

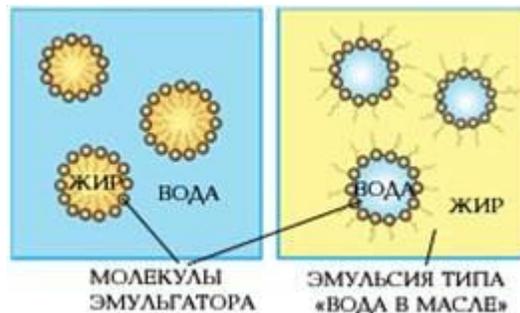
§3 Заключительный этап: индивидуальная часть

3.2 Задачи по химии (9 класс)

Задача 3.2.1

Условие:

Традиционный майонез состоит из растительного масла, воды, яичного порошка, уксуса и других приправ, причем, как правило, массовая доля масла в этой смеси составляет около 80%. Как мы знаем, вода и масло обычно не смешиваются, однако майонез представляет собой эмульсию - смесь, состоящую из микроскопических капель жидкости, распределенных в другой жидкости. Существует 2 типа эмульсий - “масло в воде” и “вода в масле”, в зависимости от того, какая из жидкостей является “растворителем”.



Эмульсия может не расслаиваться в течение продолжительного времени за счет присутствия в ней веществ-эмульгаторов, которые могут неплохо растворяться и в масле, и в воде, что приводит к тому, что при образовании эмульсии эти вещества концентрируются на границе капель распределенной жидкости и не дают этим каплям слипаться (см. рисунок).

Наиболее распространенный способ приготовления майонеза таков: масло, яйца и приправы тщательно смешиваются, а затем в полученную смесь добавляют тонкой струйкой воду или лимонный сок. Известно, что если сразу же добавить воду в эту систему, то вязкость полученной смеси будет гораздо меньше - сопоставимой с исходным растительным маслом.

- Какова роль яичного желтка в майонезе? Как будет выглядеть майонез без яичного желтка?
- Попробуйте объяснить тот факт, что вязкость майонеза зависит от способа его приготовления. К какому типу эмульсий относится традиционный майонез?
- Приведите 3 других типа эмульсий, которые Вам известны и предположите их тип (“вода в масле” или “масло в воде”).
- Часто на упаковках с майонезом указывают, что его нельзя замораживать. Что произойдет, если майонез заморозить, а затем снова довести до комнатной температуры и почему?

Решение:

- Яичный желток является эмульгатором - он имеет в своем составе молекулы, содержащие фрагменты разной полярности, что приводит к стабилизации эмульсии. Если эмульгатор не использовать, то эмульсия потеряет устойчивость и вскоре расслоится на 2 сплошные фазы - водную и масляную. Примерно так выглядит мясной бульон.

- Несмотря на то, что массовая доля масла в традиционном майонезе высока, он является эмульсией типа “масло в воде”. При таком высоком содержании жира капли масла в воде уже не могут свободно перемещаться по среде, поскольку расстояние между ними меньше их диаметра, и среда становится вязкой. Если поменять порядок смешения реагентов, то образуется эмульсия типа “вода в масле” и присутствие небольшого количества воды в толще масла почти не будет влиять на вязкость смеси - она будет близка к вязкости масла.

- Многие природные, пищевые и косметические продукты являются эмульсиями - например, молоко (“масло в воде”), сливочное масло (“вода в масле”), крема для рук и ног (“вода в масле”), увлажняющие жидкости (“масло в воде”), различные медицинские спреи (как правило, “масло в воде”).

- Если упаковку с майонезом заморозить, то вода, замерзающая раньше, чем масло, превратится в твердое вещество и структура эмульсии “масло в воде” нарушится - при растапливании мы получим эмульсию “вода в масле”, т. е. то же самое, что и при неправильном смешивании компонентов в процессе приготовления.

Критерии оценивания:

- Указание функции желтка - **1 балл**, описание майонеза без эмульгатора - **1 балл**
- Правильное указание типа эмульсии - **1 балл**, объяснение - **2 балла**
- По **1 баллу** за каждый пример (не более 3, если приведено больше – оценивается 3 правильных)
- Правильное описание - **1 балл**, верное объяснение - **1 балл**

Всего - 10 баллов

Задача 3.2.2

Условие:

Во многих регионах дефицит йода, являющегося важнейшим микроэлементом для человеческого организма, привел к появлению нового пищевого продукта на рынке - йодированной соли, однако молекулярный йод для этих целей не используется. До 1997 года для йодирования соли в России, Белоруссии и Украине использовали вещество X, окрашивающее пламя горелки в фиолетовый цвет, с массовой долей йода 76.5%. Сейчас вещество X заменено на вещество Y (пищевая добавка E917), также окрашивающее пламя горелки в фиолетовый цвет, с массовой долей йода 59.3%, что позволило увеличить срок годности йодированной соли с 6 до 9 месяцев. Известно, что вещество Y проявляет окислительные свойства и используется на производстве как активный компонент различных очищающих растворов, необходимых для обработки сточных вод.

- Почему для йодирования соли нельзя использовать молекулярный йод?
- Если X и Y будут одновременно присутствовать в йодированной соли, то при ее растворении в водном растворе уксусной кислоты мы увидим желтое окрашивание раствора, исчезающее при пропускании через раствор сернистого газа. Установите состав веществ X и Y, ответ подтвердите расчетами, напишите уравнения упомянутых реакций.

- Норма потребления йода для взрослого человека, в пересчете на элемент, 150 мг в день. Рассчитайте, сколько граммов вещества Y нужно добавить к 1 кг обычной соли, чтобы человеку было достаточно получать йод только в составе йодированной соли, если он ежедневно потребляет 12 г такой соли.

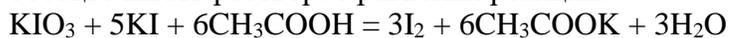
- Приведите пример 2 загрязняющих примесей (в виде ионов), от которых можно очистить сточные воды с помощью вещества Y, напишите уравнения реакций в ионном виде.

- Наличие срока годности связано с тем, что при стоянии йодированная соль превращается в обычную. Предположите, как это может происходить в случае использования вещества X и вещества Y и почему использование последнего увеличивает срок годности поваренной соли по сравнению с веществом X.

Решение:

- Молекулярный йод - вещество, склонное к возгонке, поэтому содержание йода будет быстро уменьшаться при хранении.

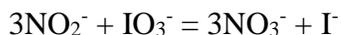
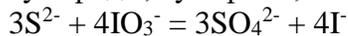
- Желтая окраска может быть обусловлена появлением в растворе молекулярного йода. Поскольку по условию оба вещества X и Y содержат йод, а уксусная кислота не проявляет выраженных окислительно-восстановительных свойств, логично предположить сопропорционирование атомов йода, содержащихся в X и Y, т. е. в одном соединении атом йода находится в положительной степени окисления, а в другом - в отрицательной. Фиолетовая окраска пламени указывает на присутствие в X и Y атомов калия. Предположив, что X - это KI и подтвердив эту гипотезу расчетами по массовой доле, находим Y - исходя из предположения, в состав Y входит кислород (это наиболее устойчивые и часто встречающиеся соли, в которых атом йода имеет положительную степень окисления). Если общая формула вещества Y - KIO_n , то можно записать выражение для массовой доли йода $w(I) = M(I) / [M(I) + M(K) + M(O)]$ в виде $0.593 = 127 / (40 + 127 + n \cdot 16)$, откуда $n = 3$ и вещество Y - йодат калия. Пропускаемый через образовавшийся раствор сернистый газ будет окисляться этим йодом и обесцвечивать раствор. Уравнения реакций:



- В 12 граммах соли должно содержаться 150 мг йода, т. е. массовая доля йода в "правильной" соли, удовлетворяющей жизненные потребности человека в иоде, равна $w(i) = 0.15 / 12 = 1.25\%$. Пусть x - масса йодата калия, которую нужно добавить к 1 кг поваренной соли, тогда $x / 214$ моль - его количество вещества.

Выражение для массовой доли йода запишется в виде $(x / 214 \cdot 127) / (1000 + x) = 0.0125$, откуда $x = 21.5$ г.

- Таким образом можно удалить большинство ионов-восстановителей: сульфиды, сульфиты, нитриты и т.д.



- Йодид калия окисляется кислородом воздуха, особенно на свету и в присутствии влаги: $4KI + O_2 + 2H_2O = I_2 + 4KOH$. Образующийся молекулярный йод летуч. Данная реакция не противоречит тому, что молекулярный йод взаимодействует с щелочами, так как последний упомянутый процесс в некоторой степени обратим, а I_2 , улетучиваясь, выводится из реакции. Кроме того, образующийся KOH может взаимодействовать с кислотными оксидами, содержащимися в воздухе, главным образом, CO_2 .

Йодат калия тоже подвержен медленному фоторазложению:

$2KIO_3 = 2KI + 3O_2$. Образующийся KI сопропорционирует с оставшимся KIO_3 и снова образуется летучий I_2 .

Критерии оценки:

- Обоснование отказа от использования йода для йодированной соли - 1 балл
- По 1 баллу за формулы веществ X и Y, еще 2 балла за наличие расчета-подтверждения (если проверка сделана только для одного из веществ - 1 балл), 2 балла за сопропорционирование (1 балл - без коэффициентов), 1 балл - за реакцию с сернистым газом, всего - 7 баллов

- Расчет и ответ - 3 балла, только ответ - 1 балл

- По 1 баллу за каждый ион

- По 2 балла за каждый ион (1 балл объяснение + 1 балл уравнение)
- Всего - 17 баллов

Задача 3.2.3

Условие:

Для защиты металлических поверхностей от износа и коррозионных процессов применяют технологию анодирования - процесс покрытия изделия слоем его оксида под действием электрического тока. Наиболее распространен и развит процесс анодирования алюминия. Для анодирования алюминиевой детали в форме куба с ребром 2 см ее очистили от жира и оксидной пленки вместе со свинцовым катодом поместили в охлаждаемый стакан с 500 мл раствора серной кислоты (плотность 1200 г/л) и подключили к полюсам источника, выдающего 5 А при 50В постоянного тока в течение всего времени анодирования, которое составило 30 минут.



Массу выделившегося на электроде вещества можно рассчитать, воспользовавшись законом Фарадея для электролиза постоянным током:

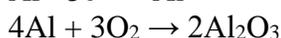
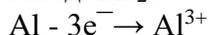
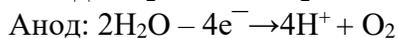
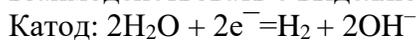
$$m = \left(\frac{It}{F} \right) \left(\frac{M}{z} \right)$$

где I — ток электролиза, $F = 96\,500 \text{ Кл} \cdot \text{моль}^{-1}$ — постоянная Фарадея, M — молярная масса вещества, z - число электронов на один ион, подвергнутый электролизу (т. е. валентность атома, образующее данное вещество).

- Почему анодирование ведут в серной кислоте, а не в чистой воде?
- Какие вещества могут выделяться на аноде (помимо кислорода) и катоде? Напишите уравнения соответствующих процессов.
- Оцените толщину образующейся пленки из оксида алюминия за данное время, приняв, что весь выделяющийся кислород тратится только на получение оксида алюминия, а плотность образующегося покрытия - 3 г/см^3 .
- Предположите, чем будет отличаться покрытие при низких и высоких температурах?

Решение:

- Чистая вода не проводит электрический ток
- В данной системе будет 2 вида процессов - электролиз частиц из электролита и растворение электрода. В серной кислоте будет идти электролиз воды с выделением кислорода и водорода, кроме того, алюминиевый анод будет растворяться и взаимодействовать с выделяющимся кислородом.



- Условия задачи позволяют оценить количество оксида алюминия на основании количества кислорода, которое выделилось при электролизе воды на аноде и прореагировало с алюминием. Эта масса рассчитывается по закону Фарадея ($z=4$ - на 1 моль кислорода):

$$m(\text{O}_2) = (5A * 1800\text{с} * 32\text{г/моль}) / (4 * 96500 \text{ Кл/моль}) = 0.745 \text{ г}$$

$$\text{тогда } m(\text{Al}_2\text{O}_3) = 0.745 / (16 * 3) * (16 * 3 + 27 * 2) = 1.58 \text{ г, а } V(\text{Al}_2\text{O}_3) = 0.53 \text{ см}^3$$

Это довольно тонкий слой, поэтому для оценки его толщины можно считать, что площадь покрываемой поверхности куба неизменна и равна $S=2*2*6= 24 \text{ см}^2$, и толщина слоя составит $l = V/S = 0.53/24 = 0.022 \text{ см}$ или 0.22 мм

- Можно предположить, что при слишком бурном выделении кислорода возникнут зоны турбулентности вблизи анода (эффект кипения), что приведет к образованию более рыхлого (менее плотного) покрытия.

Критерии оценки:

- Обоснование использования серной кислоты - 1 балл
- По 1 баллу за указание веществ на аноде и катоде, по 1 баллу - за уравнения процессов (если верно указаны только уравнения, без отдельного перечисления веществ - 5 баллов). За уравнения - максимум 3 балла, засчитывается любое из уравнений с алюминием
- Полностью верный расчет по уравнению Фарадея - 8 баллов, ошибка в размерности или в определении z - минус 2 балла, найдена только масса выделяющегося оксида алюминия (без оценки толщины) - максимум 4 балла.
- Расчет и ответ - 3 балла, только ответ - 1 балл
- 2 балла за верное предположение

Всего - 19 баллов.

Задача 3.2.4

Условие:

При растворении минерала якобсита (см. фото), представляющего собой смесь оксидов двух металлов, в разбавленной соляной кислоте образовался желтый раствор. К этому раствору по каплям был добавлен концентрированный раствор щелочи до образования белого с розоватым оттенком осадка. Осадок отделили от раствора (раствор 1). Часть осадка оставили стоять на воздухе, и через некоторое время оказалось, что он потемнел. Ко второй части осадка добавили разбавленную серную кислоту, после чего осадок растворился и образовался светло-розовый прозрачный раствор (раствор 2). Если к раствору 2 добавить висмутат калия (KBiO_3 – сильнейший окислитель) и азотную кислоту, то раствор приобретает интенсивную фиолетовую окраску, которое обуславливает присутствие в нем ионов вещества, из кристаллов которого получают кислород в лаборатории.

К раствору 1 добавили серную кислоту, выпал бурый осадок, который растворяется в избытке кислоты (раствор 3). При добавлении к раствору 3 желтой кровяной соли выпал синий осадок.

Какие оксиды входят в состав минерала? Укажите состав растворов 1-3, напишите уравнения всех упомянутых реакций (не забудьте про получение кислорода!). Взаимодействие с висмутатом калия и с желтой кровяной солью разрешается указывать в ионном виде.



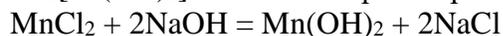
Решение:

Исходный минерал - смесь оксидов железа (III) и марганца (II), имеет формулу $MnFe_2O_4$. В тексте задачи присутствуют явные указания на присутствие двухвалентного марганца (реакция с висмутатом калия, потемнение розоватого осадка) и трехвалентного железа (реакция с желтой кровяной солью)

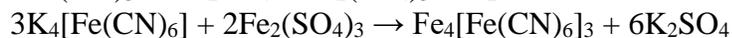
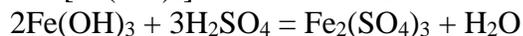
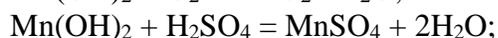
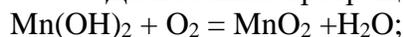
Растворение в кислоте:



При подщелачивании раствора выпадает основной гидроксид марганца $Mn(OH)_2$, а амфотерный гидроксид железа остается в растворе в виде комплекса $Na[Fe(OH)_4]$ (или $Na_3[Fe(OH)_6]$ - это состав раствора 1.



Дальнейшие превращения:



Раствор 1 - $Na[Fe(OH)_4]$;

Раствор 2- $MnSO_4$

Раствор 3 - $Fe_2(SO_4)_3$

Критерии оценки:

- Указание формул оксидов - по 1 баллу (всего - 2 балла)
- Указание составов растворов 1-3 - по 1 баллу (всего - 3 балла)
- За каждое верное уравнение - по 1 баллу (без коэффициентов - 0 баллов), за реакцию с желтой кровяной солью в ионном или молекулярном виде - 2 балла (без коэффициентов - 1 балл), за реакцию с висмутатом калия в ионном или молекулярном виде - 4 балла (без коэффициентов - 2 балла). (всего - 12 баллов)
- Если правильно написаны все уравнения, но не указано специально, что представляют собой все зашифрованные вещества и растворы - полный балл.

Всего - 17 баллов

3.2.5 Общие баллы за этап

$$10+17+17+19 = 64 \text{ балла}$$

После подсчета баллов, итоговая оценка нормировалась так, чтобы в сумме все задачи этапа давали 100 баллов. Эта оценка и выставлялась участникам. В данном случае, все полученные участником за каждую задачу баллы умножались на коэффициент $A = 1,5625$

3.3 Задачи по химии (10-11 классы)

Задача 3.3.1. Черный порох

Условие:

Черный порох – трехкомпонентная смесь, состоящая из серы, угля и калийной селитры. Для приготовления пороха по методике необходимо взять навески всех компонентов, смешать в фарфоровой ступке и тщательно перетереть.

При нагреве черного пороха в начале происходит плавление серы, затем начинается разложение селитры с выделением кислорода и потом начинается горение смеси. В результате образуется азот, углекислый газ и сульфид калия.

- Запишите уравнение реакции горения черного пороха, напишите электронный баланс
- Объясните зачем необходимо перетирать компоненты?
- Рассчитайте массовые соотношения компонентов, необходимые для приготовления пороха, сгорающего без остатка исходных веществ
- Рассчитайте тепловой эффект реакции сгорания 10 г пороха (теплота образования нитрата калия = 494,00 кДж/моль, теплота образования сульфида калия = 387,3 кДж/моль, тепловой эффект сгорания 12 г угля - 402 кДж)
- Оцените давление, которое возникнет в системе через некоторое время после взрыва 10 г пороховой смеси в тщательно закупоренном сосуде из толстого стекла с воздухом объемом 10 л, если при этом газы имеют температуру 200 градусов Цельсия.
- Если вместо необходимого соотношения взять селитры в 10.5 раз больше по массе, чем серы, а угля столько же (по массе), продукты горения будут другими. Предположите возможное уравнение реакции в этом случае. Какая смесь более эффективна?

Решение:

- $2\text{KNO}_3 + \text{S} + 3\text{C} = \text{K}_2\text{S} + \text{N}_2 + 3\text{CO}_2$
- Перетирать компоненты нужно для того, чтобы увеличить площадь соприкосновения реагентов - от этого увеличится скорость протекания реакции и возрастет мгновенная сила давления пороховых газов.
- Согласно уравнению, стехиометрическим будет мольное соотношение исходных компонентов (нитрат калия: сера: уголь) 2:1:3. Возьмем смесь, состоящую из 1 моль KNO_3 , 1 моль серы и 3 моль угля. тогда ее масса составит $2 \cdot 101 + 1 \cdot 32 + 3 \cdot 12 = 270$ г, а компоненты надо будет взять в соотношении 202:32:36 или 50:8:9. Можно также рассчитать массовые доли элементов.
- В 10 г пороха содержится $202/27 = 7.48$ г нитрата калия, что соответствует количеству 0.047 моль. На 2 моль селитры $Q_{\text{реакции}} = 3Q_{\text{обр}}(\text{C}) + Q_{\text{обр}}(\text{K}_2\text{S}) - 2Q_{\text{обр}}(\text{KNO}_3) = 605.3$ кДж, тогда на 0.047 моль - $605.3 \cdot 0.047/2 = 14.2$ кДж.

- При сгорании 0.047 моль KNO_3 образуется, по уравнению реакции, $n=4 \cdot 0.047$ моль = 0.188 газов (общее число моль всех газообразных продуктов). По уравнению Клапейрона-Менделеева $p = nRT/V = 0.188 \cdot 8.31 \cdot (200 + 273) / 10 = 73.9$ кПа. Учитывая, что изначально под колпаком находился воздух под давлением 1 атм, а выделившиеся газы образовались дополнительно, суммарное давление составит $101.3 + 73.9 = 175.2$ кПа или 1.73 атм.

- Равенство массовых долей серы и углерода предполагает их мольное соотношение 3:8, аналогично находим и соотношение с KNO_3 - 3:8:10. Предполагая, что эти числа могут быть стехиометрическими коэффициентами, а также учитывая, что сульфид калия теоретически может окисляться дальше, находим подходящий вариант с этими коэффициентами:



Под эффективностью в данном случае понимается энергия газов, которая будет тем выше, чем большее количество газообразных веществ выделится из одинаковой навески пороха. Будем называть предыдущий состав - "порох 1", а новый - "порох 2". Тогда из 270 г "пороха 1" выделяется, как мы уже рассчитывали, 4 моль газов, а из 1202 г (10 моль селитры, 3 моль серы и 8 моль угля) "пороха 2" - 11 моль газов. Ясно, что из той же массы "пороха 1" получится больше пороховых газов, поэтому порох будет более эффективен.

Критерии оценки:

- Уравнение горения пороха 1 - 1 балл
- Объяснение - 1 балл
- Расчет соотношения - 1 балл
- Расчет теплоты 3 балла, если одна ошибка в стехиометрии - 1 балл.
- Расчет давления и ответ - 3 балла, только ответ - 1 балл
- 1 балл за продукты, 1 балл за уравнение, 1 балл за верное рассуждение.

Всего - 12 баллов

Задача 3.3.2. Строение белка

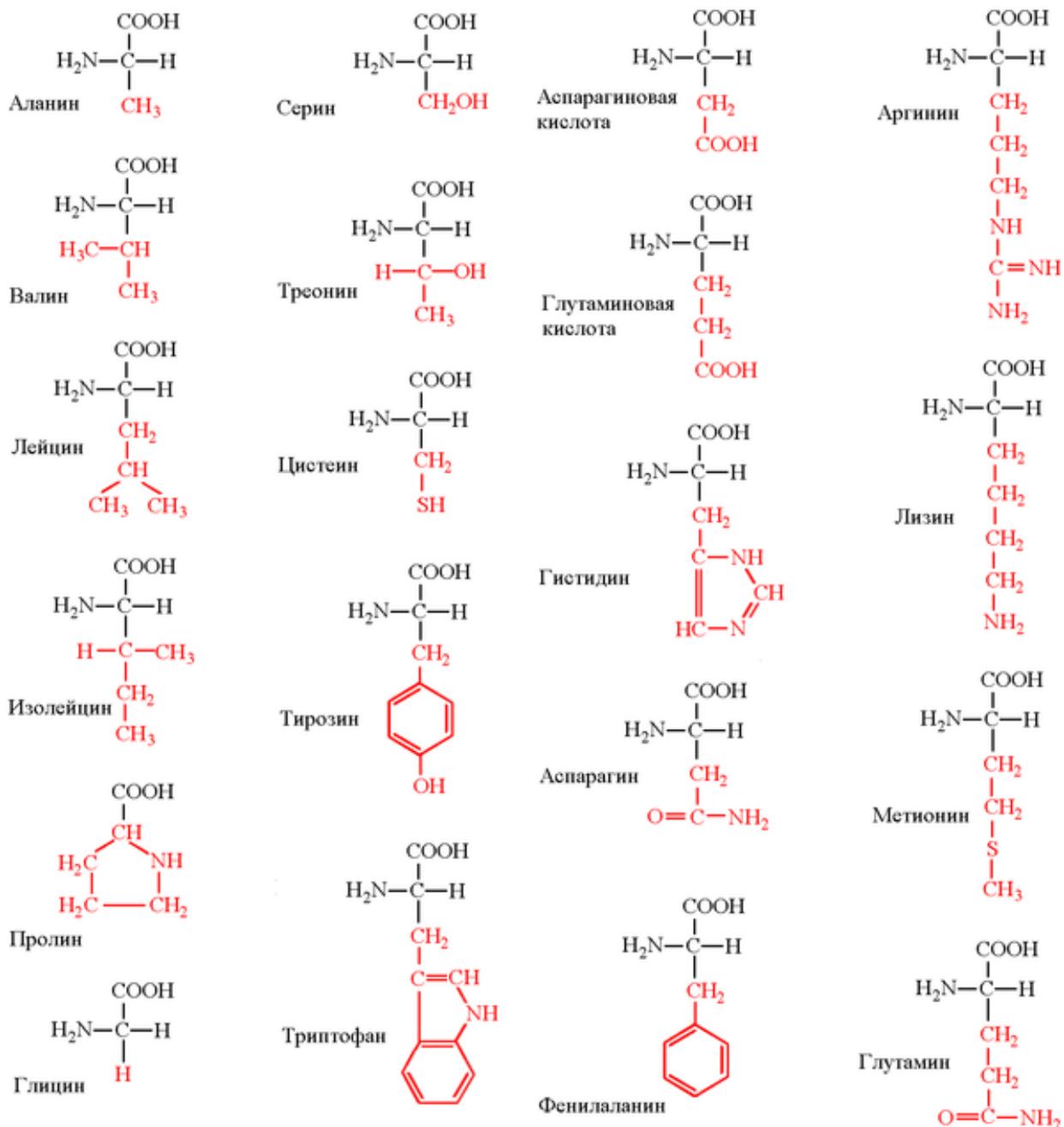
Условие:

Изучение биологических функций белка, их физиологического действия невозможно без знания строения белка. Установление первичной структуры белка является основой для изучения его вторичной и третичной структуры, позволяет выяснить расположение функциональных групп в белке и открывает путь к познанию механизмов его функционирования.

При полном гидролизе 0,01 моль пентапептида массой 5,75 г образовались аминокислоты, масса каждой из которых составила 1,78 г, 1,49 г, 1,74 г, 1,46 г. Для исследования последовательности аминокислот в пептиде, используются специальные вещества, которые разрывают конкретные пептидные связи. Так фермент трипсин разрывает связи, образованные кислотной группой лизина или аргинина. А бромциан разрывает связи, образованные кислотной группой метионина с аминогруппой тирозина или аланина.

После воздействия трипсина на исследуемый пентапептид массой 5,57 г, образуется три вещества массой 0,89 г, 1,46 г и 3,76 г, а при действии бромциана два вещества с массами 2,77 г и 3,16 г.

Какие аминокислоты получаются при гидролизе пентапептида? Восстановите последовательность аминокислотных остатков в пентапептиде.



Решение:

По результатам полного гидролиза видим, что различных веществ всего 4, а аминокислотных остатков должно быть пять в пентапептиде, следовательно, один из аминокислотных остатков повторяется два раза.

Поскольку при воздействии трипсина на пептид образовалось три различных вещества, значит пептид содержит аргинин, или лизин, или и то и то. Молярные массы аргинина и лизина соответственно 174 г/моль и 146 г/моль. Массы 0,01 моля: 1,74 г и 1,46. Значит в пептиде содержатся аминокислотные остатки лизина и аргинина по 1 разу. Вещество массой 0,89 г соответствует 0,01 молью аланина. Поскольку при действии бромциана расщепляется связь кислотной части метионина с аминогруппой аланина, то имеем следующую последовательность аминокислот: **Lys - Met - Ala - Arg - Ala.**

Критерии оценки:

- Сделан вывод о присутствии 4, а не 5 аминокислот в белке - 1 балл
- Рассчитаны молярные массы каждой аминокислоты и установлено соответствие между формулой аминокислоты (или названием) и результатами полного гидролиза - по 1 баллу за аминокислоту (всего 4 балла).
- Установлена верная последовательность - 2 балла

Всего 7 баллов

Задача 3.3.3. Люминол

Условия задачи:

В детективных фильмах часто показывают, что для обнаружения следов крови место преступления опрыскивают каким-то веществом потом подносят ультрафиолетовую лампу и видят бледно-голубое свечение следов крови. В криминалистике для обнаружения следов крови используется люминол (5-амино-2,3-дигидро-1,4-фталазиндион).

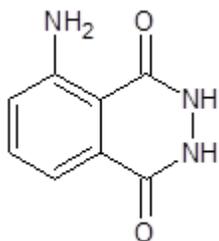
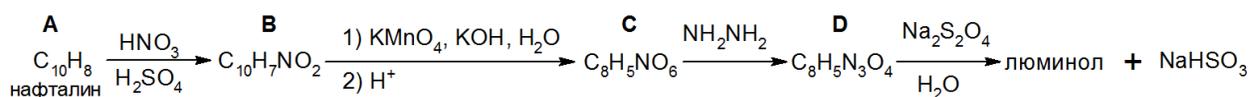


Рис.1 Структурная формула люминола.

Люминол при окислении выделяет фотон света. Явление излучения фотона в ходе химической реакции называется хемилюминесценцией. Для обнаружения следов крови готовят щелочной раствор люминола в который добавляют пероксид водорода. Люминол окисляется пероксидом водорода очень медленно, однако если добавить катализатор – железо, которое содержится в крови в составе гемоглобина, реакция начинает протекать быстрее и свечение становится заметно.

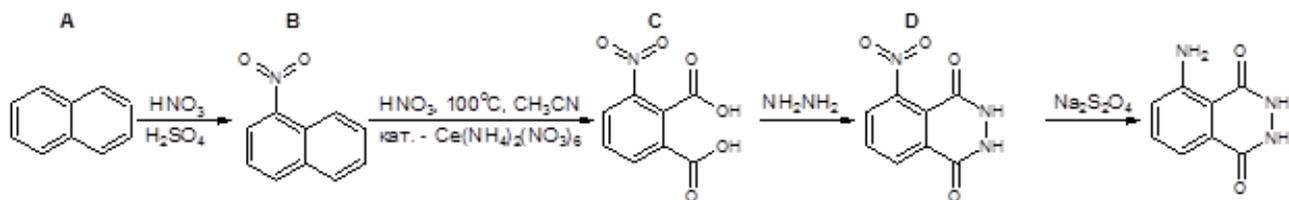
Получить люминол можно из нафталина, согласно следующей цепочке превращений.



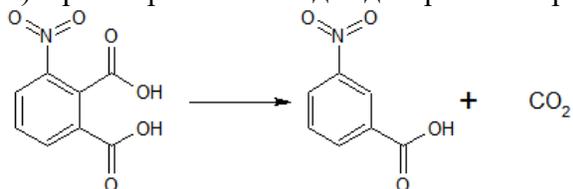
- Нарисуйте структурные формулы веществ А-Д, если известно, что при нагревании С выделяется CO₂ и получается производное бензойной кислоты.
- Напишите, что происходит при нагревании С.
- Напишите уравнения всех реакций.
- Напишите уравнение реакции окисления люминола пероксидом водорода в щелочной среде.

Решение:

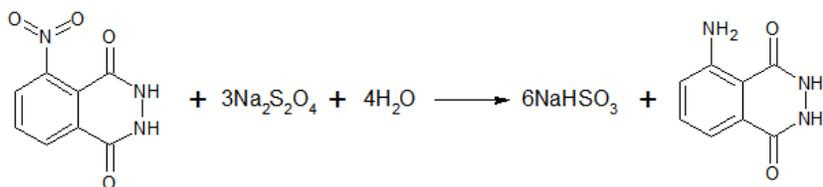
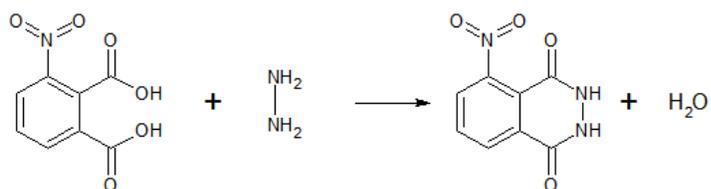
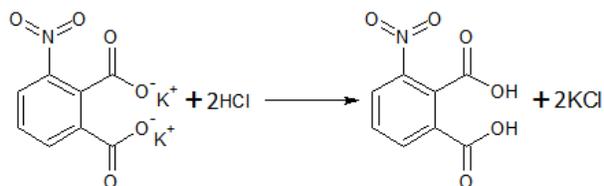
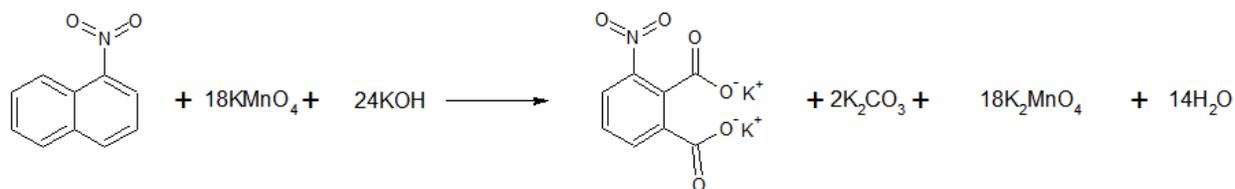
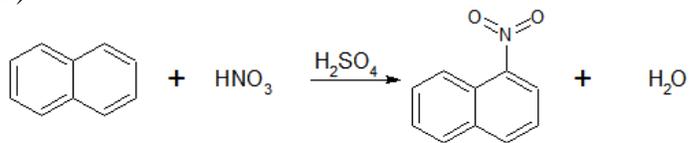
1)



2) При нагревании С идет декарбоксилирование.



3)



Критерии оценки:

- Нарисованы структурные формулы А-Д по 1 баллу за формулу - 4 балла
- Написано уравнение реакции декарбоксилирования С - 2 балла

- Написаны уравнения реакций 2 балла за уравнение (неправильные коэффициенты - 1 балл за уравнение) - 10 баллов
- Написано уравнение окисления люминола - 2 балла

Всего 18 баллов

Задача 3.3.4. Катализатор

Условие:

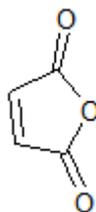
В промышленности малеиновый ангидрид ($C_4H_2O_3$) получают окислением бутана кислородом из воздуха на катализаторе А, который является сложной смесью оксидов. Катализатор А представляет собой кристаллический порошок желтого цвета с массовым содержанием кислорода 46,75% и металла Х 33,12%.

Для синтеза А берут бледно-оранжевый оксид переходного металла Х в степени окисления +5 и кипятят его в изобутаноле с концентрированной фосфорной кислотой (соотношение фосфора к металлу Х 1:1). После кипячения получается голубой кристаллический осадок вещества В (массовая доля О – 51,16%, Х – 29,65%, Н – 1,16%), который после отжига в токе воздуха при 550 С превращается в вещество А.

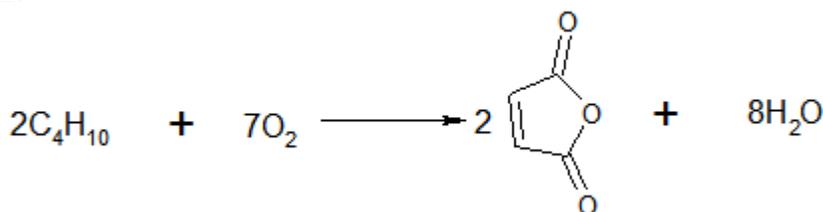
- Нарисуйте структуру малеинового ангидрида.
- Напишите реакцию окисления бутана в малеиновый ангидрид.
- Определите вещества А-В и металл Х и подтвердите расчетами.
- Напишите реакцию получения вещества В. Какую роль выполняет изобутанол?

Решение:

1.



2.



3. Предполагаем, что в вещество В еще входит только фосфор, отсюда массовая доля фосфора: 18,03%.

В 100 г вещества содержится 18,03 г/31 г/моль=0,5816 моль фосфора.

Предположим, что вся фосфорная кислота реагирует с оксидом, тогда в 100 г вещества 0,5816 моль Х. Отсюда молярная масса Х: 29,65 г / 0,5816 моль=51г/моль - это ванадий.

Количество кислорода в 100 г В: 51,16 г /16 г/моль = 3,20 моль, а водорода: 1,16 моль. Тогда V:P:H:O=1:1:2:5,5, элементарная формула $V_2P_2H_4O_{11}$, это $(VO)_2H_4P_2O_9$ или $2VO_2 \cdot P_2O_5 \cdot 2H_2O$.

После отжига при 550 С улетает вода и вещество А - $(VO)_2P_2O_7$ или $2VO_2 \cdot P_2O_5$, что можно рассчитать по массовым долям:

V:P:O=33,18/51:(100-33,12-46,75)/31:46,75/16=1:1:4,5=2:2:9.

4. Как видно из уравнения, изобутанол играет роль восстановителя.

Критерии оценки:

- Нарисована структура малеинового ангидрида - 1 балл
- Написана реакция окисления бутана - 2 балла
- Установлено соотношение V:P:H:O в B - 1 балл
- Написана формула B - 1 балл
- Установлено соотношение V:P:O в A - 1 балл
- Написана формула A - 1 балл
- Написано уравнение реакции получения A - 2 балла
- Указано, что изобутанол - восстановитель - 2 балла

Всего 11 баллов

3.2.5 Общие баллы за этап

$12+7+18+11 = 48$ баллов

После подсчета баллов, итоговая оценка нормировалась так, чтобы в сумме все задачи этапа давали 100 баллов. Эта оценка и выставлялась участникам. В данном случае, все полученные участником за каждую задачу баллы умножались на коэффициент $A = 2,083$

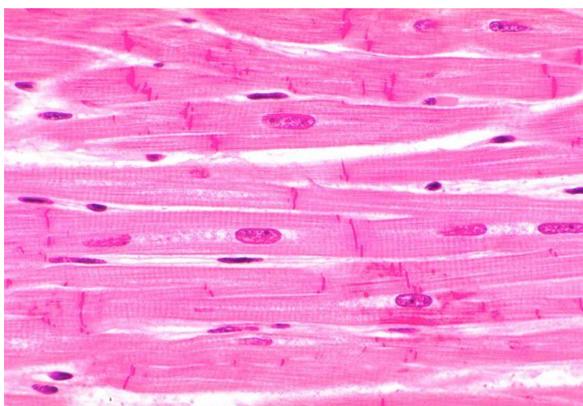
3.4 Задачи по биологии (9 класс)

Задача 3.4.1 (22 балла)

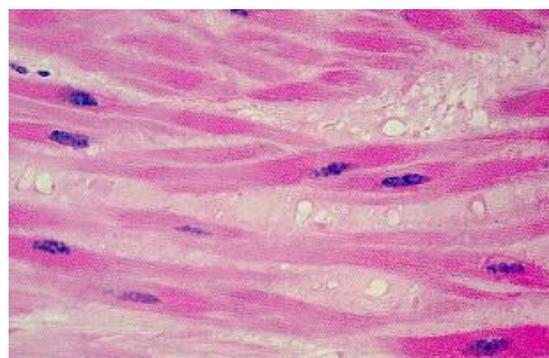
Условие:

Были взяты гистологические образцы из языка, стенки сердца, стенки бронхов, стенки желудка, грудной мышцы птицы, верхней части пищевода, икроножной мышцы.

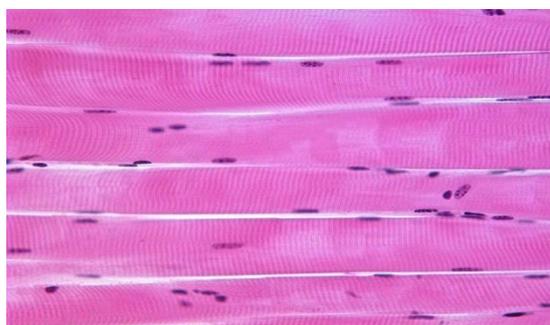
- На рисунках представлены три окрашенных специальным образом препарата. Напишите для каждого, откуда из перечисленных выше образцов он мог быть взят.
- Сопоставьте картинки препаратов, полученных с помощью светового микроскопа, с микрофотографиями электронной микроскопии.
- В чем отличия этих типов мышечной ткани на клеточном уровне?



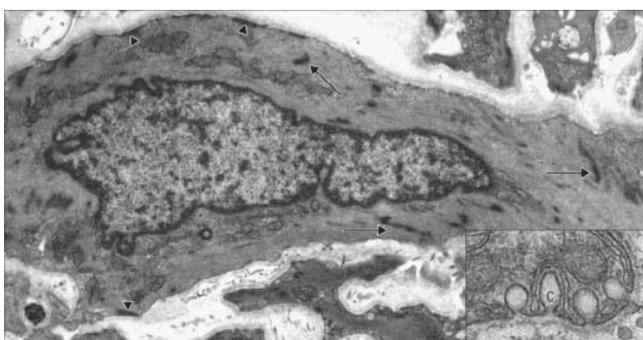
1



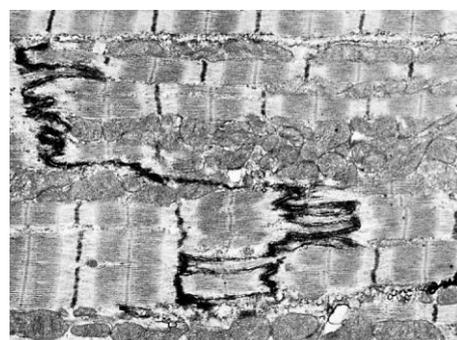
2



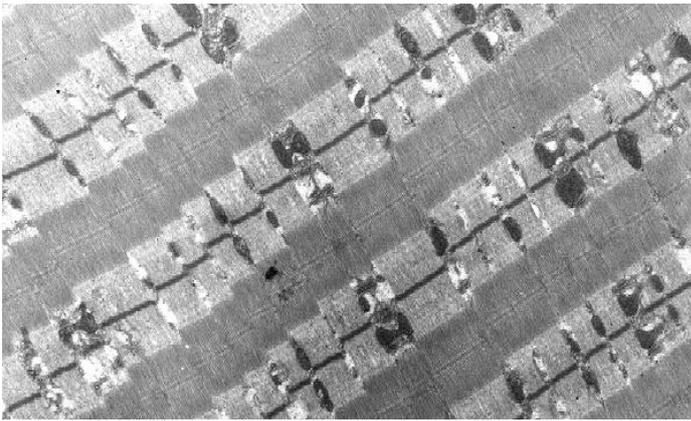
3



А



Б



В

Решение:

3.4.1.1

- 1 — сердечная мускулатура. Из стенки сердца. **(1 балл)**
- 2 — гладкая мускулатура. Из стенки бронхов, стенки желудка, (верхней части пищевода) **(по 1 баллу за правильный ответ, но не более 2 баллов)**
- 3 — поперечно-полосатая мышечная ткань. Из языка, грудной мышцы птицы, верхней части пищевода, икроножной мышцы **(по 1 баллу за правильный ответ, но не более 4 баллов).**

Итого — 7 баллов

3.4.1.2

1 Б, 2 А, 3 В.

Итого — 3 балла

3.4.1.3

Отличия на клеточном уровне **(по 1 баллу за каждое отличие/особенность, но не более 4 баллов за тип ткани):**

Поперечнополосатая мышечная ткань состоит из мышечных волокон, каждое из которых содержит множество ядер, располагающихся на периферии. Мышечное волокно формируется путем слияния нескольких клеток. Центральную часть клетки занимают толстые и тонкие миофиламенты, упорядоченные и образующие саркомеры. В клетке развит саркоплазматический ретикулум, его отростки обхватывают миофибриллы. В ретикулуме накапливаются ионы кальция, их выход в цитоплазму запускает мышечное сокращение. Для передачи сигнала вглубь мышечного волокна его мембрана образует глубокие впячивания.

Волокна сердечной мускулатуры представляют из себя отдельные клетки - кардиомиоциты которые соприкасаются друг с другом, образуя сеть. Одно-два ядра располагаются в центре клетки. Периферическую часть цитоплазмы кардиомиоцитов занимают поперечноисчерченные миофибриллы, аналогичные таковым в симпластах скелетномышечного волокна. В клетках много митохондрий. В месте контакта кардиомиоцитов формируются так называемые вставочные диски, обеспечивающие передачу возбуждения между клетками для согласованной работы всей сердечной мышцы.

Гладкомышечные клетки имеют одно ядро в центре, актиновые и миозиновые филаменты не упорядочены в единый пучок, а располагаются в клетке диффузной сетью. На мембране встречаются впячивания, где сосредоточены рецепторы и ионные каналы, обеспечивающие передачу сигнала сокращения миоцита.

Итого — 12 баллов

Задача 3.4.2 (24 балла)

Условие:

Остеоциты — самые распространенные клетки в костной ткани. Это живые клетки, которые, на первый взгляд, ничего не делают: не строят костную ткань, не разрушают ее. Однако если их искусственно удалить, то кость начинает истончаться и не выдерживает умеренные (физиологические) нагрузки.

- С чем связана такая потеря прочности?
- Перечислите процессы, которые постоянно идут в остеоцитах.

Решение:

3.4.2.1

Остеоциты выполняют регуляторные функции: они следят за нагрузками на кость и выделяют сигнальные молекулы, которые воспринимаются остеобластами и остеокластами, что позволяет кости адаптироваться.

Итого — 9 баллов

3.4.2.2

В остеоцитах постоянно идут процессы (**по 3 балла за процесс, но суммарно не более 15 баллов**):

- Поглощение и окисление питательных веществ, синтез АТФ.
- Поддержание внутренней среды и мембранного потенциала (работа насосов)
- в ответ на нагрузки - синтез сигнальных молекул: осуществляется комплексами ферментов
- транскрипция мРНК, трансляция - для замены “старых” и сломанных белков на свежие
- репарация ДНК

Итого — 15 баллов

Задача 3.4.3 (24 балла)

Условие:

В клинической диагностике неврологических нарушений широко используется следующий тест. Врач просит пациента сесть на кушетку и свесить ноги, после чего ударяет молоточком по бедру чуть выше коленной чашечки. От удара голень здорового человека на короткое время приподнимается.

- Какую реакцию использует этот тест?
 - Прямую активацию мышцы ударом
 - Коленный рефлекс
 - Прямую активацию мотонейрона ударом
 - Оборонительную реакцию пациента
- По какой части ноги должен попасть врач, чтобы наблюдалась реакция?
 - Сухожилие четырёхглавой мышцы бедра
 - Надколенник
 - Прямая мышца бедра
 - Не имеет значения: важна сила удара, а не место
- Нога разгибается в колене в результате начального раздражения:
 - болевых рецепторов;

- аксона мотонейрона;
- мышечных веретён;
- сократительных мышечных волокон.
- Этот сигнал поступает по афферентам непосредственно в:
 - спинной мозг;
 - головной мозг;
 - четырёхглавую мышцу бедра;
 - гипоталамус.
- Стимул в ЦНС передаётся на:
 - пирамидальные нейроны;
 - хондроциты;
 - мотонейроны;
 - олигодендроциты.
- У пациента после удара молоточка не наблюдается разгибание ноги в коленном суставе. С чем это может быть связано?
- А у другого пациента с повреждением позвоночника и развившимся параличом нижних конечностей такая реакция, напротив, усилена. Чем это можно объяснить?

Решение:

- **в (2 балла)**
- **а (2 балла)**
- **с (2 балла)**
- **а (2 балла)**
- **с (2 балла)**
- Нарушение проведения по бедренному нерву, поражение спинного мозга (**по 3 балла за причину, но не более 6 баллов**)
- Коленный рефлекс реализуется на уровне спинного мозга, поэтому повреждение позвоночника ослабляет или устраняет нисходящие влияния от головного мозга, поэтому рефлекс усиливается. (**8 баллов**)

Задача 3.4.4 (30 баллов)

Условие:

Метод позитронно-эмиссионной томографии (ПЭТ) активно используется для изучения физиологической активности головного мозга. ПЭТ основана на использовании радиоактивных изотопов, претерпевающих позитронный бета-распад. Позитроны сталкиваются с электронами из тканей человека, аннигилируют и превращаются в гамма-кванты, которые можно зарегистрировать с помощью системы детекторов. Это позволяет локализовать источник излучения внутри мозга человека.

На рисунках 1А–1С показаны результаты ПЭТ головного мозга. Пациенту предварительно была введена вода, содержащая радиоактивный изотоп ^{15}O . Цветом показана интенсивность гамма-излучения, исходящего из данной области.

- Чем объясняется различная интенсивность излучения изотопа ^{15}O в разных областях головного мозга?

ПЭТ часто используется в диагностике онкологических заболеваний. При этом перед проведением исследования пациентам вводят аналог глюкозы — 2-фтордезоксиглюкозу, которая содержит изотоп ^{18}F , подвергающийся позитронному бета-распаду.

- Чем объясняется выбор 2-фтордезоксиглюкозы в онкологических исследованиях?

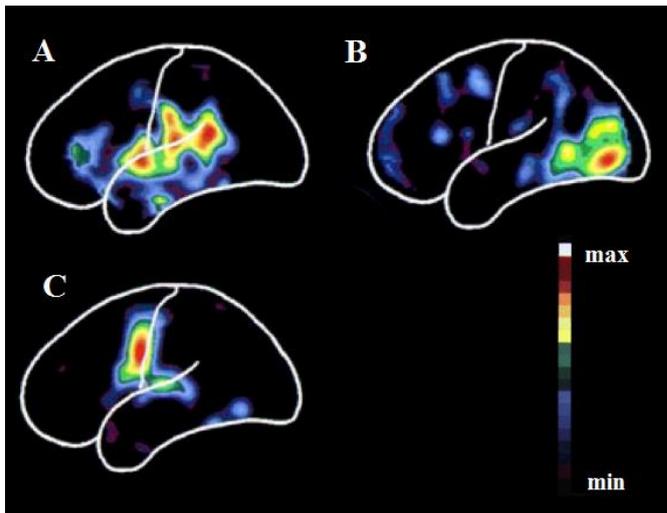


Рис. 1А–1С

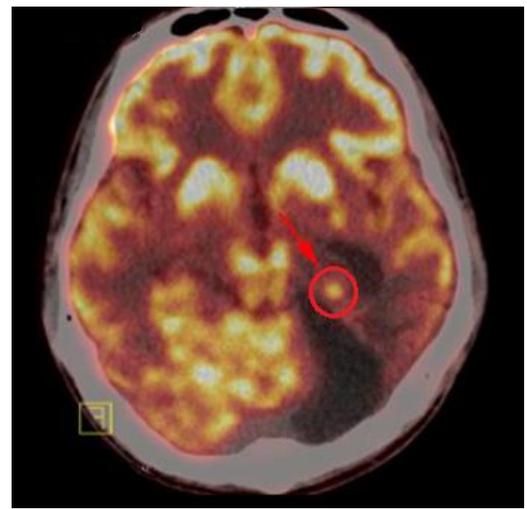
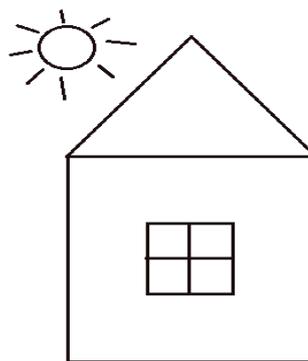


Рис. 2

- Известно, что пациенту был предложен ряд заданий:
 - прочитать текст (не вслух);
 - прослушать аудиозапись речи;
 - произнести речь.

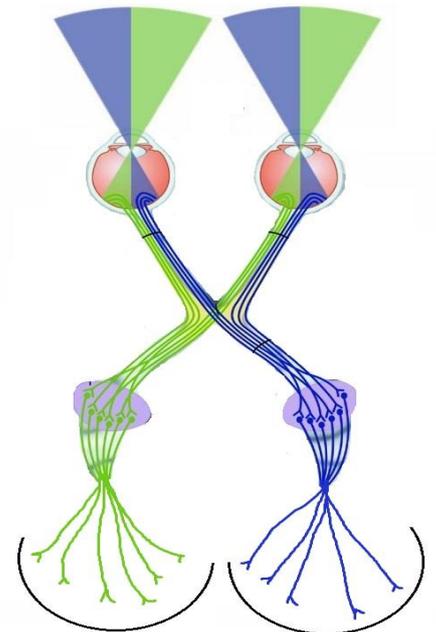
Сопоставьте эти задания с результатами ПЭТ (А-С). Ответ объясните.

На рисунке 2 показаны результаты ПЭТ головного мозга пациента, имеющего опухоль в затылочной доле коры правого полушария (отмечено стрелкой; примыкающая затемненная область является следствием проведенной хирургической операции). Пациенту предложили перерисовать картинку домика с солнцем (левый рисунок).



Предполагая, что опухоль значительно нарушает функционирование правой затылочной доли, изобразите рисунок пациента:

- Сделанный при свободном рассматривании картинки двумя глазами.
- Сделанный по памяти после однократного предъявления картинки с фиксацией взгляда двумя глазами в центре картинки.
- Сделанный по памяти после однократного предъявлении картинки с фиксацией взгляда левым глазом в центре картинки.



Для ответа на вопрос можно использовать приведённую схему устройства зрительного анализатора (правый рисунок).

Решение:

3.4.4.1

- Различная интенсивность излучения в разных областях головного мозга

объясняется различной функциональной активностью этих областей при проведении ПЭТ: чем активнее работает данная область мозга, тем ярче светится **(2 балла)**

- Использование радиоактивно меченой воды позволяет выявить изменение интенсивности потока крови в данной области мозга. Чем активнее работает данная область мозга, тем сильнее приток крови в нее, и тем более интенсивное излучение регистрируется **(2 балла)**

Итого — 4 балла

3.4.4.2

Опухолевые клетки активно поглощают глюкозу, и ее аналог, 2-фтордезоксиглюкозу. Это связано с повышенной метаболической активностью опухолевых клеток. При этом, 2-фтордезоксиглюкоза не может далее метаболизироваться, поскольку содержит вместо кислорода во втором положении атом фтора. Таким образом, 2-фтордезоксиглюкоза накапливается в опухолевых клетках. **(2 балла)**

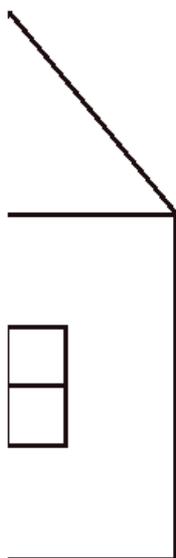
Итого — 2 балла

3.4.4.3

(2 балла за правильное сопоставление, 3 балла за правильное объяснение)

- прослушивание аудиозаписи речи **(2 балла)**: видна активность в области центров слуха (височная доля). **(3 балла)** Опционально (за отсутствие баллы не снимаются): видна активность в зоне Вернике.
- чтение текста **(2 балла)**: видна активность в затылочной области коры – зрительный центр **(3 балла)**.
- произнесение речи **(2 балла)**: видна активность в прецентральной извилине – главный центр произвольных движений. **(3 балла)** Опционально (за отсутствие баллы не снимаются): видна активность в зоне Брока.

Итого — 15 баллов



3.4.4.4

(3 балла за каждый случай или суммарно не более 9 баллов)

А) Пациент воспроизведёт рисунок полностью, поскольку из-за саккадических (скачкообразных) движений глаз в правую половину поля зрения, которая сохранена, при рассматривании картинке попадут все детали, и человек сможет воспроизвести картинку полностью.

В, С) Пациент сможет воспроизвести только правую половинку картинке, поскольку информация от левых зрительных полей каждого глаза не будет обрабатываться в зрительной коре правого полушария. При этом из-за фиксации взгляда в правой половине зрительного поля окажется только правая половинка картинке.

Итого — 9 баллов

Обратите внимание, что для ответа на этот вопрос участникам необходимо только нарисовать картинку. Вместо левой половины рисунка может быть темное поле – это тоже засчитывается. Важно, что пациент не видит изображение солнца на картинке.

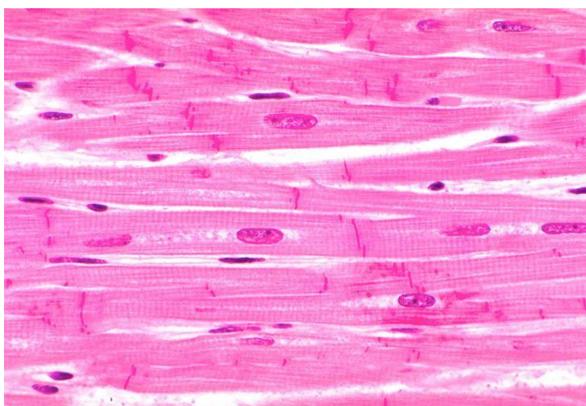
3.5 Задачи по биологии (10 - 11 класс)

Задача 3.5.1 (22 балла)

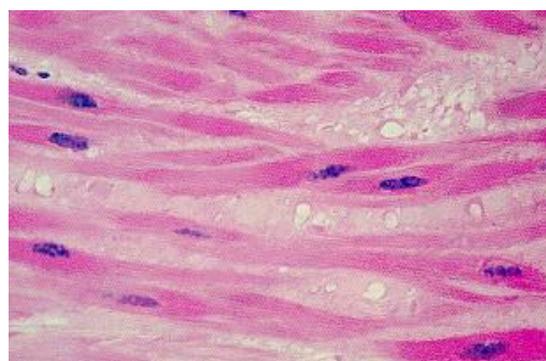
Условие:

Были взяты гистологические образцы из языка, стенки сердца, стенки бронхов, стенки желудка, грудной мышцы птицы, верхней части пищевода, икроножной мышцы.

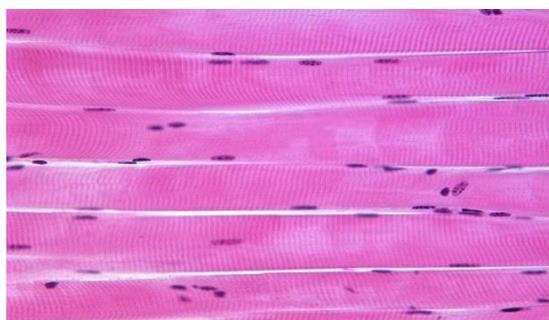
- На рисунках представлены три окрашенных специальным образом препарата. Напишите для каждого, откуда из перечисленных выше образцов он мог быть взят.
- Сопоставьте картинки препаратов, полученных с помощью светового микроскопа, с микрофотографиями электронной микроскопии.
- В чем отличия этих типов мышечной ткани на клеточном уровне?



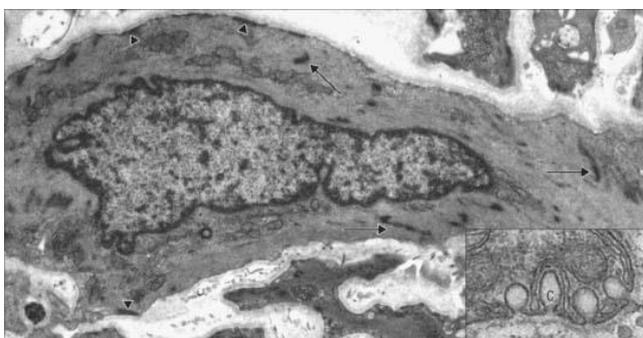
1



2



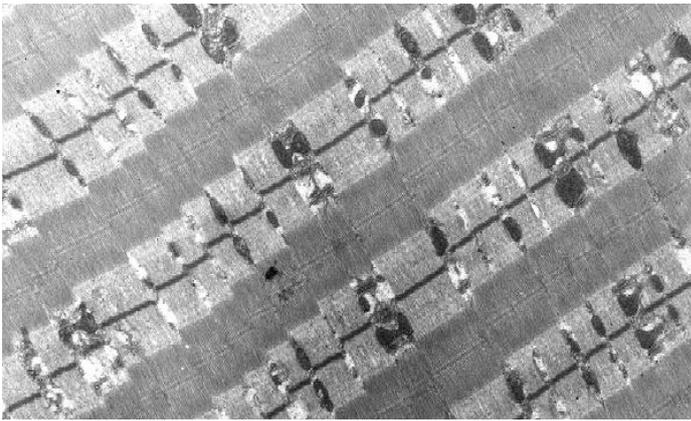
3



А



Б



В

Решение:

3.5.1.1

- сердечная мускулатура. Из стенки сердца. **(1 балл)**
- гладкая мускулатура. Из стенки бронхов, стенки желудка, **(верхней части пищевода) (по 1 баллу за правильный ответ, но не более 2 баллов)**
- поперечнополосатая мышечная ткань. Из языка, грудной мышцы птицы, верхней части пищевода, икроножной мышцы **(по 1 баллу за правильный ответ, но не более 4 баллов).**

Итого — 7 баллов

3.5.1.2

1 Б, 2 А, 3 В.

Итого — 3 балла

3.5.1.3

Отличия на клеточном уровне **(по 1 баллу за каждое отличие/особенность, но не более 4 баллов за тип ткани):**

Поперечнополосатая мышечная ткань состоит из мышечных волокон, каждое из которых содержит множество ядер, располагающихся на периферии. Мышечное волокно формируется путем слияния нескольких клеток. Центральную часть клетки занимают толстые и тонкие миофиламенты, упорядоченные и образующие саркомеры. В клетке развит саркоплазматический ретикулум, его отростки обхватывают миофибриллы. В ретикулуме накапливаются ионы кальция, их выход в цитоплазму запускает мышечное сокращение. Для передачи сигнала вглубь мышечного волокна его мембрана образует глубокие впячивания.

Волокна сердечной мускулатуры представляют из себя отдельные клетки - кардиомиоциты которые соприкасаются друг с другом, образуя сеть. Одно-два ядра располагаются в центре клетки. Периферическую часть цитоплазмы кардиомиоцитов занимают поперечноисчерченные миофибриллы, аналогичные таковым в симпластах скелетномышечного волокна. В клетках много митохондрий. В месте контакта кардиомиоцитов формируются так называемые вставочные диски, обеспечивающие передачу возбуждения между клетками для согласованной работы всей сердечной мышцы.

Гладкомышечные клетки имеют одно ядро в центре, актиновые и миозиновые филаменты не упорядочены в единый пучок, а располагаются в клетке диффузной сетью. На мембране встречаются впячивания, где сосредоточены рецепторы и ионные каналы, обеспечивающие передачу сигнала сокращения миоцита.

Итого — 12 баллов

Задача 3.5.2 (24 балла)

Условие:

Остеоциты — самые распространенные клетки в костной ткани. Это живые клетки, которые, на первый взгляд, ничего не делают: не строят костную ткань, не разрушают ее. Однако если их искусственно удалить, то кость начинает истончаться и не выдерживает умеренные (физиологические) нагрузки.

- С чем связана такая потеря прочности?
- Перечислите процессы, которые постоянно идут в остеоцитах.

Решение:

3.5.2.1

Остеоциты выполняют регуляторные функции: они следят за нагрузками на кость и выделяют сигнальные молекулы, которые воспринимаются остеобластами и остеокластами, что позволяет кости адаптироваться.

Итого — 9 баллов

3.5.2.2

В остеоцитах постоянно идут процессы (**по 3 балла за процесс, но суммарно не более 15 баллов**):

- Поглощение и окисление питательных веществ, синтез АТФ.
- Поддержание внутренней среды и мембранного потенциала (работа насосов)
- в ответ на нагрузки - синтез сигнальных молекул: осуществляется комплексами ферментов
- транскрипция мРНК, трансляция - для замены “старых” и сломанных белков на свежие
- репарация ДНК

Итого — 15 баллов

Задача 3.5.3 (24 балла)

Для исследования работы мышц можно использовать метод электрической стимуляции. Над исследуемой мышцей располагают стимулирующие электроды, к которым прикладывается небольшое напряжение. Оно воздействует на мышцу и она сокращается. Активность мышцы можно регистрировать с помощью электромиографии.

В эксперименте были получены три электромиограммы трёхглавой мышцы голени при трёх значениях стимулирующего напряжения (рис. 1–3).

- Чему соответствует первый пик на каждой ЭМГ?
- Чем обусловлен самый последний пик на каждой ЭМГ?
- Чему соответствует средний пик на второй и третьей ЭМГ?
- В каком месте на мышце необходимо расположить стимулирующий электрод, чтобы ответ мышцы был наибольшим?



Рис. 1



Рис. 2

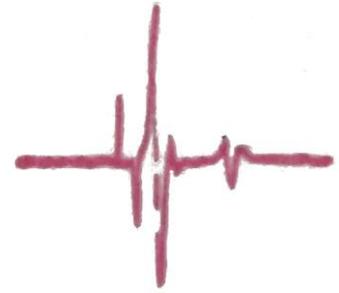


Рис. 3

Решение:

- Стимулирующему импульсу (**не более 6 баллов — по 2 балла за каждую ЭМГ или 6 баллов за одинаковый ответ**)
- Стимуляцией афферентов от мышечных веретён (**не более 6 баллов — по 2 балла за каждую ЭМГ или 6 баллов за одинаковый ответ**)
- Прямой стимуляцией мотонейрона (**не более 6 баллов — по 3 балла за каждую ЭМГ или 6 баллов за одинаковый ответ**)
- Над нервно-мышечным синапсом — местом соединения аксона мотонейрона и мышечных волокон (**6 баллов**)

Задача 3.5.4 (30 баллов)

Метод позитронно-эмиссионной томографии (ПЭТ) активно используется для изучения физиологической активности головного мозга. ПЭТ основана на использовании радиоактивных изотопов, претерпевающих позитронный бета-распад. Позитроны сталкиваются с электронами из тканей человека, аннигилируют и превращаются в гамма-кванты, которые можно зарегистрировать с помощью системы детекторов. Это позволяет локализовать источник излучения внутри мозга человека.

На рисунках 1А–1С показаны результаты ПЭТ головного мозга. Пациенту предварительно была введена вода, содержащая радиоактивный изотоп ^{15}O . Цветом показана интенсивность гамма-излучения, исходящего из данной области.

- Чем объясняется различная интенсивность излучения изотопа ^{15}O в разных областях головного мозга?
ПЭТ часто используется в диагностике онкологических заболеваний. При этом перед проведением исследования пациентам вводят аналог глюкозы — 2-фтордезоксиглюкозу, которая содержит изотоп ^{18}F , подвергающийся позитронному бета-распаду.
- Чем объясняется выбор 2-фтордезоксиглюкозы в онкологических исследованиях?

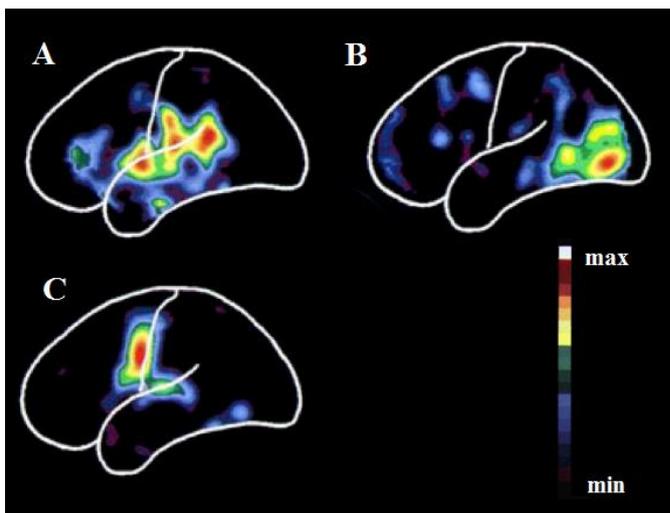


Рис. 1А–1С

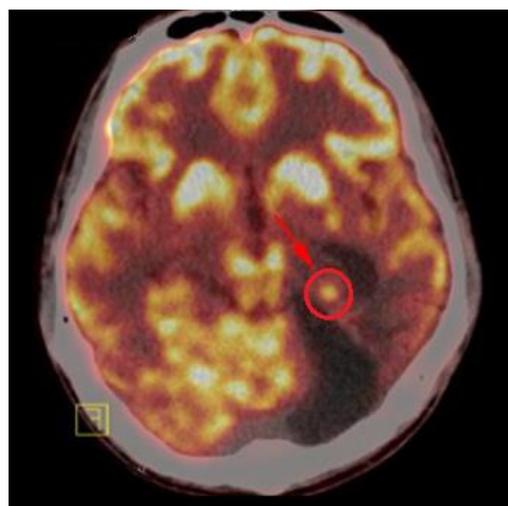


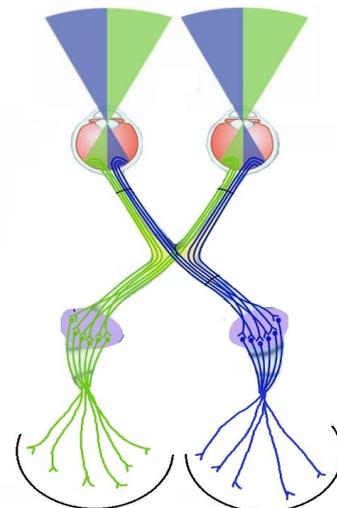
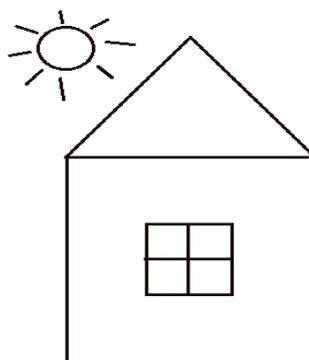
Рис. 2

- Известно, что пациенту был предложен ряд заданий:
 - прочитать текст (не вслух);
 - прослушать аудиозапись речи;
 - произнести речь.

Сопоставьте эти задания с результатами ПЭТ (А-С). Ответ объясните.

На рисунке 2 показаны результаты ПЭТ головного мозга пациента, имеющего опухоль в затылочной доле коры правого полушария (отмечено стрелкой; примыкающая затемненная область является следствием проведенной хирургической операции). Пациенту предложили перерисовать картинку домика с солнцем (левый рисунок).

Предполагая, что опухоль значительно нарушает функционирование правой затылочной доли, изобразите рисунок пациента:



- Сделанный при свободном рассматривании картинки двумя глазами.
- Сделанный по памяти после однократного предъявления картинки с фиксацией взгляда двумя глазами в центре картинки.
- Сделанный по памяти после однократного предъявления картинки с фиксацией взгляда левым глазом в центре картинки.
- Для ответа на вопрос можно использовать приведённую схему устройства зрительного анализатора (правый рисунок).

Решение:

3.5.4.1

- Различная интенсивность излучения в разных областях головного мозга объясняется различной функциональной активностью этих областей при проведении ПЭТ: чем активнее работает данная область мозга, тем ярче светится (2 балла).

- Использование радиоактивно меченой воды позволяет выявить изменение интенсивности потока крови в данной области мозга. Чем активнее работает данная область мозга, тем сильнее приток крови в нее, и тем более интенсивное излучение регистрируется (**2 балла**).

Итого — 4 балла

3.5.4.2

Опухолевые клетки активно поглощают глюкозу, и ее аналог, 2-фтордезоксиглюкозу. Это связано с повышенной метаболической активностью опухолевых клеток. При этом, 2-фтордезоксиглюкоза не может далее метаболизироваться, поскольку содержит вместо кислорода во втором положении атом фтора. Таким образом, 2-фтордезоксиглюкоза накапливается в опухолевых клетках. (**2 балла**)

Итого — 2 балла

3.5.4.3

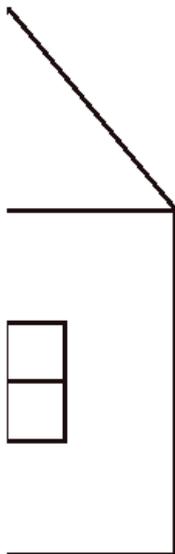
2 балла за правильное сопоставление, 3 балла за правильное объяснение

- А – прослушивание аудиозаписи речи (**2 балла**): видна активность в области центров слуха (височная доля). (**3 балла**) Опционально (за отсутствие баллы не снимаются): видна активность в зоне Вернике.
- В – чтение текста (**2 балла**): видна активность в затылочной области коры – зрительный центр (**3 балла**).
- С – произнесение речи (**2 балла**): видна активность в прецентральной извилине – главный центр произвольных движений. (**3 балла**) Опционально (за отсутствие баллы не снимаются): видна активность в зоне Брока.

Итого — 15 баллов

3.5.4.4

По 3 балла за каждый случай или суммарно не более 9 баллов



А) Пациент воспроизведёт рисунок полностью, поскольку из-за саккадических (скачкообразных) движений глаз в правую половину поля зрения, которая сохранена, при рассматривании картинке попадут все детали, и человек сможет воспроизвести картинку полностью.

В, С) Пациент сможет воспроизвести только правую половину картинке, поскольку информация от левых зрительных полей каждого глаза не будет обрабатываться в зрительной коре правого полушария. При этом из-за фиксации взгляда в правой половине зрительного поля окажется только правая половинка картинке.

Итого — 9 баллов

Обратите внимание, что для ответа на этот вопрос участникам необходимо только нарисовать картинку. Вместо левой половины рисунка в В и С может быть темное поле – это тоже засчитывается. Важно, что пациент не видит изображение солнца на картинке.