

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)*

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 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? (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)

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%.

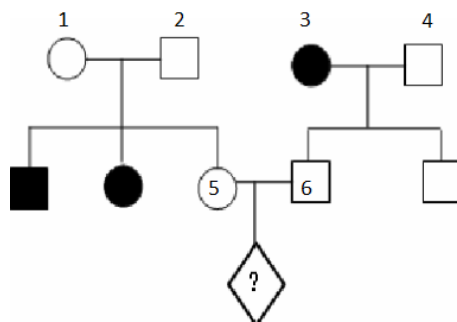
Задание

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)

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 индивидов 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)

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	М
■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	500
		■		■	■			■		295
■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	245
		■		■	■			■		205

11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	М
■	■			■	■	■	■	■	■	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)

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)

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%.

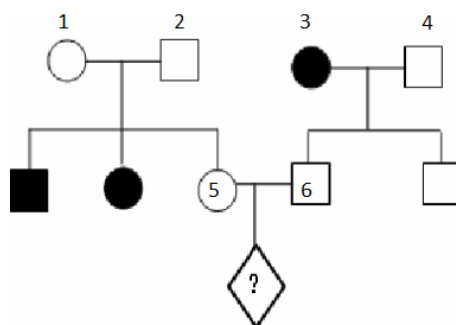
Задание

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)

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

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)

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.

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.

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 ~ 10 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.*

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.

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%.

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

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).

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.

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

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 макроэлементов — белков, жиров и углеводов — в их составе. Калорийностью (энергетической ценностью) принято называть расчетное количество тепловой энергии, которая вырабатывается при усвоении макроэлементов. 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 макроэлементов в 100 г молока

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

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

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

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

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 распространенных 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 X_2 желто-зеленого цвета, которое является сильным окислителем. При этом, известны соединения элемента X как в положительных, так и в отрицательной степени окисления.

- 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**.
- Напишите уравнения реакций взаимодействия простого вещества **X₂** 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**).
- Установите брутто-формулу заменителя сахара, используемого для производства продуктов спортивного питания. Ответ подтвердите расчетом.
- Установите брутто-формулу сахарозы, основываясь на данных задачи. Ответ обоснуйте.

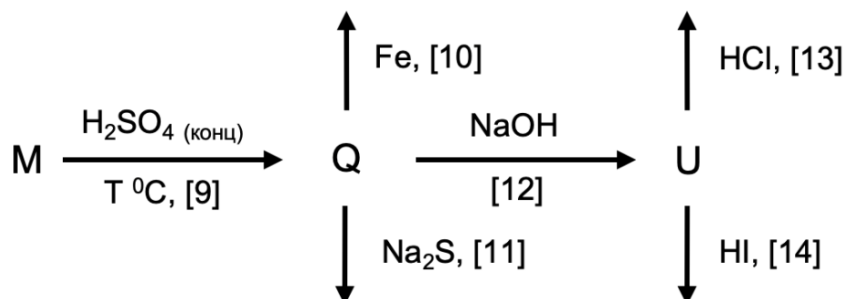
Задача VI.1.3.3. Цвет настроения синий (22 баллов)

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%.

- Напишите уравнение реакции (**VI.1.14**), установите металл **M** и формулу оксида **Y**. Ответ подтвердите расчетом.
- Какими цветами обладают соединение **Y** и гидроксид металла **M**?
- 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.

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



- Напишите уравнения реакций (**VI.1.22–VI.1.27**). Укажите, какие реакции можно отнести к окислительно-восстановительным процессам.
- Каким цветом обладает безводное соединение **Q**? Как и почему изменяется его цвет при длительном хранении на воздухе?

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

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

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)

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?

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

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

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?

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.

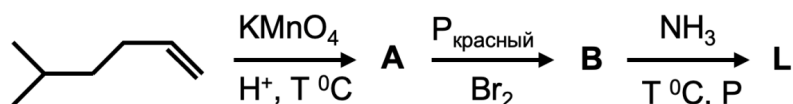
Белки, употребляемые человеком в пищу, являются основным источником азота в организме человека. В среднем, взрослому человеку требуется 14 г азота в сутки, что соответствует ~ 100 г белка. Мономерами белков являются аминокислоты с разным составом и структурой, однако, исходя из усредненного содержания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

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.

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**.

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

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

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.

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.

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 $1,03$ г/см³.

Таблица VI.1.3: Содержание макронутриентов в 100 г молока

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

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

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**.
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)

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

5. Установите брутто-формулу заменителя сахара, используемого для производства продуктов спортивного питания. Ответ подтвердите расчетом.
6. Установите брутто-формулу сахарозы, основываясь на данных задачи. Ответ обоснуйте.

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.

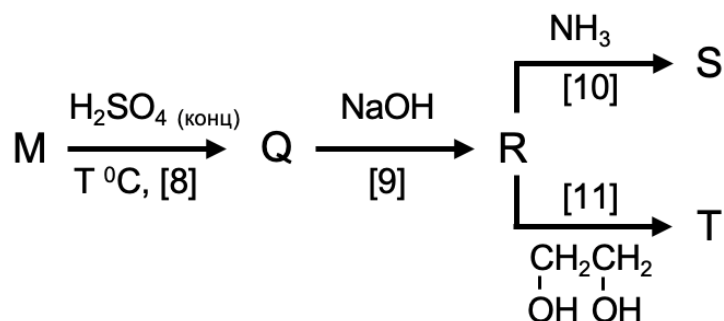
Металл **M** способен одновременно связываться с 4 гидроксильными группами. Для описания данных свойств металла используется специальный термин.

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

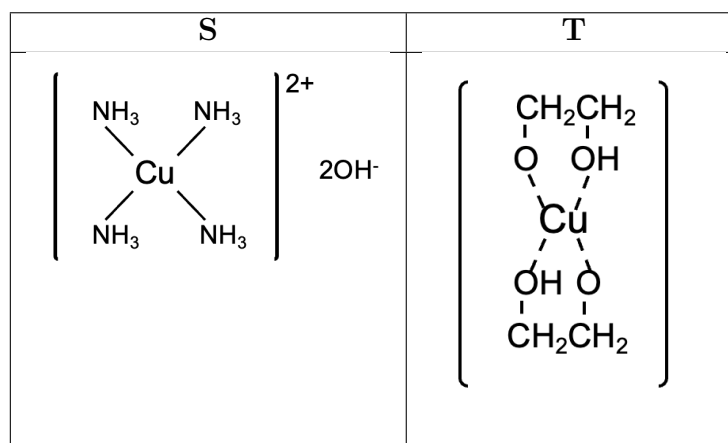
При прокаливании гидроксида **M** (**VI.1.46**) образуется соединение **Y** с массовым содержанием **M** 79,9%.

3. Напишите уравнение реакции (**VI.1.46**), установите металл **M** и соединение **Y**. Ответ подтвердите расчетом.
4. Какими цветами обладают соединение **Y** и гидроксид металла **M**?
5. Напишите уравнения реакции взаимодействия металла **M** 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.

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



7. Напишите номенклатурное название соединения **S**.

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

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.

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.

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

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).

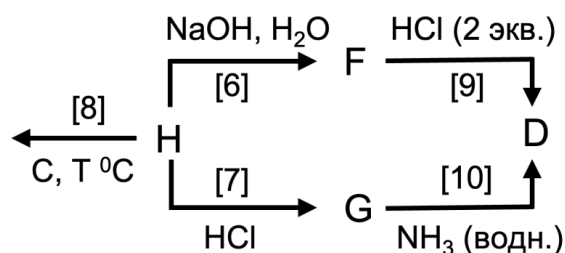
5. Напишите уравнения реакций (VI.1.57–VI.1.60).

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?

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).