

Задача 11-1 (20 баллов)

В современных портативных гаджетах и портативной электронике наиболее широко распространены литий-ионные аккумуляторы. Они способны хранить большое количество энергии при небольших размерах, выдерживают большое количество циклов зарядки и разрядки, эффективно функционируют при умеренно низких и высоких температурах. Но при этом относительно дороги в производстве. Чтобы сделать производство аккумуляторов дешевле, предпринимаются попытки замены лития в аккумуляторах на более дешевый натрий. В литий-ионных и натрий-ионных аккумуляторах переносчиком заряда является ион щелочного металла. В процессе отдачи энергии от аккумулятора (его разрядки) ионы щелочного металла движутся от анода через электролит и встраиваются в кристаллическую структуру материала катода. Для производства катодов в натрий-ионных материалах используют производные известного в химии вещества – турнбулевой сини, представляющей собой цианидный комплекс железа. При разрядке аккумулятора происходит частичное или полное восстановление материала катода.

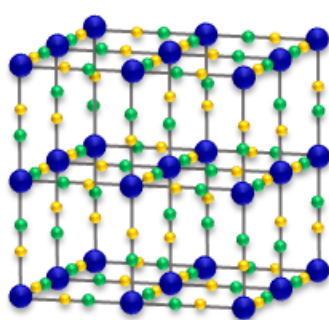
1. Выберите верное утверждение: (1 балл)

- А) Радиус атома лития и натрия практически не различается;
- Б) Радиус иона натрия меньше, чем радиус иона лития;
- В) Радиус иона лития значительно больше радиуса иона натрия;
- Г) Радиус иона лития значительно меньше радиуса иона натрия.

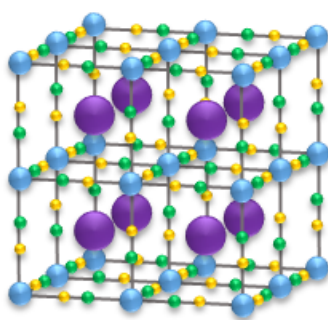
2. Выберите верную химическую формулу гексацианоферрата(II) железа(II): (1 балл)

- А) $\text{Fe}_2[\text{Fe}(\text{CN})_6]_2$;
- Б) $\text{Fe}[\text{Fe}(\text{CN})_6]$;
- В) $\text{Fe}_2[\text{Fe}(\text{CN})_6]$;
- Г) $\text{Fe}[\text{Fe}(\text{CN})_6]_2$;
- Д) $\text{Fe}_2[\text{Fe}(\text{CN})_6]_3$;
- Е) $\text{Fe}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]_2$.

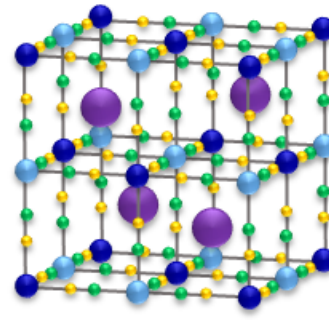
Структура материала катода в процессе функционирования аккумулятора изменяется. На рисунке изображены идеальные структуры материала катода на основе цианидных комплексов железа в полностью заряженном состоянии аккумулятора, в частично разряженном аккумуляторе и в полностью разряженном аккумуляторе.



а



б



в

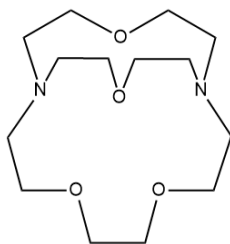
3. Для каждой из приведенных на рисунке структур укажите соответствующую химическую формулу. Укажите степень окисления железа для каждой

структуры. Укажите, какая структура характеризует материал катода аккумулятора в полностью заряженном состоянии, в частично разряженном аккумуляторе, в полностью разряженном аккумуляторе. (8 баллов)

4. Известно, что чем больше в структуре катодного материала дефектов, например, отсутствия ионов в предполагаемых позициях, тем хуже рабочие параметры аккумулятора. Для частично восстановленной структуры материала катода, представленной на одном из рисунков выше, рассчитайте количество дефектов (%) в позициях железа(II), если экспериментально определенная плотность такого дефектного материала составляет $1,789 \text{ г/см}^3$, параметр кристаллической решетки (кубическая элементарная ячейка) равен $10,2 \text{ \AA}$. Считайте, что дефекты существуют только в позициях железа(II), в расчетах при необходимости используйте следующие значения: $A_r(\text{Na}) = 22,99$, $A_r(\text{Fe}) = 55,85$, $A_r(\text{C}) = 12,01$, $A_r(\text{N}) = 14,01$. (10 баллов)

Задача 11-2 (20 баллов)

На рисунке ниже изображен 4,7,13,18-тетраокса-1,10-диазацикло[8,5,5]-эйкозан (далее [211]). При добавлении этого вещества в раствор $\text{KB}(\text{C}_6\text{H}_5)_4$ или $\text{CsB}(\text{C}_6\text{H}_5)_4$ в результате координационных взаимодействий образуется соединение типа «гость-хозяин».



1. Напишите уравнение протекающего процесса. В уравнениях лиганд обозначьте как $L_{[211]}$. (2 балла)
2. Изобразите структурные формулы веществ, образовавшихся при добавлении макроциклического лиганда [211] в раствор $\text{KB}(\text{C}_6\text{H}_5)_4$ или $\text{CsB}(\text{C}_6\text{H}_5)_4$. (2 балла)
3. Запишите выражение для константы образования комплексного иона (K_d) и степени диссоциации (α) этого комплекса для соли калия через равновесные концентрации свободного и комплексного катиона и лиганда. (2 балла)

Измерение электропроводности является одним из простых и эффективных способов исследования ионных равновесий. При этом прибор – кондуктометр – непосредственно устанавливает значение удельной электропроводности (κ), которая измеряется в мкСм/см и зависит от концентрации. Величиной независимой от концентрации является молярная электропроводность (Λ), которая связана с удельной следующим соотношением:

$$\kappa = \frac{\Lambda}{c} \quad (1)$$

В разбавленных растворах бинарных 1:1 электролитов молярная электропроводность является суммой ионных подвижностей (λ) катиона и аниона.

$$\Lambda = \lambda^+ + \lambda^- \quad (2)$$

Ионные подвижности некоторых катионов и анионов в ацетонитриле приведены в таблице 1. Ионная подвижность (λ) зависит от гидродинамического радиуса иона ($r_{\text{гидр.}}$), его заряда (z), вязкости растворителя (η) и может быть оценена из следующего выражения:

$$\lambda = \frac{|z|e_0F}{6\pi\eta r_{\text{гидр.}}} \quad (3)$$

Обратите внимание, что гидродинамический радиус отличается от кристаллографического (ввиду взаимодействия с молекулами растворителя) и характеризует способность иона проводить электрический ток.

Таблица 1.

ион	λ , См·см ² /моль	r , пм	$r_{\text{гидр.}}$, пм
K ⁺	83.7	133	280
Cs ⁺	87.3	167	268
B(C ₆ H ₅) ₄ ⁻	35.6	—	658

4. Рассчитайте молярную электропроводность солей KB(C₆H₅)₄ и CsB(C₆H₅)₄ в ацетонитриле. (2 балла)

При добавлении в раствор KBPh₄ (или CsBPh₄) макроциклического соединения, способного образовывать комплексные ионы изменяется электропроводность раствора. Молярная электропроводность такого раствора зависит от степени диссоциации соединения типа «гость-хозяин» на макроцикл и катион, и может считаться аддитивной величиной:

$$\Lambda = \alpha\Lambda_a + (1 - \alpha)\Lambda_b \quad (1)$$

где Λ_a – молярная электропроводность чистой соли в растворе (п.4), Λ_b – молярная электропроводность соли в растворе, в котором все катионы находятся в форме комплекса с макроциклическим лигандом. В таблице 2 приведены данные об измерении удельной электропроводности растворов KB(C₆H₅)₄ и CsB(C₆H₅)₄ с концентрацией растворенного вещества, равной $5.00 \cdot 10^{-4}$ моль/дм³, и концентрацией $L_{[211]}$ равной $8.00 \cdot 10^{-3}$ моль/дм³.

Таблица 2.

	$c(\text{KB}(\text{C}_6\text{H}_5)_4)$, моль/ дм ³	κ , мкСм/см	$c(\text{CsB}(\text{C}_6\text{H}_5)_4)$, моль/ дм ³	κ , мкСм/см
[221]	$5.00 \cdot 10^{-4}$	51.235	$5.00 \cdot 10^{-4}$	57.20

5. Рассчитайте константы устойчивости макроциклического лиганда [211] с ионами калия и цезия. Примите, что подвижность макроциклического иона определяет только размер макроцикла. Гидродинамический радиус макроцикла в составе комплексного иона примите равным 360 пм. (10 баллов)

6. Объясните закономерности в изменении констант устойчивости, рассчитанных в п.5, для разных ионов. (2 балла)

Справочные данные:

- элементарный заряд: $e_0 = 1.602 \times 10^{-19}$ Кл;
- постоянная Фарадея: $F = 96\,485$ Кл/моль;

3. $1 \text{ пм} = 10^{-12} \text{ м}$;

4. вязкость ацетонитрила: $\eta = 3.5 \times 10^{-4} \text{ Па}\cdot\text{с}$;

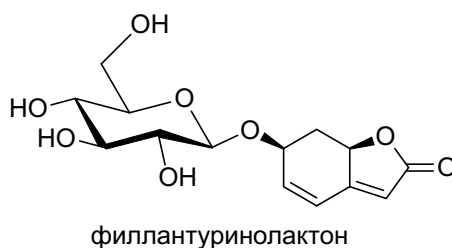
5. $\text{мкСм} = 10^{-6} \text{ См}$

Задача 11-3 (20 баллов)

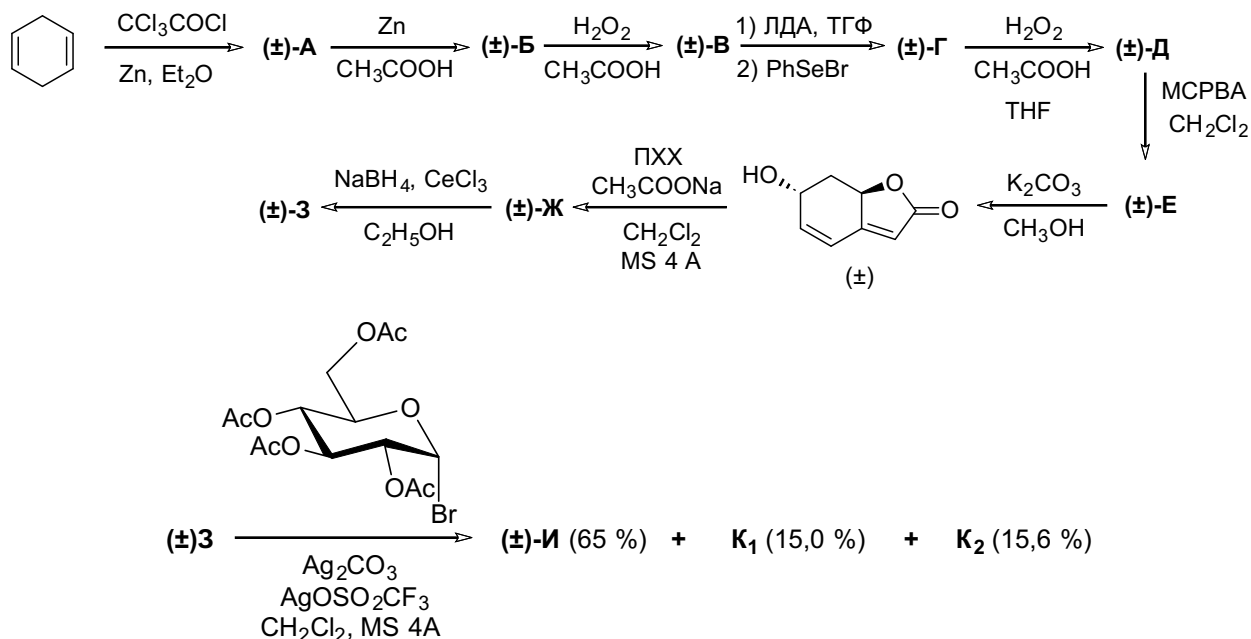
Фитогормоны – это низкомолекулярные органические соединения, синтезируемые растениями и выполняющие регуляторные функции в крайне низких концентрациях. Они контролируют ключевые этапы онтогенеза: от прорастания семян до старения, включая деление и растяжение клеток, органогенез, цветение и плодоношение.

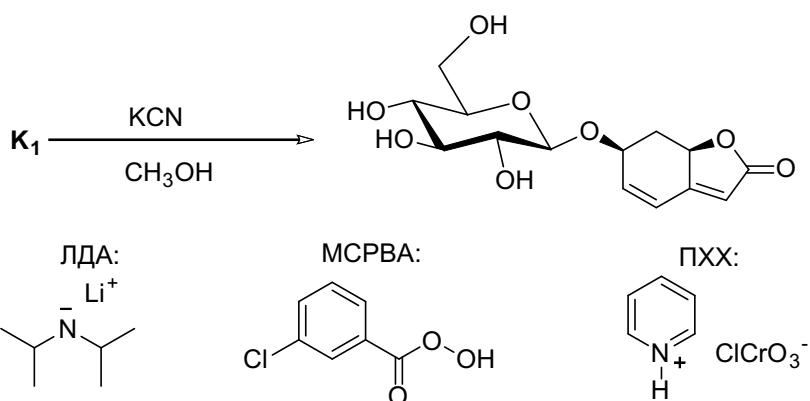
Классическая система фитогормонов включает пять основных групп: ауксины, гиббереллины, цитокинины, абсцизовую кислоту и этилен. В расширенную классификацию также входят brassinosteroids, strigolactones и другие регуляторы.

Помимо универсальных фитогормонов, у некоторых растений эволюционировали специализированные регуляторы локальных движений. Так, у *Phyllanthus urinaria* L. суточные движения листьев управляются парой антагонистических факторов: филлантуринолактоном (фактор закрывания) и филлурином (фактор открывания). Концентрация филлантуринолактона, лигнана с молекулярной формулой $\text{C}_{14}\text{H}_{18}\text{O}_8$, к вечеру возрастает в ~20 раз, что запускает складывание листьев. Этот процесс синхронизирован с циркадными ритмами и регулируется ферментативным превращением одного фактора в другой.



Ниже приведена схема синтеза филлантуринолактона:



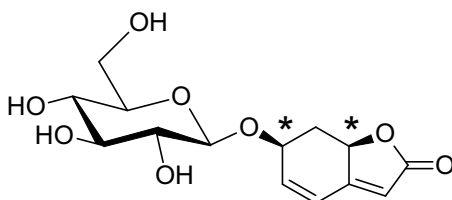


1. Учитывая, что соединения **A-I** получают в виде рацемических смесей, изобразите структурные формулы одного из энантиомеров для соединения **A-I**, а также структурные формулы соединений **K1** и **K2**. (13 баллов)

2. Фрагмент циклической формы какого углевода присутствует в структуре филлантуринолактона? (1 балл)

- а) гулоза; б) таллоза; в) рибоза; г) ксилоза;
д) фруктоза; е) галактоза; ж) манноза; з) глюкоза.

3. Определите абсолютную конфигурацию отмеченных звездочкой стереоцентров в молекуле филлантуринолактона. (4 балла)

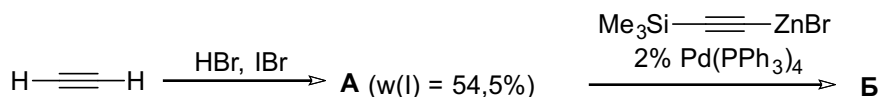


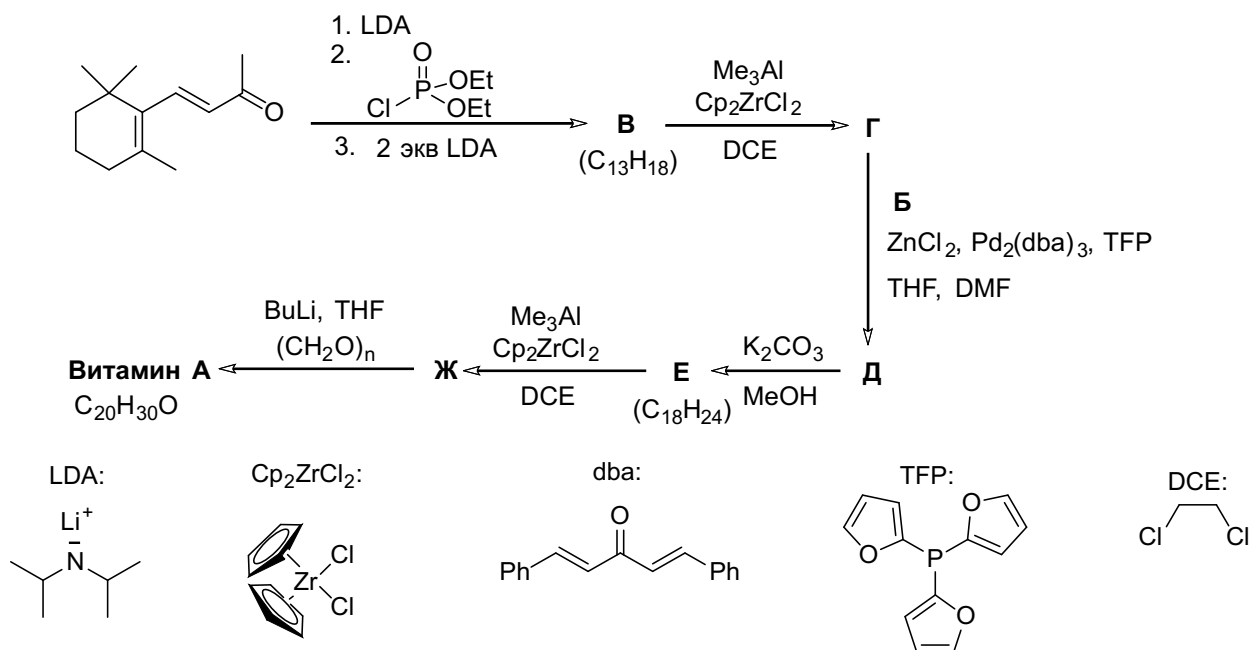
4. Изобразите резонансные структуры для промежуточного соединения, образующегося на первой стадии превращения соединения **B** в соединение **Г**. (2 балла).

Задача 11-4 (20 баллов)

Ретинол, более известный как витамин А, является незаменимым жирорастворимым элементом для нашего здоровья. Его главная задача – обеспечивать остроту зрения в сумерках, так как он входит в состав родопсина – пигмента, помогающего глазу адаптироваться к темноте. Кроме того, этот витамин укрепляет иммунитет, поддерживает целостность кожи и слизистых оболочек, создавая барьер для инфекций, а также ускоряет заживление тканей и участвует в росте костей, что особенно важно в детском возрасте.

Существует множество способов химического синтеза витамина А. Ниже представлена одна из схем синтеза данного витамина:

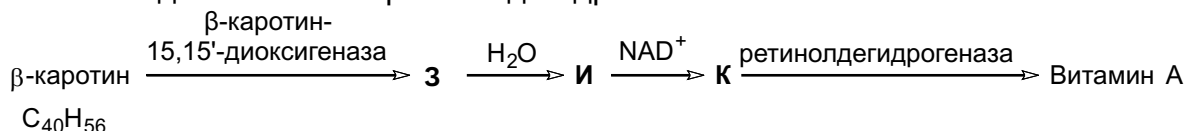




1. Расшифруйте цепочку превращений. Напишите структурные формулы соединений **А-Ж** и витамина **А**. (14 баллов)
2. Изобразите структурную формулу промежуточного соединения, которое образуется после взаимодействия β -иона с литийдиизопропиламидом и $\text{ClPO}(\text{OEt})_2$? (2 балла)

Получить витамин А можно из еды. В готовом виде (ретинол) он содержится в печени, яйцах и рыбьем жире, а также в виде предшественника (бета-каротин) – в моркови, тыкве и абрикосах.

В организме β -каротин расщепляется бета-каротин-15,15'-диоксигеназа (BCO-1), образуя эпоксид **3**. Затем эпоксид **3** реагирует водой с образованием диола **И**. Под действием NAD^+ соединение **И** окисляется до ретиналя **К**, который в последствии восстанавливается до витамина А ретинолдегидрогеназой.



3. Изобразите структурные формулы β -каротина и соединений **Н-Л**. (4 балла)

Задача 11-5 (20 баллов)

Исследование структуры кристаллов основывается на изучении дифракционной картины, возникающей в результате отражения рентгеновского излучения атомными плоскостями кристаллической решетки. Дифрактограмма содержит набор узких максимумов, соответствующих уравнению Брэгга-Вульфа:

$$\lambda = 2d \sin \theta,$$

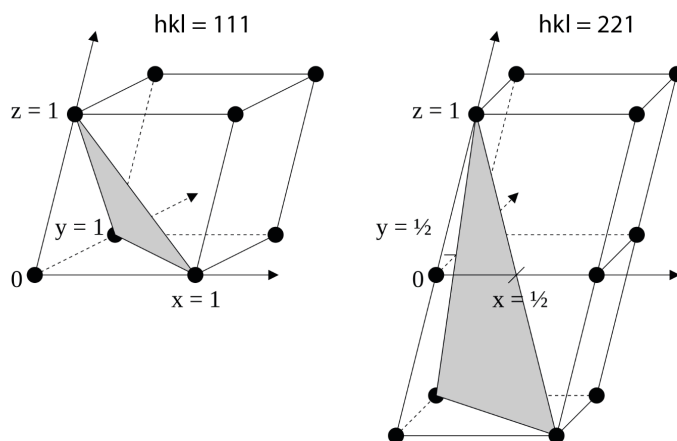
где λ – длина волны, d – расстояние между плоскостями, а θ – угол отражения.

В случае кубических решеток расстояние d для любой серии плоскостей можно задать тремя натуральными числами h, k, l (выражающие число, обратное части элементарной ячейки, отсекаемой плоскостью на осях x, y и z – соответственно, каждый набор параметров будет описывать конкретную плоскость) и параметром кубической решетки a в соответствии с выражением

$$\frac{1}{d_{hkl}^2} = \frac{N}{a^2},$$

где $N = h^2 + k^2 + l^2$.

Изобразить плоскости кристаллической решетки исходя из обозначений hkl можно следующим образом:



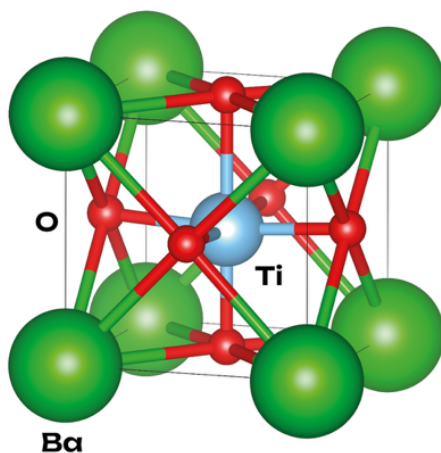
Здесь на рисунке слева плоскость отсекает на оси x , y и z отрезки, равные одной длине параметра элементарной ячейки. Соответственно, индексы h, k и l в данном случае равны $1/1 = 1$ для каждого направления. В рисунке справа плоскость отсекает в элементарной ячейке на осях x и y отрезки в $1/2$ от параметра элементарной ячейки, в то время как на оси z отсекается отрезок, равный одной длине параметра элементарной ячейки. Таким образом, индексы h, k и l равны $1 / 1/2 = 2$ для h и k и $1/1 = 1$ для l .

Установить соответствие между 2θ и параметром a , подобрав h, k, l , значит, *проиндексировать* дифрактограмму, как это сделано в таблице ($\lambda = 1,54060 \text{ \AA}$):

2θ	20,722	29,470	36,301	42,164	47,426	52,277	61,154
h, k, l	1,0,0	1,1,0	1,1,1	2,0,0	2,1,0	2,1,1	2,2,0

1. По представленной таблице определите параметр кубической ячейки a , $\text{\AA}$. (5 баллов)
2. Элементарная (кубическая) ячейка представителя одного из самых распространенных среди сложных оксидов типов структур изображена на рисунке. (3 балла)

Используя рисунок, приведите стехиометрическую формулу этого структурного типа ($\text{Ba}_a\text{Ti}_b\text{O}_c$, где a, b и c – наименьшие целые числа).



В 1926 г. норвежский геохимик Виктор Гольдшмидт предложил критерий, определяющий возможность образования сложного оксида этого типа $X_aY_bO_c$:

$$t = \frac{R_X + R_O}{\sqrt{2} \cdot (R_Y + R_O)},$$

где R_X , R_Y , R_O – радиусы соответствующих ионов.

Для устойчивости структуры необходимо, чтобы $t = 1,00 \pm 0,20$.

3. Выберите из следующего перечня пары катионов, которые могут образовывать подобные структуры (в скобках указан радиус иона, Å; $R_O = 1,40$ Å) (2 балла):

$Ba^{2+}(1,35)$ и $Ni^{2+}(0,73)$;

$La^{3+}(1,26)$ и $Mn^{3+}(0,65)$;

$Zn^{2+}(0,74)$ и $Ti^{4+}(0,61)$;

$Ag^{+}(1,13)$ и $Nb^{5+}(0,66)$.

Для многих пар катионов реализуются искаженные варианты подобной структуры (a , b , c – стороны, α , β , γ – углы элементарной ячейки):

Структура	Кубическая (исходная)	Тетрагональная	Гексагональная	Ромбическая	Моноклинная
Соотношения между a , b , c и α , β , γ	$a = b = c$; $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$	$a = b < c$; $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$	$a = b < 0,7c$; $\alpha = \beta = 90^\circ$ $\gamma = 120^\circ$	$a \neq b \neq c$; $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$	$a \neq b \neq c$; $\alpha = \beta = 90^\circ$ $\gamma > 90^\circ$

Рассмотрим соединение, содержащее Ba^{2+} и Ti^{4+} – $Ba_aTi_bO_c$.

4. Из перечисленных в таблице искаженных структур выберите те, которые будут получаться при растяжении кубической ячейки, вдоль следующих векторов (x , y и z) (2 балла):

а) $(1;0;0)$;

б) $(1;1;0)$;

в) $(1;1;1)$.

5. Рентгенофазовый анализ показал, что при закаливании $Ba_aTi_bO_c$ максимум, соответствующий индексам исходной кубической решетки h , k , l ($1, 0, 0$),

расщепился на две линии (один из которых соответствует исходному соединению, другой – новой модификации; остальные максимумы остались без изменений). Какая из модификаций, перечисленных в таблице, была получена при закаливании? (1 балл)

Ниже приведены значения 2θ , соответствующие максимумам дифрактограммы $K_2[NaAlF_6]$ ($\lambda = 1,54056 \text{ \AA}$):

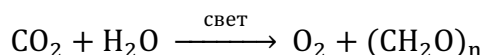
$2\theta, ^\circ$	$d, \text{ \AA}$	h	k	l	$2\theta, ^\circ$	$d, \text{ \AA}$	h	k	l
18,918					55,367				
21,879					59,040				
31,159					64,899				
38,353		2	2	2	68,253				
44,599					69,352				
48,817					73,720				
50,166					77,961				

6. Проиндицируйте рентгенограмму и подсчитайте параметр кубической ячейки. Определите тип решетки $K_2[NaAlF_6]$, если у примитивной решетки присутствуют все возможные максимумы; у объемноцентрированной кубической решетки (ОЦК) будут присутствовать максимумы с $h + k + l = 2p$; у гранецентрированной кубической (ГЦК) – с $h + k = 2n$, $k + l = 2m$, $h + l = 2t$; здесь p, n, m, t – натуральные числа. Учтите, что в таблице указаны удвоенные значения угла θ в градусах! (7 баллов)

Задача 11-6 (20 баллов)

Фотосинтезирующие организмы поглощают солнечную энергию и запасают ее в форме АТФ и НАДФН, которые служат им источником энергии для синтеза органических компонентов клетки из углекислого газа и воды. При этом они выделяют в атмосферу кислород.

Общее уравнение фотосинтеза (который у растений происходит в хлоропластах) можно записать следующим образом:



Хотя в записи уравнении фотосинтеза превращение углекислого газа и воды в углеводы происходит под действием света, в живых организмах стадии поглощения квантов света и стадии синтеза органических молекул разделены. Так, в рамках основных реакций световой фазы фотосинтеза электроны от молекулы воды переходят к НАДФ⁺ и образуют его восстановленную форму – НАДФН. Вода же в это время окисляется до кислорода. Стандартный потенциал восстановления НАДФ⁺ в НАДФН значительно ниже, чем стандартный потенциал восстановления воды. Необходимую

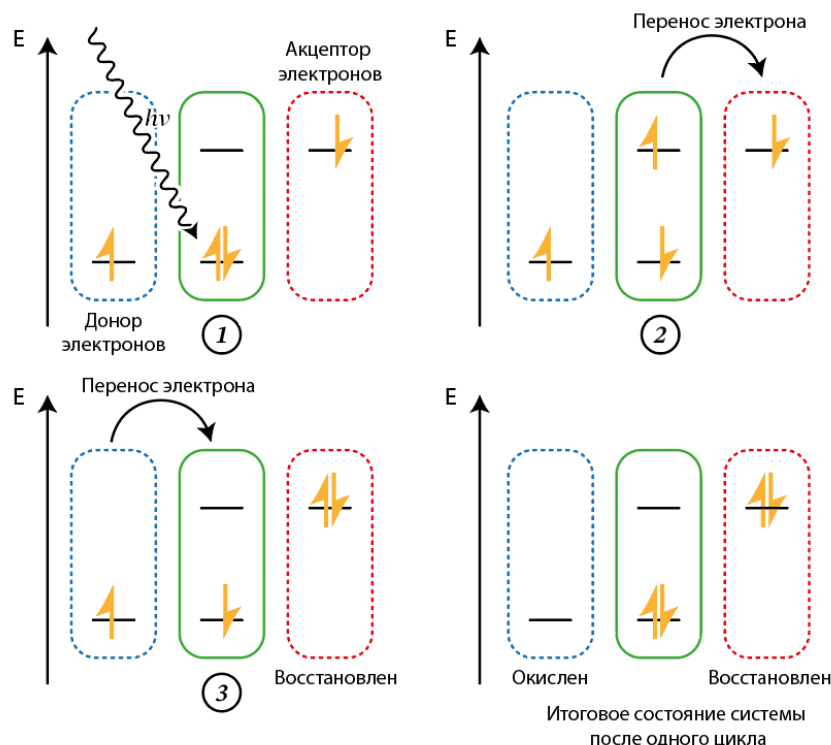
энергию для данного процесса «поставляет» свет. Далее восстановленные эквиваленты НАДФН используются для биосинтеза углеводов.

- 1. Рассчитайте изменение стандартной энергии Гиббса самопроизвольного процесса при комнатной температуре, в котором будут участвовать вышеупомянутые частицы: НАДФ⁺, НАДФН, вода и кислород. Совпадает ли направление самопроизвольного процесса с направлением, в котором происходит процесс фотосинтеза в живых организмах? (2 балла)*

Критерием самопроизвольности процесса является значение изменения энергии Гиббса процесса меньшее, чем ноль. Если процесс имеет положительное изменение энергии Гиббса, для его реализации организм использует одновременное протекание второй реакции с отрицательным значением изменения энергии Гиббса. Если значение изменения энергии Гиббса по модулю у второй реакции будет больше, чем у первой – суммарный процесс будет характеризоваться отрицательным изменением энергии Гиббса – и, следовательно, он будет идти в прямом направлении.

- 2. Предположим, что необходимую для самопроизвольного протекания процесса энергию будет поставлять фотон, поглощенный системой. Рассчитайте, какую длину волны должен иметь фотон, чтобы, «принимая участие» в процессе из первого пункта задачи, «запустить» его в нужную организму сторону (для расчета возьмите рассчитанное изменение стандартной энергии Гиббса процесса в пересчете на одну молекулу кислорода в уравнении реакции)? Учитывая значения длин волн фотонов видимого диапазона, которые поглощаются фотосинтезирующими организмами, сделайте вывод о том, могут ли фотоны видимого диапазона «запустить» процесс фотосинтеза в рамках такого механизма. (2 балла)*

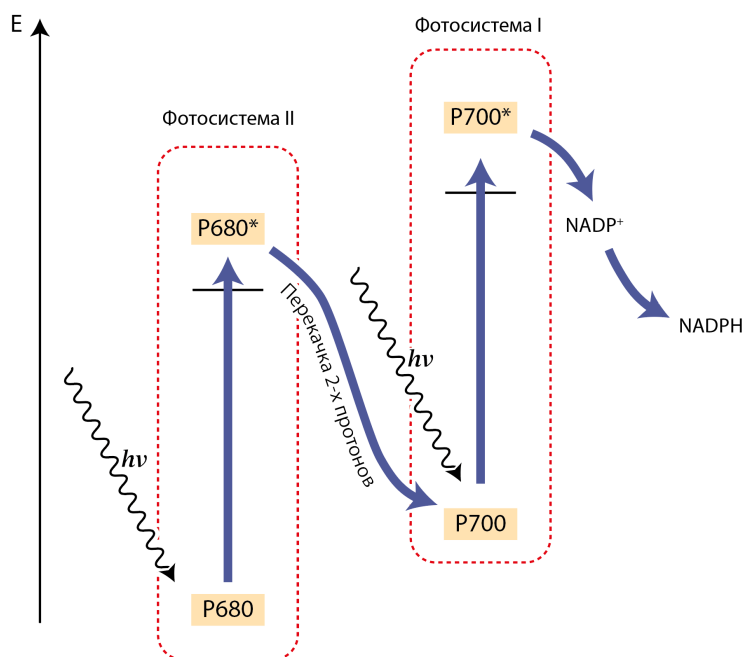
Роль фотонов в фотосинтезе чуть более сложна, чем предложенный выше механизм. Поглощение фотона инициирует разделение зарядов в фотосистемах – комплексах белков со специальными светопоглощающими пигментами – хлорофиллами, каротиноидами, лютеинами и др. Так, молекула хлорофилла в составе фотосистемы поглощает квант света, что переводит один из его электронов на более высокий энергетический уровень (стадия 1 на рисунке ниже). В непосредственной близости к молекуле хлорофилла находится акцептор электронов с энергией орбитали близкой к энергии возбужденного электрона. Электрон хлорофилла переносится к акцептору, восстанавливая его (стадия 2 на рисунке ниже). Донор электронов (которым может выступить, например, молекула воды) восстанавливает потерявший электрон хлорофилл, позволяя тому прийти в исходное состояние и вступить в новый цикл поглощения фотона и передачи электрона (стадия 3 на рисунке ниже). В результате энергия фотона тратится на то, чтобы создать в фотосистеме отличающееся от равновесного распределение зарядов и перенести электроны от донора электронов к акцептору, увеличивая их энергию.



У растений имеется две фотосистемы, которые действуют последовательно, и каждая из которых поглощает свет определенной длины волны. Фотосистема II наиболее эффективно поглощает свет с длиной волны 680 нм, а фотосистема I – с длиной волны 700 нм (поэтому данные фотосистемы и пигменты в их составе называют P_{680} и P_{700}).

Сначала фотосистема II (P_{680}) поглощает фотон света с длиной волны 680 нм. Возбужденный электрон переходит по цепочке белков-переносчиков электронов, при этом постепенно теряя свою энергию. Так как при переносе белками электрона меняется степень окисления отдельных групп в составе белка, которые этот электрон переносят, то белок меняет свою пространственную структуру. Изменение пространственной структуры белков-переносчиков электрона позволяет им перекачивать по 2 протона на каждый проходящий электрон из внутреннего пространства хлоропластов (*stroma*) в межмембранное пространство (*люмен*). Таким образом потерянная электроном энергия преобразуется путем концентрирования протонов в люмене.

Далее электрон попадает в фотосистему I (P_{700}), где последующее поглощение кванта света с длиной волны 700 нм обратно повышает его энергию. Однако теперь повторно возбужденный электрон переносится на НАДФ⁺, восстанавливая его до НАДФН (для этого необходимо, чтобы каждый из двух передаваемых электронов от молекулы воды к НАДФ⁺ прошел путь через фотосистему II и фотосистему I).



3. Напишите общее уравнение световой фазы фотосинтеза с учетом перекачиваемых протонов и поглощаемых фотонов. Обозначьте протоны, находящиеся на стороне стромы как H^+ стромы; протоны, находящиеся на стороне люмена как H^+ люмен; фотоны с длиной волны 680 нм – $\lambda 680$; а фотоны с длиной волны 700 нм – $\lambda 700$. Учтите, что протоны, образуемые из молекулы воды также остаются на стороне люмена, а протоны, идущие на восстановление НАДФ $^+$ до НАДФН берутся со стороны стромы. (4 балла)

Перекаченные в люмен протоны проходят через фермент АТФ-синтазу и возвращаются обратно в строму, причем при прохождении через АТФ-синтазу 12 протонов синтезируется примерно 3 молекулы АТФ из АДФ и фосфат-иона. Протоны,

4. Сколько молекул АТФ синтезируется при окислении одной молекулы воды в световой стадии фотосинтеза? (2 балла)

В темновой фазе фотосинтеза происходит восстановление углекислого газа до молекул углеводов путем затрачивания молекул НАДФН в качестве реагентов-восстановителей и гидролиза молекул АТФ до АДФ для активации данного процесса.

5. Напишите реакцию темновой фазы биосинтеза фруктозы из молекул CO_2 при участии АТФ и НАДФН. Учтите, что на превращение одного атома углерода в составе углекислого газа в один атом углерода в составе углеводов необходимо затратить 3 молекулы АТФ для активации промежуточных метаболитов. (2 балла)

Поскольку в большинстве метаболических реакциях в биохимии не принципиален учет протонов и молекул воды, участвующих в реакциях (их «поставляет» окружающая среда, в которой данные частицы находятся в избытке), в данном пункте Вам не требуется отражать их в уравнении темновой фазы фотосинтеза. Отметим, однако, что участие молекул воды и протонов в процессе, описанном в пункте 3 данной задачи, является определяющим, поэтому в пункте 3 их учет мы ведем в явном виде

6. Рассчитайте изменение стандартной энергии Гиббса процесса биосинтеза фруктозы из углекислого газа и воды, используя изменение стандартной энергии Гиббса образования продуктов и реагентов. Рассчитайте КПД процесса фотосинтеза фруктозы исходя из соотношения количества энергии, которую несут поглощенные фотоны, необходимые для процесса фотосинтеза, к изменению стандартной энергии Гиббса процесса фотосинтеза фруктозы. Для определения последней запишите полное (итоговое) уравнение биосинтеза фруктозы. (8 баллов)

Для решения данного пункта задачи мы используем изменения «стандартной» энергии Гиббса образования продуктов и реагентов, однако на самом деле они называются «пересчитанными изменениями энергии Гиббса образования веществ». Это означает, что они пересчитаны с учетом существования данных веществ в растворе с $pH=7$, определенной концентрации ионов Mg^{2+} в клеточной среде, температуре 298,15 К и определенной ионной силе раствора. Использование данных *пересчитанных* значений позволяет использовать их для расчетов без рутинных расчетов для учета физиологических условий внутри клетки – и в биохимических справочниках данные термодинамические параметры представлены именно в таком виде

Справочные данные:

Полуреакция	Стандартный потенциал, В
$O_2 + 4H^+ + 4e = 2H_2O$	+0,816
$НАДФ^+ + H^+ + 2e = НАФДН$	-0,32

Вещество	$\Delta_f G_{298,15}^0$, кДж/моль	Вещество	$\Delta_f G_{298,15}^0$, кДж/моль
CO_2	-547,33	O_2	16,40
H_2O	-157,28	Фруктоза	-436,42

$$\Delta_r G_T^0 = -zF\Delta E$$

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

$$h = 6,626 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с},$$

$$c = 3,00 \cdot 10^8 \text{ м/с},$$

$$F = 96500 \text{ Кл/моль}$$

