

Геномное редактирование

2022/23 учебный год

Заключительный этап

Предметный тур

Биология. 8–9 классы

Задача VI.1.1.1. Орехи (25 баллов)

Условие

Юный биотехнолог Василиса в супермаркете купила продукты, которые ей нужны для приготовления торта к дню рождения. В списке покупок присутствуют:

- а) миндальное молоко;
- б) кокосовая стружка;
- в) варенье из грецкого ореха;
- г) обжаренный кешью;
- д) фисташковый крем;
- е) дробленый фундук.

Как справедливо заметила Василиса — некоторые из продуктов изготовлены не из настоящих орехов.

Задание

1. Какие из этих продуктов делают из истинных орехов в ботаническом смысле? Для растений, у которых плоды не являются настоящими орехами, приведите ботанические названия их плодов. *(10 баллов)*
2. Почему кулинарный арахис и кедровый орех не являются плодами? К каким систематическим группам относятся растения арахис и кедр? Что именно, с точки зрения ботаники, употребляют в пищу у этих растений? *(5 баллов)*
3. Посмотрите на картинку, где изображен ложный плод кешью. Ложные плоды образуются, если в их формировании принимают участие дополнительные части цветка, например, цветоножка, цветоложе, гипантий, чашелистики. Предположите, какие части цветка используются для формирования ложного плода кешью? У каких других известных вам растений можно встретить ложные плоды? *(5 баллов)*
4. Какой из продуктов изготавливается преимущественно из эндосперма семени растения? Как называется жидкая часть эндосперма у этого растения? *(5 баллов)*

Решение

1. Какие из этих продуктов делают из истинных орехов в ботаническом смысле? Для растений, у которых плоды не являются настоящими орехами, приведите

ботанические названия их плодов. (10 баллов)

Следующие продукты получены из орехов: г) обжаренные кешью и е) дробленый фундук — по 3 балла за правильный ответ, всего 6 баллов.

К орехам не относятся: а) миндаль — костянка, б) кокос — костянка, в) грецкий орех-костянка, д) фисташка — костянка. По 1 баллу за каждое верное название плода, всего 4 балла. Также возможный вариант — использовать термин «пиренарий» для плодов-костянок.

2. Почему кулинарный арахис и кедровый орех не являются плодами? К каким систематическим группам относятся растения арахис и кедр? Что именно, с точки зрения ботаники, употребляют в пищу у этих растений? (5 баллов)

Истинные плоды формируются только из стенки завязи цветка. (1 балл)

Арахис — цветковое растение семейства бобовые. (1 балл)

Плоды у арахиса бобы, кулинарный арахис представляет собой семена, а не плоды. (1 балл)

Кедр или Сосна сибирская — хвойное растение отдела Голосеменные (1 балл)

У Голосеменных нет цветков и не может быть плодов, поэтому это также семена, а не плоды. (1 балл)

3. Посмотрите на картинку, где изображен ложный плод кешью. Ложные плоды образуются, если в их формировании принимают участие дополнительные части цветка, например, цветоножка, цветоложе, гипантий, чашелистики. Попробуйте предположить, какие части цветка используются для формирования ложного плода кешью? У каких других известных вам растений можно встретить ложные плоды? (5 баллов)

У кешью ложный плод развивается из цветоножки и частично из цветоложа, формируя яблоко кешью. (3 балла).

Примеры ложных плодов: шиповник, яблоко, земляника, физалис. Достаточно привести один пример. (2 балла)

4. Какой из продуктов изготавливается преимущественно из эндосперма семени растения? Как называется жидкая часть эндосперма у этого растения? (5 баллов) Кокосовая стружка изготавливается из копры, которая представляет эндосперм семени кокосовой пальмы. (3 балла). Жидкая часть этого эндосперма — кокосовое молоко. (2 балла)

Задача VI.1.1.2. Эксперименты (25 баллов)

Условие

Василиса провела несколько экспериментов с картофелем.

Эксперимент 1. Василиса приготовила несколько брусочков из картофеля размером $5 \times 5 \times 10$ мм. Один из брусочков она поместила в чистую воду, а другой в насыщенный раствор поваренной соли. Через час она вытщила брусочки из растворов и измерила их длину. Длина брусочка, который был в растворе соли, уменьшилась до 9 мм, а брусочек, который находился в воде, увеличил длину до 12 мм.

Эксперимент 2. Василиса изготовила из картофеля кубики размером $10 \times 10 \times 10$ мм, $20 \times 20 \times 20$ мм, $30 \times 30 \times 30$ мм и взвесила их на весах. Вес кубиков составил 1, 8 и 27 г. Затем все кубики она поместила в чистую воду на час. Через час она взвесила кубики снова, их вес составил 1,2, 8,8 и 28,8 г.

Задание

1. Что будет происходить с брусочками картофеля в соленой и пресной воде? По какой причине? (5 баллов)
2. Несмотря на изменения объемов клеток, объем цитоплазмы у растения меняется слабо. Какая органелла в растительной клетке в наибольшей степени определяет изменения объема? (3 балла) Какие функции она выполняет в растительной клетке? (2 балла)
3. Почему в эксперименте 2 увеличение массы кубиков не происходило пропорционально их массе? (2 балла) Какой параметр будет связан пропорционально с изменением массы кубиков? Как изменить эксперимент 2, чтобы изменение массы было пропорциональным массе кубиков? (3 балла)
4. Можно ли вместо соли использовать сахар? Какое из этих веществ будет оказывать на изменение длины брусочков больший эффект: соль или равное по массе количество сахара? Молярная масса сахарозы 342 г/моль, хлорида натрия 58 г/моль. (5 баллов)
5. Приведите примеры, каким образом данное явление используется в организмах растений и животных (5 баллов)

Решение

1. Что будет происходить с брусочками картофеля в соленой и пресной воде? По какой причине? (5 баллов)
Из-за различной концентрации солей в брусочке картофеля и окружающей его среды под действием осмоса вода будет переходить в брусочки (в пресной воде) или выходить из брусочков (в соленой воде). Из-за этого будет изменяться объем клеток и суммарная длина брусочков. (5 баллов)
2. Несмотря на изменения объемов клеток, объем цитоплазмы у растения меняется слабо. Какая органелла в растительной клетке в наибольшей степени определяет изменения объема? (2 балла) Какие функции она выполняет в растительной клетке? (3 балла)
Растительная клетка содержит вакуоль (2 балла), которая содержит все наибольшее количество воды клетки. Изменения концентрации растворов вокруг растительной клетки ведет к тому, что вода входит или выходит из растительной вакуоли. Функции вакуоли: запасующая, экскреторная, создание тургора, обеспечение растяжения при росте растения (3 балла)
3. Почему в эксперименте 2 увеличение массы кубиков не происходило пропорционально их массе? (2 балла) Какой параметр будет связан пропорционально с изменением массы кубиков? Как изменить эксперимент 2, чтобы изменение массы было пропорциональным массе кубиков? (3 балла)
Увеличение массы кубиков не происходило пропорционально массе поскольку вода проникает через поверхностный слой кубиков. С ростом размера кубиков затрудняется прохождение воды к центру кубика (2 балла). Изменение массы пропорционально суммарной площади поверхности кубиков. Для того, чтобы обеспечить изменение массы на том же уровне, необходимо разрезать большие кубики, соответственно, на 8 и 27 одинаковых кубиков. (3 балла)
4. Можно ли вместо соли использовать сахар? Какое из этих веществ будет оказывать на изменение длины брусочков больший эффект: соль или равное по массе количество сахара? Молярная масса сахарозы 342 г/моль, хлорида на-

трия 58 г/моль. (5 баллов)

Можно. Большой эффект будет оказывать соль так как равная масса соли может создавать большую суммарную концентрацию растворенных частиц. (1 балл) Это связано с тем, что соль распадается на две частицы при растворении (ион натрия и ион хлора), а не одну, как молекула сахарозы (2 балла), а также имеет меньшую молярную массу (2 балла).

5. Приведите примеры, каким образом данное явление используется в организмах растений и животных (5 баллов)

- Осмотическое концентрирование мочи.
- Открытие и закрытие устьиц.
- Всасывание воды корнем растения.
- ...
- ...

За любой разумный ответ 1 балл, но не более 5 баллов.

Задача VI.1.1.3. Физиологические расчеты (25 баллов)

Условие

Эритроциты млекопитающих являются постклеточными структурами, которые используются для переноса кислорода и углекислого газа. Белок гемоглобин состоит из четырех цепей, каждая из которых содержит гем и может связать 1 молекулу кислорода. В 1 литре крови может содержаться около 200 мл кислорода. При этом доля гемоглобина, связанного с кислородом, в артериальной крови составляет 100%, а в венозной крови — 80%.

Задание

1. Вычислите, какой объем кислорода человек потребляет в минуту? Известна частота дыхания — 18 дыхательных движений в минуту, частота сердечных сокращений — 70 ударов в минуту, сердечный выброс — 60 мл. Ответ приведите в мл/мин. (10 баллов)
2. В высокогорьях атмосферное давление воздуха уменьшается. Как изменяется в этом случае доля гемоглобина, связанного с кислородом, в артериальной крови? Что произойдет с частотой сердечных сокращений и частотой дыхания? Как изменяется количество эритроцитов и концентрация гемоглобина при акклиматизации в горах (10 баллов)
3. Эритроциты птиц — настоящие клетки. В чем отличие эритроцитов птиц и эритроцитов млекопитающих? Какие преимущества для млекопитающих это имеет? (5 баллов)

Решение

1. Вычислите, какой объем кислорода человек потребляет в минуту? Известна частота дыхания — 18 дыхательных движений в минуту, частота сердечных сокращений — 70 ударов в минуту, сердечный выброс — 60 мл. Ответ приведите в мл/мин. (10 баллов)

В покое в 1 минуту через легкие проходит
 $60 \text{ мл/уд} \cdot 70 \text{ ударов/мин} = 4,2 \text{ л/мин}$ (5 баллов).

В ткани поступает кислорода

$4,2 \text{ л/мин} \cdot 200 \text{ мл/л} \cdot (100\% - 80\%) = 168 \text{ мл/мин}$ (5 баллов).

2. В высокогорьях атмосферное давление воздуха уменьшается. Как изменяется в этом случае доля гемоглобина, связанного с кислородом, в артериальной крови? Что произойдет с частотой сердечных сокращений и частотой дыхания? Как изменяется количество эритроцитов и концентрация гемоглобина при акклиматизации в горах (10 баллов)

Доля гемоглобина, связанного с кислородом, уменьшается. (2 балла)

Это приводит к тому, что кровь может переносить меньше кислорода, чем потребляют ткани. (2 балла)

Для компенсации этого вырастает частота дыхания и частота сердечных сокращений. (4 балла)

Со временем, в ходе акклиматизации, в крови возрастет количество эритроцитов и концентрация гемоглобина, что позволит крови переносить больше кислорода и снизить частоту дыхания и частоту сердечных сокращений до нормальных величин. (2 балла)

3. Эритроциты птиц, в отличие от эритроцитов млекопитающих — настоящие клетки. В чем отличие эритроцитов птиц и эритроцитов млекопитающих? Какие преимущества для млекопитающих это имеет? (5 баллов)

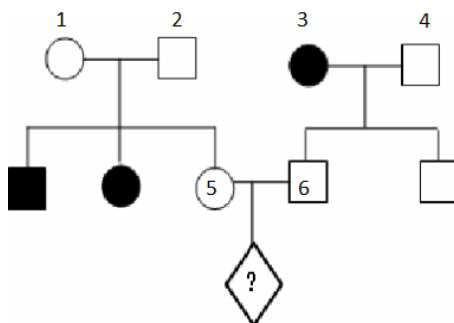
Эритроциты птиц имеют ядра (2 балла), в то время как эритроциты млекопитающих — ядер не имеют и считаются постклеточными структурами (1 балл).

Благодаря отсутствию ядра нет необходимости тратить кислород и питательные вещества на поддержание ядра и наследственного материала в нем. (2 балла)

Задача VI.1.1.4. Родословная (25 баллов)

Условие

На рисунке приведен фрагмент родословной для одного редкого генетического заболевания человека.



Задание

1. Определите тип наследования: аутосомный или сцепленный с полом? (2 балла)

2. Какую природу имеет заболевание? Рецессивную или доминантную? (2 балла)
3. Запишите вероятные генотипы индивидуумов 1–4, используя предположение о том, что данное заболевание — редкое. (8 баллов)
4. Определите вероятность того, что 5 и 6 — гетерозиготы. (8 баллов) Посчитайте, с какой вероятностью разовьется заболевание у ребенка, обозначенного символом «?». (5 баллов)

Решение

1. Определите тип наследования: аутосомный или сцепленный с полом
Аутосомный (2 балла)
2. Какую природу имеет заболевание? Рецессивную или доминантную?
Рецессивную (2 балла)
3. Запишите вероятные генотипы индивидуумов 1–4, используя предположение о том, что данное заболевание — редкое.
1 — Аа, 2 — Аа, 3 — аа, 4 — АА (8 баллов)
4. Определите вероятность того, что 5 и 6 — гетерозиготы. Нарисуйте схемы скрещивания. Посчитайте, с какой вероятностью разовьется заболевание у ребенка, обозначенного символом «?». Приведите схему скрещивания 5 и 6. (13 баллов)
Вероятность того, что 5 гетерозигота: 25% (приведена схема скрещивания, генотипы и фенотипы — 4 балла).
Вероятность того, что 6 — гетерозигота: 100% (приведена схема скрещивания, генотипы и фенотипы — 4 балла).
Вероятность больного ребенка в этом случае составит 25% (приведена схема скрещивания, генотипы и фенотипы, расчет — 5 балла)

Биология. 10–11 классы

Задача VI.1.2.1. Рестрикция (20 баллов)

Условие

Эндонуклеазы рестрикции (рестриктазы) — ферменты, которые вносят разрезы в цепи ДНК по определенным последовательностям (сайтам рестрикции). Рестрикционная карта — это схема молекулы ДНК, на которой указано положение сайтов гидролиза разных рестриктаз. Молекулярный биолог Тимофей исследует влияние гена *T* на одно метаболическое заболевание. В первую (опытную) группу собраны больные, а во второй (контрольной) группе — здоровые люди. Тимофей предполагает, что среди больных повышена частота редкого аномального аллеля *t*. Чтобы подтвердить свою гипотезу, он обрабатывает образцы ДНК обеих групп рестриктазой *TaqI*: у группы 1 (дорожки 1–10) и группы 2 (11–20).

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	M
■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	500
		■		■	■			■		295
■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	245
		■		■	■			■		205

11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	M
■	■			■	■	■	■	■	■	500
	■	■	■	■				■		295
■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	245
	■	■	■	■				■		205

Для определения длины продуктов Тимофей использует электрофорез, результат электрофореза приведен на рисунке, цифрами справа обозначены длины фрагментов ДНК в п. н. Исходная длина фрагмента, который обрабатывает Тимофей, составляет 745 п. н.

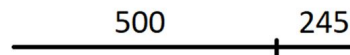
Задание

1. На каких принципах основан метод электрофореза? Как заряжена молекула ДНК в водных растворах? Зачем необходимо прикладывать электрическое напряжение? Для электрофореза ДНК используется гель из агарозы или полиакриламида, какой цели он служит? (5 баллов)
2. Постройте рестрикционную карту для аллелей T и t, основываясь на том, что t-. Почему в ряде случаев после рестрикции получается 2,3,4 полосы? (10 баллов)
3. Рассчитайте частоту аллеля t в группе 1 и группе 2. Можно ли на основе разницы частот сделать вывод о том, что присутствие аллеля t увеличивает вероятность заболевания? Почему? (5 баллов)

Решение

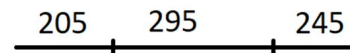
1. На каких принципах основан метод электрофореза? Как заряжена молекула ДНК в водных растворах? Зачем необходимо прикладывать электрическое напряжение? Для электрофореза ДНК используется гель из агарозы или полиакриламида, какой цели он служит? (5 баллов)
Метод электрофореза основан на разделении фрагментов ДНК в электрическом поле. Молекула ДНК в водных растворах заряжена отрицательно. Электрическое поле приводит молекулу ДНК в движение, молекула ДНК движется к положительному электроду (аноду). Гель из агарозы или полиакриламида затрудняет движение фрагментов ДНК и приводит к разделению их по молекулярной массе (длине). Более короткие фрагменты испытывают меньшее сопротивление частиц геля и проходят большее расстояние, длинные фрагменты проходят меньшее расстояние за то же время. (5 баллов)
2. Постройте рестрикционную карту для аллелей T и t, основываясь на том, что t-. Почему в ряде случаев после рестрикции получается 2,3,4 полосы? (10 баллов)

Для аллеля T (2 балла)



Для аллеля t (2 балла)

Расположение фрагментов 205 и 295 могут отличаться.



Для генотипа TT будет получаться 2 полосы: 500 и 245 (2 балла). Для генотипа tt — 3 полосы: 205, 245, 295 (2 балла). В случае гетерозиготы Tt — 4 полосы: 205, 245, 295, 500. (2 балла).

3. Рассчитайте частоту аллеля t в группе 1 и группе 2. Можно ли на основе разницы частот сделать вывод о том, что присутствие аллеля t действительно увеличивает вероятность заболевания? Почему? (5 баллов)

Частота аллеля t в группе 1 = $4 \cdot 1/20 = 0,2 = 20\%$ (1 балл)

Частота аллеля t в группе 2 = $2 \cdot 2 + 3/20 = 0,35 = 35\%$ (1 балл)

Нельзя:

3.1. выборки недостаточно большие (1 балл)

3.2. не показано, что различия в значимости достоверны (1 балл)

3.3. наличие корреляции еще не означает причинно-следственную связь между аллелем t и заболеванием (1 балл)

Задача VI.1.2.2. Эксперименты (20 баллов)

Условие

Василиса провела несколько экспериментов с картофелем.

Эксперимент 1. Василиса приготовила несколько брусочков из картофеля размером $5 \times 5 \times 10$ мм. Один из брусочков она поместила в чистую воду, а другой в насыщенный раствор поваренной соли. Через час она вытащила брусочки из растворов и измерила их длину. Длина брусочка, который был в растворе соли, уменьшилась до 9 мм, а брусочек, который находился в воде, увеличил длину до 12 мм.

Эксперимент 2. Василиса изготовила из картофеля кубики размером $10 \times 10 \times 10$ мм, $20 \times 20 \times 20$ мм, $30 \times 30 \times 30$ мм и взвесила их на весах. Вес кубиков составил 1, 8 и 27 г. Затем все кубики она поместила в чистую воду на час. Через час она взвесила кубики снова, их вес составил 1,2, 8,8 и 28,8 г.

Задание

1. Что будет происходить с брусочками картофеля в соленой и пресной воде? По какой причине? (4 балла)
2. Несмотря на изменения объемов клеток, объем цитоплазмы у растения меняется слабо. Какая органелла в растительной клетке в наибольшей степени определяет изменения объема? (2 балла) Какие функции она выполняет в растительной клетке? (2 балла)
3. Почему в эксперименте 2 увеличение массы кубиков не происходило пропорционально их массе? (2 балла) Какой параметр будет связан пропорционально с изменением массы кубиков? Как изменить эксперимент 2, чтобы изменение массы было пропорциональным массе кубиков? (2 балла)
4. Можно ли вместо соли использовать сахар? Какое из этих веществ будет оказывать на изменение длины брусочков больший эффект: соль или равное по массе количество сахара? Молярная масса сахарозы 342 г/моль, хлорида натрия 58 г/моль. (4 баллов)
5. Приведите примеры, каким образом данное явление используется в организмах растений и животных (4 баллов)

Решение

1. Что будет происходить с брусочками картофеля в соленой и пресной воде? По какой причине? (4 баллов)
Из-за различной концентрации солей в брусочке картофеля и окружающей его среды под действием осмоса вода будет переходить в брусочки (в пресной воде) или выходить из брусочков (в соленой воде). Из-за этого будет изменяться объем клеток и суммарная длина брусочков. (4 баллов)
2. Несмотря на изменения объемов клеток, объем цитоплазмы у растения меняется слабо. Какая органелла в растительной клетке в наибольшей степени определяет изменения объема? (2 балла) Какие функции она выполняет в растительной клетке? (2 балла)
Растительная клетка содержит вакуоль (2 балла), которая содержит все наибольшее количество воды клетки. Изменения концентрации растворов вокруг растительной клетки ведет к тому, что вода входит или выходит из растительной вакуоли. Функции вакуоли: запасующая, экскреторная, создание тургора, обеспечение растяжения при росте растения (2 балла)
3. Почему в эксперименте 2 увеличение массы кубиков не происходило пропорционально их массе? (2 балла) Какой параметр будет связан пропорционально с изменением массы кубиков? Как изменить эксперимент 2, чтобы изменение массы было пропорциональным массе кубиков? (2 балла)
Увеличение массы кубиков не происходило пропорционально массе поскольку вода проникает через поверхностный слой кубиков. С ростом размера кубиков затрудняется прохождение воды к центру кубика (2 балла). Изменение массы пропорционально суммарной площади поверхности кубиков. (1 балл) Для того, чтобы обеспечить изменение массы на том же уровне, необходимо разрезать большие кубики, соответственно, на 8 и 27 одинаковых кубиков. (1 балла)
4. Можно ли вместо соли использовать сахар? Какое из этих веществ будет оказывать на изменение длины брусочков больший эффект: соль или равное по массе количество сахара? Молярная масса сахарозы 342 г/моль, хлорида на-

трия 58 г/моль. (4 баллов)

Можно. Большой эффект будет оказывать соль так как равная масса соли может создавать большую суммарную концентрацию растворенных частиц. (1 балл) Это связано с тем, что соль распадается на две частицы при растворении (ион натрия и ион хлора), а не одну, как молекула сахарозы (2 балла), а также имеет меньшую молярную массу (1 балла).

5. Приведите примеры, каким образом данное явление используется в организмах растений и животных (4 баллов)
- Осмотическое концентрирование мочи.
 - Открытие и закрытие устьиц.
 - Всасывание воды корнем растения.
 - ...

За любой разумный ответ 1 балл, но не более 4 баллов.

Задача VI.1.2.3. Физиологические расчеты (20 баллов)

Условие

Эритроциты млекопитающих являются постклеточными структурами, которые используются для переноса кислорода и углекислого газа. Белок гемоглобин состоит из четырех цепей, каждая из которых содержит гем и может связать 1 молекулу кислорода. В 1 литре крове может содержаться около 200 мл кислорода. При этом доля гемоглобина, связанного с кислородом, в артериальной крови составляет 100%, а в венозной крови — 80%.

Задание

1. Вычислите, какой объем кислорода человек потребляет в минуту? Известна частота дыхания — 18 дыхательных движений в минуту, частота сердечных сокращений — 70 ударов в минуту, сердечный выброс — 60 мл. Ответ приведите в мл/мин. (7 баллов)
2. Вычислите, сколько нужно сделать вдохов человеку, чтобы организм использовал в метаболизме 0,5 кг кислорода. Ответ округлите до сотен. (7 баллов)
3. Эритроциты птиц — настоящие клетки. В чем отличие эритроцитов птиц и эритроцитов млекопитающих? Какие преимущества для млекопитающих это имеет? (6 баллов)

Решение

1. Вычислите, какой объем кислорода человек потребляет в минуту? Известна частота дыхания — 18 дыхательных движений в минуту, частота сердечных сокращений — 70 ударов в минуту, сердечный выброс — 60 мл. Ответ приведите в мл/мин. (7 баллов)

В покое в 1 минуту через легкие проходит

$$60 \text{ мл/уд} \cdot 70 \text{ ударов/мин} = 4,2 \text{ л/мин} \quad (3 \text{ баллов}).$$

В ткани поступает кислорода

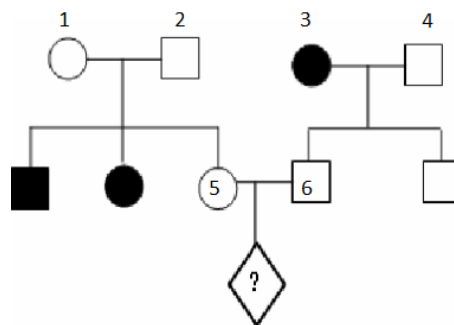
$$4,2 \text{ л/мин} \cdot 200 \text{ мл/л} \cdot (100\% - 80\%) = 168 \text{ мл/мин} \quad (4 \text{ баллов}).$$

2. Вычислите, сколько нужно сделать вдохов человеку, чтобы организм использовал в метаболизме 0,5 кг кислорода. Ответ округлите до сотен. (7 баллов)
 Объем кислорода в 2 кг: $500 \text{ г} / 32 \text{ г/моль} \cdot 22,4 \text{ л/моль} = 350 \text{ л}$ (2 балла)
 На одно дыхательное движение приходится $168 \text{ мл/мин} / 18 \text{ уд/мин} = 9,3 \text{ мл/уд}$ (2 балла)
 Количество дыхательных движений $350 \text{ л} / 9,3 \text{ мл/уд} = 37500$ (2 балла)
 Округление до сотен: 37500 (1 балл)
3. Эритроциты птиц, в отличие от эритроцитов млекопитающих — настоящие клетки. В чем отличие эритроцитов птиц и эритроцитов млекопитающих? Какие преимущества для млекопитающих это имеет? (6 баллов)
 Эритроциты птиц имеют ядра (2 балла), в то время как эритроциты млекопитающих — ядер не имеют и считаются постклеточными структурами (2 балла). Благодаря отсутствию ядра нет необходимости тратить кислород и питательные вещества на поддержание ядра и наследственного материала в нем. (2 балла)

Задача VI.1.2.4. Родословная (20 баллов)

Условие

На рисунке приведен фрагмент родословной для одного редкого генетического заболевания человека.



Задание

1. Определите тип наследования: аутосомный или сцепленный с полом? (3 балла)
2. Какую природу имеет заболевание? Рецессивную или доминантную? (3 балла)
3. Запишите вероятные генотипы индивидумов 1–4, используя предположение о том, что данное заболевание — редкое. (4 баллов)
4. Определите вероятность того, что 5 и 6 — гетерозиготы. (8 баллов) Посчитайте, с какой вероятностью разовьется заболевание у ребенка, обозначенного символом «?». (10 баллов)

Решение

1. Определите тип наследования: аутосомный или сцепленный с полом
 Аутосомный (3 балла)

2. Какую природу имеет заболевание? Рецессивную или доминантную?
Рецессивную (3 балла)
3. Запишите вероятные генотипы индивидуумов 1–4, используя предположение о том, что данное заболевание — редкое.
1 — Аа, 2 — Аа, 3 — аа, 4 — АА (4 баллов)
4. Определите вероятность того, что 5 и 6 — гетерозиготы. Нарисуйте схемы скрещивания. Посчитайте, с какой вероятностью разовьется заболевание у ребенка, обозначенного символом «?». Приведите схему скрещивания 5 и 6. (10 баллов)
Вероятность того, что 5 гетерозигота: 25% (приведена схема скрещивания, генотипы и фенотипы — 3 балла).
Вероятность того, что 6 — гетерозигота: 100% (приведена схема скрещивания, генотипы и фенотипы — 3 балла).
Вероятность больного ребенка в этом случае составит 25% (приведена схема скрещивания, генотипы и фенотипы, расчет — 4 балла)

Задача VI.1.2.5. Гомозигота или гетерозигота (20 баллов)

Условие

Предположим, существуют две альтернативные гипотезы, которые предполагают разную вероятность события **A**. С помощью формулы Байеса можно рассчитать вероятность этих гипотез, когда известно, что событие **A** произошло (этот факт установлен):

$$P(H_1 \text{ при условии } A) = \frac{P(H_1) \cdot P(A \text{ в случае } H_1)}{P(H_1) \cdot P(A \text{ в случае } H_1) + P(H_2) \cdot P(A \text{ в случае } H_2)}.$$

Здесь $P(H_1)$ и $P(H_2)$ — исходные вероятности гипотез 1 и 2, $P(A \text{ в случае } H_1)$ и $P(A \text{ в случае } H_2)$ — вероятности события **A**, если верна гипотеза 1 или 2.

Задание

Коричневого быка скрестили с белой коровой. Известно, что аллель темной окраски доминирует над светлой окраской. Частота аллеля темной окраски в искусственной популяции, откуда он был получен, составляет 0,2. Для генотипа черного быка существует две гипотезы: он может быть гетерозиготой (H_1) и гомозиготой (H_2).

1. Какова вероятность, что бык является исходно гетерозиготой $P(H_1)$? А гомозиготой $P(H_2)$? (4 балла)
2. Какова вероятность получить четырех черных телят в таком скрещивании, если верна 1 гипотеза? А если верна гипотеза 2? (6 баллов)
3. После скрещивания этой пары было получено четыре коричневых теленка, какова вероятность гипотезы 1? Какая из гипотез выглядит правдоподобнее, подтвердите свои мысли расчетом вероятности с помощью теоремы Байеса. (10 баллов)

Решение

1. Какова вероятность, что бык является исходно гетерозиготой $P(H_1)$? А гомозиготой $P(H_2)$? (4 балла)

Поскольку частота аллеля темной окраски А: $p = 0,2$, то вероятность генотипа АА — $p^2 = 0,04$, а вероятность генотипа Аа — $2pq = 2 \cdot 0,8 \cdot 0,2 = 0,32$ (2 балла). Вероятность АА в 8 раз меньше, чем вероятность генотипа Аа. Можно считать, что вероятность $p(H_2) = 1/9$, $p(H_1) = 8/9$ (2 балла)

2. Какова вероятность получить четырех черных телят в таком скрещивании, если верна 1 гипотеза? А если верна гипотеза 2? (6 баллов)

Если верна гипотеза H_1 , вероятность получения четырех черных телят — $1/16$ (3 балла)

Если верна гипотеза H_2 , вероятность получения четырех черных телят — 1 (3 балла)

3. После скрещивания этой пары было получено четыре коричневых теленка, какова вероятность гипотезы 1? Какая из гипотез выглядит правдоподобнее, подтвердите свои мысли расчетом вероятности с помощью теоремы Байеса. (10 балла)

Больше похоже, что скрещивание идет с доминантной гомозиготой (H_2). (2 балла — за предположение).

$$P(H_1 \text{ при условии } A) = \frac{8/9 \cdot 1/16}{8/9 \cdot 1/16 + 1/9 \cdot 1} = \frac{1/18}{3/18} = 1/3, \text{ (8 баллов за расчет)}$$

Химия. 8–9 классы

Задача VI.1.3.1. Спортивное питание: польза (20 баллов)

Развитие пищевой промышленности позволило оптимизировать процессы потребления питательных веществ. В рационе людей, активно занимающихся спортом, должно присутствовать от 100 до 200 г белков. Считается, что в среднем спортсмен должен потреблять 1,5 г белка на 1 кг массы тела.

1. Вычислите массу куриного филе, которую необходимо употребить спортсмену для удовлетворения суточной потребности в белках. Содержание белка в 100 г куриного филе примите равным 21 г, а массу тела спортсмена — 85 кг.

Решение

Вычислим массу белка, которую необходимо употреблять спортсмену:

$m_{\text{белка}} = 1,5 \cdot 85 = 127,5 \text{ г} \Rightarrow$ масса куриного филе, которую необходимо употребить для покрытия суточной потребности в белке составит:

$$m_{\text{филе}} = 100 \cdot 127,5 / 21 = 607,1 \text{ г.}$$

Помимо энергии пища для человека связана и с получением удовольствия. Именно с этим связано развитие производства специальных продуктов с высоким содержанием белка, которые позволяют разнообразить рацион спортсменов. Основу протеиновых батончиков, печенья и коктейлей составляют белковые смеси, выделенные из молочных продуктов. Концентрат молочного сывороточного белка содержит все незаменимые для взрослого человека аминокислоты.

2. Вычислите объём протеинового коктейля, который необходимо употребить спортсмену для удовлетворения суточной потребности в белках. Для приготовления 1 порции протеинового коктейля производитель рекомендует растворить 30 г сухой смеси в 200 мл воды. Содержание белка в 100 г сухой смеси составляет 76,6 г.

Решение

Вычислим массу сухой смеси, которая требуется для удовлетворения суточной потребности спортсмена в белках: $m_{\text{смеси}} = 100 \cdot 127,5 / 76,6 = 166,45 \text{ г.}$

Из данной смеси можно приготовить $200 \cdot 166,45 / 30 = 1100 \text{ мл}$ коктейля.

Мономерами белков являются аминокислоты — органические соединения, состоящие из водорода, кислорода, азота и углерода. На упаковке сухой смеси для приготовления коктейля указано, что содержание аминокислоты **L** в ней составляет $\sim 10 \text{ масс. \%}$.

3. Вычислите объём протеинового коктейля, который необходимо употребить взрослому человеку массой 70 кг для полного удовлетворения суточной потребности в аминокислоте **L**.

*Согласно рекомендациям ВОЗ, суточная норма аминокислоты **L** для взрослого человека составляет 39 мг на 1 кг массы тела.*

Решение

Вычислим массу **L**, которая необходима взрослому человеку:

$$m(\text{L}) = 0,039 \cdot 70 = 2,73 \text{ г} \Rightarrow V_{\text{коктейля}} = 200 \cdot 2,73 / (30 \cdot 0,1) = 182 \text{ мл.}$$

Белки, употребляемые человеком в пищу, являются основным источником азота в организме человека. В среднем, взрослому человеку требуется 14 г азота в сутки, что соответствует ~ 100 г белка. Мономерами белков являются аминокислоты с разными составами и структурой, однако, исходя из усредненного содержания азота в аминокислоте, можно вычислить среднюю молярную массу аминокислоты.

4. Вычислите среднюю молярную массу аминокислоты, исходя из того, что в среднем, 1 аминокислота содержит 1,1 атом азота. При вычислениях воспользуйтесь приближением о том, что белок состоит из «усредненных» аминокислот — молекул с одинаковым составом.

Решение

Средняя аминокислота содержит 1,1 атом азота \Rightarrow масса азота в 1 моле средней аминокислоты составляет $1,1 \cdot 14 = 15,4$ г. При этом, в 100 г белка содержится 14 г азота. Считая, что белок состоит из одинаковых «усредненных» аминокислот, вычислим их молярную массу: $15,4 \cdot 100/14 = 110$ г/моль.

Аминокислота **L** содержит 1 атом азота, а молярная масса **L** превышает среднюю молярную массу аминокислоты в 1,19 раз.

5. Вычислите молярную массу аминокислоты **L** и установите её брутто-формулу, если известно, что массовая доля атомов кислорода, углерода и водорода в **L** составляет 24,46%, 55,00% и 9,93%.

Решение

Вычислим молярную массу аминокислоты **L**:

$$M(\mathbf{L}) = 110 \cdot 1,19 = 130,9 \text{ г/моль.}$$

Вычислим количества моль O, C, H и N, входящих в аминокислоту **L**:

$$n(\text{O}) = w(\text{O}) \cdot M(\mathbf{L})/M(\text{O}) = 0,2446 \cdot 130,9/16 = 2 \text{ моль}$$

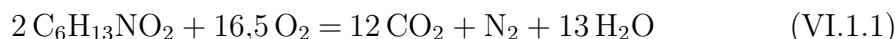
$$n(\text{C}) = w(\text{C}) \cdot M(\mathbf{L})/M(\text{C}) = 0,5500 \cdot 130,9/12 = 6 \text{ моль}$$

$$n(\text{H}) = 0,099 \cdot 130,9/1 = 13 \text{ моль}$$

$$n(\text{N}) = 0,1061 \cdot 130,9/14 = 1 \text{ моль} \Rightarrow \mathbf{L} = \text{C}_6\text{H}_{13}\text{NO}_2$$

6. Напишите уравнение реакции сгорания аминокислоты **L** (VI.1.1).

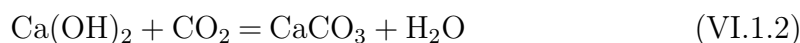
Решение



Один из продуктов сгорания **L** — оксид **A** — обладает кислотными свойствами. При пропускании **A** через раствор гидроксида кальция образуется осадок (VI.1.2), который растворяется при пропускании избытка **A** (VI.1.3).

7. Установите оксид **A** и напишите уравнения реакций (VI.1.2, VI.1.3).

Решение



8. Вычислите объем оксида **A** (в литрах при н. у.), который необходимо пропустить через 100 мл 0,1 М раствора гидроксида кальция для образования максимальной массы осадка.

Решение

Вычислим количество моль $\text{Ca}(\text{OH})_2$, содержащееся в растворе:

$n(\text{Ca}(\text{OH})_2) = V_{\text{р-ра}} \cdot C(\text{Ca}(\text{OH})_2) = 0,1 \cdot 0,1 = 0,01$ моль \Rightarrow по уравнению реакции (VI.1.2) для полного осаждения карбоната кальция потребуется 0,01 моль CO_2 или $V(\text{CO}_2) = n(\text{CO}_2) \cdot V_m = 0,01 \cdot 22,4 = 0,224$ литра.

9. Какую массу оксида **A** необходимо пропустить через упомянутый раствор гидроксида кальция для последовательного образования осадка и его полного растворения?

Решение

По уравнениям реакций (VI.1.2) и (VI.1.3) для полного осаждения карбоната и его переход в гидрокарбонат кальция потребуется 0,02 моль CO_2 , что соответствует:

$$m(\text{CO}_2) = n(\text{CO}_2) \cdot M(\text{CO}_2) = 0,02 \cdot 44 = 0,88 \text{ гCO}_2.$$

Критерии оценивания

№	Критерий	Балл
1	Расчет массы куриного филе	2
2	Расчет объема протеинового коктейля	3
3	Объем протеинового коктейля	2
4	Расчет средней молярной массы	2
5	Молярная масса L — 1 балл, брутто-формула — 2 балла	3
6	Уравнение реакции сгорания	1
7	Оксид A — 1 балл, уравнения реакций — по 1 балл за каждое	3
8	Расчет объема оксида A	2
9	Расчет массы A	2
Итого		20

Задача VI.1.3.2. Спортивное питание: энергетическая ценность (20 баллов)

Условие

Калорийность большинства продуктов для спортивного питания как правило ниже, чем калорийность их «неспортивных» аналогов. Калорийность продуктов питания связана с содержанием макронутриентов — белков, жиров и углеводов — в их составе. Калорийностью (энергетической ценностью) принято называть расчетное количество тепловой энергии, которая вырабатывается при усвоении макронутриентов. Считается, что на 1 г углеводов, как и на 1 г белков, вырабатывается 4,2 килокалории (ккал), а на 1 г жиров — 9,3 ккал тепловой энергии.

1. Вычислите калорийность 100 мл молока, исходя из содержания в нем белков, жиров и углеводов. Плотность молока примите равной $1,03 \text{ г/см}^3$.

Таблица VI.1.1: Содержание макронутриентов в 100 г молока

Белки, г	Жиры, г	Углеводы, г
2,9	2,5	4,8

Решение

Вычислим калорийность 100 г молока:

$$E_{\text{молока}} = m_{\text{белков}} \cdot E_{\text{белка}} + m_{\text{углеводов}} \cdot E_{\text{углеводов}} + m_{\text{жиров}} \cdot E_{\text{жиров}} = (2,9 + 4,8) \cdot 4,2 + 2,5 \cdot 9,3 = 32,34 + 23,25 = 55,59 \text{ ккал} \Rightarrow \text{масса 100 мл молока составляет 103 г} \Rightarrow \text{калорийность 100 мл молока составит 57,3 ккал.}$$

2. Вычислите калорийность протеинового коктейля, приготовленного из 30 г сухой протеиновой смеси и 200 мл молока.

Таблица VI.1.2: Содержание макронутриентов в 100 г сухой протеиновой смеси

Белки, г	Жиры, г	Углеводы, г
76,6	1,0	2,0

Решение

Калорийность 200 мл молока составляет $57,3 \cdot 2 = 114,6$ ккал.

Калорийность 100 г сухой протеиновой смеси:

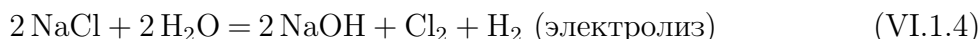
$$E_{\text{смесь}} = (76,6 + 2) \cdot 4,2 + 1 \cdot 9,3 = 339,4 \text{ ккал} \Rightarrow \text{калорийность протеинового коктейля составит } E = 339,4 \cdot 0,3 + 114,6 = 216,4 \text{ ккал.}$$

Относительно невысокая калорийность продуктов для спортивного питания обусловлена низким содержанием жиров и углеводов. При этом, протеиновое печенье и коктейли обладают выраженным сладким вкусом. В состав молекулы одного из распространённых заменителей сахара **S**, помимо углерода, водорода и кислорода входят 3 атома элемента **X**. Таким образом **S** отличается от молекулы сахарозы тремя функциональными группами – 3 гидроксильные группы (-ОН группы) в сахарозе заменены на атомы элемента **X**. Элемент **X** образует простое газообразное вещество **X₂** желто-зеленого цвета, которое является сильным окислителем. При этом, известны соединения элемента **X** как в положительных, так и в отрицательной степени окисления.

3. Установите элемент **X**. Напишите уравнения реакций, используемых в промышленности (VI.1.4) и в лаборатории (VI.1.5) для получения простого вещества, образованного элементом **X**.

Решение

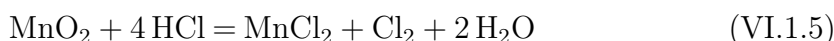
Исходя из описания, элемент **X** — хлор. В промышленности хлор получают электролизом раствора NaCl:



В качестве лабораторного метода получения участник может привести любую реакцию, в результате которой получается хлор, при этом реакция должна удовлетворять следующим критериям:

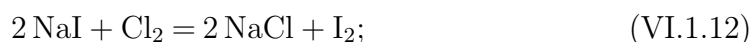
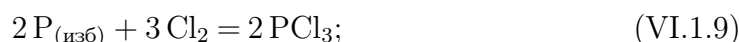
- 0.1. реакция не сопровождается взрывом и может безопасно проводиться в школьной лаборатории;
- 0.2. реагенты должны быть доступны в большинстве лабораторий;
- 0.3. условия проведения реакции должны быть «мягкими».

Пример:



-
4. Напишите уравнения реакций взаимодействия простого вещества X_2 с магнием (VI.1.6), водородом (VI.1.7), железом (VI.1.8), избытком (VI.1.9) и недостатком (VI.1.10) фосфора, монооксидом углерода (VI.1.11), йодидом натрия (VI.1.12) и раствором калиевой щелочи при нагревании (VI.1.13).

Решение



Массовое содержание атомов элемента X в заместителе сахара S составляет 26,79%, кислорода — 32,20%, углерода — 36,23%.

5. Установите брутто-формулу заместителя сахара, используемого для производства продуктов спортивного питания. Ответ подтвердите расчетом.

Решение

Согласно условию, в S содержится 3 атома Cl \Rightarrow

$M(S) = 35,5 \cdot 3/0,2679 = 397,5$ г/моль. Вычислим количества моль кислорода, водорода и углерода в S :

$$n(\text{O}) = w(\text{O}) \cdot M(S)/M(\text{O}) = 0,322 \cdot 397,5/16 = 8 \text{ моль};$$

$$n(\text{H}) = 0,0478 \cdot 397,5/1 = 19 \text{ моль};$$

$$n(\text{C}) = 0,3623 \cdot 397,5/12 = 12 \text{ моль} \Rightarrow \text{брутто-формула } S - \text{C}_{12}\text{H}_{19}\text{O}_8\text{Cl}_3.$$

6. Установите брутто-формулу сахарозы, основываясь на данных задачи. Ответ обоснуйте.

Решение

Поскольку в сахарозе вместо 3 атомов хлора содержится 3 OH-группы, то брутто-формула сахарозы: $\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$.

Критерии оценивания

№	Критерий	Балл
1	Калорийность 100 мл молока	2
2	Калорийность протеинового коктейля	2
3	Элемент X — 2 балла, способы получения — по 1 баллу	3
4	Уравнения реакций — по 1 баллу за каждое	8
5	Брутто-формула S — 3 балла, без расчета — 1 балл	3
6	Брутто-формула сахарозы — 2 балла, без обоснования — 0,5 балла	2
Итого		20

Задача VI.1.3.3. Цвет настроения синий (22 баллов)

Один из способов обнаружения сахарозы в растворе основан на взаимодействии с гидроксидом металла **M**, в результате которого раствор приобретает интенсивное синее окрашивание. Данное окрашивание обусловлено связыванием гидроксильных групп в составе сахарозы с атомами металла **M**.

Известно, что металл **M** обладает характерным золотисто-розовым цветом. При прокаливании гидроксида **M** (VI.1.14) образуется оксид **Y** с массовым содержанием **M** 79,9%.

1. Напишите уравнение реакции (VI.1.14), установите металл **M** и формулу оксида **Y**. Ответ подтвердите расчетом.

Решение

Металл, обладающий золотисто-розовым цветом — медь. При разложении гидроксида меди образуется оксид CuO . Проверим по массовому содержанию:
 $W(\text{Cu}) = M(\text{Cu}) \cdot 100\% / M(\text{CuO}) = 79,9\%$ — процентное содержание совпадает. Таким образом, **M** — Cu , **Y** — CuO . Уравнение реакции разложения:



2. Какими цветами обладают соединение **Y** и гидроксид металла **M**?

Решение

$\text{Cu}(\text{OH})_2$ обладает голубым цветом, CuO — черным.

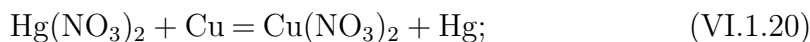
3. Напишите уравнения реакции взаимодействия металла **M** с хлором (VI.1.15), серой (VI.1.16), концентрированной (VI.1.17) и разбавленной (VI.1.18) азотной кислотой, разбавленной соляной кислотой (VI.1.19), нитратом ртути (II) (VI.1.20), хлоридом железа (III) (VI.1.21). Если реакция не протекает, укажите это.

Решение

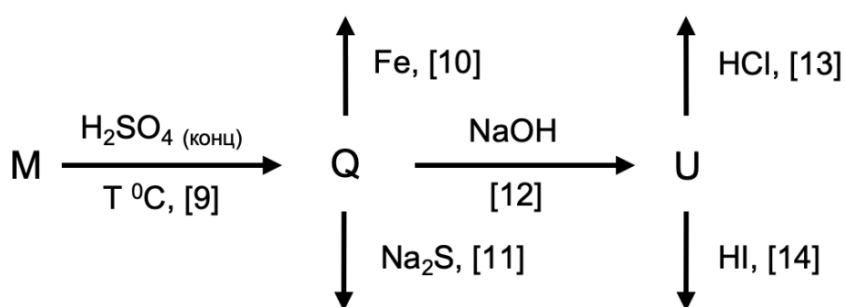




– не реагирует; (VI.1.19)

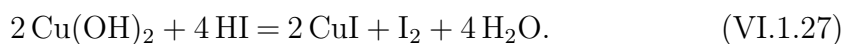
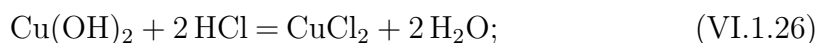
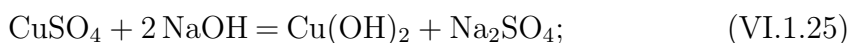
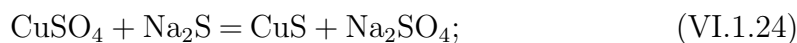
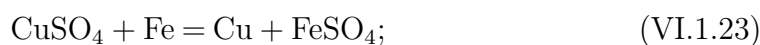
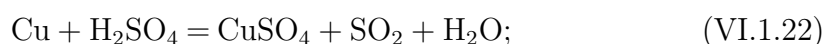


На схеме ниже представлена цепочка превращений соединений металла **M**.



4. Напишите уравнения реакций (**VI.1.22–VI.1.27**). Укажите, какие реакции можно отнести к окислительно-восстановительным процессам.

Решение



Окислительно-восстановительные процессы — реакции (**VI.1.22**), (**VI.1.23**) и (**VI.1.27**)

5. Каким цветом обладает безводное соединение **Q**? Как и почему изменяется его цвет при длительном хранении на воздухе?

Решение

Безводный CuSO_4 — бесцветный. При длительном хранении на воздухе сульфат меди связывается с водой, образуя кристаллогидрат $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$, который обладает голубым цветом.

Критерии оценивания

№	Критерий	Балл
1	Металл М — 2 балла, уравнение реакции — 1 балл, формула оксида — 1 балл	4
2	Цвета — по 0,5 балла за каждый	1
3	Уравнения реакций — по 1 баллу за каждое	7
4	Уравнения реакций — по 1 баллу за каждое, указание окислительно-восстановительных процессов — по 0,5 балла	7,5
5	Цвет безводного Q — 0,5 балла, цвет при длительном хранении — 0,5 балла, объяснение изменения цвета — 0,5 балла	2,5
Итого		22

Задача VI.1.3.4. Инсулин 2.0 (18 баллов)

Заменители сахарозы используются не только в спортивном питании, но и улучшают качество жизни людей с сахарным диабетом 2-го типа. За метаболизм глюкозы в организме человека отвечает инсулин. При сахарном диабете 2-го типа организм человека не может эффективно перерабатывать глюкозу, тогда как клетки поджелудочной железы вырабатывают достаточное количество инсулина. Продукты питания, содержащие заменители сахарозы, позволяют пациентам с сахарным диабетом 2-го типа употреблять сладкие продукты питания без существенного ущерба для здоровья.

Один из критериев диагностики сахарного диабета 2-го типа — содержание глюкозы в плазме крови человека. У здорового человека содержание глюкозы в плазме крови варьируется в диапазоне от 3,9 до 5,5 мМ, у больных сахарным диабетом — превышает 7 мМ.

1. Вычислите минимальную массу глюкозы ($\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$), которая содержится в крови человека, больного сахарным диабетом 2-го типа. Для расчетов примите, что суммарный объем крови в организме человека составляет 5 л.

Решение

Вычислим количество моль глюкозы, содержащееся в крови больного сахарным диабетом:

$$n(\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6) = C \cdot V = 0,007 \cdot 5 = 0,035 \text{ моль.}$$

Вычислим молярную массу глюкозы:

$$M(\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6) = 6 \cdot 12 + 12 \cdot 1 + 6 \cdot 16 = 180 \text{ г/моль.}$$

$$m(\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6) = 180 \cdot 0,035 = 6,3 \text{ г.}$$

2. Вычислите массу инсулина, необходимую для расщепления всей глюкозы, содержащейся в плазме крови здорового человека, исходя из того, что для расщепления 4 г глюкозы требуется 35 мкг инсулина. Концентрацию глюкозы в плазме крови здорового человека примите равной 5 мМ.

Решение

$m(\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6) = 180 \cdot 0,005 \cdot 5 = 4,5 \text{ г} \Rightarrow$ потребуется $35 \cdot 4,5/4 = 39,4$ мкг инсулина.

Инсулин в организме человека производится и хранится в виде гексамера — шести молекул гормона, которые связываются с атомами элемента **Ж**. Простое вещество, образованное атомами элемента **Ж**, представляет собой металл серебристо-белого цвета. В природе элемент **Ж** встречается в виде сульфида **К**, цвет и внешний вид которого могут варьироваться в зависимости от условий образования и примесей.

3. Установите элемент **Ж** и формулу сульфида **К**, если известно, что массовая доля **Ж** в **К** составляет 67,1%. Ответ подтвердите расчетом.

Решение

Минерал **К** — сульфид \Rightarrow массовая доля серы в **К** составляет $100 - 67,1 = 32,9\%$. Если в состав **К** входит 1 атом серы, то $M(\text{К}) = 32/0,329 = 97,3$ г/моль. Вычтя молярную массу серы, получим 65,3 г/моль, что соответствует молярной массе цинка \Rightarrow **Ж** — Zn, **К** — ZnS.

4. Напишите название минерала, состоящего из сульфида **К**.

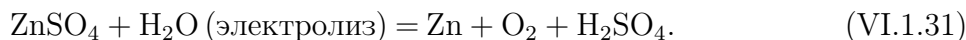
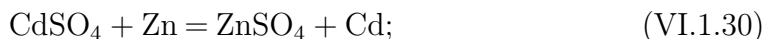
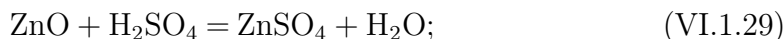
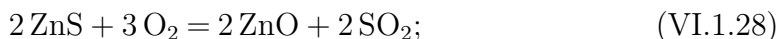
Решение

Сульфид цинка образует 2 минерала: сфалерит (или цинковая обманка) и вюрцит.

Для получения чистого металла из **К**, минерал обжигают в печах при высоких температурах (VI.1.28), а затем образовавшийся твердый концентрат обрабатывают серной кислотой (VI.1.29), отделяют от примесей обработкой цинковой пылью (обычно примесями в минералах выступают соединения кадмия) (VI.1.30) и полученный раствор подвергают электролизу (VI.1.31).

5. Напишите уравнения реакций (VI.1.28–VI.1.31). (уравнения реакций — по 1 баллу за каждое)

Решение

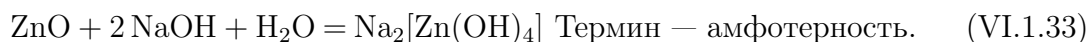
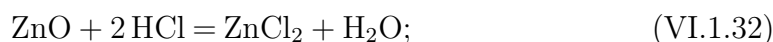


Образующийся в реакции (VI.1.28) концентрат в основном состоит из соединения **Н**, которое способно реагировать как с растворами кислот, так и щелочей.

6. Установите соединение **Н** и напишите уравнение реакции его взаимодействия с соляной кислотой (VI.1.32) и с избытком натриевой щелочи (VI.1.33). Каким термином описывается способность одного и того же соединения взаимодействовать и с кислотами, и со щелочами?

Решение

H — ZnO. Уравнения реакций:



Из соединения **H** можно получить металл посредством двух химических реакций — взаимодействием **H** с коксом (**VI.1.34**) или водородом (**VI.1.35**) при нагревании.

7. Напишите уравнения реакций (**VI.1.34**) и (**VI.1.35**).

Решение



Критерии оценивания

№	Критерий	Балл
1	Расчет массы глюкозы — 2 балла	2
2	Расчет массы инсулина — 2 балла	2
3	Металл J — 2 балла формула K — 1 балл	3
4	Название минерала — 1 балл	1
5	Уравнения реакций — по 1 баллу	4
6	Соединение H — 1 балл, уравнения реакций — по 1 баллу, термин «амфотерность» — 1 балл	4
7	Уравнения реакций — по 1 баллу	2
Итого		18

Химия. 10–11 классы

Задача VI.1.4.1. Спортивное питание: польза (22 баллов)

Развитие пищевой промышленности позволило оптимизировать процессы потребления питательных веществ. В рационе людей, активно занимающихся спортом, должно присутствовать от 100 до 200 г белков. В настоящее время существуют специальные продукты с высоким содержанием белка, которые позволяют разнообразить рацион спортсменов.

Основу протеиновых батончиков, печенья и коктейлей составляют белковые смеси, выделенные из молочных продуктов. Концентрат молочного сывороточного белка содержит все незаменимые для взрослого человека аминокислоты.

1. Приведите определение незаменимых аминокислот. Сколько аминокислот являются незаменимыми для человека?

Решение

Незаменимыми называют аминокислоты, которые не могут быть синтезированы организмом, при этом необходимы ему для функционирования. Незаменимыми для человека являются 8 аминокислот.

Содержание незаменимой аминокислоты **L** в сухой смеси для приготовления коктейля составляет ~ 10 масс. %. Для приготовления 1 порции протеинового коктейля производитель рекомендует растворить 30 г сухой смеси в 200 мл воды.

2. Вычислите объем протеинового коктейля, который необходимо употребить взрослому человеку массой 70 кг для полного удовлетворения суточной потребности в аминокислоте **L**.

*Согласно рекомендациям ВОЗ, суточная норма аминокислоты **L** для взрослого человека составляет 39 мг на 1 кг массы тела.*

Решение

Вычислим массу **L**, которая необходима взрослому человеку:

$$m(\mathbf{L}) = 0,039 \cdot 70 = 2,73 \text{ г} \Rightarrow V_{\text{коктейля}} = 200 \cdot 2,73 / (30 \cdot 0,1) = 182 \text{ мл.}$$

Белки, употребляемые человеком в пищу, являются основным источником азота в организме человека. В среднем, взрослому человеку требуется 14 г азота в сутки, что соответствует ~ 100 г белка. Мономерами белков являются аминокислоты с разным составом и структурой, однако, исходя из усредненного содержания азота в аминокислоте можно вычислить среднюю молярную массу аминокислоты.

3. Вычислите среднюю молярную массу аминокислоты, исходя из того, что в среднем, 1 аминокислота содержит 1,1 атом азота.

Решение

Средняя аминокислота содержит 1,1 атом азота \Rightarrow масса азота в 1 моле средней аминокислоты составляет $1,1 \cdot 14 = 15,4$ г. При этом, в 100 г белка содержится 14 г азота. Считая, что белок состоит из одинаковых «усредненных» аминокислот, вычислим их молярную массу: $15,4 \cdot 100 / 14 = 110$ г/моль.

Аминокислота **L** содержит 1 атом азота, а молярная масса **L** превышает среднюю молярную массу аминокислоты в 1,19 раз.

4. Вычислите молярную массу аминокислоты **L** и установите её брутто-формулу.

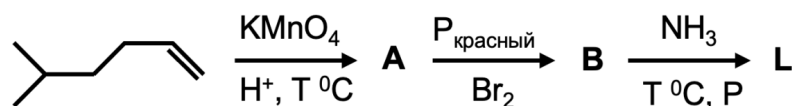
Решение

Вычислим молярную массу аминокислоты **L**:

$$M(\mathbf{L}) = 110 \cdot 1,19 = 130,9 \text{ г/моль.}$$

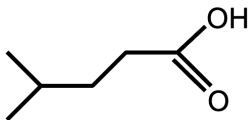
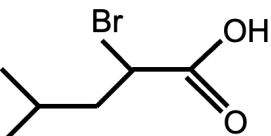
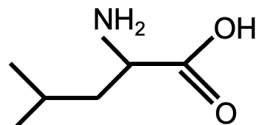
Общая формула аминокислот $\text{NH}_2\text{CHR}\text{COOH}$, вычтем массу всех известных атомов для установления R: $M(\text{R}) = 57$ г/моль, что соответствует $\text{C}_4\text{H}_9 \Rightarrow$ брутто-формула **L** — $\text{C}_6\text{H}_{13}\text{NO}_2$.

Впервые искусственно аминокислота **L** была получена известным немецким ученым в результате взаимодействия вещества **B** с аммиаком, отображенного на схеме ниже.



5. Установите структурные формулы веществ **A**, **B** и **L**.

Решение

A	B	L
		

Для соединения **A** известны изомеры, обладающие таким же химическим составом и относящиеся к одному классу органических веществ, при этом отличающиеся по химической структуре.

6. Как называется описанный вид изомерии?

Решение

В условии описана изомерия углеродного скелета.

7. Изобразите структурные формулы всех изомеров соединения **A** указанного вида. (по 0,5 балла за каждый, всего 3,5 балла)

Решение

Гексановая кислота: $\text{CH}_3 - \text{CH}_2 - \text{CH}_2 - \text{CH}_2 - \text{CH}_2 - \text{COOH}$.

3-метилпентановая кислота: $\text{CH}_3 - \text{CH}_2 - \text{CH}(\text{CH}_3) - \text{CH}_2 - \text{COOH}$.

2-метилпентановая кислота: $\text{CH}_3 - \text{CH}_2 - \text{CH}_2 - \text{CH}(\text{CH}_3) - \text{COOH}$.

2-этилбутановая кислота: $\text{CH}_3 - \text{CH}_2 - \text{CH}(\text{CH}_2 - \text{CH}_3) - \text{COOH}$.

3,3-диметилбутановая кислота: $\text{CH}_3 - \text{C}(\text{CH}_3)_2 - \text{CH}_2 - \text{COOH}$.

2,2-диметилбутановая кислота: $\text{CH}_3 - \text{CH}_2 - \text{C}(\text{CH}_3)_2 - \text{COOH}$.

2,3-диметилбутановая кислота: $\text{CH}_3 - \text{CH}(\text{CH}_3) - \text{CH}(\text{CH}_3) - \text{COOH}$.

8. Напишите тривиальное название изомера **A**, обладающего неразветвленной структурой.

Решение

Тривиальное название гексановой кислоты — капроновая кислота.

В структуре аминокислот содержатся две функциональные группы, которые в водных растворах могут приобретать электрический заряд. Приобретение заряда молекулами аминокислот обусловлено переходом функциональных групп в протонированную/депротонированную форму.

9. Какие функциональные группы в структуре аминокислот могут приобретать заряд? Изобразите структурные формулы аминокислоты **L** с суммарным отрицательным зарядом и с суммарным положительным зарядом.

Решение

Функциональные группы — ($-\text{NH}_2$) и ($-\text{COOH}$).

Переходы функциональных групп в заряженные формы связаны с водородным показателем раствора. При определенном значении водородного показателя молекулы растворенных в воде аминокислот являются незаряженными.

10. Напишите формулу, по которой можно вычислить водородный показатель раствора и вычислите водородный показатель раствора, в котором молекулы аминокислоты **L** являются незаряженными, если известно, что концентрация ионов H^+ в данном растворе составляет $9,12 \cdot 10^{-6}$ М.

Решение

Водородный показатель можно вычислить по формуле:

$$pH = -\log 10[\text{H}^+] \Rightarrow pH = -\log 10[9,12 \cdot 10^{-6}] = 5,04.$$

Критерии оценивания

№	Критерий	Балл
1	Определение — 1 балл, количество кислот — 1 балл	2
2	Расчет объема протеинового коктейля	2
3	Расчет средней молярной массы	2
4	Молярная масса L — 1 балл, брутто-формула — 2 балла	2
5	Структурные формулы — по 1 балл за каждую	3
6	Вид изомерии — 1 балл	1
7	Структурные формулы изомеров — по 0,5 балла за каждый	3,5
8	Тривиальное название — 1 балл	0,5
9	Указание функциональных групп — по 0,5 балла, структурные формулы — по 1 баллу	3
10	Формула для вычисления — 1 балл, расчет — 2 балла	3
Итого		22

Задача VI.1.4.2. Спортивное питание: энергетическая ценность (20 баллов)

Калорийность большинства продуктов для спортивного питания как правило ниже, чем калорийность их «неспортивных» аналогов. Калорийность продуктов питания связана с содержанием макронутриентов — белков, жиров и углеводов — в их составе. Калорийностью (энергетической ценностью) принято называть расчетное количество тепловой энергии, которая вырабатывается при усвоении макронутриентов. Считается, что на 1 г углеводов, как и на 1 г белков, вырабатывается 4,2 килокалории (ккал), а на 1 г жиров — 9,3 ккал.

1. Вычислите калорийность 100 мл молока, исходя из содержания в нем белков, жиров и углеводов. Плотность молока примите равной $1,03 \text{ г/см}^3$.

Таблица VI.1.3: Содержание макронутриентов в 100 г молока

Белки, г	Жиры, г	Углеводы, г
2,9	2,5	4,8

Решение

Вычислим калорийность 100 г молока:

$$E_{\text{молока}} = m_{\text{белков}} \cdot E_{\text{белка}} + m_{\text{углеводов}} \cdot E_{\text{углеводов}} + m_{\text{жиров}} \cdot E_{\text{жиров}} = (2,9 + 4,8) \cdot 4,2 + 2,5 \cdot 9,3 = 32,34 + 23,25 = 55,59 \text{ ккал} \Rightarrow \text{масса 100 мл молока составляет 103 г} \Rightarrow \text{калорийность 100 мл молока составит 57,3 ккал.}$$

2. Вычислите калорийность протеинового коктейля, приготовленного из 30 г сухой протеиновой смеси и 200 мл молока.

Таблица VI.1.4: Содержание макронутриентов в 100 г сухой протеиновой смеси

Белки, г	Жиры, г	Углеводы, г
76,6	1,0	2,0

Решение

Калорийность 200 мл молока составляет $57,3 \cdot 2 = 114,6$ ккал.

Калорийность 100 г сухой протеиновой смеси:

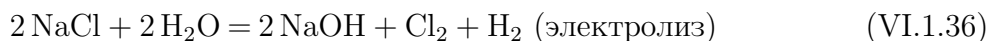
$$E_{\text{смесь}} = (76,6 + 2) \cdot 4,2 + 1 \cdot 9,3 = 339,4 \text{ ккал} \Rightarrow \text{калорийность протеинового коктейля составит } E = 339,4 \cdot 0,3 + 114,6 = 216,4 \text{ ккал.}$$

Относительно невысокая калорийность продуктов для спортивного питания обусловлена низким содержанием жиров и углеводов. При этом, протеиновое печенье и коктейли обладают выраженным сладким вкусом. Состав молекулы одного из распространённых заменителей сахара **S**, используемых в спортивном питании, отличается от молекулы сахарозы тремя функциональными группами — 3 гидроксильные группы в сахарозе заменены на атомы элемента **X**. Элемент **X** образует простое газообразное вещество желто-зеленого цвета, которое является сильным окислителем. При этом, известны соединения элемента **X** как в положительных, так и в отрицательной степени окисления.

3. Установите элемент **X**. Напишите уравнения реакций, используемых в промышленности (**VI.1.36**) и в лаборатории (приведите 2 различных способа (**VI.1.37**, **VI.1.38**)) для получения простого вещества, образованного элементом **X**.

Решение

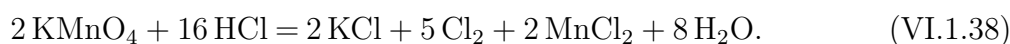
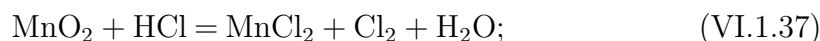
Исходя из описания, элемент **X** — хлор. В промышленности хлор получают электролизом раствора NaCl:



В качестве лабораторного метода получения участник может привести любую реакцию, в результате которой получается хлор, при это реакция должна удовлетворять следующим критериям:

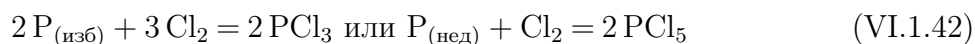
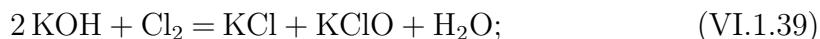
- реакция не сопровождается взрывом и может безопасно проводиться в школьной лаборатории;
- реагенты должны быть доступны в большинстве лабораторий;
- условия проведения реакции должны быть «мягкими».

Пример:

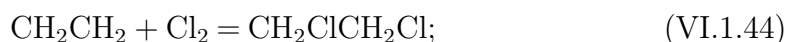


4. Напишите уравнения реакций взаимодействия простого вещества, образованного элементом **X**, с раствором щелочи на холоду (VI.1.39) и при нагревании (VI.1.40), железом (VI.1.41), фосфором (VI.1.42), монооксидом углерода (VI.1.43), этиленом (VI.1.44) и бензолом под действием света при нагревании (VI.1.45). (уравнения реакций — по 1 б. за каждое)

Решение



Важно указать, избыток или недостаток. Без указания реакция не засчитывается.



Массовое содержание атомов элемента **X** в заместителе сахара **S** составляет 26,79%, кислорода — 32,20%, углерода — 36,23%.

5. Установите брутто-формулу заместителя сахара, используемого для производства продуктов спортивного питания. Ответ подтвердите расчетом.

Решение

Согласно условию, в **S** содержится 3 атома Cl \Rightarrow

$M(\text{S}) = 35,5 \cdot 3/0,2679 = 397,5$ г/моль. Вычислим количества моль кислорода, водорода и углерода в **S**:

$$n(\text{O}) = w(\text{O}) \cdot M(\text{S})/M(\text{O}) = 0,322 \cdot 397,5/16 = 8 \text{ моль};$$

$$n(\text{H}) = 0,0478 \cdot 397,5/1 = 19 \text{ моль};$$

$$n(\text{C}) = 0,3623 \cdot 397,5/12 = 12 \text{ моль} \Rightarrow \text{брутто-формула } \mathbf{S} - \text{C}_{12}\text{H}_{19}\text{O}_8\text{Cl}_3.$$

6. Установите брутто-формулу сахарозы, основываясь на данных задачи. Ответ обоснуйте.

Решение

Поскольку в сахарозе вместо 3 атомов хлора содержится 3 OH-группы, то брутто-формула сахарозы: $\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$.

Критерии оценивания

№	Критерий	Балл
1	Калорийность 100 мл молока	2
2	Калорийность протеинового коктейля	2
3	Элемент X — 2 балла, способы получения — по 1 б.	5
4	Уравнения реакций — по 1 баллу за каждое	7
5	Брутто-формула S — 3 балла, без расчета — 1 балл	2
6	Брутто-формула сахарозы — 2 балла, без обоснования — 0,5 балла	2
Итого		20

Задача VI.1.4.3. Цвет настроения синий (20 баллов)

Один из способов обнаружения сахарозы в растворе основан на образовании комплексного соединения, центральным атомом в котором выступает металл **M**. При добавлении гидроксида **M** к раствору сахарозы раствор приобретает интенсивное синее окрашивание, которое обусловлено связыванием гидроксильных групп в составе сахарозы с атомами **M**.

1. Напишите общее название компонентов комплексного соединения, функцию которых выполняет сахароза.

Решение

Сахароза выполняет функцию лиганда.

Металл **M** способен одновременно связываться с 4 гидроксильными группами. Для описания данных свойств металла используется специальный термин.

2. Напишите термин, который используется для описания количества связей центрального атома в комплексном соединении.

Решение

Для описания количества связей центрального атома в комплексном соединении используют термин координационное число.

При прокаливании гидроксида **M** (VI.1.46) образуется соединение **Y** с массовым содержанием **M** 79,9%.

3. Напишите уравнение реакции (VI.1.46), установите металл **M** и соединение **Y**. Ответ подтвердите расчетом.

Решение

В качественной реакции на углеводы используется медь. При разложении гидроксида меди образуется оксид CuO . Проверим по массовому содержанию: $W(\text{Cu}) = M(\text{Cu}) \cdot 100\% / M(\text{CuO}) = 79,9\%$ — процентное содержание совпадает. Таким образом, **M** — Cu , **Y** — CuO . Уравнение реакции разложения:



4. Какими цветами обладают соединение **Y** и гидроксид металла **M**?

Решение

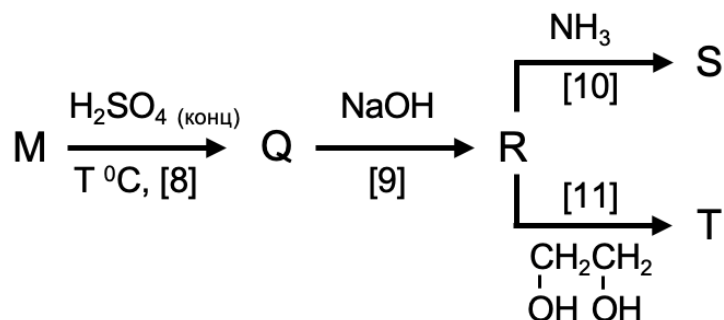
$\text{Cu}(\text{OH})_2$ обладает голубым цветом, CuO — черным.

5. Напишите уравнения реакции взаимодействия металла М с хлором (VI.1.47), серой (VI.1.48), концентрированной (VI.1.49) и разбавленной (VI.1.50) азотной кислотой, разбавленной соляной кислотой (VI.1.51), хлоридом железа (III) (VI.1.52). Если реакция не протекает, укажите это.

Решение

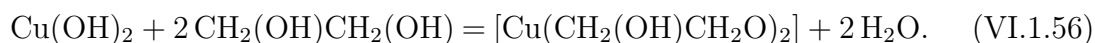
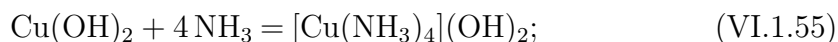
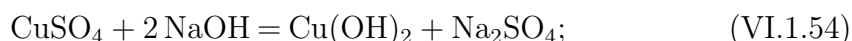
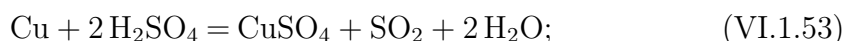


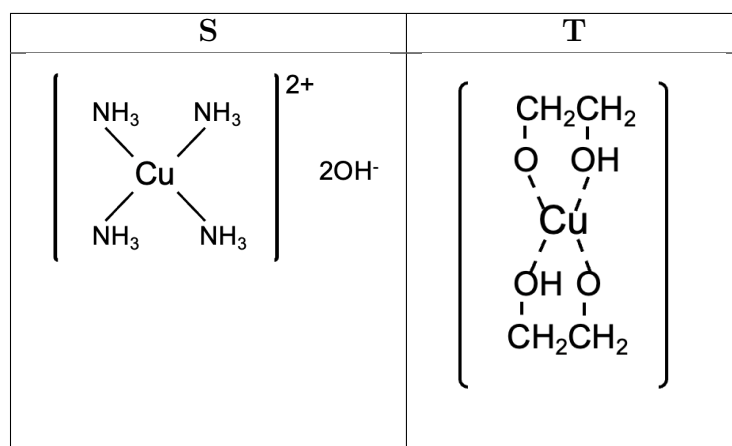
На схеме ниже представлена цепочка превращений соединений металла М, в результате которых образуются комплексные соединения S и T.



6. Напишите уравнения реакций (VI.1.53)–(VI.1.56) и изобразите структурные формулы соединений S и T.

Решение





7. Напишите номенклатурное название соединения S.

Решение

Гидроксид тетраамминмеди (II).

Критерии оценивания

№	Критерий	Балл
1	Лиганд — 1 балл	1
2	Координационное число — 1 балл	1
3	Металл М — 2 балла, уравнение реакции — 1 балл, формула оксида — 1 балл	4
2	Цвета — по 0,5 балла за каждый	1
3	Уравнения реакций — по 1 баллу за каждое	6
4	Уравнения реакций — по 1 баллу за каждое, структурные формулы — по 1 баллу	6
5	Название — 1 баллу	1
Итого		20

Задача VI.1.4.4. Инсулин 2.0 (18 баллов)

Заменители сахарозы используются не только в спортивном питании, но и улучшают качество жизни людей с сахарным диабетом 2-го типа. За метаболизм глюкозы в организме человека отвечает инсулин. При сахарном диабете 2-го типа организм человека не может эффективно перерабатывать глюкозу, тогда как клетки поджелудочной железы вырабатывают достаточное количество инсулина. Продукты питания, содержащие заменители сахарозы, позволяют пациентам с сахарным диабетом 2-го типа употреблять сладкие продукты питания без существенного ущерба для здоровья.

Один из критериев диагностики сахарного диабета 2-го типа — содержание глюкозы в плазме крови человека. У здорового человека содержание глюкозы в плазме крови варьируется в диапазоне от 3,9 до 5,5 мМ, у больных сахарным диабетом — превышает 7 мМ.

1. Вычислите минимальную массу глюкозы ($C_6H_{12}O_6$), которая содержится в крови человека, больного сахарным диабетом 2-го типа. Для расчетов примите, что суммарный объем крови в организме человека составляет 5 л.

Решение

Вычислим количество моль глюкозы, содержащееся в крови больного сахарным диабетом:

$$n(\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6) = C \cdot V = 0,007 \cdot 5 = 0,035 \text{ моль.}$$

Вычислим молярную массу глюкозы:

$$M(\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6) = 6 \cdot 12 + 12 \cdot 1 + 6 \cdot 16 = 180 \text{ г/моль.}$$

$$m(\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6) = 180 \cdot 0,035 = 6,3 \text{ г.}$$

2. Вычислите массу инсулина, необходимую для расщепления всей глюкозы, содержащейся в плазме крови здорового человека, исходя из того, что для расщепления 4 г глюкозы требуется 35 мкг инсулина. Концентрацию глюкозы в плазме крови здорового человека примите равной 5 мМ.

Решение

$$m(\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6) = 180 \cdot 0,005 \cdot 5 = 4,5 \text{ г} \Rightarrow \text{потребуется } 35 \cdot 4,5/4 = 39,4 \text{ мкг инсулина.}$$

Инсулин в организме человека производится и хранится в виде гексамера — шести молекул гормона, которые удерживаются за счёт образования комплексного соединения с центральным атомом **Ж**. Простое вещество, образованное атомами элемента **Ж**, представляет собой металл серебристо-белого цвета. В природе элемент **Ж** встречается в виде сульфида **К**, цвет и внешний вид которого могут варьироваться в зависимости от условий образования и примесей.

3. Установите элемент **Ж** и формулу сульфида **К**, если известно, что массовая доля **Ж** в **К** составляет 67,1%. Ответ подтвердите расчетом.

Решение

Минерал **К** — сульфид \Rightarrow массовая доля серы в **К** составляет $100 - 67,1 = 32,9\%$. Если в состав **К** входит 1 атом серы, то

$$M(\text{К}) = 32/0,329 = 97,3 \text{ г/моль.}$$

Вычтя молярную массу серы, получим 65,3 г/моль, что соответствует молярной массе цинка \Rightarrow **Ж** — Zn, **К** — ZnS.

4. Напишите название минерала, состоящего из сульфида **К**.

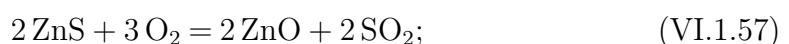
Решение

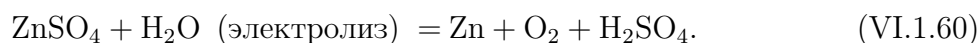
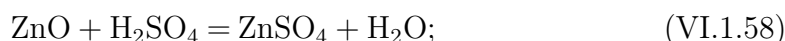
Сульфид цинка образует 2 минерала: сфалерит (или цинковая обманка) и вюрцит.

Для получения чистого металла из **К**, минерал обжигают в печах при высоких температурах (VI.1.57), а затем образовавшийся твердый концентрат обрабатывают серной кислотой (VI.1.58), отделяют от примесей обработкой цинковой пылью (обычно примесями в минералах выступают соединения кадмия) (VI.1.59) и полученный раствор подвергают электролизу (VI.1.60).

5. Напишите уравнения реакций (VI.1.57–VI.1.60).

Решение

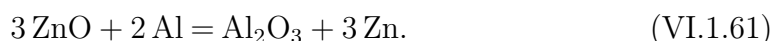




Образующийся в реакции (VI.1.57) концентрат в основном состоит из соединения **Н**. Ещё один из способов получения простого вещества, образованного элементом **Ж**, основан на взаимодействии **Н** с алюминием (VI.1.61).

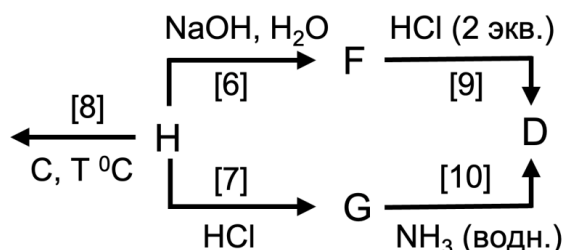
6. Напишите уравнение реакции (VI.1.61). Как называется такой способ получения металлов?

Решение



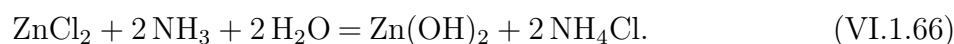
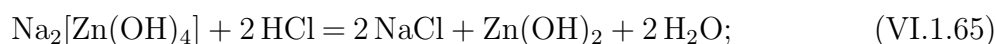
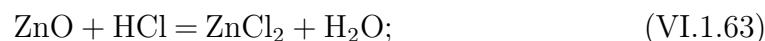
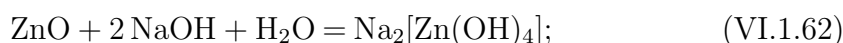
Способ получения металлов, основанный на взаимодействии их оксидов с алюминием, называется алюминотермией.

Ниже представлена схема реакций, отображающая свойства соединений элемента **Ж**.



7. Напишите уравнения реакций (VI.1.62–VI.1.66).

Решение



Критерии оценивания

№	Критерий	Балл
1	Расчет массы глюкозы — 2 балла	2
2	Расчет массы инсулина — 2 балла	2
3	Металл Ж — 1 балл, формула К — 1 балл	2
4	Название минерала — 1 балл	1
5	Уравнения реакций — по 1 баллу	4
6	Уравнение реакции — 1 балл, название метода — 1 балл	2
7	Уравнения реакций — 1 балл	5
Итого		20