

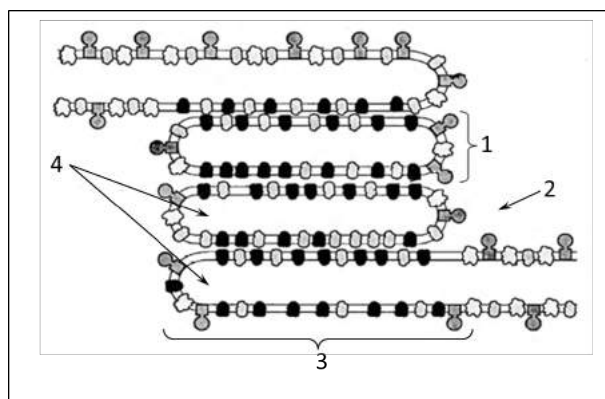
3. ЗАКЛЮЧИТЕЛЬНЫЙ ЭТАП

Предметный тур

5.1. Биология. 9 класс

Задача 5.1.1. Фотосинтез (20 баллов)

На схеме изображена часть внутренней структуры хлоропласта.



1. Подпишите названия структур, обозначенных стрелками и фигурными скобками.
2. Для чего нужна такая сложная внутренняя мембранная структура хлоропласта?

Решение

1. 1 – Тиллакоид (2 балла)
2 – Строма (4 балла)
3 – Грана (2 балла)
4 – Люмен (2 балла)
2. Упорядочивание белков в пространстве и сбор компонентов фотосистем; увеличение площади, на которой возможно размещение белков; разделение объемов люмена и стромы – дает возможность накопить трансмембранный протонный (электрохимический) градиент; разделение компонентов мембранной цепи в пространстве; возможность регуляции реакций фотосинтеза. (10 баллов, за любые 3 из перечисленных).

Задача 5.1.2. Кораллы (20 баллов)

Известно что кораллы с жестким карбонатным скелетом растут либо воде с температурой больше 20°C , либо в районе теплых течений (локально повышающих температуру воды до приблизительно той же отметки)

1. Почему для роста кораллов подходит только теплая вода ($t > 20^{\circ}\text{C}$)
2. Известно, что некоторые кораллы имеют зеленый или зеленоватый цвет. Чем это объясняется, и какие преимущества дает.

Решение

1. При росте карбонатного скелета происходит следующая реакция:



Соответственно расти он может, только когда равновесие сдвинуто влево, в сторону осаждения CaCO_3 . Чем холоднее вода, тем лучше в ней растворяются газы, в том числе и CO_2 , в результате чего равновесие сдвигается вправо, в сторону растворения. Приблизительно при температуре 20°C равновесие сдвигается в сторону растворения настолько, что скелет не нарастает. (10 баллов)

2. В их клетках живут симбиотические простейшие (водоросли, диномонады – тоже правильно), способные фотосинтезировать и имеющие зеленый цвет. (4 балла) Кораллы получают часть продуктов фотосинтеза (которыми водоросли «оплачивают») свое проживание (3 балла). Водоросли изымают из тканей коралла часть CO_2 , в результате чего равновесие, описанное в вопросе (пункте 1) смещается в сторону нерастворимого карбоната и коралл может расти. (3 балла).

Задача 5.1.3. Японский флот (20 баллов)

Во время Реставрации Мейдзи (передача власти в Японии от сегуна к императору, сопровождалась «открытием» страны для иностранцев) и последовавших за ней преобразований, был реорганизован, а фактически создан заново по английским и американским образцам военный флот Японии. Поскольку на него возлагали большие надежды, людей, служивших на нем считали практически героями, и выделяли для них все лучшее, в том числе и пищу – белый шлифованный рис и морскую рыбу. Вскоре моряков поразила странная болезнь, которой при этом не заражались люди в портах.

Победить ее удалось только после того, как была полностью скопирована организация быта во флоте Англии, в том числе и рацион – солонина (мясо), ржаные сухари и темный эль.

1. Чем была вызвана болезнь и почему она возникла
2. Опишите ее предположительные симптомы и напишите название.

Решение

1. Болезнь была вызвана нехваткой витаминов группы В, конкретно В1, тиамина (5 баллов). В шлифованном рисе этот витамин практически не содержится, а сырая морская рыба содержит тиаминазу – фермент, разрушающий витамин В1 (5 баллов).
2. Бери-бери (5 баллов). Симптомы – слабость, головокружение, параличи. (5 баллов).

Задача 5.1.4. Шлем и иглы (20 баллов)

У многих видов планктонных рачков дафний ярко выражен цикломорфоз. Так называют сезонные различия во внешнем строении разных поколений одного вида. Зимой и весной дафнии крупнее, голова у них круглая, глаз большой, а хвостовая игла (вырост на заднем конце панциря, покрывающего тело) часто довольно короткая. К началу или к середине лета размеры тела (длина створок панциря и масса) и диаметр глаза уменьшаются, длина хвостовой иглы увеличивается, а на голове появляется длинный вырост — шлем.



Рис. 1. Летняя самка *Daphnia retrocurva*.

У одних видов он широкий (рис. 1), у других более узкий (рис. 2, верхний ряд), иногда похожий на иглу. (Эти признаки появляются у новых поколений — детей и внуков «весенних» дафний!) У осенних и зимних поколений (если дафнии зимуют в активном состоянии, а не в виде покоящихся яиц) шлем обычно уменьшается или исчезает.

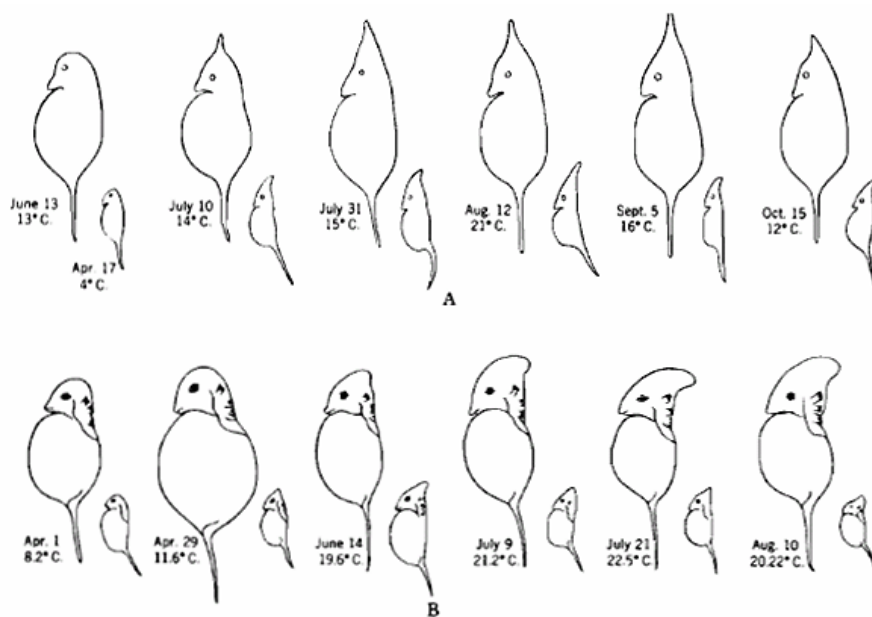


FIGURE 16-38 Cyclomorphosis in (a) *Daphnia cucullata* of Esrom Sø, Denmark and (b) *Daphnia retrocurva* of Bantam Lake, Connecticut. The small individuals at the right are first instar juveniles drawn to the same scale as the adults. (a) From Hutchinson, G. E.: *A Treatise on Limnology*, Vol. 2, New York, John Wiley & Sons, Inc., 1967; (b) From Brooks, John Langdon: *Cyclomorphosis in Daphnia: Ecological Monographs* 16:1946. Copyright 1946 by Duke University Press.)

Рис. 2. Цикломорфоз у двух видов дафний — *D. cucullata* в одном из озер Дании и *D. retrocurva* в одном из озер США.

1. Как вы думаете, каков приспособительный смысл этих изменений?
2. Почему шлем и длинная хвостовая игла не вырастают весной и зимой?

Решение

1. Дафния – планктонный рачок, живущий в толще воды, где нет укрытий. У нее есть 2 основных типа врагов – хищников, которые на нее охотятся. Это рыбы (некрупные – мальки этого года и просто мелкие) и беспозвоночные. Рыбы охотятся с помощью зрения, поэтому для защиты от них выгодно уменьшать размер тела и быть как можно прозрачней. Беспозвоночные же ориентируются на колебания воды, и не слишком превосходят дафний размерами, поэтому необходимо быть достаточно крупным, чтобы «не пролезть в рот», а заметность при этом неважна. Соответственно летом, когда появляется молодь рыб дафнии выгодно быть маленькой и прозрачной, но для сохранения размера необходимы выросты. К осени рыбы становятся слишком крупными чтобы охотиться на дафний и выгодно иметь крупное тело без выростов. (10 баллов)
2. Это энергетически не выгодно – эти структуры не используются при размножении или питании как структуры тела, но при этом тратится энергия на синтез хитина из которого они состоят. Летом обходиться без них тяжелее чем с ними, но как только просто крупное тело оказывается достаточным для защиты «вооружённые» клоны дафний начинают проигрывать по скорости размножения «безоружным» и вытесняются ими. (8 баллов) Кроме того, вероятно рост шлема и иглы провоцируется хим. веществами выделяемыми в воду самими хищниками, что происходит только когда они присутствуют в озере. (2 балла)

Задача 5.1.5. Окрас собак (20 баллов)

Локус Агути (А), отвечающий за распределение окраса по телу у собак, определяет следующие окрасы:

1. Соболиный/олений (обозначается буквой у)



2. Чепрачный (обозначается буквой s)



3. Подпалый (обозначается буквой t)



4. Агути/зонарный (обозначается буквой w)



5. Черный



При скрещивании двух собак чепрачного окраса (Пара А) $\frac{3}{4}$ потомков имели чепрачный окрас и $\frac{1}{4}$ зонарный. При скрещивании этих зонарных потомков между собой $\frac{3}{4}$ их потомков были зонарными и $\frac{1}{4}$ подпалыми. При скрещивании любых из этих потомков с черными собаками черные потомки не рождались никогда.

При скрещивании собак соболиного окраса и чепрачного окраса (Пара В) $\frac{1}{2}$ потомков имели соболиный и $\frac{1}{2}$ - чепрачный окрас. При скрещивании некоторых потомков соболиного и чепрачного окраса между собой в потомстве так же наблюдалась половина чепрачных и половина соболиных собак. При скрещивании других соболиного и чепрачного потомка пары В между собой $\frac{1}{2}$ потомков оказались чепрачными, $\frac{1}{4}$ - соболиными, а остальные – черными.

При скрещивании соболиной собаки из пары В и зонарного потомка пары А $\frac{1}{2}$ потомков оказались соболиными, $\frac{1}{4}$ - зонарными и $\frac{1}{4}$ - подпалыми.

Установите отношения (порядок доминирования) между аллелями локуса А, а также генотип Пары А и Пары В.

Решение

Обозначим окрасы следующим образом:

(А)*y* – соболиный

(А)*s* – чепрачный

$(A)t$ – подпалый

$(A)w$ – зонарный

(A) – черный

Пара А:

Р: чепрачный \times чепрачный

$(A)?(A)? \times (A)?(A)?$

F1 $\frac{3}{4}$ чепрачный + $\frac{1}{4}$ зонарный

$(A)?(A)? \quad (A)?(A)?$

У чепрачных собак должна быть хотя бы 1 аллель, отвечающая за соответствующий окрас. Т.е. Родители и чепрачные потомки $(A)s(A)?$ Расщепление в 1 поколении в соотношении 3к1 говорит о том, что оба родителя гетерозиготны, хотя бы один из них должен нести аллель зонарного окраса, и зонарный окрас рецессивен по отношению к чепрачному. Тогда один из пары А имеет генотип $(A)s(A)w$, зонарные потомки – $(A) w (A)?$

Р зонарный (потомок пары А) \times зонарный (потомок пары А)

$(A) w (A)? \quad (A) w (A)?$

F1 $\frac{3}{4}$ зонарный + $\frac{1}{4}$ подпалый

Рассуждения аналогичны рассуждениям для пары А. Оба зонарных потомка пары А гетерозиготны и должны нести аллель подпалого окраса, который рецессивен относительно зонарного. Соответственно второй родитель из пары А должен был так же нести аллель подпалого окраса.

Таким образом генотип пары А: $Asat \times AsAw$ (7 баллов)

(Тогда чепрачные потомки имеют генотипы $AsAs + Asat + AsAw$, зонарные – $Awat$, зонарные внуки пары А $AwAw + 2Awat$, подпалые внуки $atat$).

Известно что при скрещивании всех упомянутых выше собак с черными черные потомки не рождались. Это может быть в том случае – если черный окрас рецессивен по отношению ко всем рассмотренным.

Пара В:

Р соболиный \times чепрачный

$(A)y(A)? \quad (A)s(A)?$

F1 $\frac{1}{2}$ соболиный \times $\frac{1}{2}$ чепрачный

$(A)y(A)? \quad (A)s(A)?$

1. F1 соболиный \times чепрачный

$(A)y(A)? \quad (A)s(A)?$

F2 $\frac{1}{2}$ соболиный + $\frac{1}{2}$ чепрачный

$(A)y(A)? \quad (A)s(A)?$

быть соболиного окраса. Таким образом соболиный окрас доминантен по отношению к зонарному и подпалому, и соответственно порядок доминирования в локусе А: $As > Ay > Aw > at > a$, все доминирование полное. (6 баллов)

Ответ:

Пара А: $Asat \times AsAw$ (7 баллов)

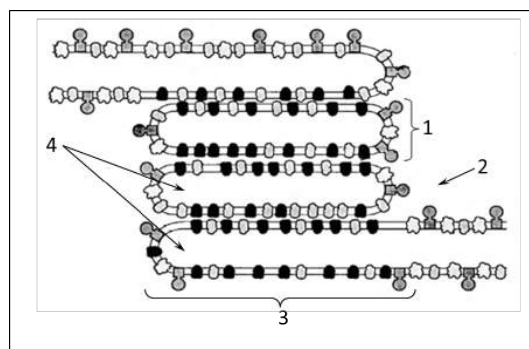
Пара В: $Aya \times AsAy$ (7 баллов)

Порядок доминирования в локусе А: $As > Ay > Aw > at > a$, все доминирование полное. (6 баллов)

5.2. Биология. 10-11 класс

Задача 5.2.1. Фотосинтез (20 баллов)

На схеме изображена часть внутренней структуры хлоропласта.



1. Подпишите названия структур, обозначенных стрелками и фигурными скобками.
2. Для чего нужна такая сложная внутренняя мембранная структура хлоропласта?
3. Исходя из общих представлений о процессе фотосинтеза предположите, какие функциональные комплексы должны находиться на мембране для осуществления этого процесса. (Предполагается ответ в виде «Система, обеспечивающая [некий процесс]»)

Решение

1. 1 – Тиллакоид (1 балл)
2 – Строма (2 балла)
3 – Грана (1 балл)
4 – Люмен (1 балл)
2. Упорядочивание белков в пространстве и сбор компонентов фотосистем; увеличение площади, на которой возможно размещение белков; разделение объемов люмена и стромы – дает возможность накопить трансмембранный протонный (электрохимический) градиент; разделение компонентов мембранной

цепи в пространстве; возможность регуляции реакций фотосинтеза. (5 баллов, за любые 3 из перечисленных).

3. Система улавливающая свет и преобразующая его энергию в энергию химических связей (пигменты и их белковое окружение, фотосистема). Система, обеспечивающая за счет этой энергии транспорт протонов внутрь люмена. Система, обеспечивающая синтез АТФ за счет протонного градиента. (АТФ-синтаза) (10 баллов).

Задача 5.2.2. Кораллы (20 баллов)

Известно что кораллы с жестким карбонатным скелетом растут либо в воде с температурой больше 20°C , либо в районе теплых течений (локально повышающих температуру воды до приблизительно той же отметки)

1. Почему для роста кораллов подходит только теплая вода ($t > 20^{\circ}\text{C}$)
2. Известно, что некоторые кораллы имеют зеленый или зеленоватый цвет. Чем это объясняется, и какие преимущества дает.

Решение

1. При росте карбонатного скелета происходит следующая реакция:



Соответственно расти он может, только когда равновесие сдвинуто влево, в сторону осаждения CaCO_3 . Чем холоднее вода, тем лучше в ней растворяются газы, в том числе и CO_2 , в результате чего равновесие сдвигается вправо, в сторону растворения. Приблизительно при температуре 20°C равновесие сдвигается в сторону растворения настолько, что скелет не нарастает. (10 баллов)

2. В их клетках живут симбиотические простейшие (водоросли, диномонады – тоже правильно), способные фотосинтезировать и имеющие зеленый цвет. (4 балла) Кораллы получают часть продуктов фотосинтеза (которыми водоросли «оплачивают») свое проживание (3 балла). Водоросли изымают из тканей коралла часть CO_2 , в результате чего равновесие, описанное в вопросе (пункте 1) смещается в сторону нерастворимого карбоната и коралл может расти. (3 балла).

Задача 5.2.3. Японский флот (20 баллов)

Во время Реставрации Мейдзи (передача власти в Японии от сегуна к императору, сопровождалась «открытием» страны для иностранцев) и последовавших за ней преобразований, был реорганизован, а фактически создан заново по английским и американским образцам военный флот Японии. Поскольку на него возлагали большие надежды, людей, служивших на нем считали практически героями, и выделяли для них все лучшее, в том числе и пищу – белый шлифованный рис и морскую рыбу. Вскоре моряков поразила странная болезнь, которой при этом не заражались люди в портах. Победить ее удалось только после того, как была полностью скопирована

организация быта во флоте Англии, в том числе и рацион – солонина (мясо), ржаные сухари и темный эль.

1. Чем была вызвана болезнь и почему она возникла
2. Опишите ее предположительные симптомы и напишите название.

Решение

1. Болезнь была вызвана нехваткой витаминов группы В, конкретно В1, тиамина (5 баллов). В шлифованном рисе этот витамин практически не содержится, а сырая морская рыба содержит тиаминазу – фермент, разрушающий витамин В1 (5 баллов).
2. Бери-бери (5 баллов). Симптомы – слабость, головокружение, параличи. (5 баллов).

Задача 5.2.4. Шлем и иглы (20 баллов)

У многих видов планктонных рачков дафний ярко выражен цикломорфоз. Так называют сезонные различия во внешнем строении разных поколений одного вида. Зимой и весной дафнии крупнее, голова у них круглая, глаз большой, а хвостовая игла (вырост на заднем конце панциря, покрывающего тело) часто довольно короткая. К началу или к середине лета размеры тела (длина створок панциря и масса) и диаметр глаза уменьшаются, длина хвостовой иглы увеличивается, а на голове появляется длинный вырост — шлем.



Рис. 1. Летняя самка *Daphnia retrocurva*.

У одних видов он широкий (рис. 1), у других более узкий (рис. 2, верхний ряд), иногда похожий на иглу. (Эти признаки появляются у новых поколений — детей и внуков «весенних» дафний!) У осенних и зимних поколений (если дафнии зимуют в активном состоянии, а не в виде покоящихся яиц) шлем обычно уменьшается или исчезает.

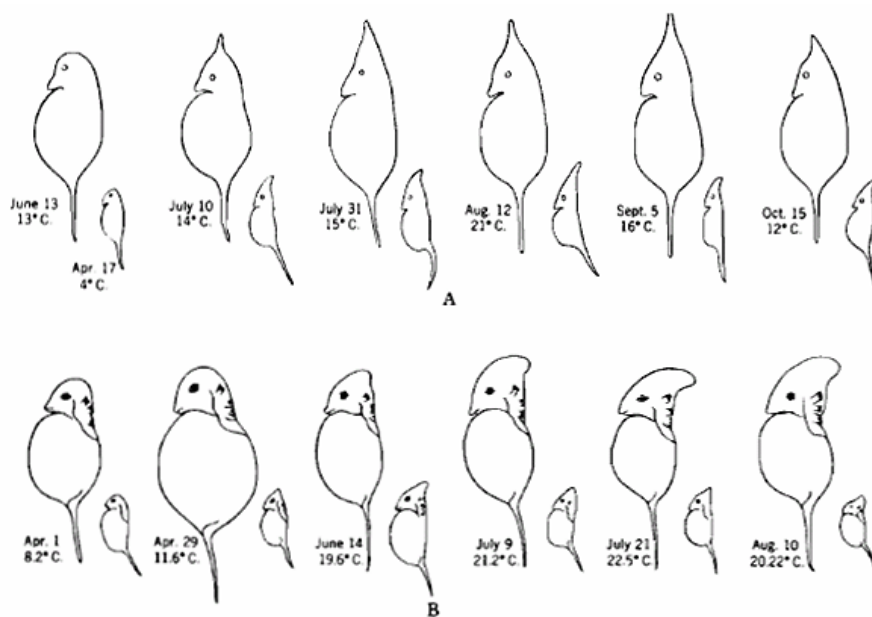


FIGURE 16-38 Cyclomorphosis in (a) *Daphnia cucullata* of Esrom Sø, Denmark and (b) *Daphnia retrocurva* of Bantam Lake, Connecticut. The small individuals at the right are first instar juveniles drawn to the same scale as the adults. (a) From Hutchinson, G. E.: *A Treatise on Limnology*, Vol. 2, New York, John Wiley & Sons, Inc., 1967; (b) From Brooks, John Langdon: *Cyclomorphosis in Daphnia: Ecological Monographs* 16:1946. Copyright 1946 by Duke University Press.)

Рис. 2. Цикломорфоз у двух видов дафний — *D. cucullata* в одном из озер Дании и *D. retrocurva* в одном из озер США.

1. Как вы думаете, каков приспособительный смысл этих изменений?
2. Почему шлем и длинная хвостовая игла не вырастают весной и зимой?

Решение

1. Дафния – планктонный рачок, живущий в толще воды, где нет укрытий. У нее есть 2 основных типа врагов – хищников, которые на нее охотятся. Это рыбы (некрупные – мальки этого года и просто мелкие) и беспозвоночные. Рыбы охотятся с помощью зрения, поэтому для защиты от них выгодно уменьшать размер тела и быть как можно прозрачней. Беспозвоночные же ориентируются на колебания воды, и не слишком превосходят дафний размерами, поэтому необходимо быть достаточно крупным, чтобы «не пролезть в рот», а заметность при этом неважна. Соответственно летом, когда появляется молодь рыб дафнии выгодно быть маленькой и прозрачной, но для сохранения размера необходимы выросты. К осени рыбы становятся слишком крупными чтобы охотиться на дафний и выгодно иметь крупное тело без выростов. (10 баллов)
2. Это энергетически не выгодно – эти структуры не используются при размножении или питании как структуры тела, но при этом тратится энергия на синтез хитина из которого они состоят. Летом обходиться без них тяжелее чем с ними, но как только просто крупное тело оказывается достаточным для защиты «вооружённые» клоны дафний начинают проигрывать по скорости размножения «безоружным» и вытесняются ими. (8 баллов) Кроме того, вероятно рост шлема и иглы провоцируется хим. веществами выделяемыми в воду самими хищниками, что происходит только когда они присутствуют в озере. (2 балла)

Задача 5.2.5. Подозрительный потомок (20 баллов)

Вуки (вымышленная раса из франшизы «Звездные войны»), имеют 4 варианта окраса шерсти – соболиный, чепрачный, черный и белый, а также 2 типа шерсти – кудрявую и гладкую. Дедушка-вуки сомневается, что один из внуков – действительно его (сын его сына). Помогите ему установить истину, если известно следующее.

Дедушка имеет чепрачный окрас и гладкую шерсть, его жена – чепрачный окрас и кудрявую шерсть. Из их четырех детей один сын – чепрачный с гладкой шерстью, другой сын – чепрачный с кудрявой шерстью, еще один сын – белый с кудрявой шерстью и дочь – чепрачная с гладкой шерстью.

Жена белого кудрявого сына – черная и кудрявая. У них шестеро детей – белые кудрявые дочь и сын, соболиные кудрявые дочь и сын и черные кудрявые дочь и сын.

Жена чепрачного кудрявого сына – соболиного цвета и кудрявая. У них так же шестеро детей – соболиные – гладкошерстный сын и кудрявая дочь, черные – кудрявые дочь и сын и белые – гладкошерстный и кудрявый сыновья. Может ли быть гладкошерстный соболиный сын – родным сыном своего отца и, соответственно родным внуком деда?

Кроме этого, мы знаем, что гетерогаметный пол у вуки – мужской.

От брака двух белых вуки могут рождаться потомки с любым типом шерсти – но всегда белые.

От брака двух черных вуки либо все потомки будут черные, либо $\frac{1}{4}$ - белые, но все всегда кудрявые. При этом белые потомки всегда мужского пола.

Решение

Предположим что за 2 описанных признака отвечают 2 гена. Исходя из того, что указан гетерогаметный пол и пол потомков во всех парах – по крайней мере один из этих признаков наследуется сцеплено с полом. (1 балл)

Т.к. от брака белых вуки рождаются только белые дети, т.е. нет расщепления, вероятно все белые вуки гомозиготны. При этом, поскольку в браке с окрашенными вуки рождаются окрашенные дети, а от браков окрашенных вуки бывают белые дети – вероятно белый – рецессивный признак. (1 балл)

Рассматривая ситуацию с черным окрасом можно было бы прийти к такому же выводу, однако оказывается, что черный может быть носителем белого. При этом тип шерсти и белый окрас наследуются не сцеплено, а цветные (по крайней мере черный) окрасы связаны с типом шерсти (2 балла). Тогда, либо окрас определяется 2 генами и еще одним определяется тип шерсти, либо имеют место неаллельные взаимодействия генов. Белые потомки черных вуки всегда – мужского пола. Учитывая что он – гетерогаметный (обозначим как W), вероятно белая окраска сцеплена с полом. Обозначим ген белой шерсти как $W > w$, где W – не белая, w – белая. Вероятно этот ген расположен на X -хромосоме (рецессивная аллель проявляется у потомков мужского пола, а потомки женского пола – носители). Тогда белый мужчина будет иметь генотип X^wY , окрашенный – X^WY , белая женщина – X^wX^w , а женщины с генотипом X^wX^W и X^WX^W будут окрашены. Отношения между геном W/w и геном (генами) окраски – рецессивный эпистаз. (4 балла)

Все известные нам потомки черного цвета – кудрявые. При этом существуют не-черные кудрявые индивиды, но черных гладкошерстных не известно. Соответственно можно предположить либо плейотропное действие гена окраски так же на тип шерсти, либо предположить что за окрас отвечают 2 гена, один из которых наследуется сцепленно с геном кудрявости либо так же имеет плейотропное действие. (2 балла)

Предположим первый вариант, т.к. черный появляется в потомстве вуки других окрасов, т.е. они вероятные носители. Попробуем решить задачу исходя из того, что за окрас отвечает ген A , имеющий 3 аллельных варианта As – чепрачный, A – соболиный и a – черный. Предположительно черный окрас – рецессивный относительно остальных (см. выше), будем обозначать его a . Так же ген A каким-то образом определяет тип шерсти – гш или кш. (2 балла)

P: ♂ чепрачный гш × ♀ чепрачный кш

$$X^W Y AsA? \times X^w X^W AsA?$$

F1: ♂ чепрачный гш + ♂ чепрачный кш + ♂ белый кш + ♀ чепрачный гш

$$X^W Y AsA? \quad X^W Y AsA? \quad X^w Y A?A? \quad X^W X? AsA?$$

Исходя из наличия белого сына, мать обозначена как $X^w X^W$ - окрашенная носительница гена белой шерсти. (1 балл)

P: ♂ белый кш (F1) × ♀ черный кш

$$X^w Y A?A? \quad X^w X^W aa$$

F2 белый кш ♂ + ♀ + соболиный кш ♂ + ♀ + черный кш ♂ + ♀

Одна из дочерей и один из сыновей белый у окрашенной матери и белого отца – значит мать – носительница гена белого. Как мы выяснили ранее генотип черных вуки – aa , значит генотип матери известен. Поскольку так же у этой пары есть черные дети с генотипами $X^w X^W aa$ и $X^W Y aa$ соответственно, отец является носителем аллеля черной окраски: $X^w Y A?a$. Тогда, если бы не влияние гена W , наблюдалось бы расщепление по фенотипу 1 : 1 по окраске: не-черная: черная. Значит вторая аллель окраски у белого отца – соболиная, т.к. именно так окрашены его не-черные окрашенные потомки. Соответственно один из его родителей должен быть носителем аллели A , которая, вероятно рецессивна по отношению к аллели As , а второй – носителем рецессивной аллели a . (2 балла).

Интересно, что в этой семье, все вуки кудрявые и все несут хотя бы одну аллель a .

Так же и во второй паре ♂ чепрачный кш × ♀ соболиный кш, судя по тому, что есть потомки черного цвета оба несут аллель черного и оба кудрявые.

Можно предположить следующую плейотропию: аллель a рецессивен по отношению к остальным аллелям при определении цвета, но при этом его присутствие хотя бы в одной копии дает кудрявую шерсть.

Тогда генотип исходной пары:

P: ♂ чепрачный гш × ♀ чепрачный кш

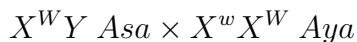
$$X^W Y AsAy \times X^w X^W Asa$$

F1: ♂ чепрачный гш + ♂ чепрачный кш + ♂ белый кш + ♀ чепрачный гш



(2 балла)

P(F1): ♂ чепрачный гш(F1) × ♀ соболиный кш



Генотип жены чепрачного кш сына: $X^w X^W Aya$ – потому что у них есть белые сыновья, т.е. она носительница белого, она имеет соболиный окрас за счет аллели Ay и, поскольку у них есть черные дети она – носительница черного так же как и ее муж. У них могут быть следующие потомки:

	$Ay X^W$	$a X^W$	$Ay X^w$	$a X^w$
$As X^W$	$AsAy X^W X^W$	$Asa X^W X^W$	$AsAy X^W X^w$	$Asa X^W X^w$
	Чепрачный гш ♀	Чепрачный гш ♀	Чепрачный гш ♀	Чепрачный гш ♀
$a X^w$	$Aya X^W X^W$	$aa X^W X^W$	$Aya X^W X^w$	$aa X^W X^w$
	Соболиный кш ♀	Черный кш ♀	Соболиный кш ♀	Черный кш ♀
$As Y$	$AsAy X^W Y$	$Asa X^W Y$	$AsAy X^w Y$	$Asa X^w Y$
	Чепрачный гш ♂	Чепрачный кш ♂	Белый гш ♂	Белый кш ♂
$a Y$	$Aya X^W Y$	$aa X^W Y$	$Aya X^w Y$	$aa X^w Y$
	Соболиный кш ♂	Черный кш ♂	Белый кш ♂	Белый кш ♂

То есть соболиного гладкошерстного сына у этой пары быть не может, и значит он – не родной внук своего деда. (3 балла)

5.3. Физика. 9 класс

Задача 5.3.1. Вязкая жидкость (баллов)

1. Шарик диаметром 6 мм плавает, не меняя глубины, в жидкости плотности $\rho = 1,26 \text{ г/см}^3$. Какова масса шарика?
2. При абсолютно неупругом соударении двух таких шариков, двигавшихся вдоль одной прямой навстречу друг другу с одинаковыми скоростями, 40% выделившейся энергии пошло на их нагрев. С какой скоростью двигались шарики перед соударением, если в результате удара они нагрелись на $\Delta t = 0,1^\circ\text{C}$? Удельная теплоемкость шарика равна $C = 1250 \text{ Дж/кг}^\circ\text{C}$.
3. В жидкость кинули такой шарик, нагретый до некоторой температуры выше, чем температура жидкости. После установления теплового равновесия,

температура жидкости оказалась на $\Delta t_1 = 2,4^\circ C$ выше, чем была первоначально. После этого, не вынимая первый шарик, в воду кинули еще один такой же, нагретый до той же первоначальной температуры, что и первый. После установления теплового равновесия во второй раз, температура жидкости оказалась еще на $\Delta t_2 = 2,2^\circ C$ выше, относительно установившейся после броска первого шарика. Какова теплоемкость жидкости, если теплоемкость шариков такая же, как в пункте 2? Теплоемкостью сосуда пренебрегите.

4. Пусть этот шарик находится в равновесии в глубине жидкости. Жидкость разбавили так, что ее плотность стала меньше в $N = 2$ раза, и шарик начал тонуть, причем установившаяся скорость движения оказалась постоянной и равной $U_1 = 4$ см/с. Определите коэффициент вязкого трения для этого шарика в разбавленной жидкости, считая, что сила вязкого трения пропорциональна первой степени скорости.
5. Два разных шарика одинакового объема движутся в жидкости вдоль одной вертикальной прямой со скоростями $V = 30$ см/с, так что их скорости постоянны, равны по модулю, но направлены в противоположных направлениях. Где эти два шарика остановились после абсолютно неупругого удара, относительно точки, где удар произошел, если сила средняя сопротивления после удара составила $N = 126\%$ от силы Архимеда действовавшей на один шар и $K = 154\%$ от силы сопротивления действующей на один шар до соударения. Турбулентными процессами пренебрегите. Ускорение свободного падения $g = 10$ м/с², сила сопротивления пропорциональна первой степени скорости, причем коэффициент пропорциональности считайте зависящим только от свойств среды и геометрических свойств тела. Суммарный объем тел при взаимодействии не изменяется. Ускорение свободного падения $g = 9,8$ м/с².

Решение

1. Если шарик не меняет свою глубину плавания, то его средняя плотность равна плотности жидкости. Следовательно, его масса может быть вычислена как:

$$m = \rho \cdot \frac{4}{3}\pi R^3 = 1260 \cdot \frac{4}{3} \cdot 3.14 \cdot 3^3 \cdot 10^{-9} = 1.4 \cdot 10^{-3} \text{ кг.}$$

Ответ: $m = \rho \cdot \frac{4}{3}\pi R^3 = 1.4 \cdot 10^{-3}$ кг.

Система оценки

- Записан закон плавания тела или сказано, что для плавания без всплытия плотности тела и жидкости должны быть равны.
 - Получено правильное числовое значение с точностью до десятых.
2. Из закона сохранения импульса следует, что после соударения шарикостановятся. Следовательно, вся кинетическая энергия шариков выделится, перейдя во внутреннюю. По условию задачи 40% этой энергии пошло на нагрев. Соответственно:

$$2 \frac{mV^2}{2} = 2 \cdot 0.4cm \cdot dt$$

$$V^2 = 2 \cdot 0.4c \cdot dt$$

$$V = \sqrt{2 \cdot 0.4c \cdot dt} = \sqrt{2 \cdot 0.4 \cdot 1250 \cdot 0.1} \text{ м/с} = 10 \text{ м/с}$$

Ответ: $V = \sqrt{0.8c \cdot dt} = 10 \text{ м/с}$

Система оценки

- Записан закон сохранения импульса или указано, что после соударения тела останутся.
 - Записан закон сохранения энергии.
 - Вычислено правильное значение скорости.
3. Из решения 1 и 2 задачи найдем теплоемкость шарика $C_{\text{ш}} = m \cdot C = 1.4 \cdot 10^{-3} \cdot 1250 = 1.75 \text{ Дж/}^\circ\text{C}$
 Запишем уравнение теплового баланса после броска первого и после броска второго шариков:

$$C_{\text{ж}}\Delta t_1 = C_{\text{ш}}(t_0 - \theta)$$

Где θ – установившаяся температура, а t_0 – начальная температура шарика.

$$C_{\text{ж}}\Delta t_2 + C_{\text{ш}}\Delta t_2 = C_{\text{ш}}(t_0 - \theta_2)$$

Вычитая первое из второго получим: $C_{\text{ж}}(\Delta t_1 - \Delta t_2) = 2C_{\text{ш}}\Delta t_2$ Отсюда $C_{\text{ж}} = \frac{2C_{\text{ш}}\Delta t_2}{(\Delta t_1 - \Delta t_2)} = 38.5 \text{ Дж/К}$

Ответ: $C_{\text{ж}} = \frac{2C_{\text{ш}}\Delta t_2}{(\Delta t_1 - \Delta t_2)} = 38.5 \text{ Дж/К}$

Система оценки

- Найдена теплоемкость шарика.
 - Записано уравнение теплового баланса для первого случая
 - Записано уравнение теплового баланса для второго случая.
 - Вычислено правильное значение теплоемкости.
4. Заметим, что для плавающего тела сила Архимеда равна силе тяжести, тогда при разбавлении можно записать второй закон Ньютона в следующей форме:

$$mg - \frac{\rho g V}{N} - \alpha U_1 = 0$$

Или

$$mg \left(1 - \frac{1}{N}\right) - \alpha U_1 = 0$$

Откуда:

$$\alpha = \frac{mg \left(1 - \frac{1}{N}\right)}{U_1} = \frac{0.006 \cdot 9.8 \cdot 0.5}{0.04} = 0.735 \text{ (Н} \cdot \text{с)/м}$$

Ответ: $\alpha = \frac{mg \left(1 - \frac{1}{N}\right)}{U_1} = 0.735 \text{ (Н} \cdot \text{с)/м}$

Система оценки

- Указано условие плавания тела

- Записан второй закон Ньютона для тонущего тела
 - Вычислено правильное значение коэффициента вязкого трения.
5. Пусть масса тела, которое движется вниз m_1 , а тела, которое движется вверх – m_2 . Т.к. объемы тел одинаковы, понятно, что $m_1 > m_2$, из чего следует, что импульс тела движущегося вниз больше, чем импульс тела, движущегося вверх. Следовательно, после соударения слившиеся тела продолжат двигаться вниз до тех пор, пока не остановятся.

Запишем закон сохранения импульса для момента соударения:

$$m_1V - m_2V = (m_1 + m_2)U$$

Откуда:

$$U = \frac{(m_1 - m_2)}{(m_1 + m_2)}V$$

Запишем второй закон Ньютона для тел:

$$m_1g - F_1 - F_{\text{Арх}} = 0$$

$$m_2g + F_1 - F_{\text{Арх}} = 0$$

где F_1 – сила сопротивления для тел, одинаковая в силу их одинакового размера, формы и среды, в которой они движутся.

Преобразуя эти уравнения получим:

$$(m_1 + m_2)g = 2F_{\text{Арх}}$$

$$(m_1 - m_2)g = 2F_1$$

Отсюда

$$\frac{(m_1 - m_2)}{(m_1 + m_2)} = \frac{F_1}{F_{\text{Арх}}} = \frac{K}{N}$$

Запишем теорему о кинетической энергии для движения тела после удара. Будем считать, что объем тела при ударе не изменился.

$$-\frac{(m_1 + m_2)U^2}{2} = ((m_1 + m_2)g - 2F_{\text{Арх}} - F_2)l$$

Где F_2 – сила сопротивления действующая на образовавшееся тело, а l – искомое расстояние.

Заметим, что сила тяжести полностью компенсирует силу Архимеда. Т.е. в после остановки тело будет находиться в равновесии.

Откуда

$$l = \frac{(m_1 + m_2)U^2}{2F_2} = \frac{(m_1 + m_2) \left(\frac{K}{N}\right)^2 V^2}{2F_2}$$

Заметим, что $(m_1 + m_2) = 2F_{\text{Арх}}/g$

Тогда:

$$l = \frac{2F_{\text{Арх}}}{g} \frac{\left(\frac{K}{N}\right)^2 V^2}{2F_2} = \frac{\left(\frac{K}{N}\right)^2 V^2}{gN} = 0.004 \text{ м}$$

Ответ: $l = \frac{\left(\frac{K}{N}\right)^2 V^2}{gN} = 4 \text{ мм}$

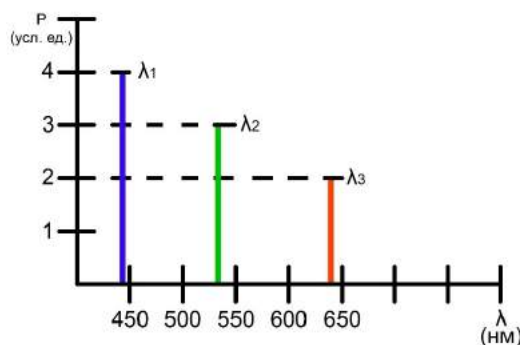
Система оценки

- Замечено, что после соударения тело будет двигаться вниз
- Записаны законы Ньютона для движения тела
- Записан закон сохранения энергии или теорема о кинетической энергии
- Получено итоговое выражение.
- Получен правильный численный ответ.

Задача 5.3.2. Оптика (баллов)

Для работы светодиода необходимо напряжение $U_d = 3 \text{ В}$. RGB-светодиод подключен к источнику постоянного напряжения $U = 4,5 \text{ В}$ сопротивлением, которого можно пренебречь. Для того, чтобы светодиод мог работать, в цепь подключили резистор. Доля мощности, выделяющаяся в виде излучения на светодиоде $k = 25\%$ от всей выделяющейся на нем мощности, светодиод излучает свет с длинами волн $\lambda_1 = 445 \text{ нм}$, $\lambda_2 = 535 \text{ нм}$ и $\lambda_3 = 640 \text{ нм}$. Скорость света считайте равной $c = 3 \cdot 10^8 \text{ м/с}$, $h = 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}$ – постоянная Планка.

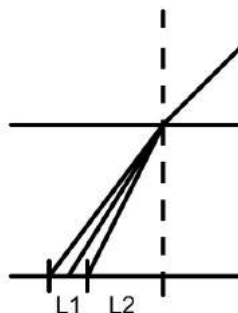
1. Каково сопротивление резистора, подключенного в цепь, если на нем выделяется тепловая мощность $P_0 = 30 \text{ мВт}$?
2. Какова мощность излучения диода при этом?
3. В условия предыдущих пунктов по спектру излучения светодиода оцените число фотонов каждого цвета, излучаемых светодиодом за секунду. Для простоты считайте, что в создании каждого цвета у светодиода участвует строго одна длина волны.



4. Одним из подтверждений волновой природы света считается явление дисперсии, которое можно наблюдать как разложение белого света на составляющие его цвета. Это явление возникает из-за того, что коэффициент преломления вещества зависит от длины волны света, хотя и не очень сильно. Это явление было эмпирически описано Огюстеном Коши, в честь которого получила название формулы Коши: $n(\lambda) = a + \frac{b}{\lambda^2} + \frac{m}{\lambda^4}$. Третье слагаемое мы использовать не будем, т.к. вклад его совсем мал.

При падении узкого луча света от светодиода на плоскую прозрачную пластинку толщиной $H = 100 \text{ см}$ под углом $\alpha = 30^\circ$, фотоматрица под пластинкой зафиксировала три сигнала, соответствующих разным цветам. При этом “радуга” имела ширину (расстояние между крайними точками) $l_1 = 1 \text{ см}$, а началась на расстоянии $l_2 = 37,2 \text{ см}$ по горизонтали от точки падения луча.

Найдите коэффициенты a (безразмерная) и b (в нм^2) в формуле Коши для материала пластинки.



5. Какой ширины будет “радуга” на экране расположенном над прозрачной пластинкой параллельно ей, если вместо фотоматрицы под пластинкой будет находиться зеркало?

Решение

1. Напряжение на резисторе равно разности напряжений между напряжением источника и напряжением на диоде. Тогда:

$$R = \frac{(U - U_D)^2}{P_0} = \frac{(4.5 - 3)^2}{0.03} = 75 \text{ Ом}$$

Ответ: $R = \frac{(U - U_D)^2}{P_0} = 75 \text{ Ом}$

Система оценки

- Найдено напряжение на резисторе
 - Получено выражение для сопротивления
 - Получен правильный численный ответ.
2. Найдем силу тока, текущего в цепи:

$$I = \frac{U_R}{R} = \frac{1.5}{75} \text{ А} = 20 \text{ мА}$$

Тогда

$$P = IU = 0.02 \cdot 1.5 = 0.03 \text{ Вт}$$

Учитывая, что только излучение составляет только 25% от выделяющейся мощности:

$$P_c = kIU = 0.25 \cdot 0.02 \cdot 1.5 = 7.5 \text{ мВт}$$

Ответ: $P_c = kIU = 7.5 \text{ мВт}$

Система оценки

- Найдена сила тока в цепи.

- Получено выражение для мощности излучения.
 - Получен правильный численный ответ.
3. Из графика видно, что мощность делится между синим, зеленым и красным элементами диода как $4/9$, $3/9$ и $2/9$ соответственно.
 Тогда на синий свет приходится мощность $P_B = \frac{4}{9} \cdot 7.5 = 3.33$ мВт
 на зеленый: $P_G = \frac{3}{9} \cdot 7.5 = 2.5$ мВт
 на красный: $P_R = \frac{2}{9} \cdot 7.5 = 1.66$ мВт
 Энергия, которую переносит один фотон может быть выражена через его частоту, как:

$$E = h\nu = \frac{hc}{\lambda}$$

Где, $h = 6.63 \cdot 10^{-34}$ Дж·с – постоянная Планка.

Тогда

$$N = \frac{P}{E} = \frac{P\lambda}{hc}$$

Ответ:

$$N_B = 7.46 \cdot 10^{18} \text{ частиц/с}$$

$$N_G = 6.72 \cdot 10^{18} \text{ частиц/с}$$

$$N_R = 5.36 \cdot 10^{18} \text{ частиц/с}$$

Система оценки

- Найдена мощность, приходящаяся на каждый цвет
 - Записано выражение для энергии фотона
 - Получено выражение для числа частиц
 - Получен правильный численный ответ.
4. Из закона преломления выразим показатели преломления для крайних значений и приравняем их к выражению формулы Коши.

$$\frac{\sin \alpha_0}{\sin \alpha_1} = a + \frac{b}{\lambda_1^2}$$

$$\frac{\sin \alpha_0}{\sin \alpha_2} = a + \frac{b}{\lambda_2^2}$$

Вычитая одно из другого получим выражение для b

$$b = \frac{\sin \alpha_0 \cdot \left(\frac{1}{\sin \alpha_2} - \frac{1}{\sin \alpha_1} \right)}{\frac{1}{\lambda_2^2} - \frac{1}{\lambda_1^2}}$$

Углы α_1 и α_2 можно найти из геометрии:

$$\alpha_1 = \arctg \left(\frac{l_2}{H} \right) = 0.356$$

$$\alpha_2 = \arctg \left(\frac{l_1 + l_2}{H} \right) = 0.365$$

$$b \approx 12650 \text{ нм}^2$$

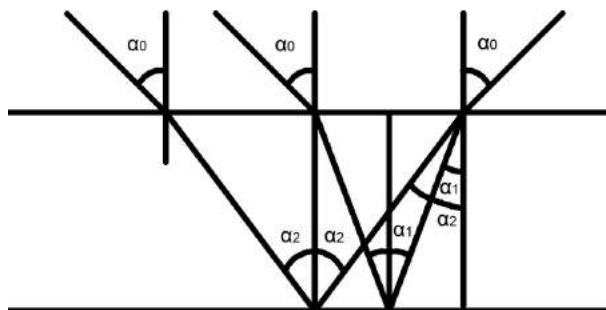
После этого а можно найти из любого выражения для закона преломления:

$$a = \frac{\sin \alpha_0}{\sin \alpha_1} - \frac{b}{\lambda_1^2} = 1.37$$

Ответ: $b = \frac{\sin \alpha_0 \cdot \left(\frac{1}{\sin \alpha_2} - \frac{1}{\sin \alpha_1} \right)}{\frac{1}{\lambda_2^2} - \frac{1}{\lambda_1^2}} = 12650 \text{ нм}^2$, $a = \frac{\sin \alpha_0}{\sin \alpha_1} - \frac{b}{\lambda_1^2} = 1.37$

Система оценки

- Записан закон преломления
 - Записано равенство показателя преломления, выраженного через закон преломления и через формулу Коши.
 - Получено выражения для крайних углов спектра.
 - Получено выражение для b
 - Получено значение для b значение
 - Получено выражение для a
 - Получено значение для a
5. Как видно из рисунка, свет выйдет из пластины параллельным пучком. Таким образом, если пренебречь потерями энергии, можно сказать, что независимо от расположения экрана ширина «радуги» будет одинаковой.



Воспользовавшись рисунком и решением предыдущего пункта запишем:

$$L = 2H(\operatorname{tg} \alpha_2 - \operatorname{tg} \alpha_1) = 2.005 \text{ см}$$

Ответ: $L = 2H(\operatorname{tg} \alpha_2 - \operatorname{tg} \alpha_1) = 2.005 \text{ см}$

Система оценки

- Отмечено, что ширина спектра не зависит от расстояния до экрана.
- Записано выражение для ширины.
- Получен правильный численный ответ.

5.4. Физика. 10-11 класс

Задача 5.4.1. Экситон Бора (баллов)

Одной из важнейших моделей в теории квантовых точек является представление об экситоне - связанной паре электрон-"дырка". В самом простом приближении, по аналогии с моделью атома Бора, экситон можно рассматривать их как две материальные точки, вращающиеся вокруг общего центра масс, одна из которых имеет заряд $+e$, а вторая $-e$. Можно также построить простейшую теорию поведения экситона, воспользовавшись аналогией с моделью атома Бора. В качестве правила квантования нужно взять следующее: $m_e \cdot V_e \cdot a_e + m_h \cdot V_h \cdot a_h = \frac{n\hbar}{2\pi}$, где m_e и m_h - эффективные массы электрона и «дырки», V_e и V_h - их скорости, a_e и a_h - расстояния от электрона и дырки соответственно до оси вращения, $\hbar = 6,63 \cdot 10^{-34}$ Дж · с - постоянная Планка, а n - натуральное число. Будем считать эффективные массы электрона и «дырки» постоянными и равными 25% от массы свободного электрона $m_{e\text{св}} = 9,1 \cdot 10^{-31}$ кг. Отличие от обычной массы возникает из-за взаимодействия электрона с полем кристаллической решетки.

Заряд электрона $e = 1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл, электрическая постоянная $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$ $\frac{\text{Кл}^2}{\text{Н} \cdot \text{м}^2}$, скорость света $c = 3 \cdot 10^8$ м/с.

1. Найдите возможные (допустимые правилом квантования) угловые скорости вращения частиц в этой модели для свободного экситона диаметром 20 нм. Под диаметром экситона будем понимать расстояние между электроном и «дыркой».
2. Найдите диаметр экситона в основном состоянии в веществе с диэлектрической проницаемостью $\epsilon = 11,7$?
3. Найдите энергию основного состояния для экситона в веществе с диэлектрической проницаемостью $\epsilon = 11,7$?
4. Определите минимальную длину волны света, которую может излучить возбужденный свободный экситона, основное состояние которого стабильно при температуре не выше 300 К.
5. Найдите диапазон углов, под которыми будет наблюдаться спектр первого порядка для излучения свободного экситона при переходе из произвольного возбужденного состояния в основное состояние, если наблюдение производится с помощью решетки с шагом $d = 4 \cdot 10^4$ м. Основное состояние стабильно при температуре 300 К.

(В качестве ответа допустимо указать арксинусы углов).

Решение

1. Будем рассматривать электрон и «дырку» как две одинаковые материальные точки. Центр их вращения находится в центре масс, т.е. по середине указанного расстояния.

Тогда, исходя из предложенного правила квантования можно найти возможные для данного экситона угловые скорости вращения электрона и «дырки» (в силу одинаковых масс они будут одинаковыми):

$$2m_e \left(\frac{l}{2}\right)^2 \omega = \frac{\hbar n}{2\pi}, \text{ где } \omega - \text{угловая скорость вращения, } l - \text{диаметр экситона, } m$$

– эффективная масса. Отсюда возможные угловые скорости:

$$\omega = \frac{hn}{\pi ml^2} = \frac{6.63 \cdot 10^{-34}}{3.14 \cdot 0.25 \cdot 9.1 \cdot 10^{-31} \cdot (20 \cdot 10^{-9})^2} n \text{ 1/c} = 2.3 \cdot 10^{12} n \text{ 1/c, где } n = 1, 2, 3, \dots$$

Ответ: $\omega = \frac{hn}{\pi ml^2} = 2.3 \cdot 10^{12} n \text{ 1/c, где } n = 1, 2, 3, \dots$

Система оценки

- Записано условие квантования в применении к данной задаче - 5
 - Получен ответ для одного случая. - 2
 - Записан ответ для всех возможных орбит (выражено через целое число n в примере). - 3
2. Рассмотрим полную энергию экситона в нашем приближении. Она состоит из кинетической энергии движения электрона и «дырки» и потенциальной энергии их электростатического взаимодействия.

$$E = 2 \frac{mV^2}{2} - \frac{1}{4\pi\epsilon_0\epsilon} \cdot \frac{e^2}{l}$$

Знак минус перед потенциальной энергией возникает из-за разных знаков заряда электрона и «дырки».

Запишем так же второй закон Ньютона для электрона (для дырки он будет записываться точно так же, в силу равенства масс по условию).

$$\frac{mV^2}{\frac{l}{2}} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0\epsilon} \cdot \frac{e^2}{l^2}$$

Расстояние до оси вращения в два раза меньше расстояния между электроном и «дыркой». Из этих двух уравнений получаем полную энергию экситона диаметром l :

$$E = -\frac{1}{2} \cdot \frac{1}{4\pi\epsilon_0\epsilon} \cdot \frac{e^2}{l}$$

Заметим, что она отрицательна и вдвое меньше потенциальной энергии взаимодействия между электроном и «дыркой». Найдем эту энергию:

$$E = -\frac{1}{2} \cdot \frac{1}{4\pi\epsilon_0\epsilon} \cdot \frac{e^2}{l} = -\frac{1.6^2 \cdot 10^{-38}}{2 \cdot 4 \cdot 3.14 \cdot 8.85 \cdot 10^{-12} \cdot 11.7 \cdot 20 \cdot 10^{-9}} \text{ Дж} \approx -0.5 \cdot 10^{-21} \text{ Дж}$$

Ответ: $E = -\frac{1}{2} \cdot \frac{1}{4\pi\epsilon_0\epsilon} \cdot \frac{e^2}{l} \approx -0.5 \cdot 10^{-21} \text{ Дж}$

Система оценки

- Записано выражение для полной энергии экситона
- Записан второй закон Ньютона
- Получено правильное выражение для полной энергии
- Получено числовое значение

3. Воспользовавшись решением предыдущей задачи и условием разрушения экситона, которое дано в условии, запишем:

$$E = \left| -\frac{1}{2} \cdot \frac{1}{4\pi\epsilon_0\epsilon} \cdot \frac{e^2}{l} \right| \leq kT$$

Отсюда $\left| -\frac{1}{2} \cdot \frac{1}{4\pi\epsilon_0\epsilon} \cdot \frac{e^2}{l} \right| / k \leq T$ или $T \geq \frac{0.5 \cdot 10^{-21}}{1.38 \cdot 10^{-23}} = 36K$

Ответ: Такой экситон может существовать при температуре ниже $T \leq 36$

Система оценки

- Записано выражение сравнения энергии экситона с средней энергией теплового движения.
 - Получено правильное числовое значение
4. Минимальная длина волны света соответствует максимальной частоте, которая в свою очередь соответствует максимальной выделяемой энергии. Максимальная энергия будет выделяться экситоном при переходе из состояния «бесконечно удаленного» в основное состояние. Такая энергия, по аналогии с моделью атома Бора будет равна по модулю энергии основного состояния экситона, которая может быть определена из условия его стабильности.

$$E = kT$$

Тогда

$$E = kT = h\nu = \frac{hc}{\lambda}$$

Отсюда: $\lambda = \frac{hc}{kT} = \frac{6.63 \cdot 10^{-34} \cdot 3 \cdot 10^8}{1.38 \cdot 10^{-23} \cdot 300} = 48 \text{ мкм}$

Ответ: $\lambda = \frac{hc}{kT} = 48 \text{ мкм}$

Система оценки

- Учтено, что полная энергия основного состояния может быть получена из условия стабильности экситона.
 - Записано выражение для частоты или длины волны излучения.
 - Получено правильное числовое значение
5. Диапазон в котором будет поглощать такой экситон будет лежать между 48мкм, которые были обнаружены в предыдущем пункте и излучением при переходе из второго энергетического состояния в основное. По аналогии с моделью Бора можно записать:

$\delta E = E_0 \frac{1}{n^2} - \frac{1}{k^2}$, для перехода из n-го состояния в k-тое. В нашем случае, для перехода из основного – 1го состояния во 2ое, $\delta E_{12} = E_0 \left(\frac{1}{1^2} - \frac{1}{2^2} \right) = \frac{3}{4} E_0$.

Соответствующая длина волны может быть определена аналогично предыдущему пункту:

$$\lambda = \frac{hc}{\frac{3}{4}kT} = 64 \text{ мкм}$$

Таким образом, диапазон излучения основного состояния такого экситона 48-64мкм

Отсюда, используя известное выражение для направления на максимумы дифракционной решетки $d \sin \varphi = k\lambda$, можно найти диапазон углов:

$$\sin \varphi_{max} = \frac{\lambda_{max}}{d} = \frac{64 \cdot 10^{-6}}{4 \cdot 10^{-4}} = 0.16$$

$$\sin \varphi_{min} = \frac{\lambda_{min}}{d} = \frac{48 \cdot 10^{-6}}{4 \cdot 10^{-4}} = 0.12$$

$$\varphi \in (\arcsin(0.12); \arcsin(0.16))$$

Ответ: $\varphi \in [\arcsin(0.12); \arcsin(0.16)]$

Система оценки

- Получено значение максимальной длины волны
- Получено значение минимальной длины волны
- Записано выражение для направления на максимумы для дифракционной решетки
- Получено правильное числовое значение

Задача 5.4.2. Броуновские частицы (баллов)

Броуновские частицы - очень маленькие частицы твердого вещества, совершающие хаотическое движение в жидкостях или газах находящиеся в термодинамическом равновесии с молекулами жидкости или газа, в которых они находятся. $k = 1,38 \cdot 10^{-23}$ Дж/К - постоянная Больцмана.

1. Определите среднеквадратичную скорость броуновской частицы в газе при комнатной температуре (23 градуса Цельсия). Для простоты считайте частицу кубом со стороной 0,5 мкм. Средняя плотность частицы $\rho = 2330$ кг/м³.
2. Пусть эта частица совершает броуновское движение в азоте. Во сколько раз ее среднеквадратичная скорость меньше среднеквадратичной скорости молекул азота?
3. Частица, указанная в первом пункте находится в азоте. Сколько частиц азота должны ударять ее строго перпендикулярно одной грани, чтобы она приобрела скорость равную посчитанной выше средне квадратичной вдоль направления перпендикулярного этой грани. Удары считайте абсолютно упругими. Температура азота $t = 300$ К. Молярная масса азота $\mu_N = 0,014$ кг/моль.
4. Частица, находившаяся в воде на глубине H начинает всплывать без начальной скорости. На глубине $h = H/2$ ее скорость перестает меняться и становится равной U , причем скорость U равна скорости, которую приобрела бы эта частица при свободном падении с высоты $H/2$. Считая, что вся работа сил сопротивления переходит в тепло, а температура частицы не изменилась, найдите какая доля выделившегося тепла выделилась до установления постоянной скорости. Размер частицы много меньше H и h . Плотность жидкости в $n = 3$ раза больше средней плотности частицы.
5. В теплоизолированный сосуд объемом $V = 4$ л, высотой $h = 40$ см, содержащий одноатомный газ, засыпали сверху 10 г мелкодисперсного порошка

броуновских частиц, не сообщая им кинетической энергии, при этом давление в сосуде изменилось на величину dP . Найдите это изменение давления. Считайте, что броуновские частицы распределяются по сосуду равномерно. Ускорение свободного падения $g = 9,8 \text{ м/с}^2$.

Решение

1. Поскольку броуновская частица находится в состоянии термодинамического равновесия с газом ее внутренняя энергия равна внутренней энергии окружающего его газа.

$$E = \frac{3}{2}kT$$

тогда можно записать:

$$\frac{m \langle V \rangle^2}{2} = \frac{3}{2}kT$$

или:

$$\frac{\rho a^3 \langle V \rangle^2}{2} = \frac{3}{2}kT$$

где a – сторона куба.

$$\sqrt{\langle V \rangle^2} = \sqrt{\frac{3kT}{\rho a^3}} = \sqrt{\frac{3 \cdot 1.38 \cdot 10^{-23} \cdot 296}{2330 \cdot 5^3 \cdot 10^{-21}}} = 0.0064 \text{ м/с}$$

Ответ: $\sqrt{\langle V \rangle^2} = \sqrt{\frac{3kT}{\rho a^3}} = 0.0064 \text{ м/с}$

Система оценки

- Замечено, что энергия броуновской частицы равна энергии окружающего ее газа.
 - Записано выражение равенства кинетических энергий.
 - Получено правильное числовое значение для среднеквадратичной скорости или ее квадрата.
2. Среднеквадратичная скорость молекул азота может быть определено по такой же формуле

$$\frac{m_{N_2} \langle V_{N_2} \rangle^2}{2} = \frac{3}{2}kT$$

Тогда

$$\frac{\langle V_{N_2} \rangle}{\langle V \rangle} = \sqrt{\frac{m}{m_{N_2}}}$$

$$m_{N_2} = \frac{\mu_{N_2}}{N_A}$$

$$m = \rho a^3$$

$$\frac{\langle V_{N_2} \rangle}{\langle V \rangle} = \sqrt{\frac{N_A \rho a^3}{\mu_{N_2}}} = \sqrt{\frac{6 \cdot 10^{23} \cdot 2330 \cdot 5^3 \cdot 10^{-21}}{0.028}} = 7.9 \cdot 10^4$$

Ответ: $\frac{\langle V_{N_2} \rangle}{\langle V \rangle} = \sqrt{\frac{N_A \rho a^3}{\mu_{N_2}}} = 7.9 \cdot 10^4$

- Замечено, что энергия броуновской частицы равна энергии окружающего ее газа.
- Записано выражение для отношения среднеквадратичных скоростей
- Выражены массы молекулы азота и частицы
- Получено правильное числовое значение отношения среднеквадратичных скоростей.

3. В среднем молекулы ударяют частицу со всех сторон одинаково и средний импульс, который они передают равен нулю. Однако, если число молекул ударивших в одну грань окажется выше среднего, частица может получить существенный импульс в сторону перпендикулярную грани.

Импульс который приобретет частица равен $p = 2N \cdot p_m$, где N – число частиц, p_m – импульс одной молекулы а множитель 2 возникает из-за абсолютно упругого удара.

Импульс молекулы может быть выражен через ее кинетическую энергию, как:

$p_m = \sqrt{2mE} = \sqrt{2m \cdot \frac{3}{2}kT}$, масса одной молекулы может быть выражена через молярную массу и число Авогадро: $m = \frac{\mu}{N_A}$, что для азота дает $m = \frac{\mu}{N_A} = \frac{0.028}{6.02 \cdot 10^{23}} = 4.65 \cdot 10^{-26}$ кг

$$N = \frac{M\sqrt{\langle V \rangle^2}}{\sqrt{2m \cdot \frac{3}{2}kT}} = \frac{\rho a^3 \sqrt{\langle V \rangle^2}}{\sqrt{2m \cdot \frac{3}{2}kT}} =$$

$$= \frac{2330 \cdot 5^3 \cdot 10^{-24} \cdot 0.0064}{\sqrt{2 \cdot 4.65 \cdot 10^{-26} \cdot 1.5 \cdot 1.38 \cdot 10^{-23} \cdot 300}} = 7.76 \cdot 10^5$$

Ответ: $N = \frac{\rho a^3 \sqrt{\langle V \rangle^2}}{\sqrt{2m \cdot \frac{3}{2}kT}} = 7.76 \cdot 10^5$

- Записан закон сохранения импульса. Если не учтен множитель 2, ставится половина баллов.
- Записан импульс для молекулы азота.
- Получено правильное числовое значение с точностью до десятых.

4. В тепло превращается работа силы трения. Запишем эту работу.

До установления постоянной скорости:

$$A_1 = \rho g V (H - h) - mg(H - h) - \frac{mU^2}{2}$$

где ρ – плотность жидкости, а V – объем тела.

После установления постоянной скорости:

$$A_2 = \rho g V h - mgh$$

Искомая величина равна:

$$\frac{A_1}{A_1 + A_2} = \frac{\rho g V (H - h) - mg(H - h) - \frac{mU^2}{2}}{\rho g V H - mgH - \frac{mU^2}{2}}$$

Заметим, что по условию $\frac{mU^2}{2} = mg\frac{H}{2}$, а $\rho gV = nm$, тогда:

$$\frac{A_1}{A_1 + A_2} = \frac{nmg\frac{H}{2} - mg\frac{H}{2} - mg\frac{H}{2}}{nmgH - mgH - mg\frac{H}{2}} = \frac{(n-2)\frac{H}{2}}{(n-1)H - \frac{H}{2}} = \frac{1}{3}$$

Ответ: $\frac{A_1}{A_1 + A_2} = \frac{(n-2)}{2(n-1)-1} = \frac{1}{3}$

- Записан закон сохранения энергии для первой половины пути.
- Записан закон сохранения энергии для второй половины пути или для всего пути.
- Кинетическая энергия частицы выражена через потенциальную энергию.
- Сила Архимеда выражена через вес частицы.
- Получено правильное числовое значение.

5. Броуновские частицы в силу своего хаотического движения могут быть описаны так же, как и газ.

Запишем закон сохранения энергии, т.к. сосуд теплоизолирован:

$$\frac{3}{2}n_B V k T_1 + \frac{3}{2}n V k (T_1 - T_0) = mg\frac{H}{2}$$

Считая, что частицы в сосуде распределены равномерно, их потенциальная энергия уменьшилась на величину $mg\frac{H}{2}$.

Так же можно записать основное уравнение МКТ для приращения давления. Оно произойдет за счет изменения давления газа и в существенно меньшей степени из-за давления броуновских частиц.

$$dP = n_B k T_1 + nk(T_1 - T_0)$$

Домножив второе уравнение на V , а первое на $2/3$, увидим, что

$$mg\frac{H}{3} = V dP$$

Отсюда:

$$dP = mg\frac{H}{3V} = 0.01 \cdot 9.8 \cdot \frac{0.4}{3 \cdot 4 \cdot 10^{-3}} = 3.3 \text{ Па}$$

Ответ: $dP = mg\frac{H}{3V} = 3.3 \text{ Па}$

- Сделано предположение, что броуновские частицы можно рассматривать как газ
- Записан закон сохранения энергии
- Записано выражение для приращения давления
- Получено правильное числовое значение с точностью до десятых.

5.5. Химия. 9 класс

Задача 5.5.1. (20 баллов)

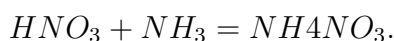
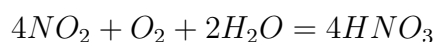
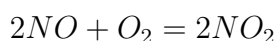
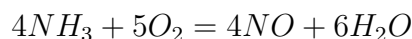
Открытую колбу объемом 2 л заполнили при н.у. сухим газообразным аммиаком, после чего внесли внутрь разогретое платиновое кольцо. После этого кольцо раска-

лилось 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 5.5.2. (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 $M(a \cdot M) = 32/0.41 - 32 = 46$ г/моль. Это масса двух атомов натрия. Формула вещества Na_2O_2 . Уравнение реакции $Na_2O_2 + CO_2 = Na_2CO_3 + O_2$.

2. 5% от 10 м^3 - это 500 л, за 1 минуту человек потребляет $20 \cdot 25 \text{ мл} = 0.5$ л кислорода, откуда следует, что этого объема хватит на 1000 минут или $1000/60 = 16$ часов 40 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 $0.5 \cdot 60 = 30$ л кислорода, откуда $n(O_2) = V/V_m = 30/24 = 1.2$ моль. Тогда по уравнению реакции $n(Na_2CO_3) = 2.4$ моль, $m = n \cdot M = 254.4$ г. Масса твёрдого вещества увеличится на массу поглощённого углекислого газа за вычетом выделившегося кислорода: $\Delta m = m(CO_2) - m(O_2) = 2.4 \cdot 44 - 1.2 \cdot 32 = 67.2$ 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 5.5.3. (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

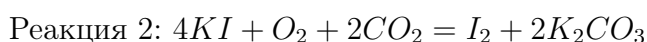
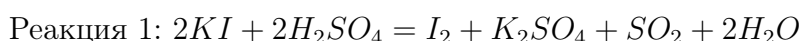
Задача 5.5.4. (15 баллов)

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%.

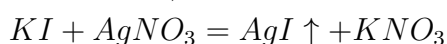
1. Установите состав вещества А. Ответ подтвердите расчетами.
2. Напишите уравнения реакций (1)-(3).
3. Из каких веществ состоит порох? Напишите возможное уравнение его горения.

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

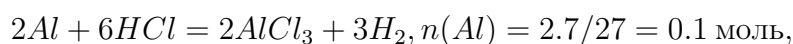
Задача 5.5.5. (25 баллов)

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.



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

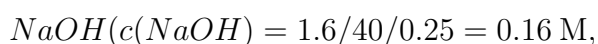
Соляная кислота в избытке, с алюминием прореагирует только 0.3 моль,

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

С учетом разбавления до 200 мл

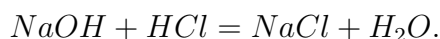
$$c = n/V = 0.1/0.2 = 0.5 \text{ М}$$

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



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

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

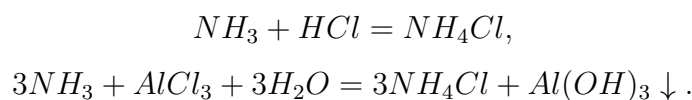


Данного количества $NaOH$ не хватает для полной нейтрализации кислоты, поэтому алюминий останется в виде соли $AlCl_3$ перед добавлением аммиака. По уравнению реакции, количество образовавшегося $NaCl$ также составляет 0.008 моль.

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

$$\omega(NH_4Cl) = 4.8\%, \omega(NaCl) = 0.5\%.$$

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

5.6. Химия. 10-11 класс

Задача 5.6.1. (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: $K_2[A(OH)_4]$, $K_2[A(OH)_6]$ или $K_3[A(OH)_6]$, 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 идет особенно стремительно.
3. Уравнение альфа - распада: ${}_{83}^{299}\text{Bi} = {}_{81}^{205}\text{Tl} + {}_2^4\text{He}$. 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.

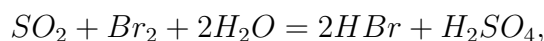
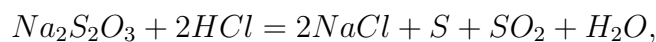
Задача 5.6.2. (18 баллов)

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 образовалось в результате disproportionирования, 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.

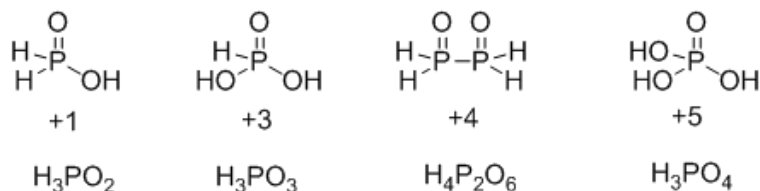
Задача 5.6.3. (26 баллов)

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%.

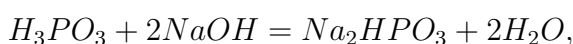
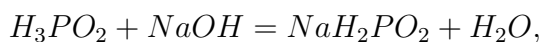
1. Определите элемент X и укажите все известные вам его аллотропные модификации.
2. Для элемента X известно большое количество кислот. Изобразите по одной структурной формуле кислоты в степени окисления X : +1, +3, +4 и +5. Для каждой из кислот напишите уравнение ее реакции с избытком раствора гидроксида 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).

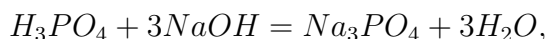
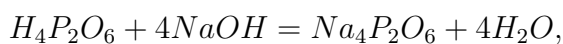
Решение

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

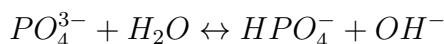
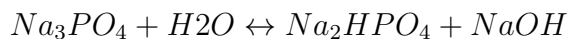


Уравнения реакций:





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 5.6.4. (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.

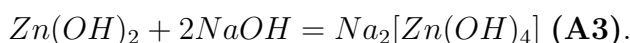
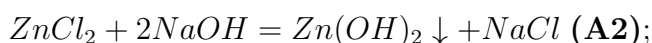
Эксперимент А: к 10 мл раствора 1 медленно добавляли раствор 2, измеряя объем добавленного раствора (с шагом в 1 мл).

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:**

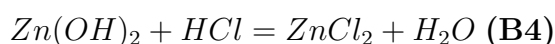
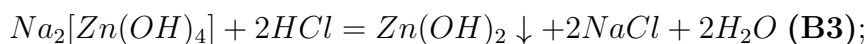
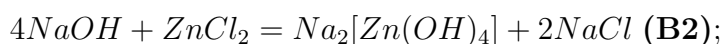


Осадок начнёт выпадать после того, как будет нейтрализована вся кислота.

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 5.6.5. (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 полученной (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.