело:



Тогда, $[H^+] = C_0(HCl) = 0.3 \text{ M}$

$$pH = -\lg 0.3 = 0.52$$

- б)
- CH_3COOH
- слабая кислота и диссоциирует с константой



$$k_a = \frac{[H^+] \cdot [CH_3COO^-]}{[CH_3COOH]} = 1.8 \cdot 10^{-5}$$

Пусть $[H^+] = [CH_3COO^-] = x$, тогда $[CH_3COOH] = 0.4 - x$

Поскольку константа диссоциации порядка 10^{-5} , вкладом x в концентрацию непродиссоциировавшей кислоты можно пренебречь, следовательно,

$$[CH_3COOH] = 0.4$$

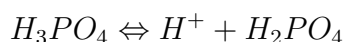
Решаем квадратное уравнение:

$$1.8 \cdot 10^{-5} = \frac{2}{0.4} \Rightarrow x = \sqrt{0.4 \cdot 1.8 \cdot 10^{-5}} = 0.0026$$

Тогда $[H^+] = 0.0026 \text{ M}$

$$pH = -\lg 0.0026 = 2.57$$

2. Первая ступень:



Вторая ступень:



3. В предложенном буферном растворе:

$$pK_a = 7.2$$

$$C_0(A^-) = C(HPO_4^2) = 0.5 \text{ M}$$

$$C_0(HA) = C(H_2PO_4) = 1 \text{ M}$$

Подставим в формулу:

$$pH = pK_a + \lg \frac{C_0(A^-)}{C_0(HA)} = 7.2 + \lg \frac{0.5}{1} = 7.2 - 0.3 = 6.9$$

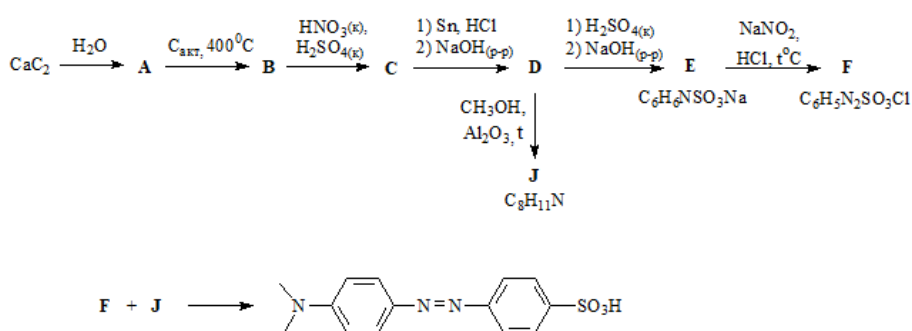
4. Да, поскольку полученное значение (
- $pH = 6.9$
-) лежит в удобном для молекулярных биологов диапазоне
- pH
- 5.5 – 7.

Задача 6.1.3. Определяем среду (15 баллов)

Растворы многих кислот и щелочей трудно отличить друг от друга: они бесцветны и не имеют запаха. До появления специальных приборов – рН-метров, которые определяют кислотность среды по изменению значения потенциала на электродах, химики различали кислоты и щелочи с помощью специальных химических веществ – кислотно-основных индикаторов, окраска которых зависит от рН раствора. Одним из наиболее известных таких индикаторов, который мог встречаться Вам на уроках химии в школе, является метиловый оранжевый.

1. Какую окраску метиловый оранжевый имеет в щелочной среде, а какую в кислой?

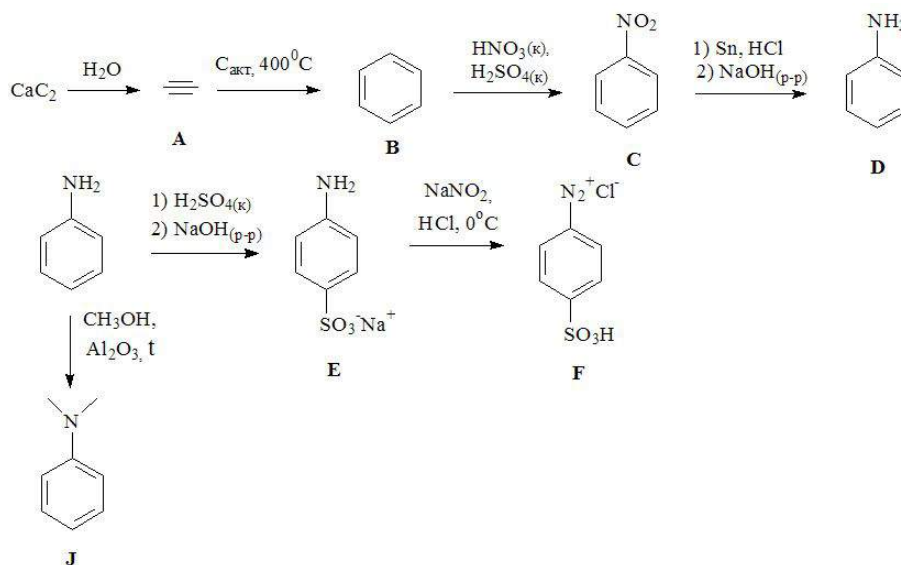
Метиловый оранжевый можно получить взаимодействием веществ F и J, схема синтеза которых приведена ниже.



2. Приведите структурные формулы веществ А-Ж и напишите названия для соединений А, В, С и D. Отметим, что соединение F представляет собой крайне неустойчивую соль, которую не выделяют и получают in situ (на месте).

Решение

1. В щелочном диапазоне рН растворы метилового оранжевого окрашены в желтый цвет, в кислом – в красный.
- 2.



3. $M(\text{глицин}) = 2 \cdot M(C) + M(N) + 5 \cdot M(H) + 2 \cdot M(O) = 12 \cdot 2 + 14 + 5 + 16 \cdot 2 = 75 \text{ г/моль}$.
 $n(\text{глицина}) = C(\text{глицина}) \cdot V_{\text{р-ра}} = 0.01 \text{ моль/л} \cdot 2 \text{ л} = 0.02 \text{ моль}$.
 $m = M \cdot n = 75 \cdot 0.02 = 1.5 \text{ г} = 1.5 \text{ г}$ глицина требуется для приготовления 2 л 0.01 М раствора.
4. Для приготовления 100 мл 0.01 М требуется 75 мг глицина. Составим пропорцию:
 85% – 1.5 г
 100% – x г.
 Отсюда, $x = 1.76 \text{ г} = 1760 \text{ мг}$
 Число таблеток $n = \frac{1760}{100} = 17.6$ таблеток (18 таблеток).

6.2. Геномное редактирование. Биология. 10-11 класс

Задача 6.2.1. (14 баллов)

ПЦР (полимеразная цепная реакция) – это метод, позволяющий получить огромное количество копий определённого фрагмента ДНК. В ходе данной реакции используются ДНК-полимеразы, производящие синтез новых цепей ДНК на основе содержащихся в растворе матричных ДНК; исходя из свойств данного метода, после проведения каждого следующего цикла реакции количество ДНК увеличивается в 2 раза по сравнению с предыдущим циклом (при условии 100% эффективности реакции).

1. Была проведена ПЦР для амплификации определенного гена. В качестве матрицы использовали геномную ДНК человека. Известно, что в реакцию внесли 2 мкл ДНК с концентрацией 30 нг/мкл, число циклов реакции было 30. ДНК была взята от человека, гомозиготного по данному гену (число аллелей – два). Какое количество гаплоидных наборов хромосом было внесено в реакцию ПЦР? Какое количество копий было получено по окончании реакции? (эффективность ПЦР считать 100%, масса 46 хромосом человека – $6 \cdot 10^{-9}$ мг).
2. Известно, что длина кодирующей аминокислоты области данного гена составляет 1500 пар нуклеотидов. Определите ожидаемую молекулярную массу белка, который закодирован в этой последовательности. Считайте среднюю массу аминокислоты равной 100 г/моль.
3. Ниже приведена последовательность начала кодирующей части матричной цепи ДНК. Оцените заряд белка, кодируемого данной последовательностью мРНК при нейтральном рН.

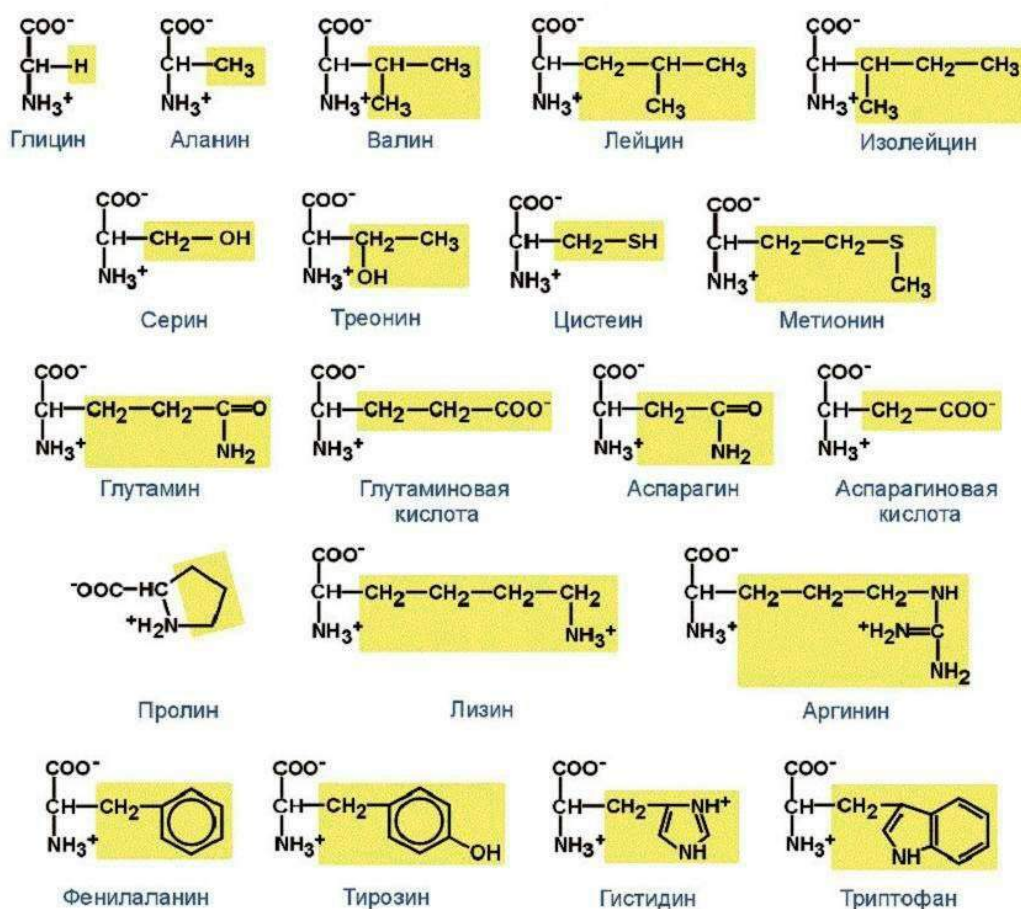
3'-ТАСТСТТТАСААСГСАТАТТТГГАСТА-5'

Для решения задачи используйте таблицу генетического кода и структуры аминокислот.

Генетический код

Первое основание	Второе основание			
	U	C	A	G
U	UUU Фен UUC Фен UUA Лей UUG Лей	UCU Сер UCC Сер UCA Сер UCG Сер	UAU Тир UAC Тир UAA* UAG*	UGU Цис UGC Цис UGA* UGG Три
C	CUU Лей CUC Лей CUA Лей CUG Лей	CCU Про CCC Про CCA Про CCG Про	CAU Гис CAC Гис CAA Гли CAG Гли	CGU Арг CGC Арг CGA Арг CGG Арг
A	AUU Иле AUC Иле AUA Мет AUG Мет	ACU Тре ACC Тре ACA Тре ACG Тре	AAU Асн AAC Асн AAA Лиз AAG Лиз	AGU Сер AGC Сер AGA Арг AGG Арг
G	GUU Вал GUC Вал GUA Вал GUG Вал	GCU Ала GCC Ала GCA Ала GCG Ала	GAU Асп GAC Асп GAA Глу GAG Глу	GGU Гли GGC Гли GGA Гли GGG Гли

Примечания: U — урацил; C — цитозин; A — аденин; G — гуанин; * — терминирующий кодон.



Решение

1. Исходя из данных задачи в реакцию ПЦР было внесено 60 нг ДНК ($6 \cdot 10^{-5}$ мг) *1 балл*. Если поделить полученное число на массу 46 хромосом, получим число 10000 – это количество наборов хромосом в смеси *1 балл*. Так как данных копий гена в каждом наборе два, то количество копий матричной ДНК равно 20000 *2 балла*. Количество получаемых после ПЦР копий можно посчитать следующим образом: $20000 \cdot 2^{30}$ (справедливо, так как эффективность ПЦР 100%, рост количества матрицы экспоненциальный), что примерно равно $2.15 \cdot 10^{13}$ *2 балла* за формулу ещё *1 балл* за конечный ответ.
2. 1500 пн соответствует 500 кодонам *1 балл*. Значит белок состоит из 500 аминокислот, масса равна $500 \cdot 100 = 50000$ а.е.м. (50 кДа). *1 балл*
3. Так как указана матричная цепь ДНК, нужно по принципу комплементарности построить мРНК: 5'-AUGAGAAAUGUUGCGUAUAAACCUGAU-3' С данной мРНК будет транслироваться следующий пептид: мет-арг-асн-вал-ала-тир-лиз-про-асп *2 балла*. При нейтральном рН положительный заряд несут арг и лиз, отрицательный – асп *1 балл*. Суммарный заряд пептида будет положительным *2 балла*.

Задача 6.2.2. (5 баллов)

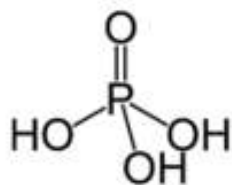
В биологических лабораториях используют много различных растворов. Известно, что многие из них могут «зарастать», со временем в них размножаются бактерии, и они становятся непригодными для работы. Ниже перечислены составы некоторых активно используемых растворов. Выберите из них те, которые потенциально могут быть пригодными для жизни бактерий.

Предположите, для каких именно жизненных процессов данные вещества могут быть использованы.

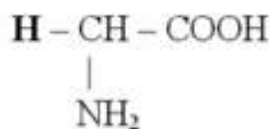
1. Раствор ТЕ – трис-ЭДТА
2. Буфер ТАЕ – трис-уксусная кислота-ЭДТА
3. Цитратный буфер (содержит лимонную кислоту)
4. PBS – фосфатный солевой буфер (содержит соли ортофосфорной кислоты и хлорид натрия)
5. Буфер TGV (содержит трис и глицин)

Ниже приведены структуры компонентов буферных растворов.





Ортофосфорная кислота



Глицин

Решение

1. TE-буфер непригоден для жизни бактерий, так как не содержит никаких веществ, потенциально полезных для метаболизма бактерии *1 балл*.
2. TAE-буфер пригоден для жизни бактерий, так как ацетат способен превращаться в ацетил-КоА и быть вовлечённым в метаболизм *1 балл*.
3. Цитратный буфер пригоден для жизни бактерий, так как лимонная кислота α - один из компонентов цикла Кребса и может метаболизироваться *1 балл*.
4. PBS пригоден для жизни бактерий, так как остатки фосфорной кислоты могут быть использованы для синтеза нуклеотидов *1 балл*.
5. TGB-буфер пригоден для жизни бактерий, так как глицин является биогенной аминокислотой и может метаболизироваться *1 балл*.

Задача 6.2.3. (10 баллов)

Представьте, что вы производитель новых сортов роз, которые получаете с помощью инструментов геномного редактирования. Внося мутации в гены, которые относятся к тому или иному этапу метаболизма растительного пигмента, вы получаете розы определённого цвета. Дикий тип розы – розовые цветки. Однако до сих пор вы вносили одну мутацию в случайный ген метаболизма пигмента и отбирали розы интересующего цвета. Были получены розы следующих цветов: белого (W^-), жёлтого (Y^-), красного (R^-), оранжевого ($^-$) и синего (B^-).

Представим, что существует путь биосинтеза розового пигмента, в ходе которого каждый следующий пигмент преобразуется определённым ферментом и даёт другой цвет. Для определения порядка действия этих ферментов Вы вносили единичные мутации в два гена ферментов розовой розы, приводящие к потере активности двух ферментов данного пути.

Ниже приведены цвета роз – двойных мутантов во всех возможных комбинациях двух внесённых мутаций.

	B^-	O^-	Y^-	R^-
W^-	белый	белый	белый	белый
B^-		синий	синий	синий
O^-			жёлтый	оранжевый
Y^-				жёлтый

Восстановите последовательность мутаций в пути биосинтеза розового пигмента и порядок действия генов в этом пути. Обоснуйте свои рассуждения.

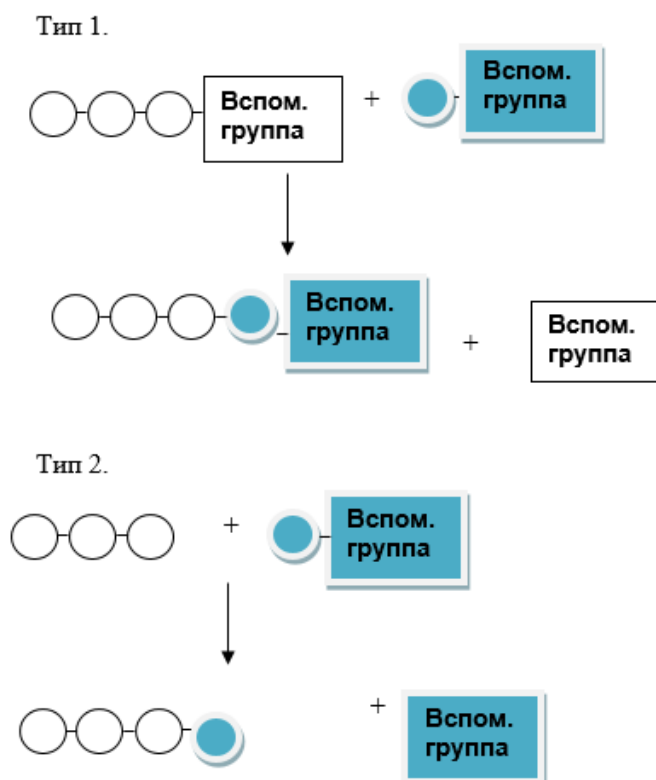
Решение

Так как любая комбинация с мутацией гена W приводит к формированию белых цветков, то продукт этого гена первый в пути биосинтеза *1 балл*. Так как любая комбинация с мутацией гена В (кроме комбинации с W) приводит к формированию синих цветков, то ген В следующий в данном пути *1 балл*. Мутация по гену Y приводит к формированию жёлтых цветков в комбинации с мутациями по генам O и R, значит жёлтый пигмент образуется из синего, и ген Y следует в пути за геном В *1 балл*, следующим является ген O (по такой же логике) *1 балл* и финальный ген – R, так как нет комбинации двух мутаций, приводящих к формированию красных цветков, это говорит о том, что это предпоследняя стадия формирования розового пигмента *2 балла*.

Таким образом, порядок генов: W-B-Y-O-R *2 балла*; порядок синтеза пигмента: белый, синий, жёлтый, оранжевый, красный, розовый *2 балла*.

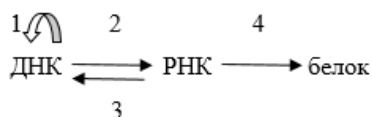
Задача 6.2.4. (10 баллов)

Как известно, биосинтез ДНК, РНК и белков являются матричными процессами, при этом элонгация принципиально осуществляется по одному из двух механизмов (см. рис): вспомогательная группа либо освобождается от растущей цепи (тип 1 на рис.), либо отщепляется от единицы, добавляющейся к растущей цепи.



1. Укажите, по какому типу происходит элонгация при репликации, транскрипции и трансляции.
2. Для каждого процесса укажите, что является вспомогательной группой.
3. Все матричные процессы происходят последовательно. На основании их существования и последовательности была сформулирована центральная догма

молекулярной биологии. Схематично она выглядит так:



Напишите название процесса, соответствующего каждой цифре. Какие из этих процессов происходят не во всех клетках (и в каких случаях происходят)? Для каждого процесса укажите ключевой фермент (или клеточную структуру), осуществляющий элонгацию, и его субстрат.

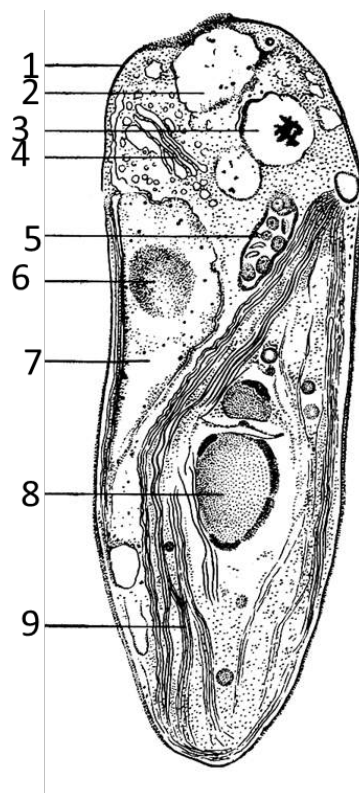
Решение

1. Тип 2 – репликация и транскрипция *2 балла (по 1 за каждый процесс)*, Тип 1 – трансляция *1 балл*.
2. Вспомогательная (уходящая) группа: транскрипция и репликация – пирофосфат *2 балла*. Трансляция – тРНК *1 балл*.
3. 1 – репликация, 2 – транскрипция, 3 – обратная транскрипция, 4 – трансляция *4 балла, по 1 за каждую цифру*. Обратная транскрипция не является универсальным процессом *1 балл*, происходит в заражённых ретровирусами клетках (необходимо для получения ДНК по матрице геномной РНК), также идет при удлинении теломер в стволовых клетках, клетках зародышевой линии, в раковых клетках. *1 балл*. Репликация ДНК также происходит не во всех клетках: некоторые остаются в G₀-фазе клеточного цикла *1 балл*. Для репликации ключевым ферментом элонгации является ДНК-зависимая ДНК-полимераза, её субстратом являются дидоксирибонуклеотидтрифосфаты (здесь и далее *1 балл* за указание фермента, *1 балл* за указание субстрата, но только если указан фермент). Для транскрипции ключевым ферментом элонгации является ДНК-зависимая РНК-полимераза, субстрат – рибонуклеотидтрифосфаты. Для обратной транскрипции ключевым ферментом элонгации является РНК-зависимая ДНК-полимераза (обратная транскриптаза, ревертаза, теломераза), субстрат – дидоксирибонуклеотидтрифосфаты. В процессе трансляции элонгация обеспечивается рибосомами, субстратом являются аминоксил-тРНК.

6.3. Агробиотехнологии. Биология. 9 класс

Задача 6.3.1. (7 баллов)

На рисунке представлена фотография продольного среза клетки с электронного микроскопа. Определите, является ли эта клетка бактериальной, животной или растительной, объясните свой выбор. Подпишите названия отмеченных структур.



Пояснения к ответу

Клетка является растительной (на рисунке зелёная водоросль) (1.5 балла).

Есть ядро и вакуоли (1 балл).

1 – Клеточная стенка/ плазмалемма/ клеточная стенка и плазмалемма,

2 – вакуоль,

3 – вакуоль,

4 – диктиосома (аппарат Гольджи),

5 – митохондрия,

6 – ядрышко,

7 – ядро,

8 – пиреноид с крахмальной обкладкой,

9 – хлоропласт (хроматофор).

Критерии оценки

(4.5 балла, по 0.5 за каждую правильную органеллу).

Задача 6.3.2. (9 баллов)

Предположим, что растения умеют очень быстро адаптироваться к новым условиям среды обитания как на клеточном, так и на морфологическом уровне. Если эпифитная орхидея экваториального леса попадёт в новые для неё условия обитания с экстремально низкими температурами, сильным ветром, отсутствием деревьев,

мелких насекомых и птиц, какие морфологические изменения должны произойти в строении её органов, чтобы орхидея смогла существовать в таких условиях? Что изменится в её образе жизни?

Чем опасны низкие температуры окружающей среды для клеток растений? Как клетки листьев могут адаптироваться к низким температурам, чтобы орхидея выжила в таких экстремальных условиях?

Пояснения к ответу

Ответ в свободной форме, важно сохранить ключевые моменты.

Корни перестанут быть воздушными (1 балл). Орхидее нужно будет либо сбрасывать листья на зиму, либо использовать другие механизмы для уменьшения площади поверхности испарения воды (например, скручивать листья) (1 балл). Наземная часть растения должна накапливать сахара и масла, а подземная крахмал (1 балл).

Орхидее не нужен будет яркий и крупный околоцветник, т.к. опыление теперь будет ветром, а не насекомыми. Цветки станут мелкими и не яркими. (1 балл)

Не сможет вести эпифитный образ жизни из-за отсутствия деревьев. (1 балл)

Экстремально низкие температуры опасны тем, что в клетках образуется лёд (1 балл), его кристаллы разрушают клетку. (1 балл)

Чтобы не было льда клетка должна иметь высоко проницаемые мембраны, для быстрого транспорта воды из клетки. В мембранах должно увеличиться количество ненасыщенных жирных кислот. Также накопление сахара увеличивает осмотическое давление в клетках, а масла вытесняют воду в вакуоли, защищая клетку от вымерзания. (2 балла)

Задача 6.3.3. (10 баллов)

Залив загрязняется вредными химическими отходами, которые с водой и фитопланктоном попадают в минтай и накапливаются в его мышечной ткани. 5% минтая гибнет от отравления, выпадая таким образом из трофической цепи. 1 минтай в среднем запасает 150 г токсинов в своей сухой биомассе, вместе с которой они передаются консументам следующего порядка. На одном трофическом уровне полученная биомасса распределяется между разными видами пропорционально среднему весу одной особи вида. В пищевой цепочке участвуют люди (средний вес 1 особи 70 кг), чайки (средний вес одной особи 1 кг), морские котики (средний вес одной особи 90 кг). Запишите пищевую цепь и вычислите, сколько токсинов попадает в каждый из видов в неделю, если известно, что вес обитающего в заливе минтая составляет 500 кг в неделю, средний вес одной рыбы 3.85 кг, минтай на 70% состоит из воды. Переход биомассы между продуцентами и консументами первого порядка 23%, между каждым последующим уровнем он уменьшается на 5%.

Рыбой из залива питается 8 человек, критическая норма токсинов для человека — 3% от массы его тела. Через сколько месяцев отравится первый человек?

Решение

Цепь: фитопланктон → минтай → чайки, люди, морские котики (2 балла)

Переход между минтаем и консументами второго порядка $25 - 5 = 18\%$.

5% минтая гибнет, значит остаётся $500 \cdot 95\% = 475$ кг на пищевую цепь.

Токсинов: $150 \text{ г в } 3.85 \text{ кг} \cdot 30\% = 1.155 \text{ кг}$

$475 \cdot 30\% = 142.5$ кг биомасса минтая

Значит в 142.5 кг будет $142.5 \cdot \frac{0.15}{1.115} = 19.17$ кг токсинов в биомассе минтая

на следующий уровень передаётся: $19.17 \cdot 18\% = 3.45$ кг токсинов

Как распределяется между разными видами: $70 + 90 + 1 = 161$

Человеку: $\frac{70}{161} = 0.435$, морскому коту: $\frac{90}{161} = 0.559$, чайке: $\frac{1}{161} = 0.006$

Люди получают: $3.45 \cdot 0.435 = 1.5$ кг, морские коты: $0.559 \cdot 3.45 = 1.9$ кг, чайки: $3.45 \cdot 0.006 = 0.02$ кг (*6 баллов, по 2 за правильное количество для каждого вида*).

$\frac{1.5}{8} = 0.1875$ кг токсинов в неделю получает один человек. Это 0.27%

$\frac{3}{0.27} = 11.1$ недель. Это 2.7 месяца (*2 балла*)

Задача 6.3.4. (6 баллов)

Растения на садовом участке в 8 соток выделяют кислород, который затем используется микроорганизмами в процессе нитрификации (окисления аммиака до нитрата). Известно, что суммарно в неделю с 1 м^2 растения поглощают 6 л воды для синтеза кислорода. Нитрифицирующие бактерии забирают 5% выделенного кислорода. Запишите уравнения протекающих реакций и вычислите количество нитрата, которое образуется на садовом участке за месяц.

Решение

Уравнение фотосинтеза: $6\text{CO}_2 + 6\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + 6\text{O}_2$ (*1 балл*)

Уравнение нитрификации: $2\text{NH}_3 + 4\text{O}_2 = 2\text{NO}_3^- + 2\text{H}^+ + 2\text{H}_2\text{O}$ (*1 балл*)

$$1 \text{ л воды} = 1 \text{ кг} = 1000 \text{ г}$$

$$n(\text{воды}) = \frac{m}{M} = \frac{6 \cdot 10^3}{18} = 333 \text{ моль}$$

$n(\text{кислорода выделяемого})$: 333 моль

Бактерии используют 5% - это $0.05 \cdot 333 = 16.65$ моль.

$n(\text{нитрата}) = \frac{16.65}{2} = 8.325$ моль (*3 балла*)

$8.325 \cdot 800 \cdot 4 = 26640$ моль (*2 балла*) с 8 соток в месяц.

Задача 6.3.5. (13 баллов)

В лесном массиве площадью 16 га обитают зайцы, лисы, олени, белки и совы. Вместе с мелкими растениями леса они составляют единую трофическую цепочку, на каждом уровне которой энергия между разными видами распределяется равномерно, а переход между уровнями одинаковый. Известно, что консументы самого

высокого порядка в этой цепи получают 62259 ккал энергии, а с 1 га леса продуценты выделяют 228000 ккал. Такая пищевая цепь поддерживает жизнь всех входящих в неё видов, обеспечивая их необходимым для выживания количеством энергии. Нарисуйте данную пищевую цепь и укажите количество энергии у каждого её участника.

При строительстве нового жилого квартала застройщик вырубил 1,8 га массива, что в первую очередь сказалось на популяции продуцентов, на 35% сократило численность зайцев, нарушив тем самым баланс и равномерность распределения энергии по пищевой цепи. Каким видам в первую очередь будет не хватать энергии после рубки, сколько? В стрессовой ситуации один из видов данной пищевой цепи может начать употреблять вид, на который в нормальных условиях не охотится. Хватит ли в таком случае ему энергии для поддержания существования своей популяции? О каких видах идёт речь?

Решение

Цепь: **мелкие растения**→**белки, зайцы**→**совы, лисы**,
мелкие растения→**олени** (2 балла)

Нормальные условия:

На уровне мелких растений: $16 \cdot 228000 = 3648000$ ккал (1 балл)

Пусть X – уровень перехода, Y – количество энергии у белок, зайцев, оленей, то есть суммарно на уровне консументов 1 порядка $3Y$, решим уравнения:

$$3648000 \cdot X = 3Y$$

$$2Y \cdot X = 62259$$

$$Y = 1216000X$$

$$2 \cdot 1216000X \cdot X = 62259$$

$$X^2 = 0.0256$$

$$X = 0.16 = 16\%$$

$Y=194560$ ккал — у каждого вида на втором уровне (3 балла)

У совы и лисы по: **31129.5** ккал (2 балла)

Вторая часть задачи:

$$16 - 1.8 = 14.2 \text{ га осталось}$$

С него энергии: $14.2 \cdot 228000 = 3237600$ ккал, $3237600 \cdot 16\% = 518016$ ккал переходит на следующий уровень.

Знаем, что оленям и белкам надо по 194560 ккал энергии, а зайцам теперь нужно: $194560 \cdot 65\% = 126464$ ккал

Проверяем, достаточно ли. Надо: $194560 \cdot 2 + 126464 = 515584$ ккал.

А есть: 518016 ккал \Rightarrow На этом уровне всем хватает.

Лисам и совам переходит: $(194560 + 126464) \cdot 16\% = 51363.84$. Не хватает. **Лисы и совы** пострадают раньше всего. Им не хватает **10895.7** ккал

Лисы могут начать питаться оленями.

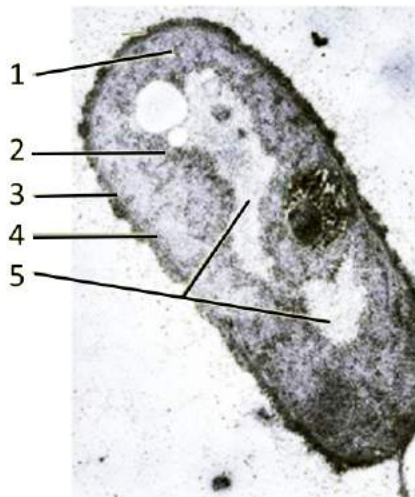
Тогда они получают ещё $194560 \cdot 16\% = 31129.6$. Это даже в избытке и им **хватит** для выживания. (5 баллов за вторую часть)

6.4. Агробиотехнологии. Биология. 10-11 класс

Задача 6.4.1. (7 баллов)

На рисунке представлена фотография клетки с электронного микроскопа. Внимательно изучите рисунок и ответьте на следующие вопросы:

1. Клетка является бактериальной, животной или растительной?
2. Можете ли вы уточнить, опираясь только на рисунок, следующее: если клетка бактериальная, то перед вами грамотрицательная или грамположительная бактерия; если клетка животная, то она принадлежит млекопитающим или насекомым; если клетка растительная, то она высших или низших растений? Если вы можете уточнить, объясните, что вам позволяет это сделать. Если нет, то почему, и какой метод позволяет увидеть различия. Ответьте на приведённые выше вопросы только для правильного типа клетки, для всех 3х вариантов отвечать не нужно.
3. Напишите названия органоидов, зашифрованных цифрами.



Решение

1. Клетка является бактериальной (1.5 балла)
2. Нет, нельзя уточнить по рисунку (1 балл) Грамположительные бактерии отличаются от грамотрицательных отсутствием внешней мембраны, на приведённой фотографии этого увидеть нельзя. Надо применить окраску по Граму, тогда грамотрицательные бактерии после второго окрашивания фуксином будут розовые, т. к. мембрана не пустит первую краску внутрь, а грамположительные будут ярко окрашены в сине-фиолетовый цвет. (2 балла)

3. 1 – цитоплазма (0.5 балла)
- 2 – рибосомы (0.5 балла)
- 3 – клеточная стенка (0.5 балла)
- 4 – плазматическая мембрана (0.5 балла)
- 5 – ДНК (нуклеоид) (0.5 балла)

Задача 6.4.2. (9 баллов)

Процесс под названием «конъюгация» встречается у разных классов организмов и при этом имеет различный механизм. В какой фазе клеточного цикла происходит конъюгация у животных? Коротко опишите суть этого процесса.

У какой группы простейших (не водорослей), изучаемой в школьном курсе биологии тоже есть конъюгация? Опишите её механизм.

Кому ещё свойственна конъюгация?

Решение

В профазе 1 мейоза (1.5 балла).

У животных происходит конъюгация хромосом, во время этого гомологичные хромосомы попарно временно сближаются, и в это время может произойти обмен генетическим материалом между гомологичными участками. (2.5 балла)

У Инфузории (1.5 балла).

У инфузорий конъюгация - это половой процесс, при котором между двумя контактирующими клетками происходит перенос ядер.

Механизм этого процесса выглядит следующим образом:

1. 2 инфузории сближаются, между ними образуется цитоплазматический мостик
2. Микронуклеус делится мейозом, образуя 4 гаплоидных ядра, одно из которых затем делится митотически, образуя тем самым два гаплоидных ядра – пронуклеуса. 3 оставшихся ядра и макронуклеус дегенерируют.
3. Клетки обмениваются ядрами.
4. В каждой клетке пронуклеус сливается с исходным пронуклеусом, образуя диплоидный синкарион.
5. Цитоплазматический мостик рвётся, клетки расходятся. Таким образом, они обменялись генетическим материалом.
6. Синкарион затем делится несколько раз, а образовавшиеся ядра становятся макронуклеусом и микронуклеусом. (2.5 балла)

Ещё конъюгация есть у бактерий и водорослей (1 балл).

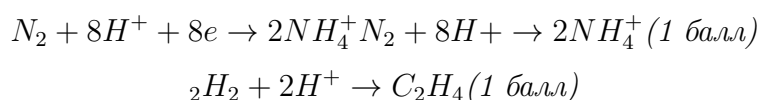
Задача 6.4.3. (10 баллов)

Для определения активности азотфиксации, которая происходит в почве благодаря азотфиксирующим бактериям, учёные применили ацетиленовый метод, который основан на свойстве нитрогеназы восстанавливать не только азот, но и ацетилен. Они использовали специальный флакон, в который добавляли сначала навеску почвы (10 г), затем глюкозу, а после инкубации вводили ацетилен. С помощью газового хроматографа и калибровочной кривой они определили концентрации этилена и ацетилена через 2 часа после начала инкубации почвы с ацетиленом.

Запишите реакции с ионами, катализируемые нитрогеназой для азота и ацетилена, и вычислите активность азотфиксации (в мг фиксированного азота на 1 кг почвы за 1 час), если известно, что объём флакона 5 мл, концентрации этилена и ацетилена по калибровочной кривой равны 7,5 М и 1,5 М соответственно, а исходная концентрация азота в флаконе равна 3,3 М. Выход реакции азотфиксации в 3 раза меньше, чем реакции восстановления ацетилена.

Решение

Уравнения:



Выход реакции с ацетиленом:

$$\text{Выход реакции} = \frac{c(\text{этилена})}{c(\text{этилена}) + c(\text{ацетилена})} = \frac{7.5}{7.5 + 1.5} = 0.83$$

Для реакции с азотом $\frac{0.83}{3} = 0.28$ (2 балла)

$$c(\text{исходная азота}) \cdot \text{выход} = c(\text{перешедшего в аммиак азота}) = 3.3 \cdot 0.28 = 0.924 \text{ М}$$

$$n = V \cdot c = 5 \cdot 10^{-3} \text{ л} \cdot 0.924 \text{ моль/л} = 4.62 \cdot 10^{-3} \text{ моль}$$

$$m = M \cdot n = 14 \cdot 2 \cdot 4.62 \cdot 10^{-3} = 0.12936 \text{ г} = 0.12936 \cdot 10^3 \text{ мг в 5 г почвы} \quad (2 \text{ балла})$$

$$0.12936 \cdot 10^3 \cdot \frac{1000}{5} = 25872 \text{ — в кг почвы за 2 часа} \quad (2 \text{ балла})$$

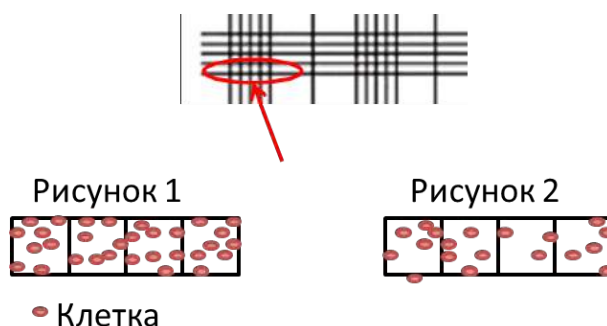
$$\frac{25872}{2} = \mathbf{12936} \text{ мг в кг почвы за 1 час — верный ответ} \quad (2 \text{ балла})$$

Задача 6.4.4. (10 баллов)

Перед вами 2 пробирки с 5 мл взвеси микроорганизмов. В первом образце количество микроорганизмов было посчитано на первый день с использованием камеры Горяева. Перед нанесением образца в камеру для взвеси из первой пробирки сделали 3 десятикратных разведения. Количество микроорганизмов во втором образце было посчитано на второй день, и перед нанесением была сделана серия из двух пятикратных разведений.

На рисунке 1 представлен фрагмент из 4х малых квадратов камеры Горяева с нанесённым первым образцом.

На рисунке 2 представлен аналогичный фрагмент камеры после нанесения второго образца.



Используя рисунки и дополнительные материалы «Подсчет клеток в счетной камере Горяева» рассчитайте количество клеток в каждой пробирке в первый день, если известно, что через каждые сутки количество микроорганизмов увеличивается в 2.5 раза. Считаем количество клеток на рисунке 1: 26 (клетки, пересекающие нижнюю и левую границы, не учитываются).

Считаем количество клеток на рисунке 2: 15 (клетки, пересекающие нижнюю и левую границы, не учитываются).

Формула из дополнительных материалов:

$$x = \left(\frac{a}{20}\right) \cdot N \cdot k \cdot b$$

a – число клеток в 20 больших квадратах

$x_1 = \left(26 \cdot 4 \cdot \frac{20}{20}\right) \cdot 225 \cdot \left(\frac{1}{0.9 \cdot 10^{-3}}\right) \cdot 10^{-3} = 26000$ – число клеток в 1 мл первого образца в 1й день (2.5 балла)

$x_2 = \left(15 \cdot 4 \cdot \frac{20}{20}\right) \cdot 225 \cdot \left(\frac{1}{0.9 \cdot 10^{-3}}\right) \cdot \frac{1}{25} = 600000$ – число клеток в 1 мл второго образца в 1й день (2.5 балла)

$x_1 \cdot 5 = 26000 \cdot 5 = 130000$ – число клеток в 5 мл первого образца в первый день (2.5 балла)

$x_2 \cdot \frac{5}{2.5} = 600000 \cdot \frac{5}{2.5} = 1200000$ – число клеток в 5 мл второго образца в первый день (2.5 балла)

Задача 6.4.5. (14 баллов)

Изучая трансляцию эукариот, молекулярные биологи смогли отфильтровать не подошедшие к матрице транспортные РНК и установить набор подходящих тРНК в той последовательности, в которой они связывались с матричной РНК. Эти тРНК несут следующие антикодоны:

5'-UGA-3' 5'-AUU-3' 5'-GCG-3' 5'-UCC-3' 5'-AAC-3' 5'-GGA-3' 5'-GCA-3' 5'-CCC-3' 5'-AGG-3' 5'-GGC-3'

Установите участок последовательности белка, который был синтезирован в ходе данного эксперимента и запишите его последовательность аминокислот в виде однобуквенных обозначений.

Известно, что ген, кодирующий данный фрагмент белка, находится на прямой цепи ДНК, восстановите последовательность этого гена на ДНК, предполагая, что он содержит только экзоны. Укажите ' концы последовательности.

Сколько вообще в природе есть возможных вариантов последовательности мРНК для кодирования данного участка белка? Запишите число. Белок: SNRGVSCGPA (5 баллов за все верные 10 букв, иначе 0). Помните, что антикодон тРНК антипараллелен кодону, а трансляция идёт от 5' к 3' концу мРНК

Последовательность мРНК: 5'UCA AAU CGC GGA GUU UCC UGC GGG CCU GCC3'

Из неё получаем часть гена на ДНК: 5' GGC AGG CCC GCA GGA AAC TCC GCG ATT TGA 3' (2 балла за верное указание 5' и 3' концов, 3 балла за верную последовательность. Если написали U вместо T минус 1 балл).

Количество вариантов: $6 \cdot 2 \cdot 6 \cdot 4 \cdot 4 \cdot 6 \cdot 2 \cdot 4 \cdot 4 \cdot 4 = 884736$ (4 балла)

6.5. Агробиотехнологии. Химия. 9 класс

Задача 6.5.1. (20 баллов)

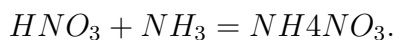
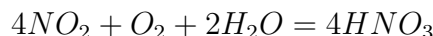
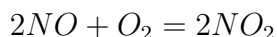
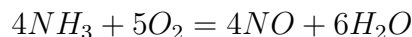
Открытую колбу объемом 2 л заполнили при н.у. сухим газообразным аммиаком, после чего внесли внутрь разогретое платиновое кольцо. После этого кольцо раскалилось докрасна (1), стали заметны следы бурого газа (2), а на стенках сосуда стал образовываться белый налет (3).

1. Объясните наблюдаемые явления (1)-(3), напишите уравнения всех протекающих химических процессов.
2. Белое вещество на стенках сосуда хорошо растворимо в воде. Оцените максимально возможную молярную концентрацию этого вещества в растворе, полученном при заполнении этого сосуда водой до краев.
3. Как образуется бурый газ в атмосфере? Напишите уравнения реакций и укажите условия их протекания.
4. Одним из продуктов реакции, протекающих при нагревании и прокаливании твердого вещества, образующегося на стенках сосуда, является газообразное вещество, имеющее сладковатый запах и использующееся в пищевой промышленности в качестве пропеллента для изготовления взбитых сливок. Назовите газ двумя способами и напишите уравнение реакции описанного выше термического разложения.

Решение

1. При каталитическом окислении аммиака образуется NO , причем реакция настолько экзотермическая, что поверхность катализатора разогревается докрасна. Бурый газ - NO_2 , легко образующийся в результате окисления NO на воздухе. В присутствии кислорода воздуха NO_2 также соединяется с парами воды, образующимися при горении аммиака, давая азотную кислоту, которая соединяется с оставшимся в колбе аммиаком. В результате образуется нитрат аммония - соль, имеющая ионное строение и поему твердая в

указанных условиях. Уравнения реакций:



2. При оценке будем исходить из того, что вначале колба была полностью заполнена аммиаком, тогда его количество в такой колбе составляет

$$n = \nu/Vm = 2/22.4 = 0.09 \text{ моль.}$$

Если допустить, что все остальные реагенты находились в избытке, то максимальное количество образовавшейся HNO_3 также составляет 0.09 моль. Но для того, чтобы образовался нитрат аммония, необходимо, чтобы половина атомов азота пошла на образование катиона аммония, поэтому максимальное возможное количество нитрата аммония составляет также половину количества атомов азота, то есть 0.45 моль. Так объем колбы равен 2 л, то предельная концентрация составляет

$$c = \nu/V_{\text{колбы}} = 0.45/2 = 0.225 \text{ М.}$$

3. В атмосфере NO_2 может образоваться во время грозы. Грозовой разряд катализирует реакцию между кислородом и азотом с образованием NO , который далее окисляется до NO_2 .
4. Уравнение реакции разложения: $NH_4NO_3 = N_2O + 2H_2O$, названия газа - оксид азота (I), закись азота, веселящий газ.

Критерии оценки

За каждое уравнение - 2 балла (без коэффициентов - по 1), наличие объяснения с указанием продуктов, но без реакций - 4 балла.

Разумная оценка - 4 балла

Каждое уравнение - по 2 балла, если нет уравнений, но есть указание на грозу - всего 2 балла.

Реакция разложения нитрата аммония - 2 балла, каждое название - 1 балл.

Задача 6.5.2. (15 баллов)

Если в помещении становится душно, мы открываем окно и корректируем газовый состав воздуха, заменяя при проветривании воздух на свежий. Восполнять запас кислорода в воздухе помогают растения с помощью реакции фотосинтеза, суммарное уравнение которой, как известно, включает углекислый газ в качестве одного из реагентов и кислород в качестве одного из продуктов. В случае длительного пребывания в замкнутом пространстве (например, в батискафах или в космосе) приходится использовать другие способы «регенерации» воздуха для дыхания. Понятно, что можно взять с собой баллоны с кислородом, однако более «прогрессивным» является использование веществ, способных поглощать углекислый газ и выделять кислород в ходе одной и той же реакции, по сути, восполняющих фотосинтетическую роль растений.

1. Одним из веществ, ведущих себя подобным образом, является X - бинарное соединение щелочного металла с кислородом, массовая доля которого составляет 41%. Установите формулу вещества X и приведите уравнение его реакции с углекислым газом, если известно, что в состав соединения X входит 4 атома.
2. Рассчитайте время нахождения в герметичном помещении объемом 10 м^3 человека, за которое доля содержащегося в воздухе кислорода снизится с 21 до 16 объемных процентов (примерно столько кислорода содержится в выдыхаемом воздухе), если считать, что дыхание происходит с частотой 20 вдохов в минуту, и за 1 вдох человек заменяет 25 мл кислорода на 25 мл углекислого газа.
3. Какую массу вещества X необходимо взять для того, чтобы в течение 1 часа количество кислорода в помещении можно было бы поддерживать на начальном уровне? На сколько граммов при этом потяжелеет само вещество X ? Считайте молярный объем в данных условиях равным 24 л/моль .

Решение

1. Бинарное соединение щелочного металла с кислородом имеет формулу M_aO_b , где $a + b = 4$. Очевидно, что вещество X не может быть оксидом, поскольку при реакции оксида щелочного металла с углекислым газом происходит реакция соединения, а по условию в продуктах реакции должен присутствовать кислород. Значит в соединении X больше одного атома кислорода. Предположим, что $b = 2$, тогда $M(a \cdot M) = 32/0.41 - 32 = 46 \text{ г/моль}$. Это масса двух атомов натрия. Формула вещества Na_2O_2 . Уравнение реакции $\text{Na}_2\text{O}_2 + \text{CO}_2 = \text{Na}_2\text{CO}_3 + \text{O}_2$.
2. 5% от 10 м^3 - это 500 л , за 1 минуту человек потребляет $20 \cdot 25 \text{ мл} = 0.5 \text{ л}$ кислорода, откуда следует, что этого объема хватит на 1000 минут или $1000/60 = 16 \text{ часов } 40 \text{ минут}$. Однако духота будет ощущаться гораздо раньше, так как в реальности количество потребляемого с каждым вдохом кислорода будет понижаться из-за понижения его концентрации в помещении и органы начнут ощущать недостаток кислорода.
3. Для 1 часа комфортного дыхания человеку потребуется $0.5 \cdot 60 = 30 \text{ л}$ кислорода, откуда $n(\text{O}_2) = V/V_m = 30/24 = 1.2 \text{ моль}$. Тогда по уравнению реакции $n(\text{Na}_2\text{CO}_3) = 2.4 \text{ моль}$, $m = n \cdot M = 254.4 \text{ г}$. Масса твёрдого вещества увеличится на массу поглощённого углекислого газа за вычетом выделившегося кислорода: $\Delta m = m(\text{CO}_2) - m(\text{O}_2) = 2.4 \cdot 44 - 1.2 \cdot 32 = 67.2 \text{ г}$.

Критерии оценки

Расчет – 2 балла (подбор с проверкой также засчитывается), уравнение реакции – 2 балла

Расчет времени – 4 балла

Расчет необходимой массы пероксида натрия – 4 балла, утяжеление твердого вещества – 3 балла, всего - 15 баллов

Задача 6.5.3. (25 баллов)

Имеется 3 монеты одинакового размера (диаметром 20 мм и толщиной 0,8 мм), но отчеканенные из трех разных чистых металлов - железа, меди и золота, а также кристаллический хлорид железа (III), платиновая проволока, несколько химических стаканов и вода.

1. Как с помощью этих объектов покрыть слоем меди железную монету? Кратко опишите последовательность действий, напишите уравнения реакций, которые будут происходить в описанной Вами методике осаждения меди.
2. Как с помощью этих объектов покрыть слоем меди золотую монету? Кратко опишите последовательность действий, напишите уравнения реакций, которые будут происходить в описанной Вами методике осаждения меди.
3. Рассчитайте толщину наносля меди, покрывающего железную монету, если медная монета растворилась в ходе процесса нанесения этого слоя на 3% и вся медь из раствора осела на железной монете. Считайте, что образовавшийся слой имеет одинаковую толщину по всей поверхности монеты. Объем монеты рассчитывается по формуле $V = \pi r^2 h$, где r - радиус, а h - толщина монеты.

Решение

1. Если медную монету опустить в раствор хлорида трехвалентного железа, пойдет реакция $Cu + FeCl_3 = CuCl_2 + FeCl_2$. Через некоторое время в полученный раствор, не содержащий избытка $FeCl_3$, опускают железную монету, при этом извлекают медную. Осаждение меди на железе: $Fe + CuCl_2 = Cu + FeCl_2$.
2. Создав гальваническую пару Au/Fe , соединив металлы платиновой проволокой, следует погрузить ее в раствор с uCl_2 (получение - см выше). При этом медь будет выделяться на золотой монете, которая станет катодом.
3. Объем монеты составляет $V = 3.14 \cdot 10 \cdot 10 \cdot 0.8 = 251.2 \text{ мм}^3$, растворившейся части - $V_1 = 251.2 \cdot 0.03 = 7.53 \text{ мм}^3$. Площадь поверхности монеты $S = 2 \cdot \pi r^2 + S_{\text{ребра}} = 678 \text{ мм}^2$. Считая слой равномерным, получаем толщину $d = V_1/S = 11.1 \text{ мкм}$.

Критерии оценки

Уравнения - 4 балла, разумное описание методики 6 баллов

Методика выделения меди на золотой монете - 8 баллов

Расчет толщины слоя - 7 баллов, итого 25 баллов

Задача 6.5.4. (15 баллов)

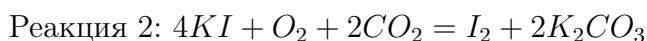
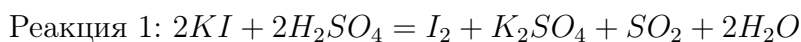
Во времена наполеоновских войн французским войскам очень не хватало калийной селитры для производства пороха, поэтому активно разрабатывались альтернативные способы его получения. Одним из таких способов был процесс высушивания и обжига в медных котлах морских водорослей. При этом, помимо целевого продукта, на дне котла постепенно скапливалось белое кристаллическое вещество А. Его

состав помог установить случай, в результате которого на большую порцию этого порошка пролили концентрированную серную кислоту. Это привело к бурному выделению фиолетовых паров, легко конденсировавшихся на холодных поверхностях (реакция 1). Также известно, что при длительном хранении на воздухе это вещество постепенно желтеет (реакция 2), а массовая доля серебра в осадке, появляющемся при добавлении к водному раствору данного порошка раствора нитрата серебра (реакция 3), составляет 46.15%.

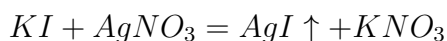
1. Установите состав вещества А. Ответ подтвердите расчетами.
2. Напишите уравнения реакций (1)-(3).
3. Из каких веществ состоит порох? Напишите возможное уравнение его горения.

Решение

1. Вещество А - йодид калия.

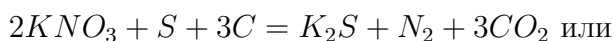


Или точнее, $6KI + O_2 + 2CO_2 = 2KI_3 + 2K_2CO_3$ (засчитываются оба варианта)



Йодид серебра - нерастворимое вещество желтого цвета с требуемой массовой долей $\omega(Ag) = M(Ag)/M(AgI) = 108/234 = 0.4615$.

2. Во времена Наполеона, вероятнее всего, использовали обыкновенный дымный порох, состоящий из угля, серы и калийной селитры. Возможны уравнения горения:



Критерии оценки

Состав порошка - 2 балла, уравнения - по 2 балла, подтверждение по массовой доле - 2 балла

Состав пороха - 2 балла, уравнение горения - 3 балла. Всего 15 баллов

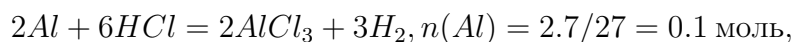
Задача 6.5.5. (25 баллов)

Для приготовления раствора 1 навеску алюминия массой 2.7 г поместили в мерную колбу на 200 мл, добавили 80 мл 5 М соляной кислоты, дождались полного выделения газа, а затем довели до метки с помощью дистиллированной воды. Для приготовления раствора 2 навеску гидроксида натрия массой 1.60 г поместили в мерную колбу на 250 мл и довели до метки с помощью дистиллированной воды.

1. Рассчитайте молярную концентрацию кислоты по окончании приготовления раствора 1.
2. Рассчитайте массовые доли солей в растворе, полученном при добавлении к 50 мл раствора 1 50 мл раствора 2 и последующем пропускании 5.6 л (н.у.) сухого аммиака. Напишите уравнения всех протекающих реакций. Считайте, что плотности растворов 1 и 2 равны плотности чистой воды.

Решение

1.



$$n(HCl) = c \cdot V = 5 \cdot 0.08 = 0.4 \text{ моль}.$$

Соляная кислота в избытке, с алюминием прореагирует только 0.3 моль,

$$n(HCl)_{\text{ост}} = 0.4 - 0.3 = 0.1 \text{ моль}.$$

С учетом разбавления до 200 мл

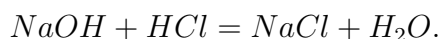
$$c = n/V = 0.1/0.2 = 0.5 \text{ M}$$

2. В 50 мл раствора 1 содержится 0.025 моль HCl и 0.025 моль $AlCl_3$, в 50 мл раствора 2 - 0.008 моль

$$NaOH(c(NaOH) = 1.6/40/0.25 = 0.16 \text{ M},$$

$$n(NaOH) = 0.16 \cdot 0.05 = 0.008 \text{ моль}.$$

В присутствии кислоты невозможно выпадение гидроксида алюминия, поэтому первой будет реагировать кислота:

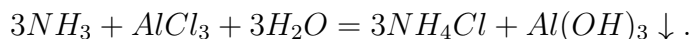
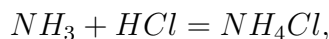


Данного количества $NaOH$ не хватает для полной нейтрализации кислоты, поэтому алюминий останется в виде соли $AlCl_3$ перед добавлением аммиака. По уравнению реакции, количество образовавшегося $NaCl$ также составляет 0.008 моль.

Рассчитаем количество добавленного аммиака:

$$n(NH_3) = 5.6/22.4 = 0.25 \text{ моль}.$$

Этого количества хватит, чтобы не только нейтрализовать оставшуюся кислоту, но и осадить весь алюминий в виде гидроксида:



По первой реакции образуется

$$n(NH_4Cl) = n(HCl)_{\text{ост}} = 0.025 - 0.008 = 0.017 \text{ моль},$$

по второй -

$0.025 \cdot 3 = 0.075$ моль NH_4Cl , итого в конечной смеси находятся две соли - хлориды натрия и аммония, $n(NH_4Cl) = 0.075 + 0.017 = 0.092$ моль, $n(NaCl) = 0.008$ моль.

Тогда

$$m(NH_4Cl) = 0.075 \cdot 53.5 = 4.92 \text{ г},$$

$$m(NaCl) = 0.008 \cdot 58.5 = 0.468 \text{ г}.$$

Масса конечного раствора складывается из масс аммиака и растворов (плотность которых равна плотности воды по условию) за вычетом гидроксида алюминия:

$$m_{\text{р-ра}} = 100 + 0.25 \cdot 17 - 0.025 \cdot 78 = 102.3 \text{ г.}$$

Тогда

$$\omega(\text{NH}_4\text{Cl}) = 4.8\%, \omega(\text{NaCl}) = 0.5\%.$$

Критерии оценки

Расчет концентрации - 5 баллов,

Уравнения реакций - по 2 балла, Расчет массовых долей - 1 балл, не учтена масса гидроксида алюминия - 6 баллов, арифметическая ошибка, сохраняющая схему химических процессов - 8 баллов, всего - 25 баллов

6.6. Агробиотехнологии. Химия. 10-11 класс

Задача 6.6.1. (16 баллов)

Как известно, чума - одно из самых ужасных потрясений, которое переживало человечество на протяжении своей истории. Однако кроме «биологической» чумы человечеству известна также «химическая» чума, названная в честь металла А, унесшая жизни членов экспедиции Скотта, направлявшейся к Южному полюсу в 1912 году. Причиной этого события являлось то, что баки с горючим, запаянные этим металлом, протекли, и экспедиция осталась без топлива в антарктических климатических условиях.

1. Металл А при комнатной температуре серебристо-белого цвета, растворяется в горячих щелочах и образует амфотерные оксиды и гидроксиды. При реакции А с водным раствором гидроксида калия при нагревании получается газ Б, проявляющий восстановительные свойства и соединение В с массовой долей металла 44.9%. Расшифруйте соединения А - В, напишите уравнения реакций, ответ подтвердите расчетом.
2. В чем причина «заражения чумой» металла А? Какие изменения произошли с металлом А во время экспедиции?
3. «Заражение» можно предотвратить не только правильными условиями работы с металлом, но и использованием стабилизатора, например, металла Г. Известно, что в результате альфа - распада природного изотопа Г образуется стабильный изотоп ${}_{81}^{205}\text{Tl}$. Определите металл Г и напишите уравнение реакции его альфа - распада.

Решение

1. Пользуясь общими представлениями о поведении металлов с амфотерными свойствами соединений (алюминий, цинк), составляем аналогичное уравнение растворения металла в щелочах. Тогда газ Б – водород, а соединение В – комплексный гидроксид: $K_2[A(\text{OH})_4]$, $K_2[A(\text{OH})_6]$ или $K_3[A(\text{OH})_6]$, в зависимости от степени окисления металла. Выбрать правильную формулу можно,

составляя уравнения через массовую долю металла с молярной массой x .
 Доходим до варианта: $\frac{x}{(39.2+x+17.4)} = 0.449$, откуда $x = 119$ (олово).

Уравнение реакции: $Sn + 2KOH + 2H_2O = K_2[Sn(OH)_4] + H_2$

2. «Заражение» происходит в результате охлаждения: при низких температурах белое олово переходит в другую аллотропную модификацию, представляющую собой серый порошок. При -33 и ниже этот процесс идёт особенно стремительно.
3. Уравнение альфа - распада: ${}_{83}^{299}Bi = {}_{81}^{205}Tl + {}_2^4He$. Металл Г — висмут.

Критерии оценки

Определение А, Б, В — по 1 баллу, перебор и расчет — 4 балла, уравнение реакции — 3 балла. Объяснение причины чумы — 3 балла, уравнение распада — 2 балла, нахождение металла Г — 1 балл, максимум 16 баллов.

Задача 6.6.2. (18 баллов)

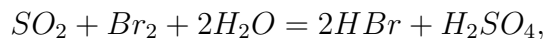
Наночастицы простого вещества X нашли свое применение в медицине как основное действующее вещество против чесоточного клеща. Само лекарственное средство применяется наружно и представляет собой два раствора, наносимых на пораженный участок кожи один за другим, в результате которого происходит взаимодействие компонентов лекарства и выделение вещества X , а также газа с резким запахом Z , обесцвечивающим бромную воду. Одним из компонентов лекарственного средства является разбавленная соляная кислота, а вторым - раствор вещества Y , про которое известно, что оно может быть получено растворением избытка X в концентрированном растворе гидроксида натрия, а массовая доля в Y элемента, из которого состоит вещество X , составляет 40.5%.

1. Определите вещества X - Z , напишите уравнения всех описанных в тексте задачи реакций.
2. Назовите вещество Y .
3. Газ Z является широко распространенным консервантом для пищевой промышленности (E220). На чем основано его действие? Приведите пример уравнения реакции, где Z проявляет себя как консервант.
4. Передозировка вещества X при наружном применении не предоставляет опасности для человека, однако при увеличении концентраций Y и соляной кислоты возникают побочные эффекты. Перечислите два таких эффекта и укажите вещества, ответственные за их возникновение.

Решение

1. Очевидно, что вещество является неметаллом, поскольку из металлов алюминий и цинк растворяются в щелочах, а комплексные гидроксиды, которые при этом получаются, достаточно тяжело перевести обратно в форму простого вещества-металла. Разбавленная соляная кислота, которая вызывает появление простого вещества, не проявляет окислительных или восстановительных свойств, поэтому можно сделать предположение, что вещество X образо-

валось в результате сопорционирования, а в веществе Y элемент, из которого состоит, находится в различных степенях окисления. С учетом того, что вещество твердое, это сера, а Y — тиосульфат натрия ($\omega(S) = \frac{64}{158} = 0.405$), неустойчивый в кислотах. Газ Z — сернистый газ. Уравнения реакций:



2. Тиосульфат натрия
3. Попадая в пищу, сернистый газ связывается, образуя, в зависимости от среды, сульфиты, гидросульфиты или растворы сернистой кислоты. Все они легко связывают кислород воздуха, не давая идти процессам окисления в пище и сохраняя продукт в исходном виде. Пример уравнения:
 $2Na_2SO_3 + O_2 = 2Na_2SO_4$ (возможны и другие)
4. При увеличении концентрации соляной кислоты станет невозможным ее безопасное использование, так как она будет поражать кожу. Кроме того, большое количество выделяемого сернистого газа также может вызвать отравление.

Критерии оценки

Формулы X , Y , Z — по 1 баллу, подтверждение массовой доли для Y — 1 балл, уравнения реакций — по 2 балла каждое (без коэффициентов — 1 балл), название вещества Y — 1 балл, объяснение консервирующего действия с реакцией — 3 балла, без нее — 2 балла, каждый поражающий фактор — по 2 балла. Итого 18 баллов.

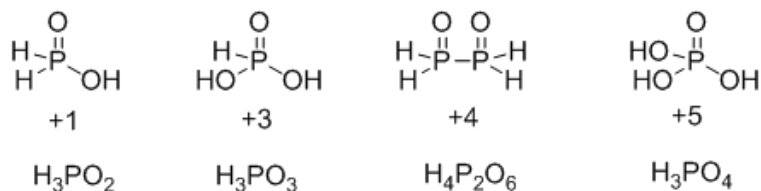
Задача 6.6.3. (26 баллов)

Хемилюминесценция элемента X в одной из его аллотропных модификаций описана не только в научной, но и в художественной литературе. Известно, что подобное свечение возникает в результате последовательных реакций X с кислородом. В результате полного окисления образуется высший оксид элемента X , массовая доля кислорода в котором составляет 56.3%.

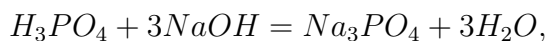
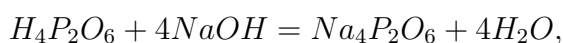
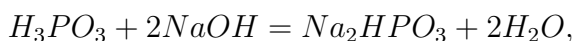
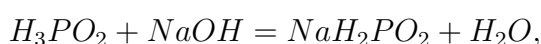
1. Определите элемент X и укажите все известные вам его аллотропные модификации.
2. Для элемента X известно большое количество кислот. Изобразите по одной структурной формуле кислоты в степени окисления X : +1, +3, +4 и +5. Для каждой из кислот напишите уравнение ее реакции с избытком раствора гидроксида натрия.
3. Рассчитайте pH 0.1M раствора средней натриевой соли трехосновной кислоты с X в степени окисления +5. (константа кислотности кислоты по третьей ступени - $K_3 = 1.3 \cdot 10^{-12}$, считайте, что гидролиз идет только по первой ступени).

Решение

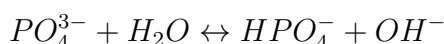
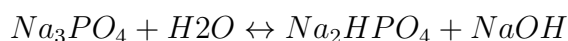
1. X — это фосфор. Наиболее распространенные аллотропные модификации — белый, красный и черный.
2. Формулы кислот:



Уравнения реакций:



3.



$$K = K_{\text{гидролиза}} = \frac{K_w}{K_3} = \frac{10^{-14}}{(1.3 \cdot 10^{-12})} = 7.7 \cdot 10^{-3}$$

Рассчитаем степень гидролиза:

$$h^2 = \frac{K}{c}$$

$$h = 0.28$$

$$[OH^-] = h \cdot c = 0.28 \cdot 0.1 = 0.028$$

$$pOH = -\lg[OH^-] = 1.5$$

$$pH = 14 - 1.5 = 12.5$$

Критерии оценки

Определение X — 1 балл, проверка расчетом по массовой доле в высшем оксиде — 1 балл, за каждую модификацию — по 1 баллу, каждая структурная формула кислоты — по 2 балла, каждое уравнение реакции — по 2 балла, верный расчет pH — 5 баллов. Итого максимум 26 баллов.

Задача 6.6.4. (20 баллов)

Для приготовления раствора 1 навеску цинка массой 2,6 г поместили в мерную колбу на 100 мл, добавили 60 мл 2М соляной кислоты, дождались полного выделения газа, а затем довели до метки с помощью того же самого раствора кислоты. Для приготовления раствора 2 навеску гидроксида натрия массой 4 г поместили в мерную колбу на 250 мл и довели до метки с помощью дистиллированной воды.

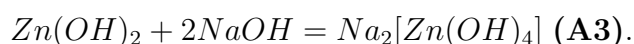
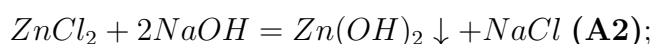
Эксперимент А: к 10 мл раствора 1 медленно добавляли раствор 2, измеряя объем добавленного раствора (с шагом в 1 мл).

Эксперимент В: к 10 мл раствора 2 медленно добавляли раствор 1, измеряя объем добавленного раствора (с шагом в 1 мл).

1. Рассчитайте молярную концентрацию соляной кислоты в растворе 1 после его приготовления.
2. Через сколько шагов в эксперименте А начнет образовываться осадок? А в эксперименте В? Ответ обоснуйте и подтвердите расчетами. Напишите уравнения реакций, идущих в экспериментах А и В, указав последовательность их протекания.
3. Найдите максимальное значение массы выпавшего осадка гидроксида цинка (II) в каждом из экспериментов.
4. Если растворы 1 и 2 готовить не накануне эксперимента, а за год до него, то при их смешивании можно будет наблюдать появление пузырьков бесцветного газа. Объясните причину этого явления, напишите уравнение реакции.

Решение

1. Количество вещества цинка — $\frac{2,6}{65} = 0,04$ моль, количество добавленной кислоты — $0,06 \text{ л} \cdot 2 \text{ М} = 0,12$ моль, соляная кислота в избытке. По окончании выделения водорода по реакции $Zn + 2HCl = ZnCl_2 + H_2$ количество $ZnCl_2$ в конечном растворе — 0,04 моль, количество оставшейся кислоты — $0,12 - 2 \cdot 0,04 = 0,04$ моль. С учетом разбавления на 100 мл, имеем концентрацию соляной кислоты $c = 0,04 \text{ моль} / 0,1 \text{ л} = 0,4 \text{ М}$
2. Рассмотрим уравнения реакций, последовательно протекающих в каждом из экспериментов.
3. **А:**

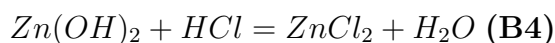
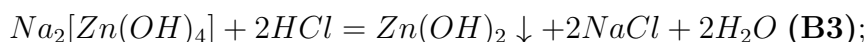
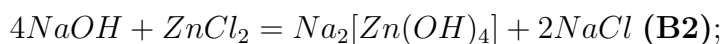


Осадок начнёт выпадать после того, как будет нейтрализована вся кислота.

В 10 мл **раствора 1** содержится 0,004 моль HCl , следовательно, на её нейтрализацию потребуется 0,004 моль $NaOH$. За один шаг в **растворе 1** попадает 1 мл 0,4 М $NaOH$, что составляет $0,4 \cdot 0,001 = 0,0004$ моль.

Тогда, за десять шагов в растворе 1 нейтрализуется вся кислота, а на 11 шаге начнёт выпадать осадок.

В:



Осадок начнет выпадать после того, как израсходуется избыток щелочи.

В 10 мл **раствора 2** содержится 0.004 моль $NaOH$. В одной порции **раствора 1** содержится 0.0004 моль HCl и 0.0004 моль $ZnCl_2$.

По уравнениям реакции **B1** и **B2** на 1 эквивалент HCl требуется 1 эквивалент $NaOH$, а на 1 эквивалент $ZnCl_2$ — 4 эквивалента $NaOH$, следовательно за один шаг расходуется 0.02 моль $NaOH$. Избыток щелочи закончится после 2-х шагов, а на третьем шаге начнет протекать реакция **B3**.

4. Максимально возможная масса гидроксида цинка (II) в обоих экспериментах соответствует количеству ионов Zn^{2+} в аликвоте 10 мл:

$$m = c \cdot V \cdot M_{Zn(OH)_2} = 0.4 \text{ М} \cdot (0.01 \text{ л}) \cdot 99 \text{ г/моль} = 0.4 \text{ г}.$$

5. Если дать твердой щелочи постоять в помещении, особенно в котором активно выделяется углекислый газ, произойдет поглощение последнего по уравнению $2NaOH + CO_2 = Na_2CO_3 + H_2O$, т.е. образуется некоторое количество карбоната натрия, который при смешивании с соляной кислотой из раствора 1 будет причиной высвобождения углекислого газа $CO_3^{2-} + H^+ = CO_2 + H_2O$.

Критерии оценки

Расчет молярной концентрации кислоты — 2 балла,

Уравнения для каждой системы — по 1 баллу за каждое уравнение (всего максимум 7 баллов — 3 балла для эксперимента А и 4 балла для эксперимента В), расчет/обоснование — для каждого случая — по 2 балла, просто ответ — 1 балл вместо 12 максимально возможных,

Расчет максимальной массы осадка $Zn(OH)_2$ — 2 балла,

Объяснение — 2 балла, уравнение реакции — еще 2 балла.

Всего 20 баллов.

Задача 6.6.5. (20 баллов)

Для синтеза аммиака смесь азота и водорода с плотностью по гелию 2.125 и общим количеством вещества 40 моль поместили в замкнутый реактор с ванадиевым катализатором и рабочим объемом 10 л при температуре 200°C и повышенном давлении. Через 20 минут давление в реакторе уменьшилось на 10% (при той же температуре).

1. Вычислите степень превращения азота в аммиак и содержание аммиака в конечной реакционной смеси в объемных процентах.

2. Рассчитайте среднюю скорость расходования азота за указанный промежуток времени.
3. Константа равновесия реакции $N_2 + 3H_2 = 2NH_3$ при данной температуре составляет $1.5 \text{ моль}^3/(\text{л}^3 \cdot \text{с})$. Находилась ли система в равновесии в указанный момент? Ответ обоснуйте. Укажите направление изменения концентрации каждого участника процесса в течении последующих 5 минут.
4. Каким рН будет обладать раствор, полученный при пропускании получившейся (через 20 минут после начала реакции) газовой смеси через 1 л чистой воды? Константа основности аммиака составляет $1.8 \cdot 10^{-5}$.

Решение

1. Средняя молярная масса начальной смеси составляет

$$M = 2.125 \cdot 4 = 8.5 \text{ г/моль},$$

откуда можно рассчитать ее состав. Пусть было x моль N_2 , тогда количество H_2 составляет $40 - x$ моль, и выражение для средней молярной массы:

$$8.5 = (x \cdot 28 + (40 - x) \cdot 2)/40,$$

откуда $x = 10$, $n(N_2) = 10$ моль, $n(H_2) = 30$ моль. Если прореагировало y моль азота, то общее количество газов в равновесной смеси составляет

$$(10 - y) + (30 - 3y) + 2y = 40 - 2y, \text{ и } \frac{(40 - 2y)}{40} = 0.9,$$

то есть $y = 2$ моль.

$$\varphi(NH_3) = \frac{2y}{(40 - 2y)} = \frac{4}{36} = \frac{1}{9} = 11.11\%.$$

Степень превращения

$$\alpha = \frac{y}{10} = 20\%.$$

2. За 20 минут количество азота уменьшилось с 10 моль до $10 - y = 8$ моль, то есть изменение концентрации произошло с 1 М до 0.8 М (объем реактора — 10 л). Средняя скорость

$$r = \frac{\Delta c}{\Delta t} = \frac{(1 - 0.8)}{20} = 0.1 \text{ моль/л мин}^{-1}.$$

3. Рассчитаем произведение реакции (величину, аналогичную константе равновесия) на момент времени через 20 минут после начала реакции. Концентрации веществ составляли

$$(NH_3) = \frac{2y}{10} = 0.4 \text{ М}, C(H_2) = \frac{(30 - 3y)}{10} = 2.4 \text{ М}, C(N_2) = 0.8 \text{ М}$$

$$Q = \frac{C_2(NH_3)}{(C(N_2)C^3(H_2))} = 1.3 \frac{\text{моль}^3}{\text{л}^3 \cdot \text{с}}.$$

Это величина меньше константы равновесия, значит концентрации азота и водорода продолжают уменьшаться, а аммиака — увеличиваться. Равновесие на указанный момент еще не было достигнуто.

4. Пропускание газовой смеси через 1 л воды будет равносильно пропусканию 4 моль NH_3 (азот и водород не взаимодействуют с водой), то есть задача сводится к расчету pH 4 М раствора аммиака.

$$[OH]^- = (K \cdot C)^{\frac{1}{2}} = (4 \cdot 1.8 \cdot 10^{-5})^{\frac{1}{2}} = 8.48 \cdot 10^{-3}$$

$$pOH = 2.07, pH = 11.93$$

Критерии оценки

Определение количеств газов — 3 балла, расчет объемных долей — 2 балла, степени превращения — 2 балла.

Определение скорости — 2 балла

Верное указание направления изменения концентрации для каждого реагента — 3 балла, разумное объяснение — 3 балла.

Расчет — 5 баллов.

Итого 20 баллов.