



Онлайн мастерская «Школа профессионального мастерства»

Фотосинтез и хемосинтез

20 апреля 2026г.

Спикер: Мишина Ольга Степановна
к.с.х.н., доцент кафедры биологии, экологии и химии
ГГТУ



Фотосинтез



**Высшие
растения**



Красные и бурые водоросли



Зеленые водоросли

Цианобактерии (Сине-зеленые водоросли)

O₂, O₃

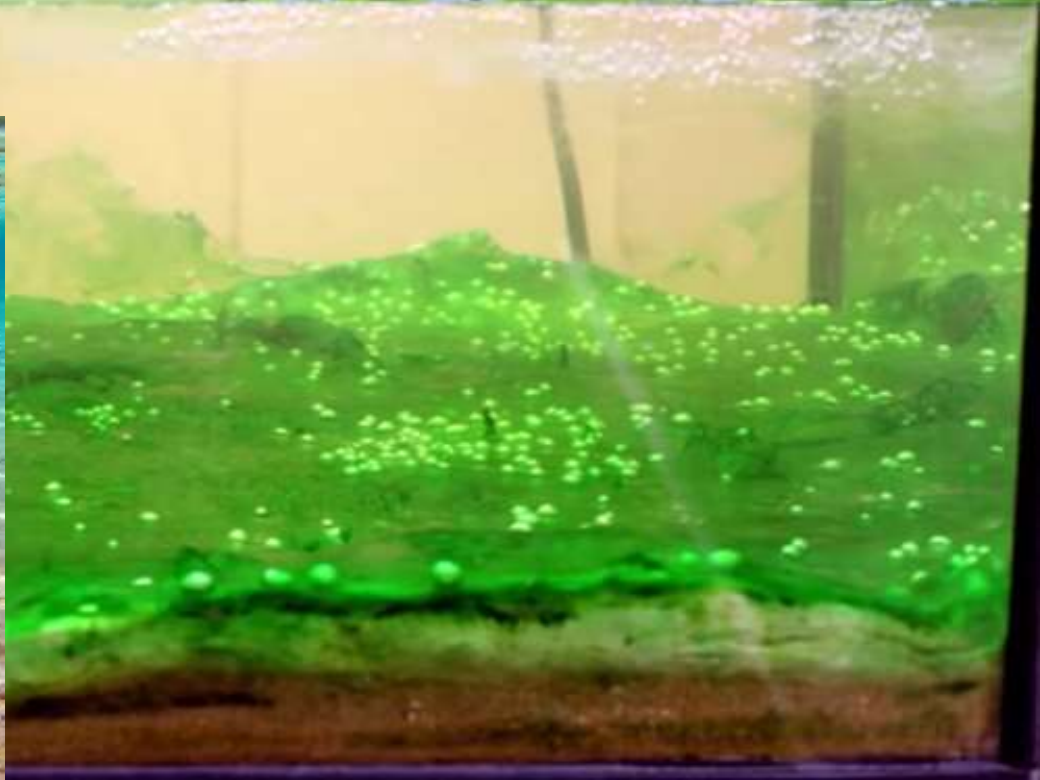
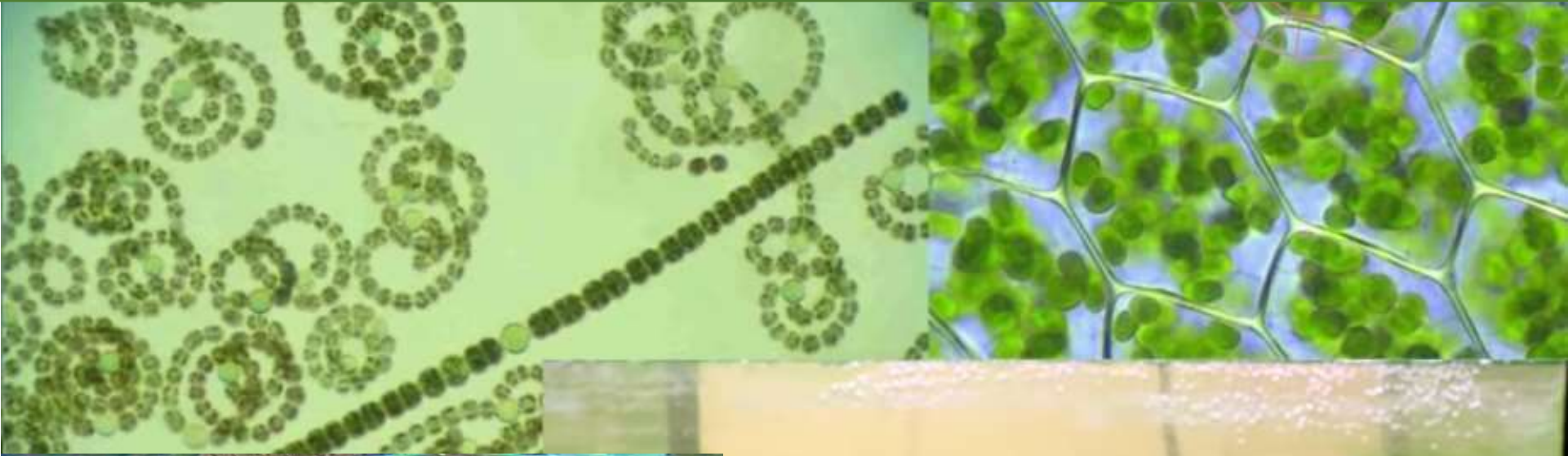
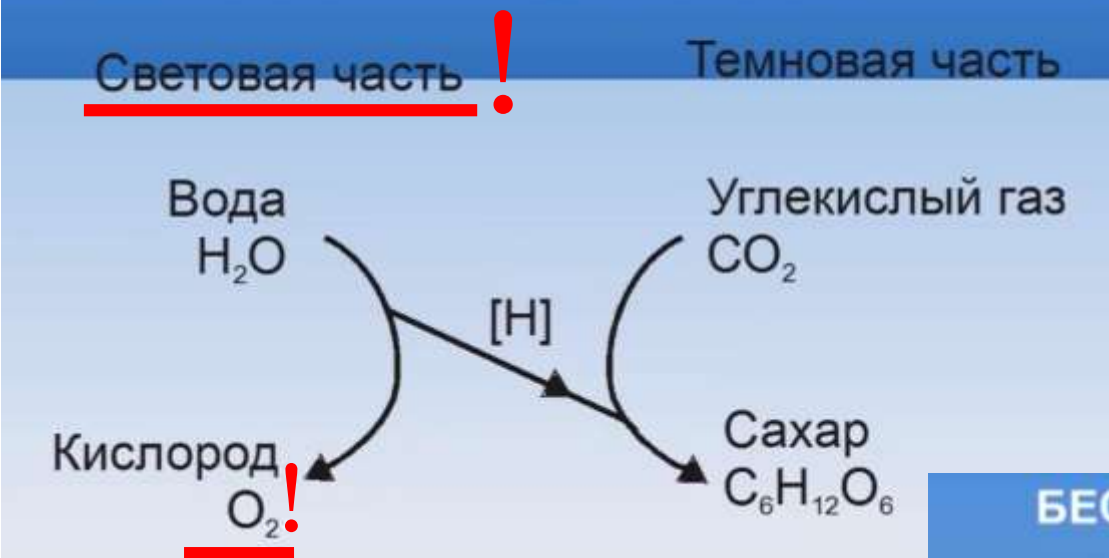


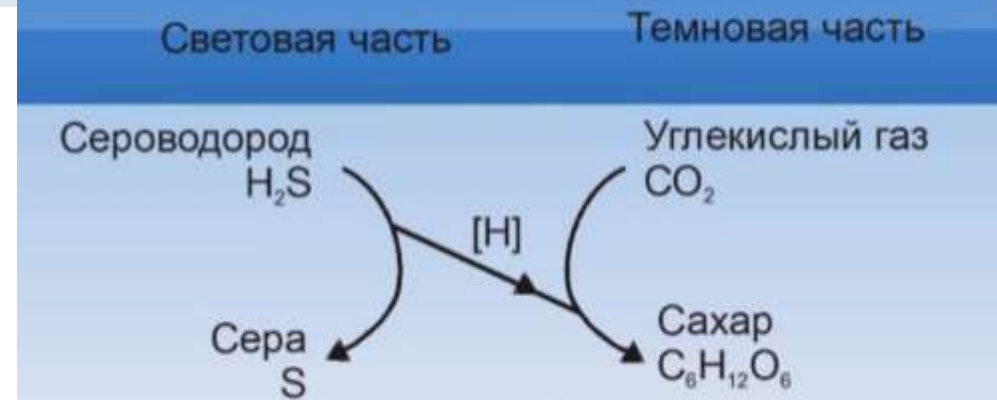
СХЕМА КИСЛОРОДНОГО ФОТОСИНТЕЗА



Зелёные растения



БЕСКИСЛОРОДНЫЙ ФОТОСИНТЕЗ

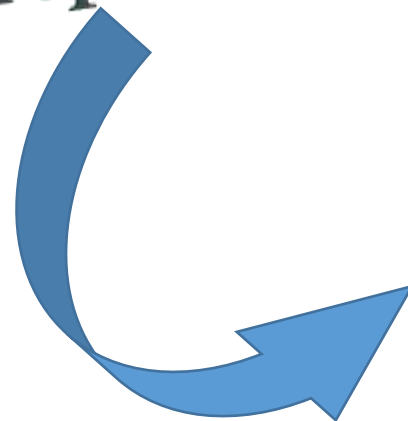


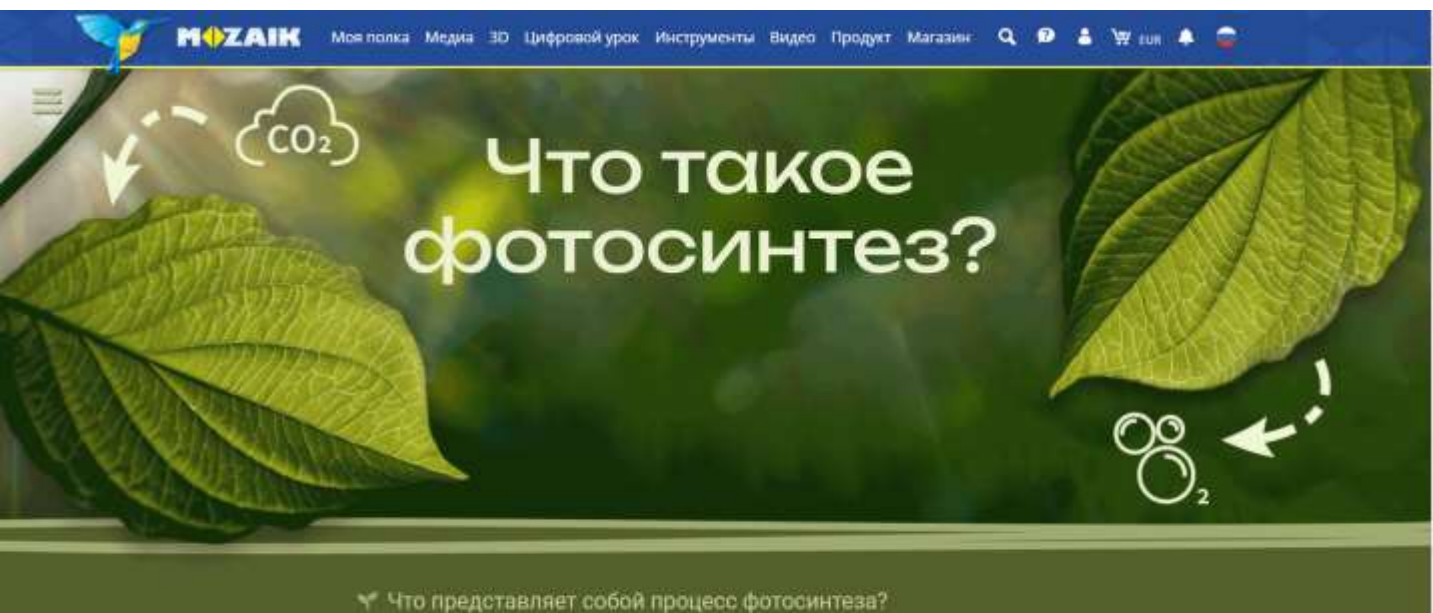
Другие варианты бескислородного фотосинтеза:

- Сульфатный $S \rightarrow H_2SO_4$
- Железный $Fe^{2+} \rightarrow Fe_2O_3$
- Водородный

Различные бактерии

Серобактерии
Железобактерии
и др. (Хемосинтез,
если энергия из
окисления
неорганических
соединений)

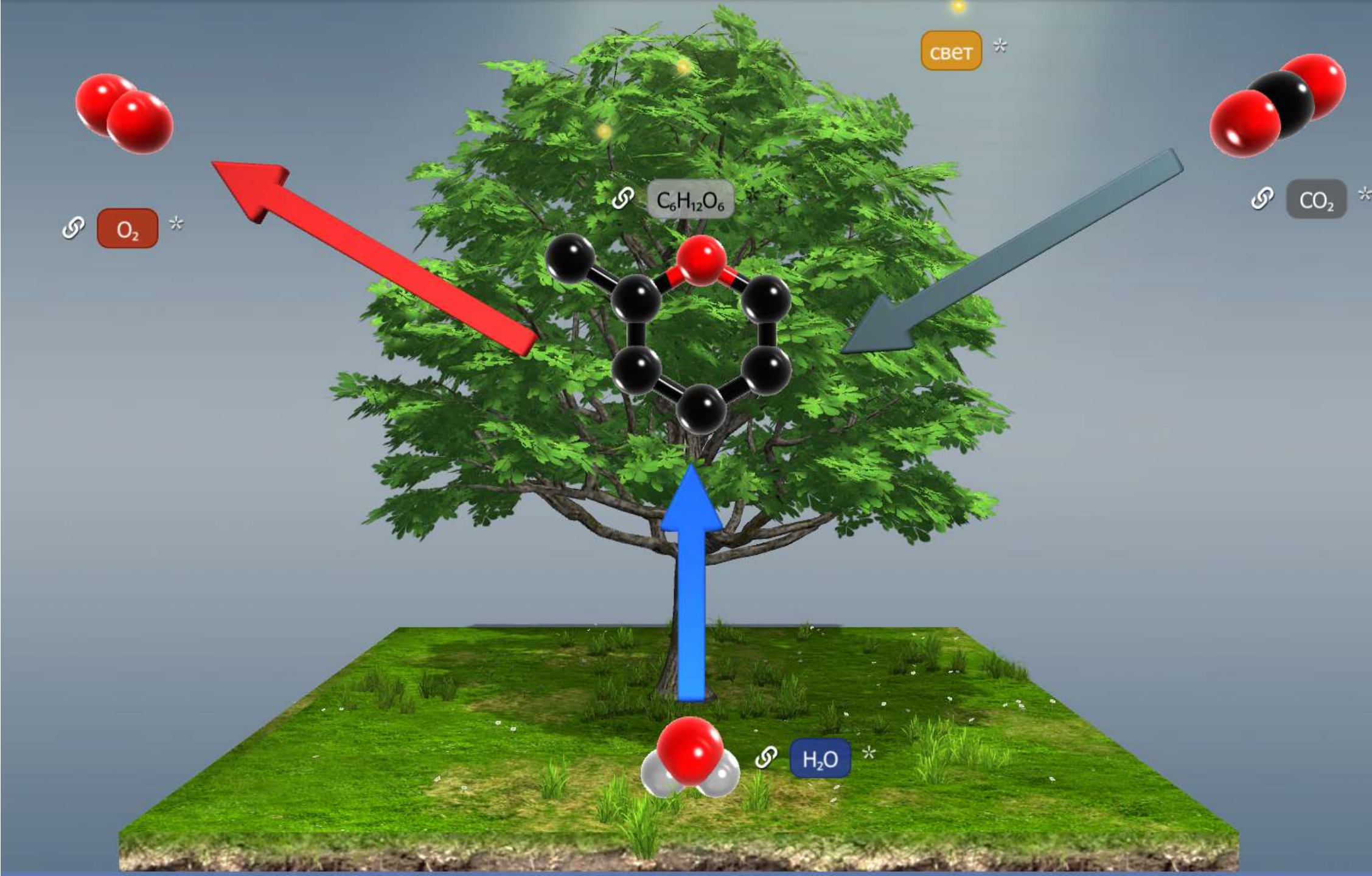


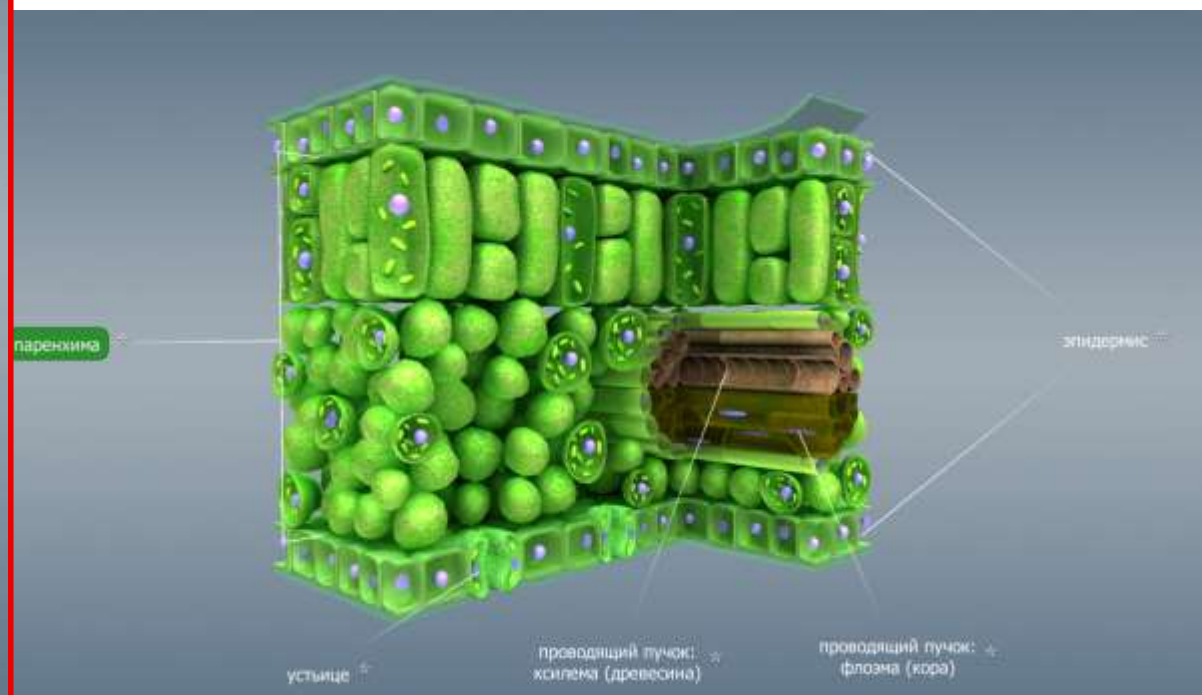
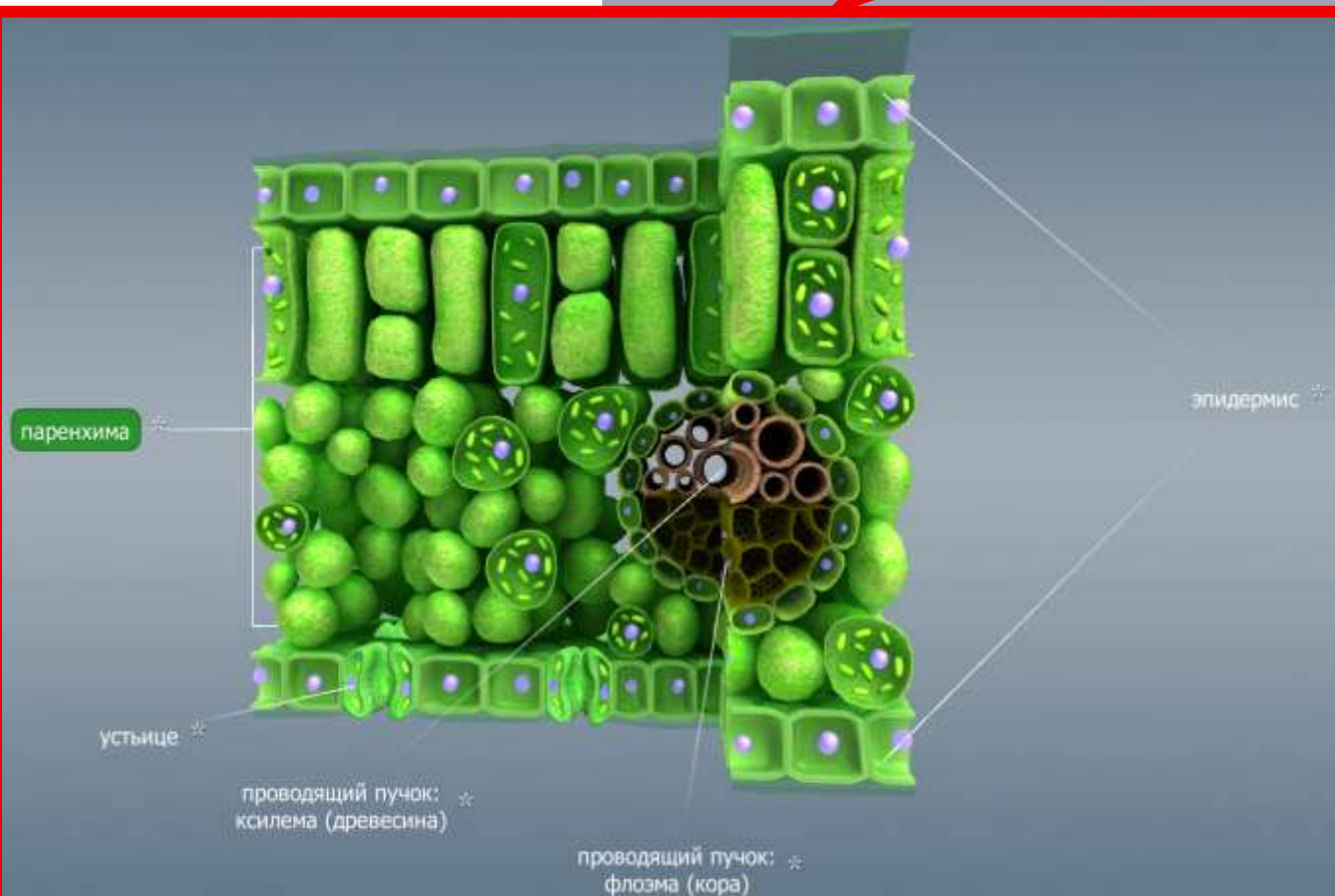


- ✓ Что представляет собой процесс фотосинтеза?
- ✓ В какой органелле растений происходит фотосинтез?
- ✓ В ходе каких экспериментов можно наблюдать фотосинтез?

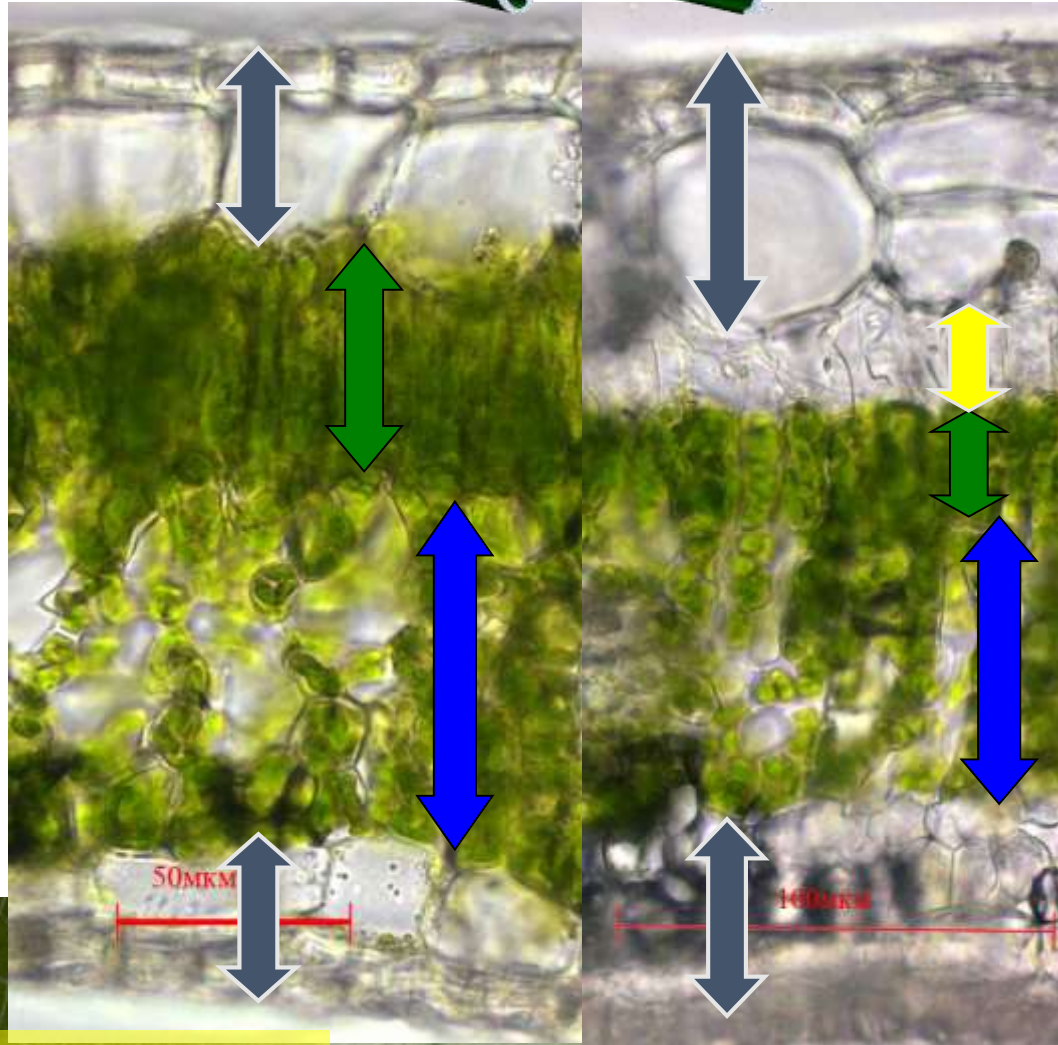
В данном уроке мы ищем ответы на эти вопросы.





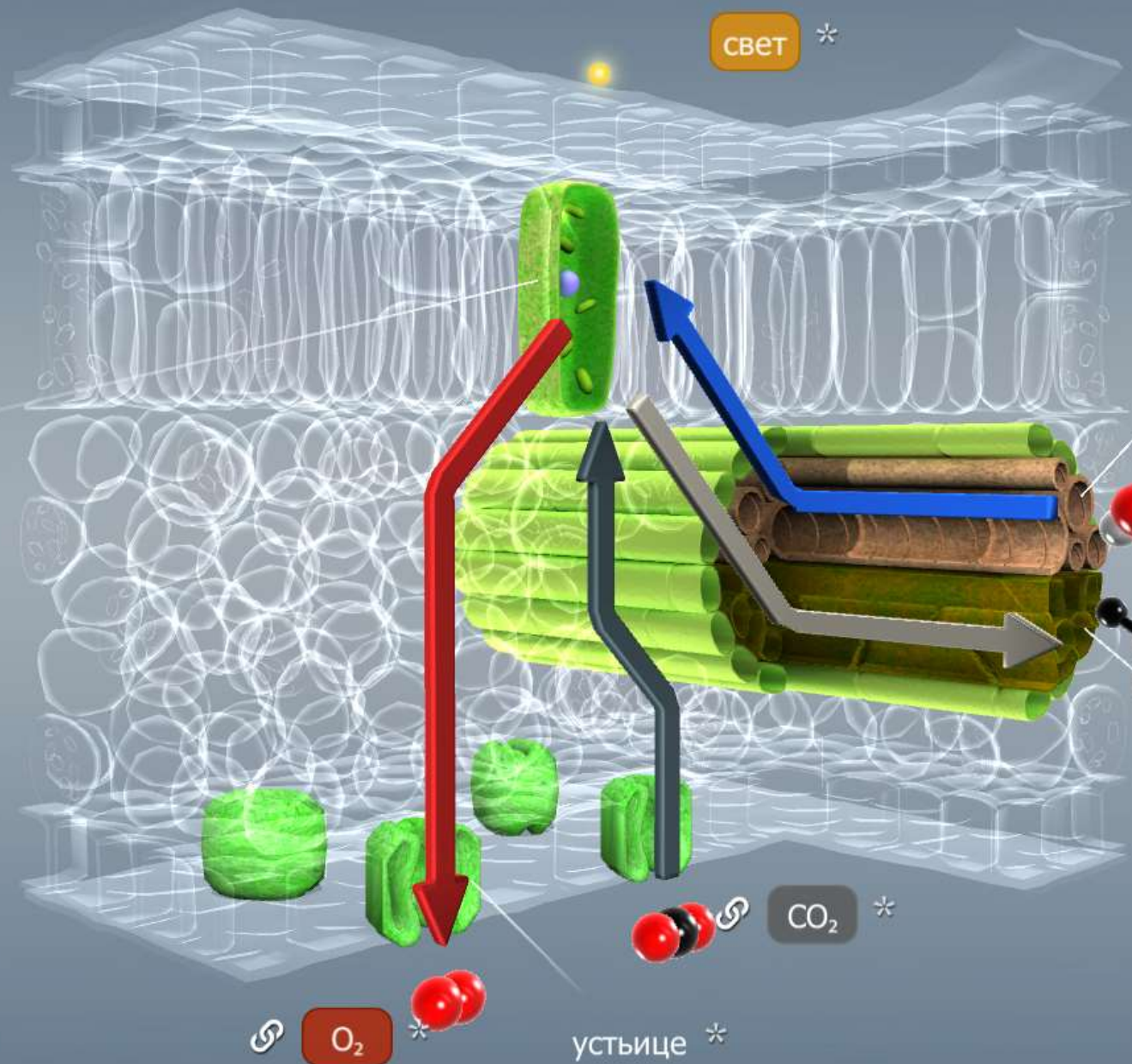


Анатомическое строение листа



**Ficus benjamina
'Starlight'**

клетка паренхимы *



проводящий пучок: *
ксилема (древесина)

проводящий пучок: *
флоэма (кора)

аппарат Гольджи *

эндоплазматическая
сеть (ЭПС) *

везикула *

цитоплазма

вакуоль *

цитоскелет *

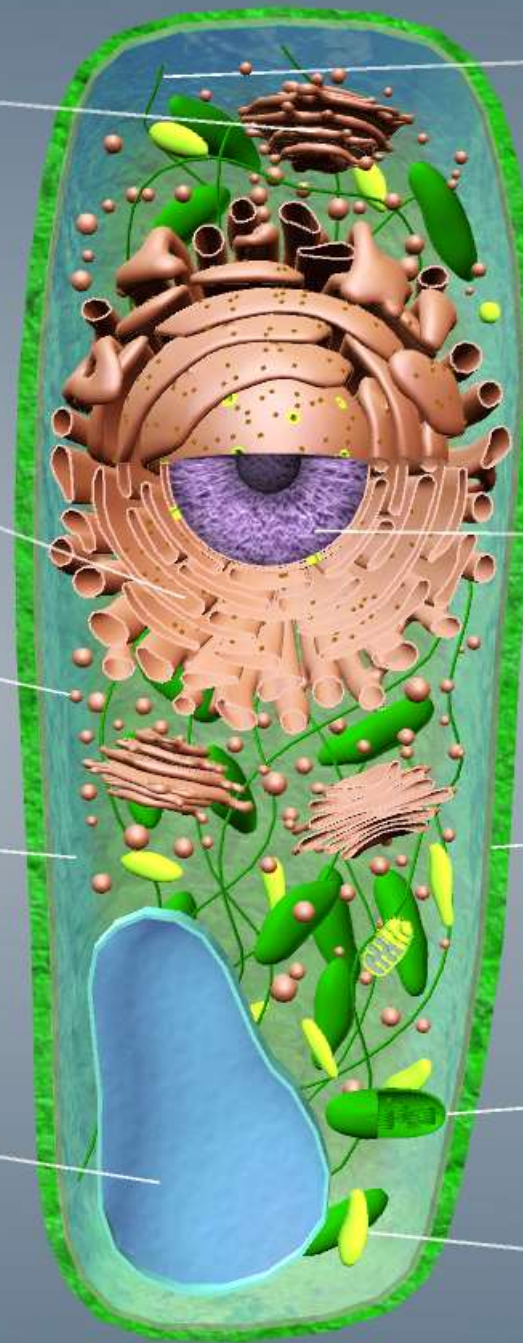
клеточная
стенка *

ядро клетки *

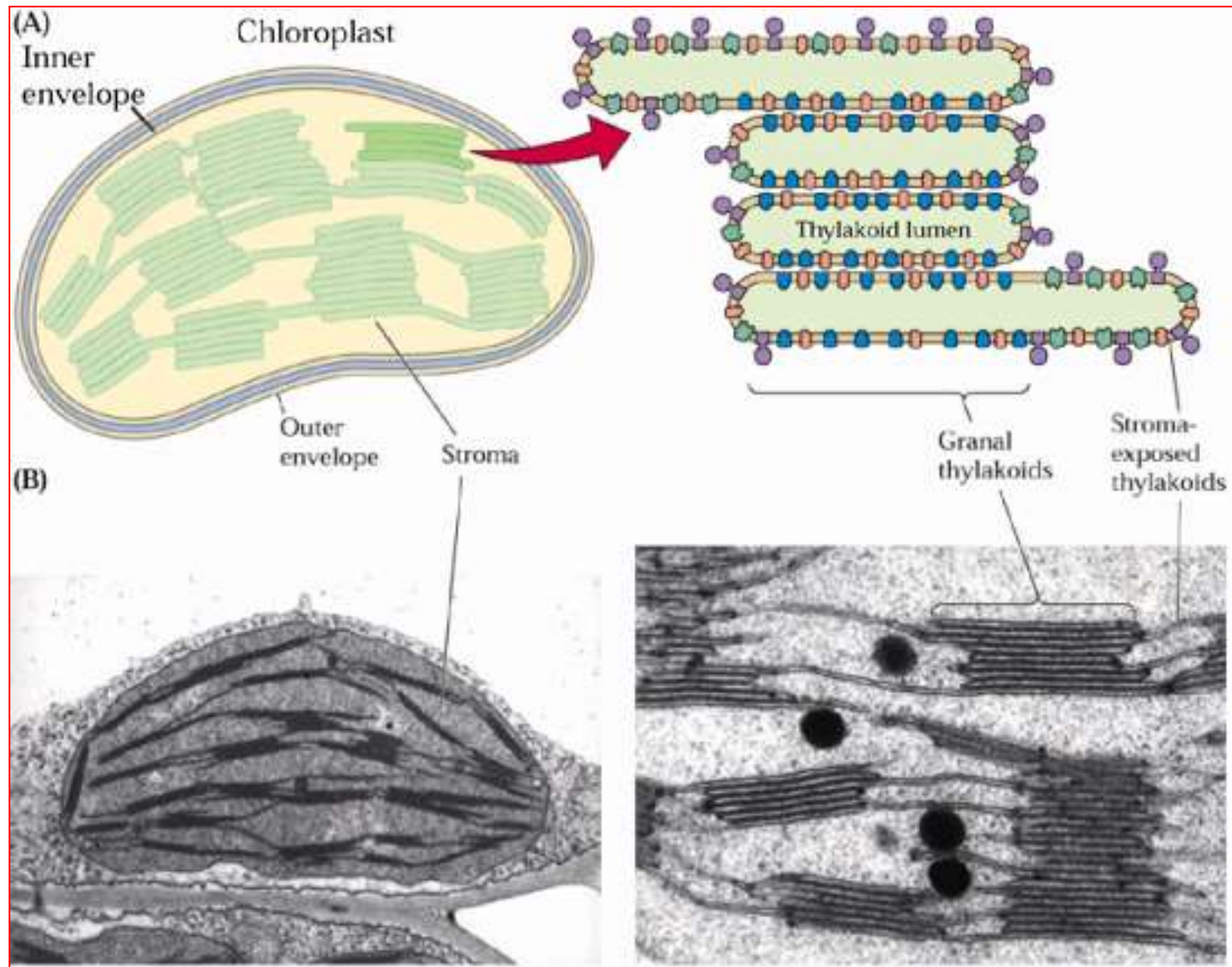
клеточная
мембрана *

зелёный пластид
(хлоропласт) *

митохондрия *



Хлоропласт – «главный» представитель пластид



**ПИГМЕНТЫ
ЗЕЛЕНОГО
ЛИСТА**

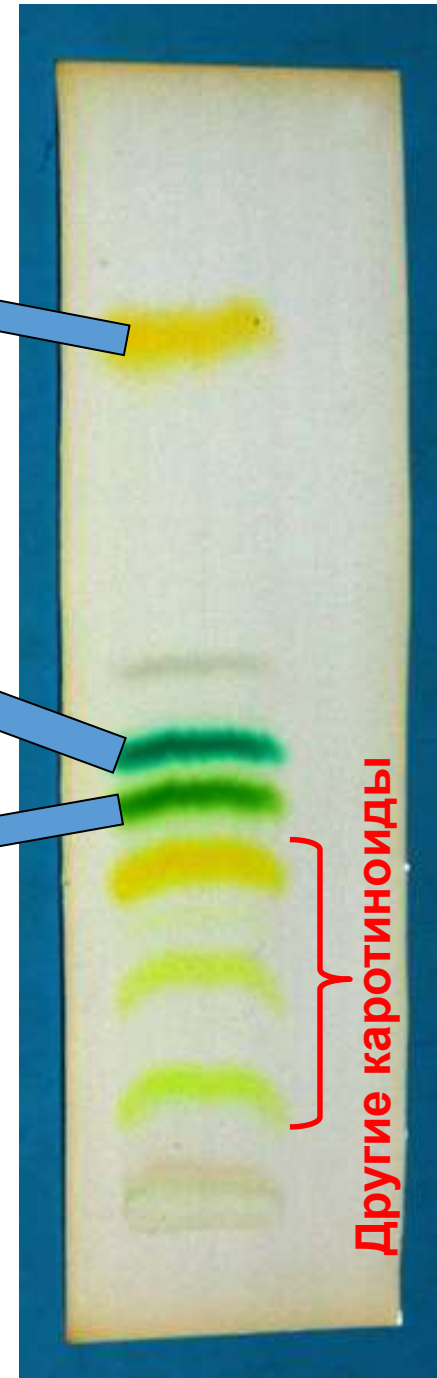
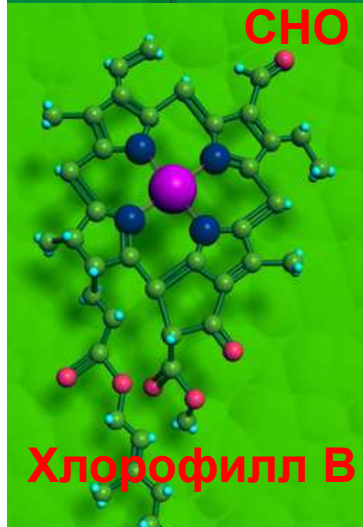
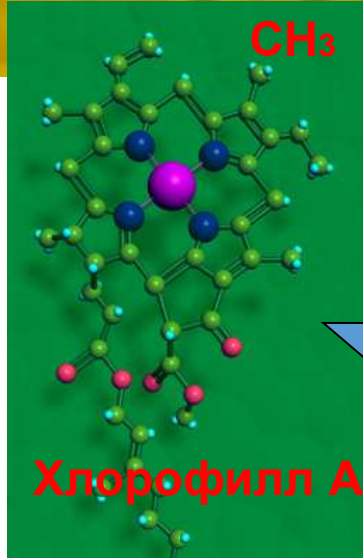
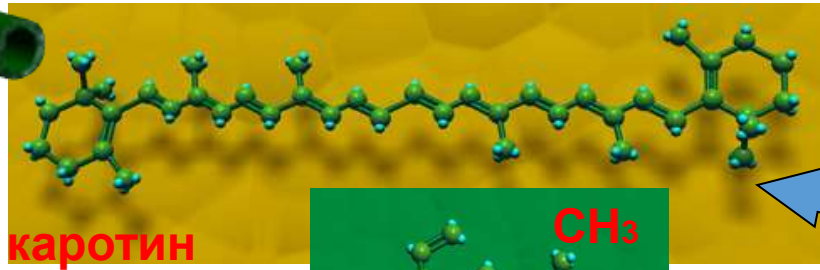
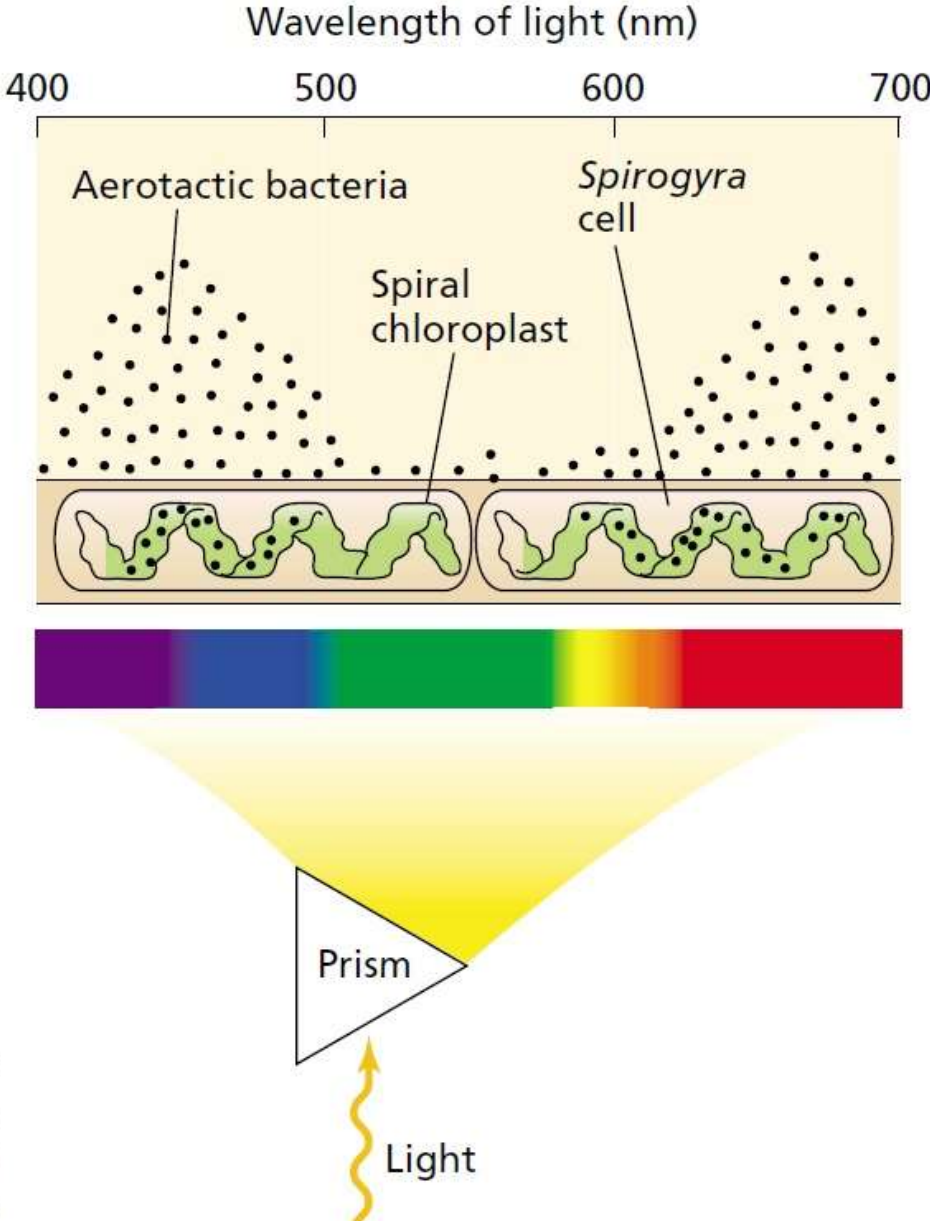
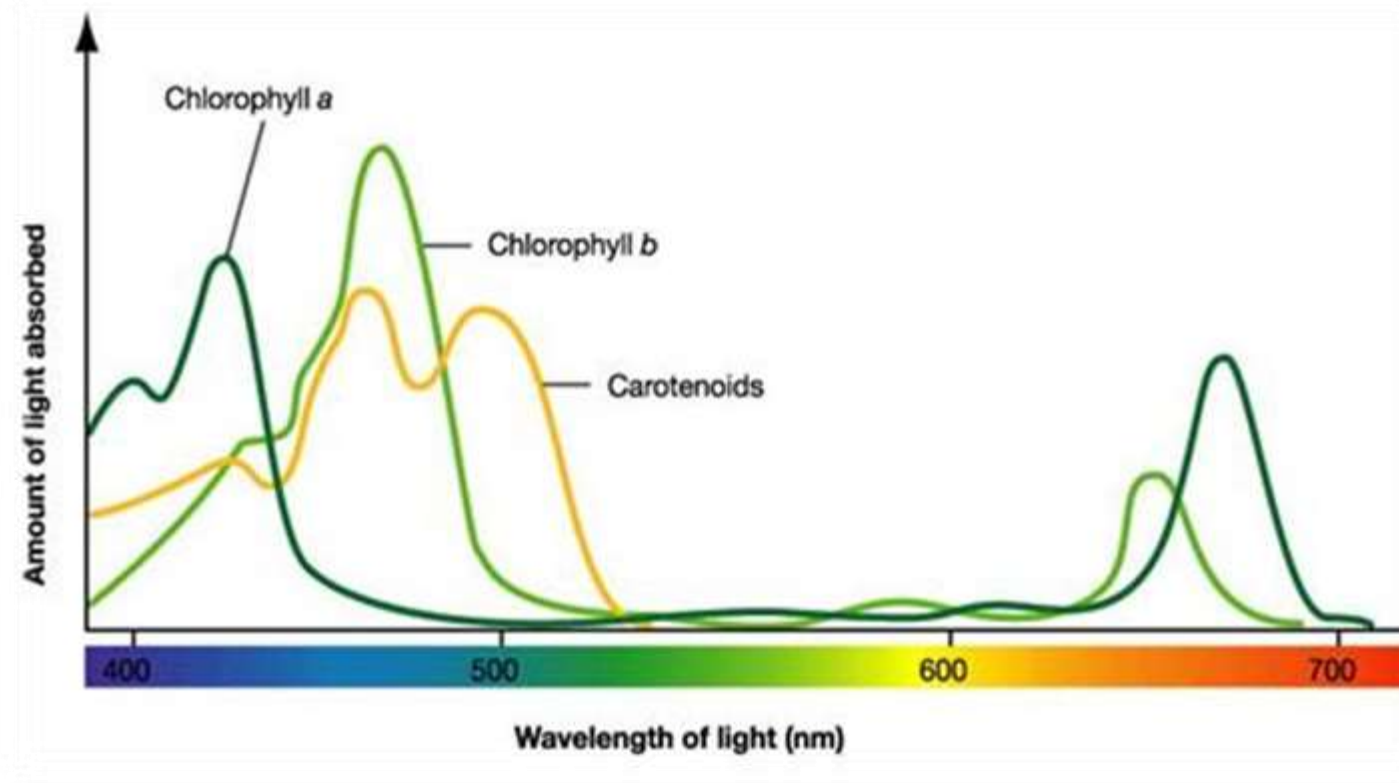


Схема эксперимента Энгельмана



Спектры поглощения

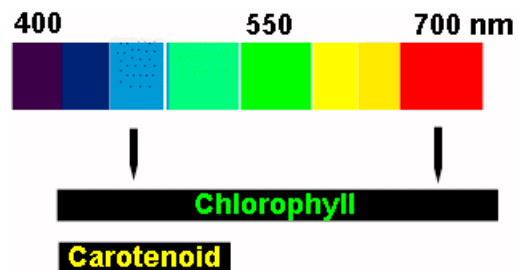
ФАР : 380 – 710 нм



Хлорофиллы:

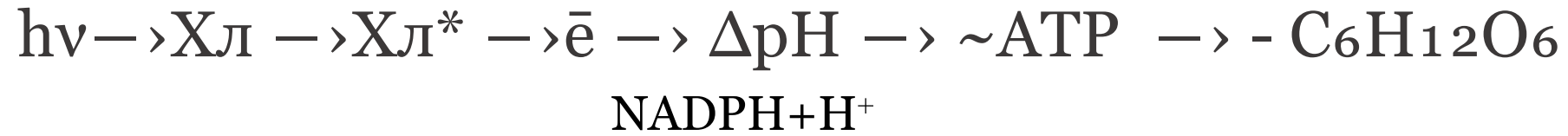
в красной области спектра
640-700 нм

в синей - 400-450 нм



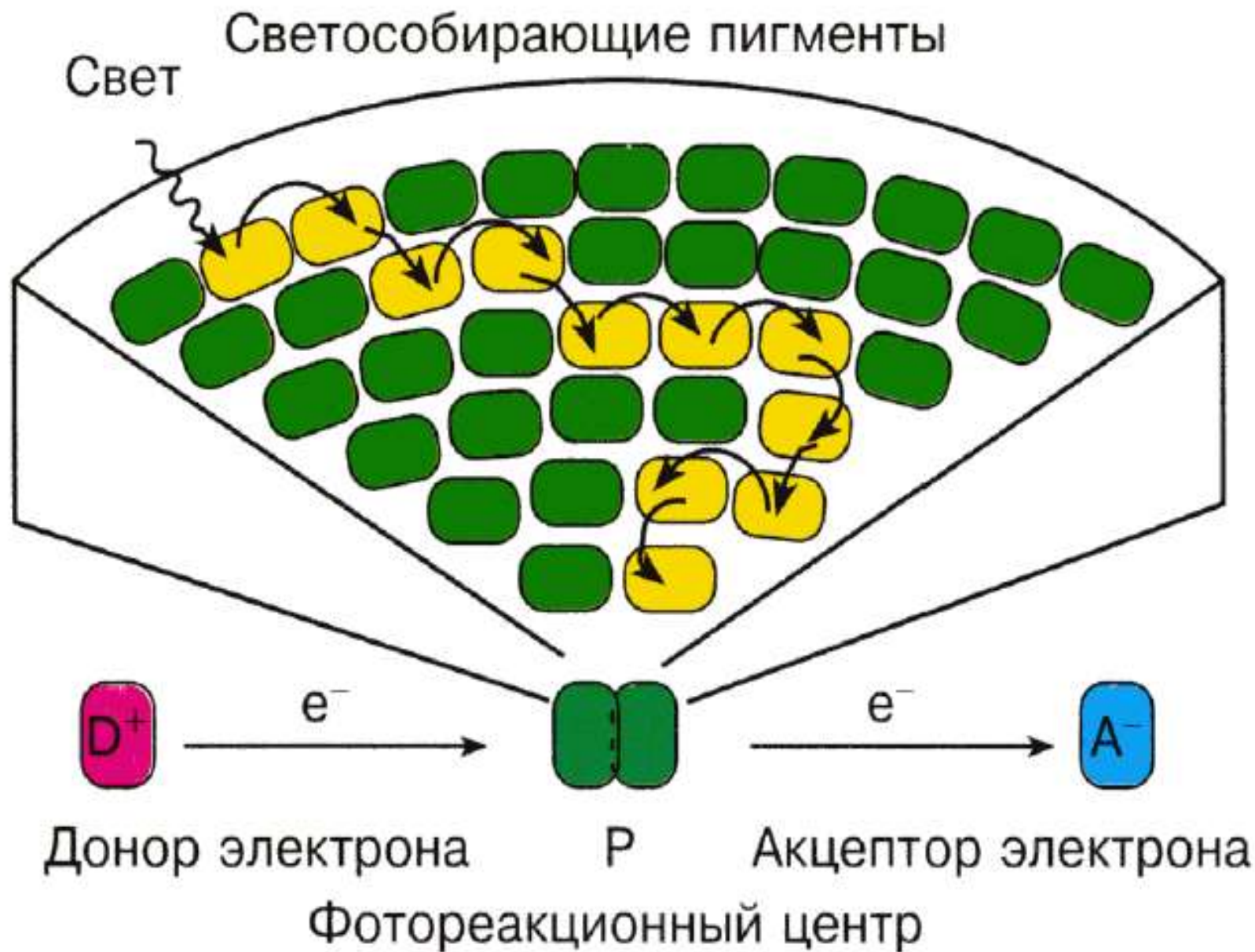
Каротиноиды: 400-550 нм
главный максимум: 480 нм

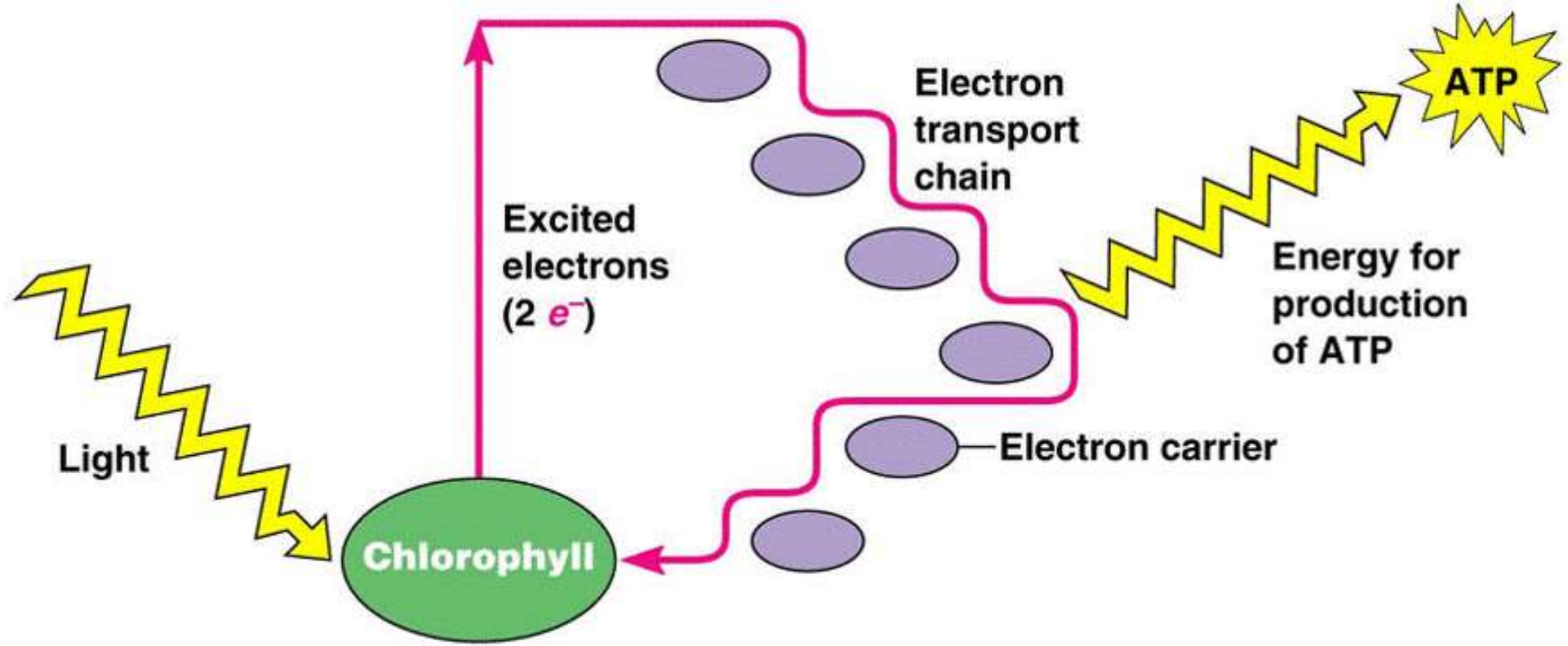
Этапы фотосинтеза



фотофизический этап фотохимический этап биохимический этап

световая фаза темновая фаза





(a) Cyclic photophosphorylation

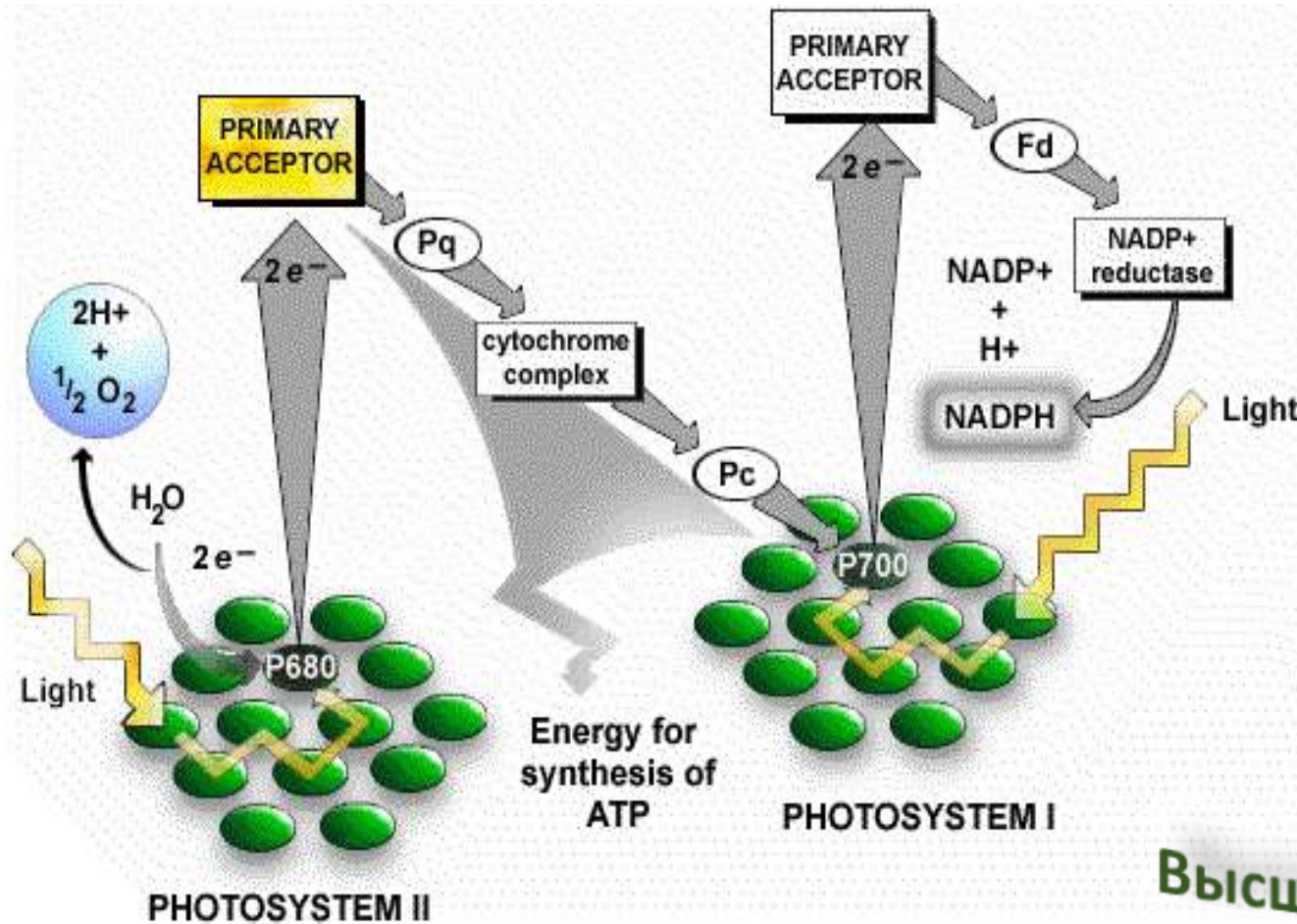
Фотофизический этап фотосинтеза

(Циклический транспорт электронов)



Рис. 4.7. Циклический транспорт электронов. Фд — ферредоксин

Нециклический транспорт электронов

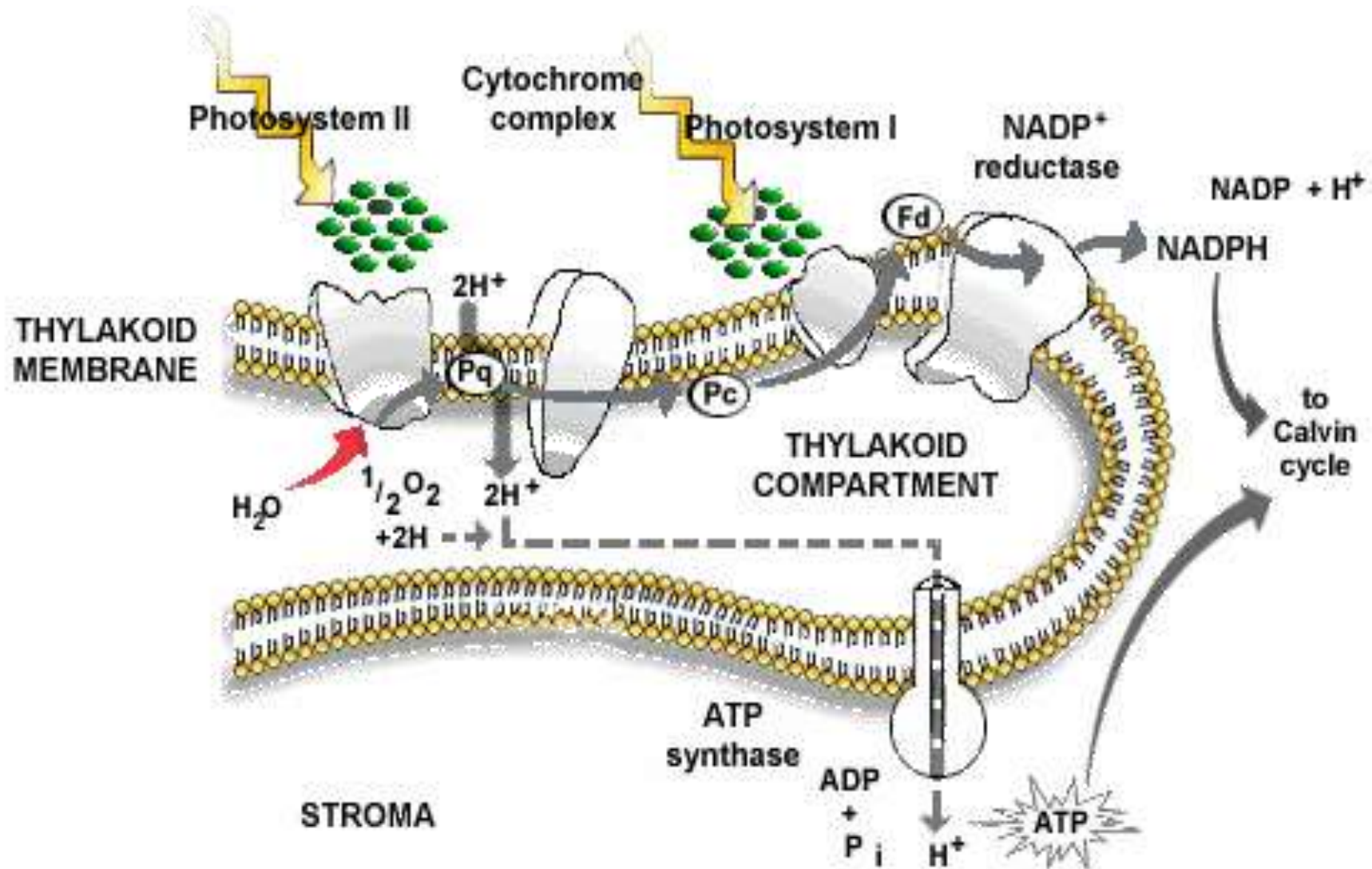


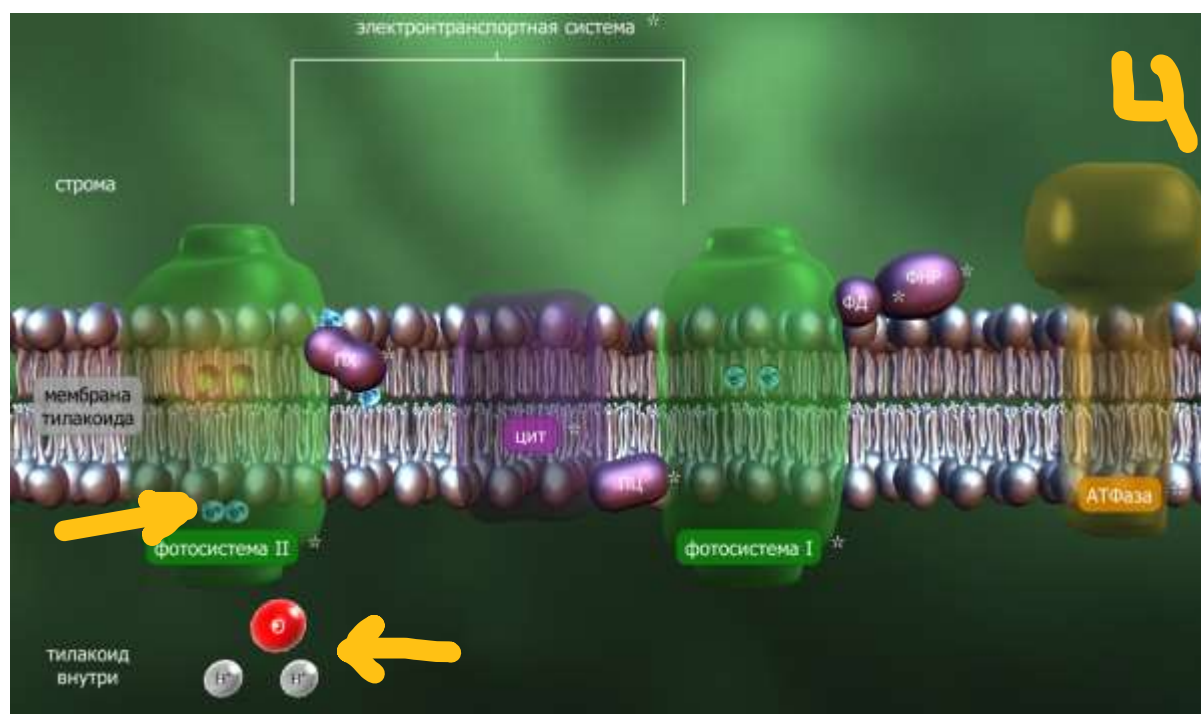
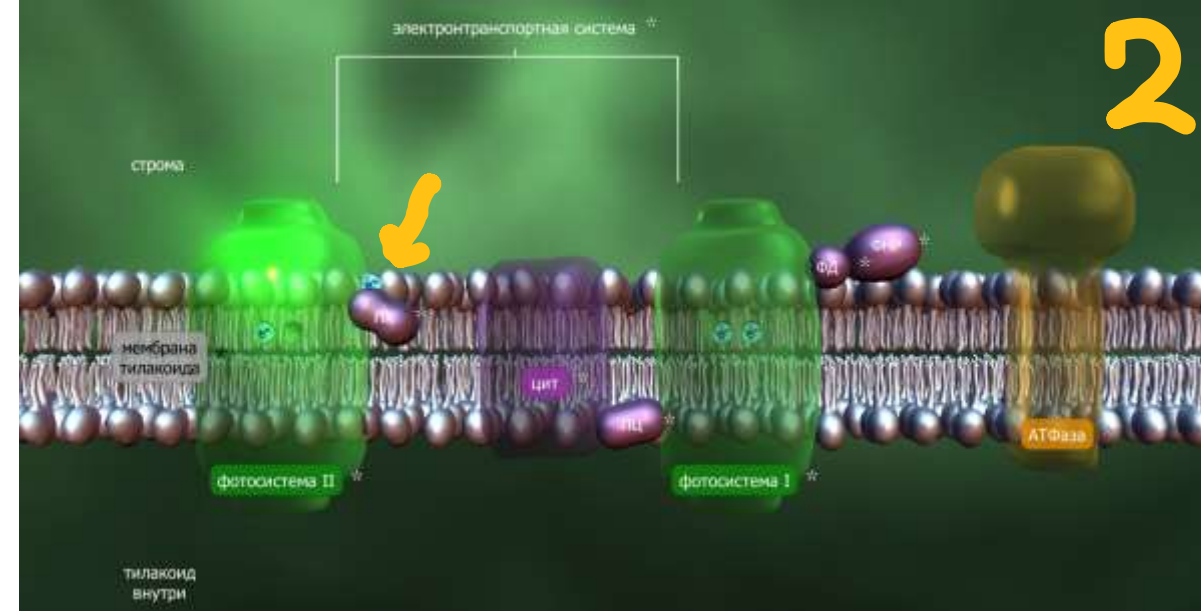
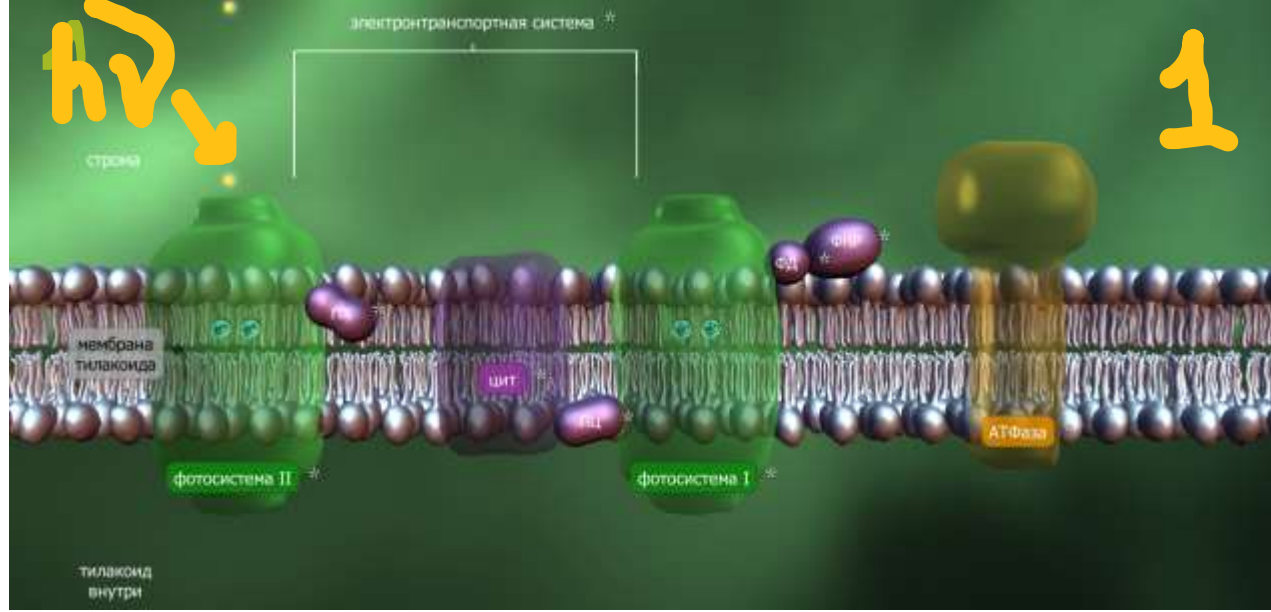
Процессы:

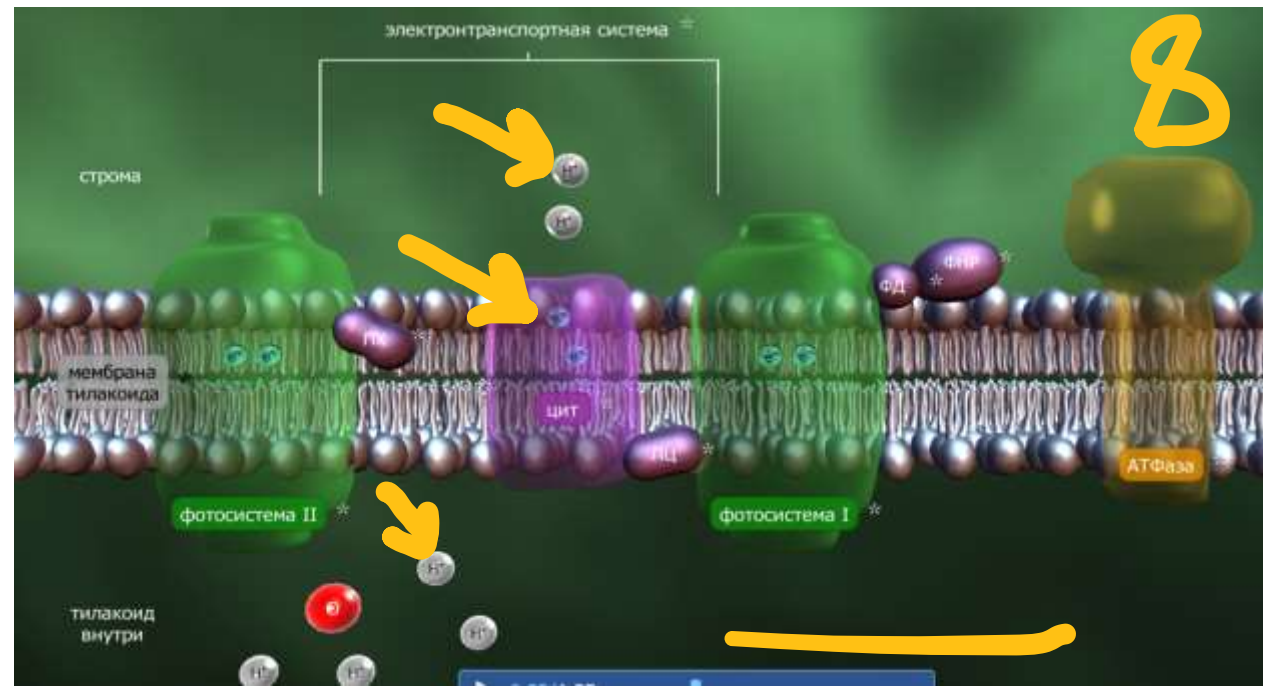
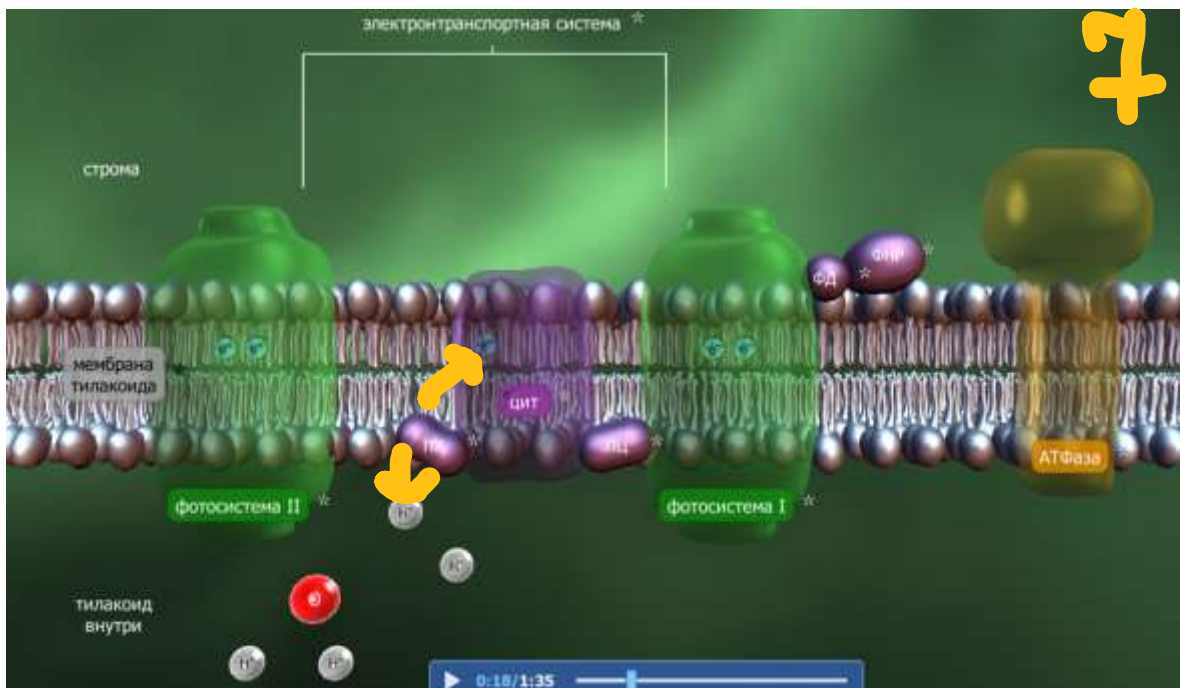
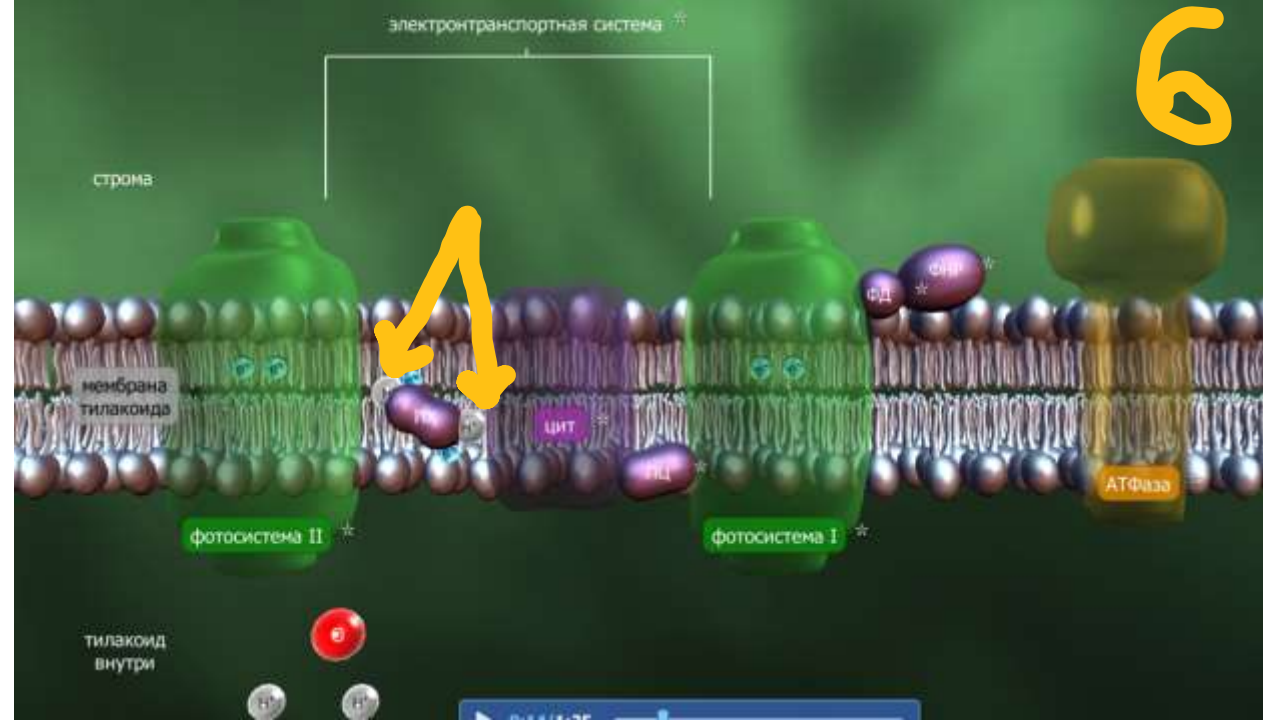
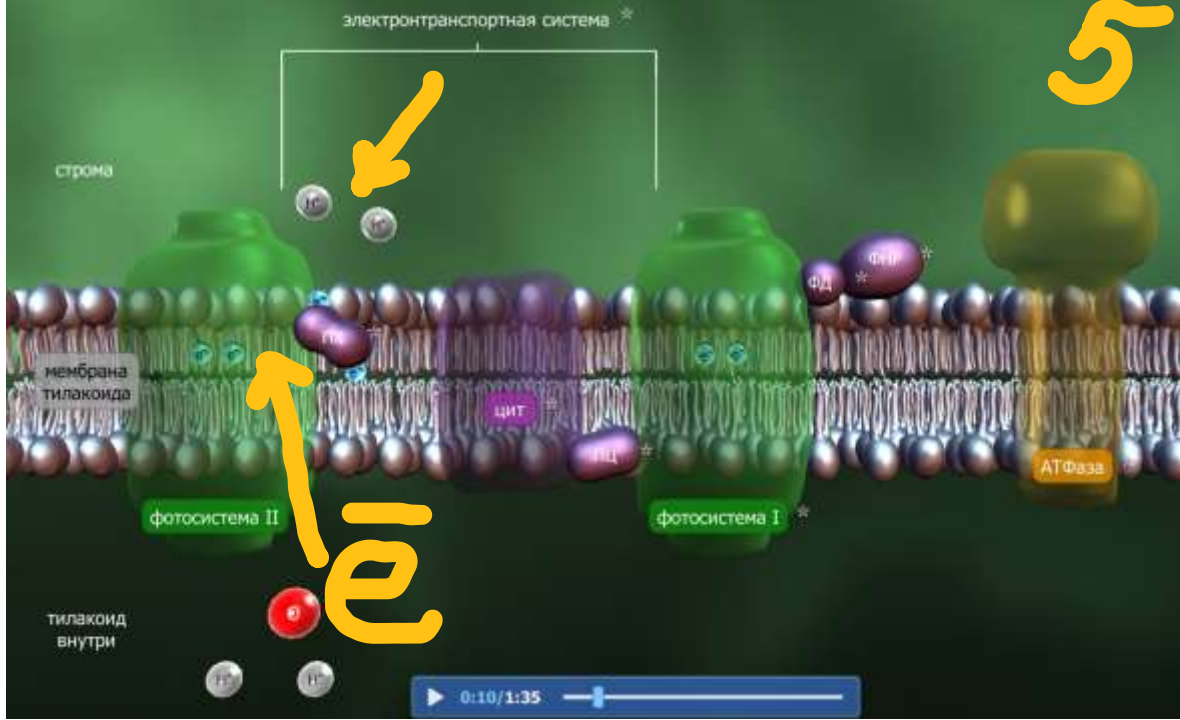
- Фотолиз воды с выделением кислорода.
- Восстановление НАДФ.
- Выделение энергии на синтез АТФ.

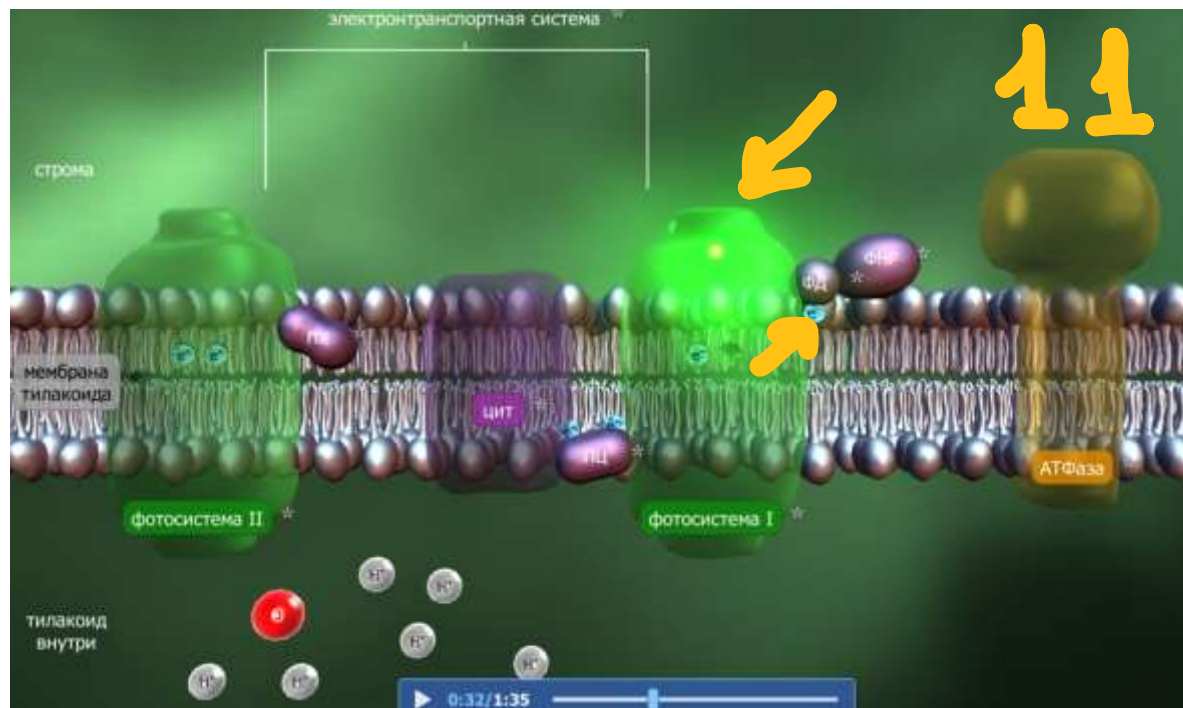
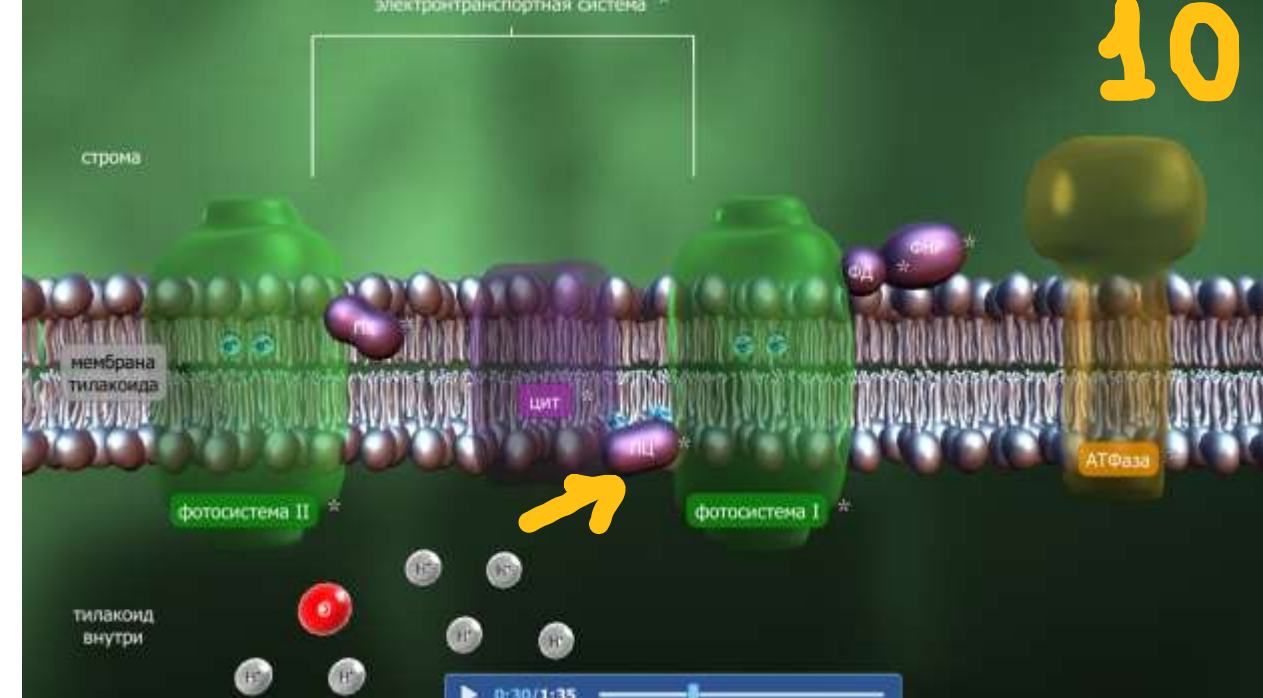
Высшие растения

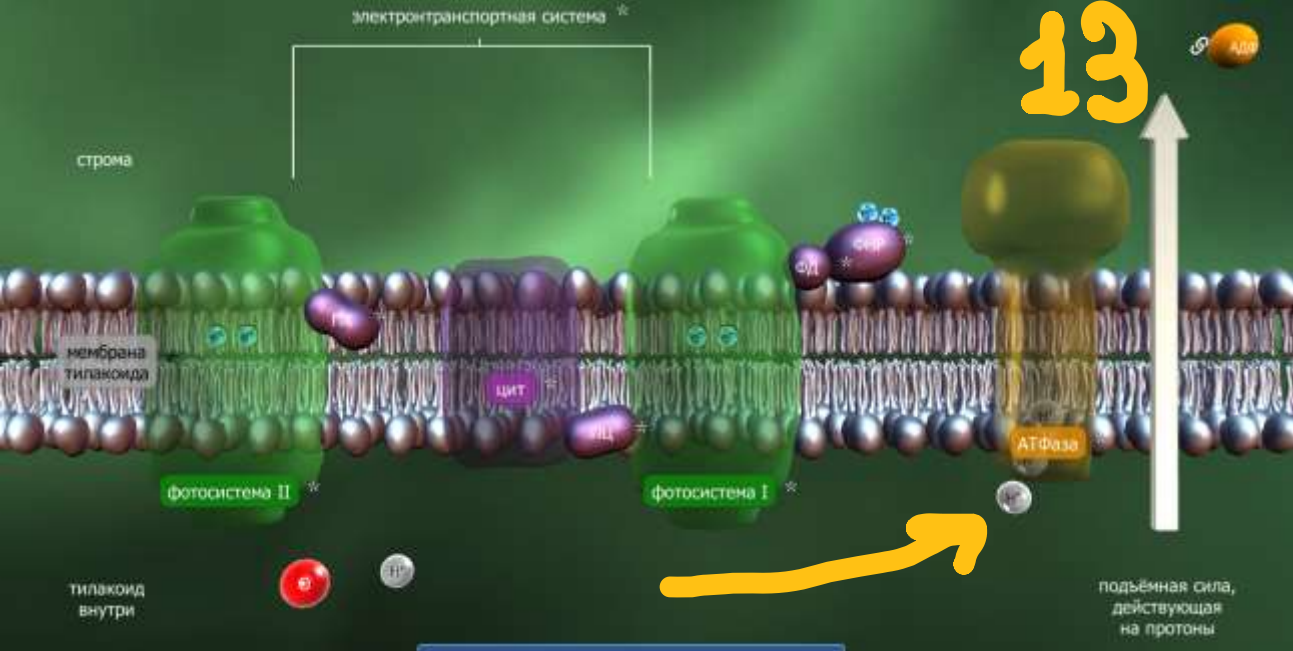
Механизм образования АТФ при фотосинтетическом фосфорилировании

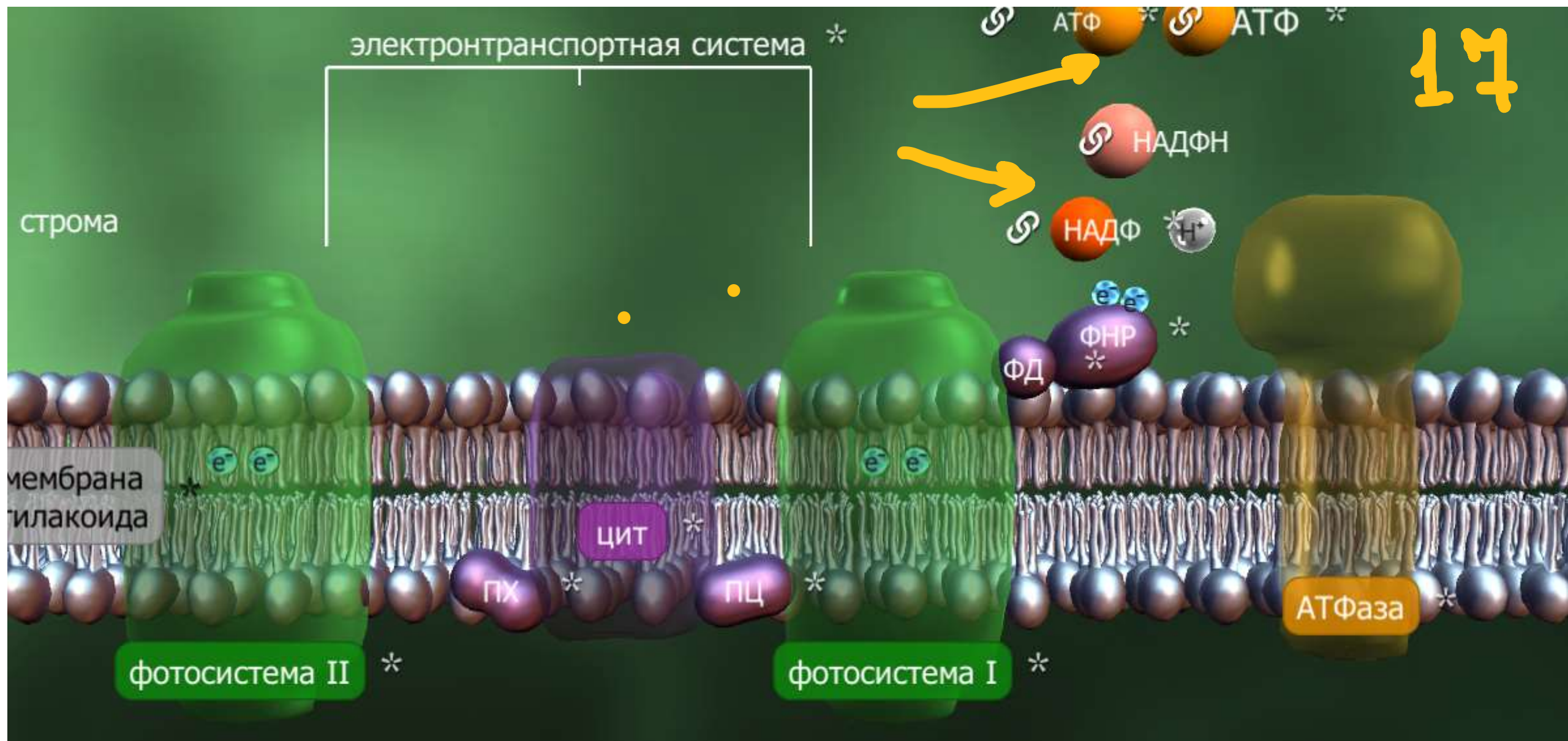


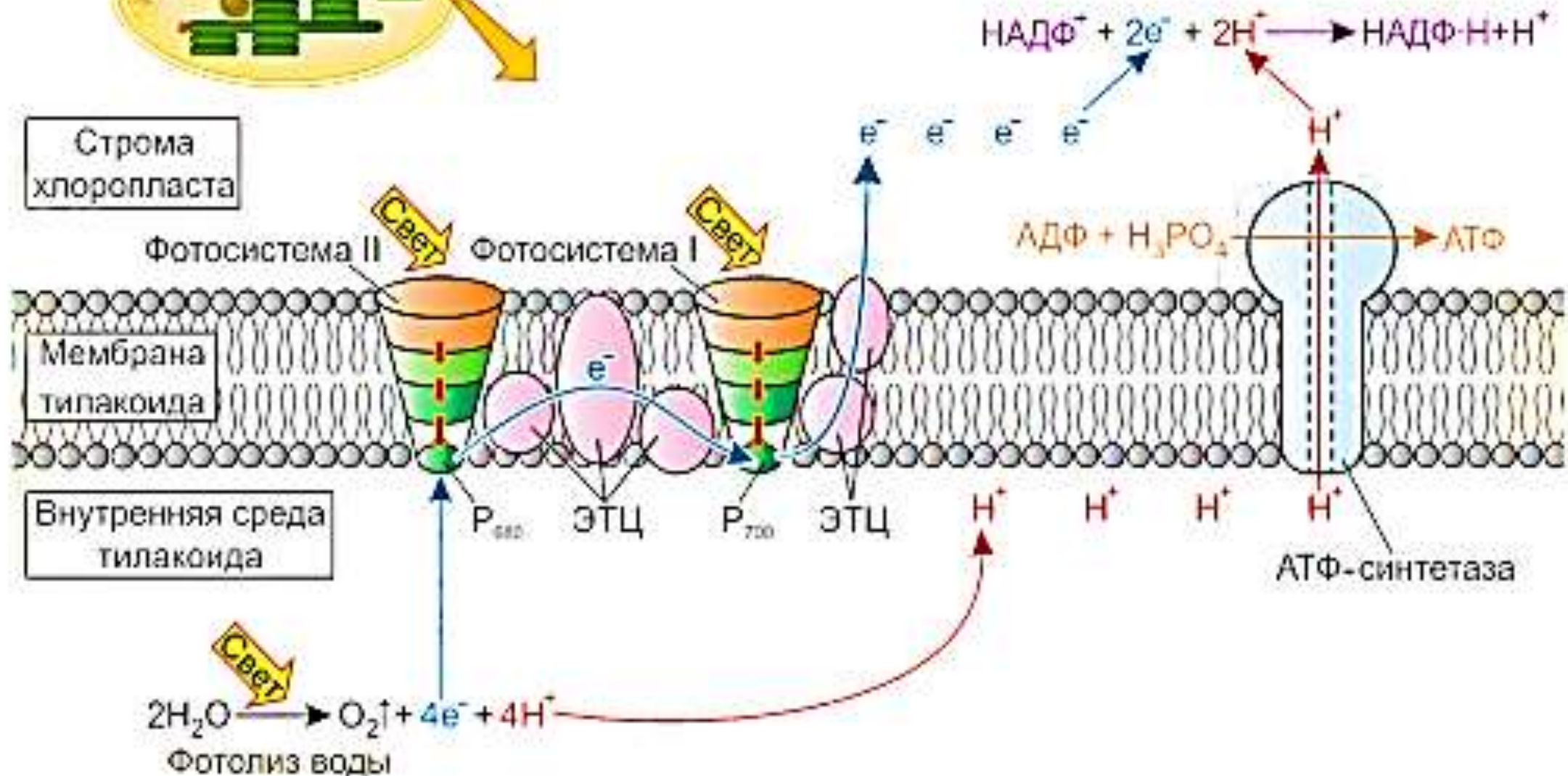












Световая фаза фотосинтеза

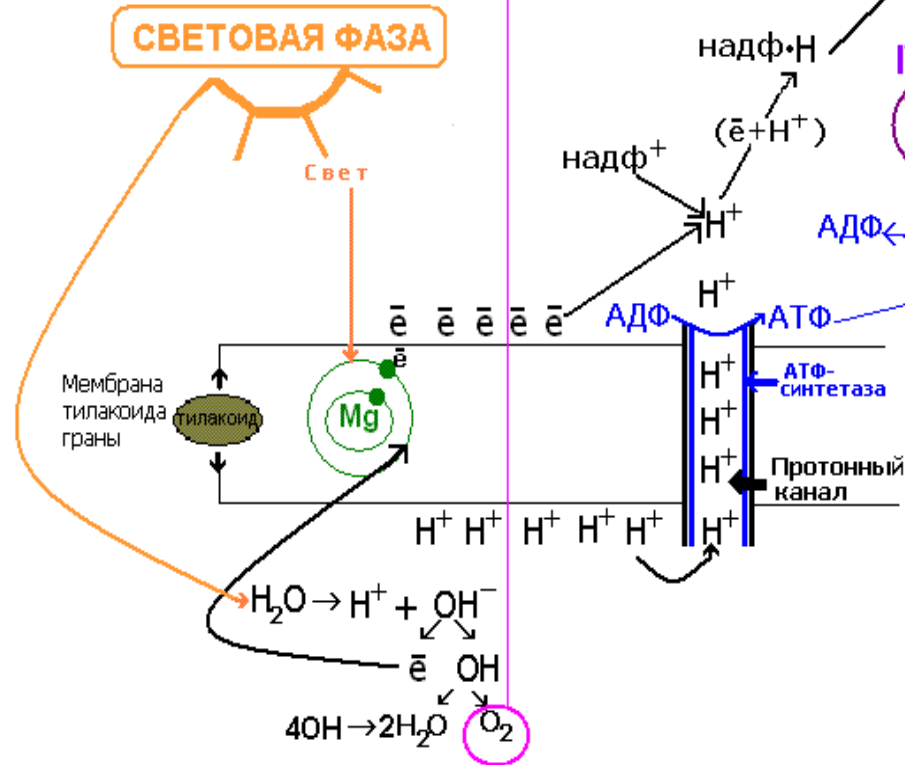
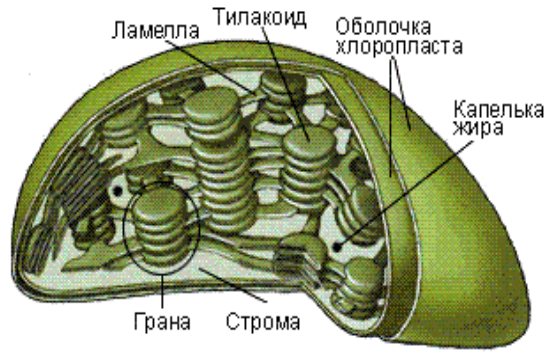
1. Активация хлорофилла

2. Фотолиз воды

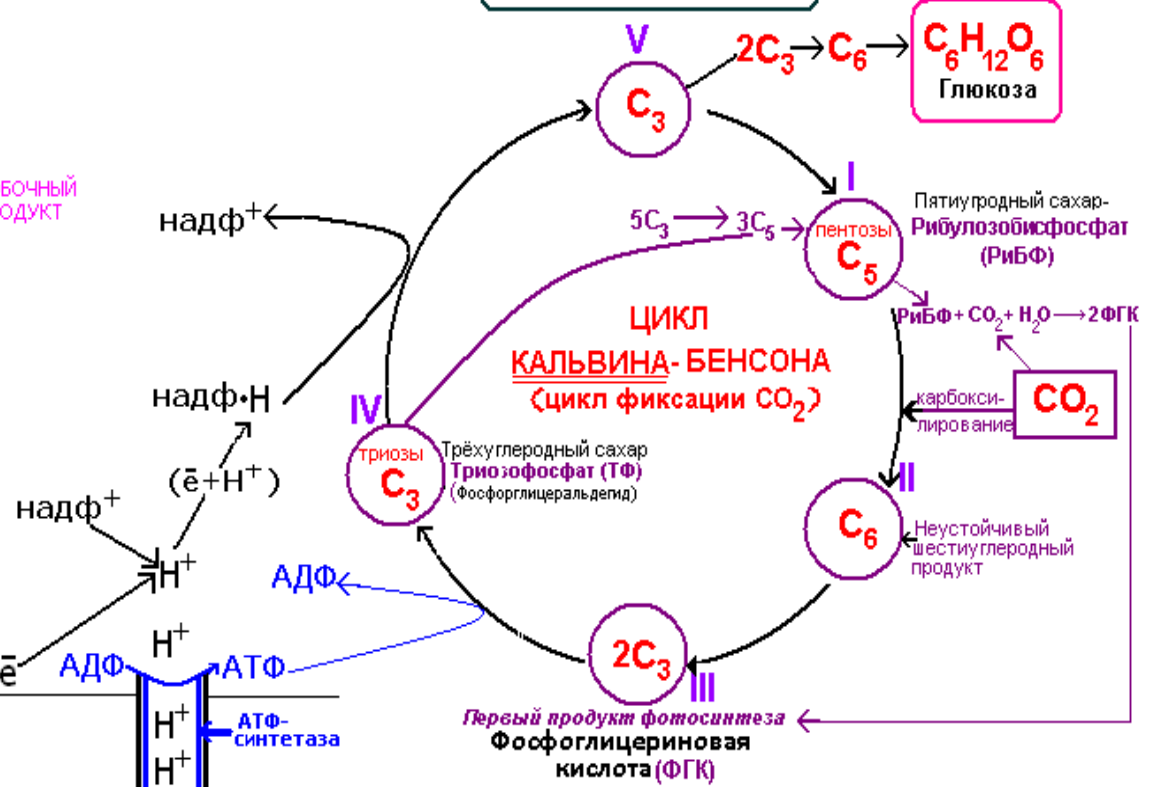
3. Синтез АТФ

4. Восстановление

НАДФ^+ до $\text{НАДФ}^*\text{H} + \text{H}$

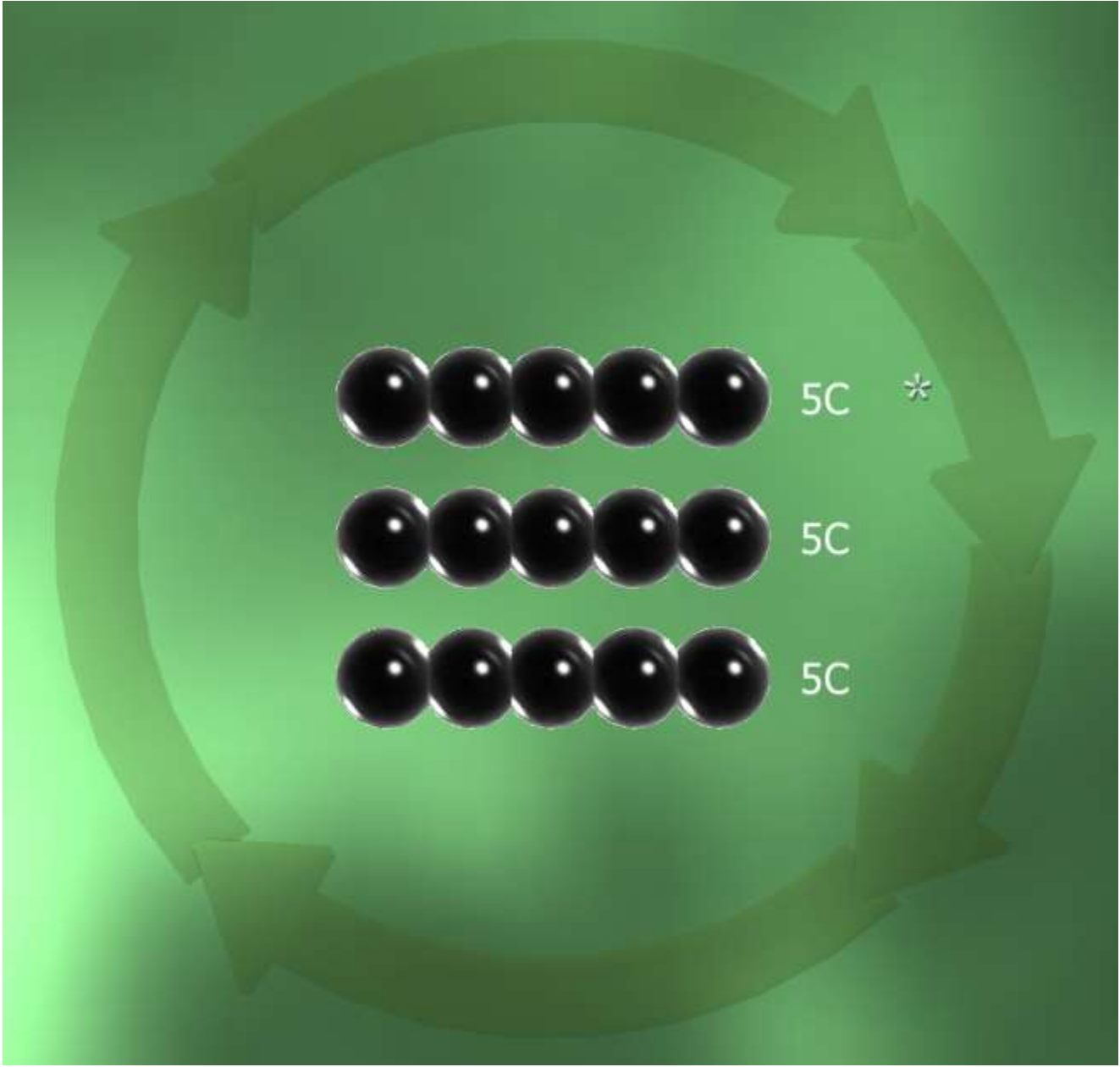


ТЕМНОВАЯ ФАЗА

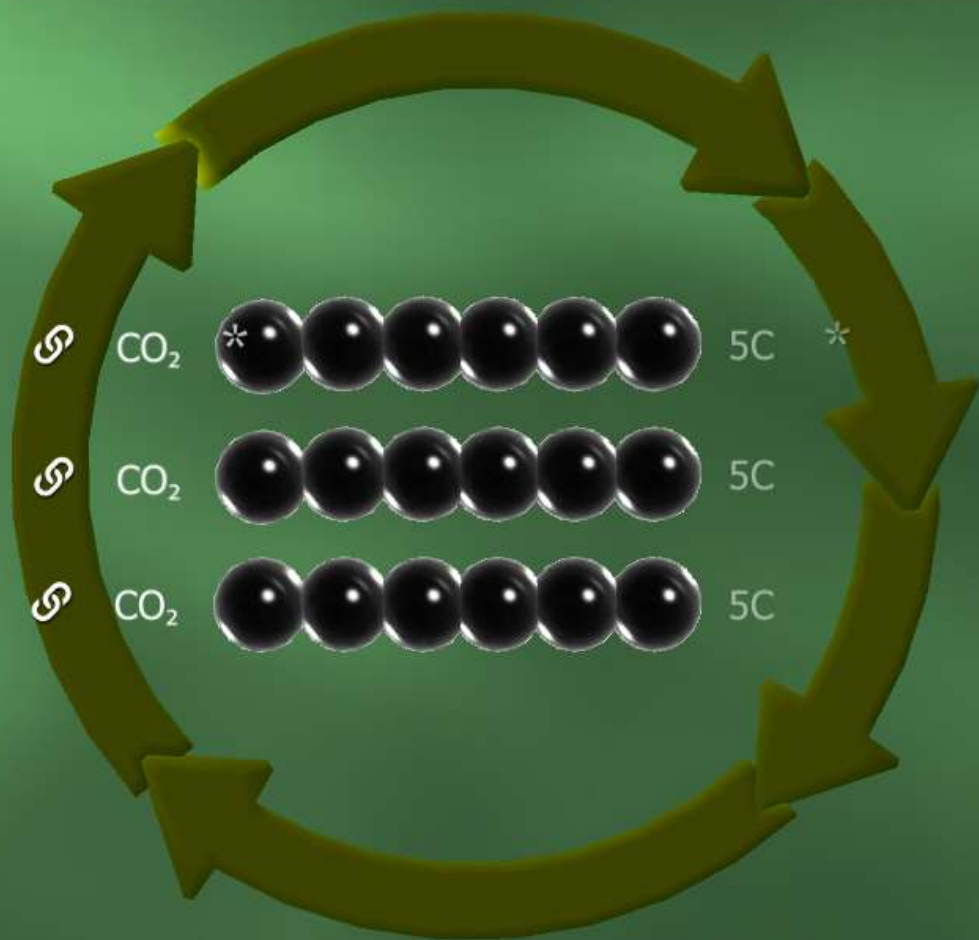


https://disk.yandex.ru/i/R_Yxn57J4hefeg

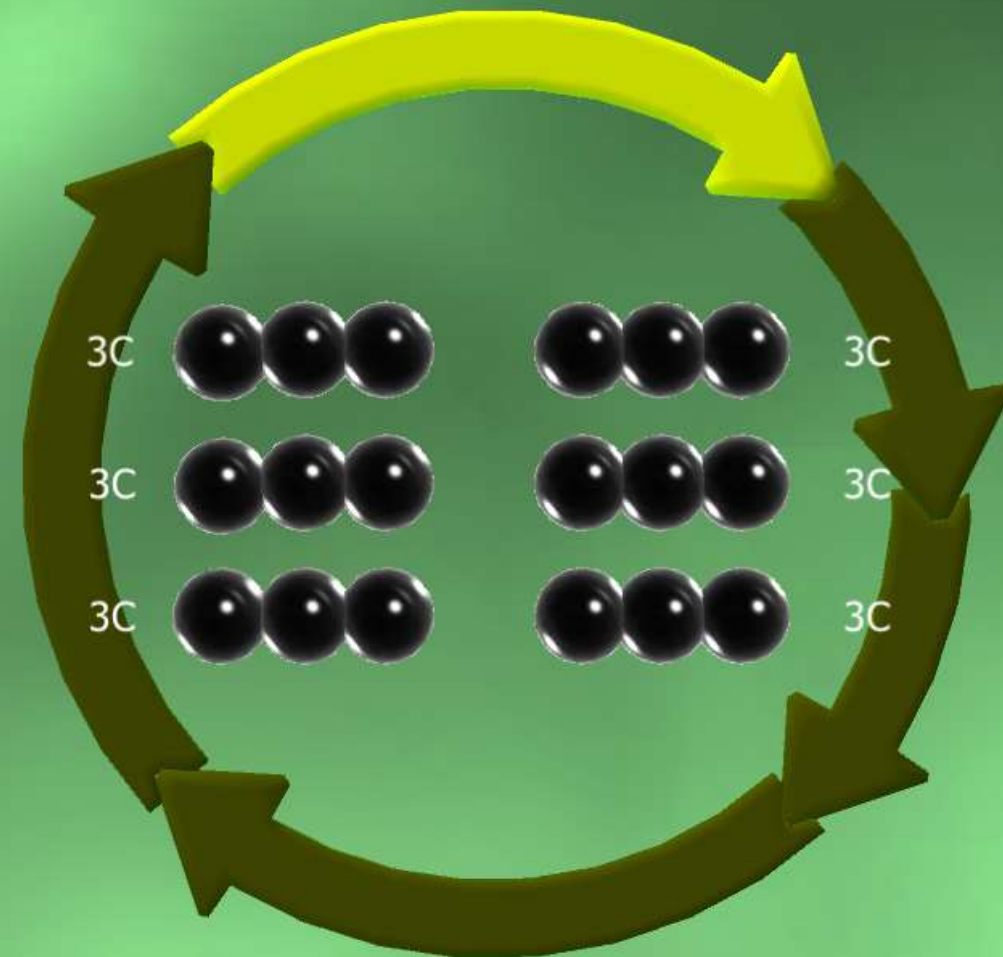
<https://youtu.be/cyAY-wyZpkA>



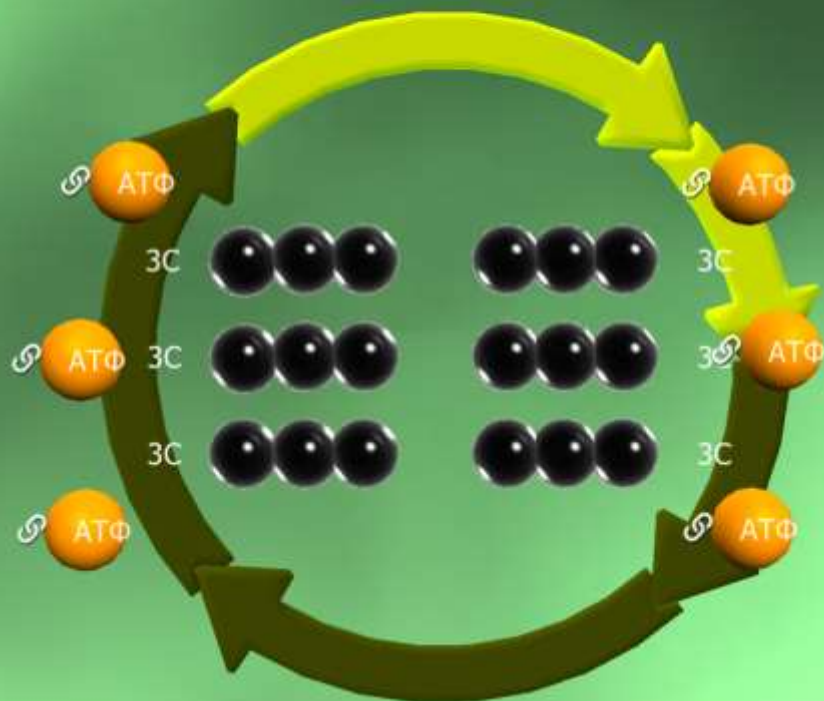
связывание CO_2 , синтез 3-фосфоглицериновой кислоты *



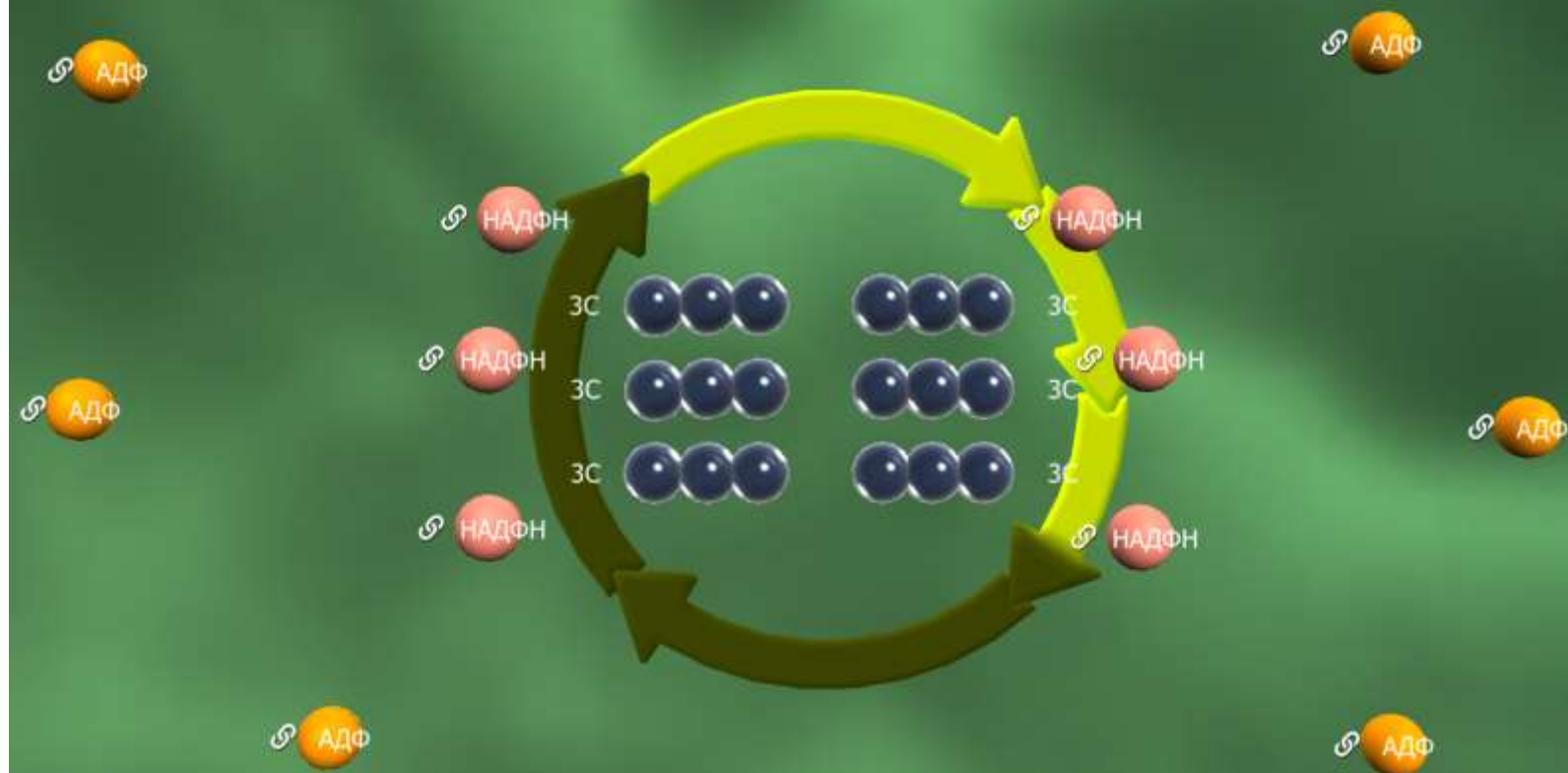
связывание CO_2 , синтез 3-фосфоглицериновой кислоты *



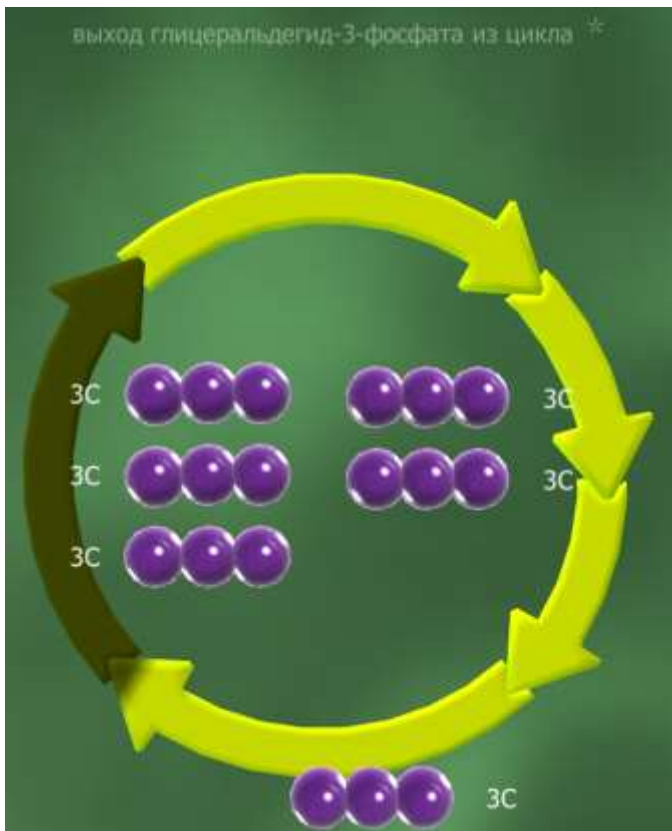
образование 1,3-дифосфоглицериновой кислоты *



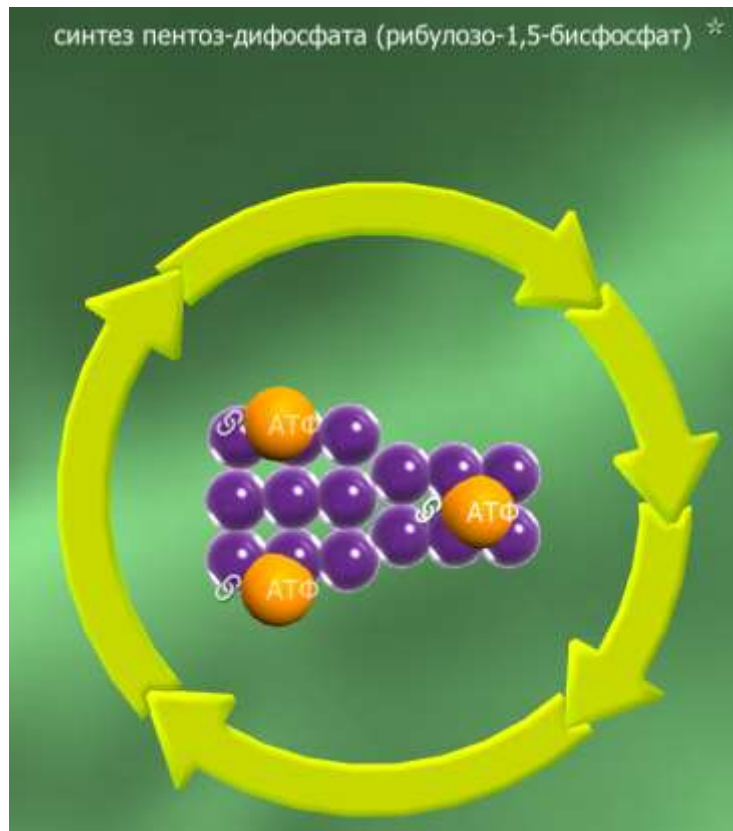
синтез глицеральдегид-3-фосфата *



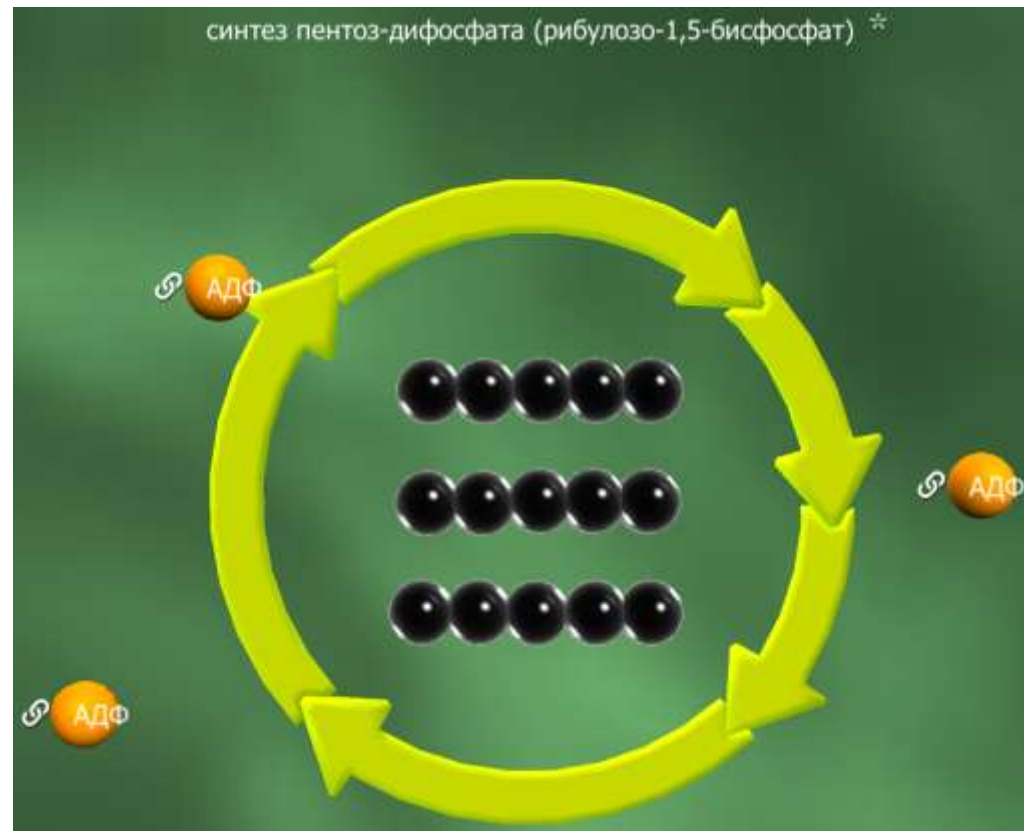
выход глицеральдегид-3-фосфата из цикла *

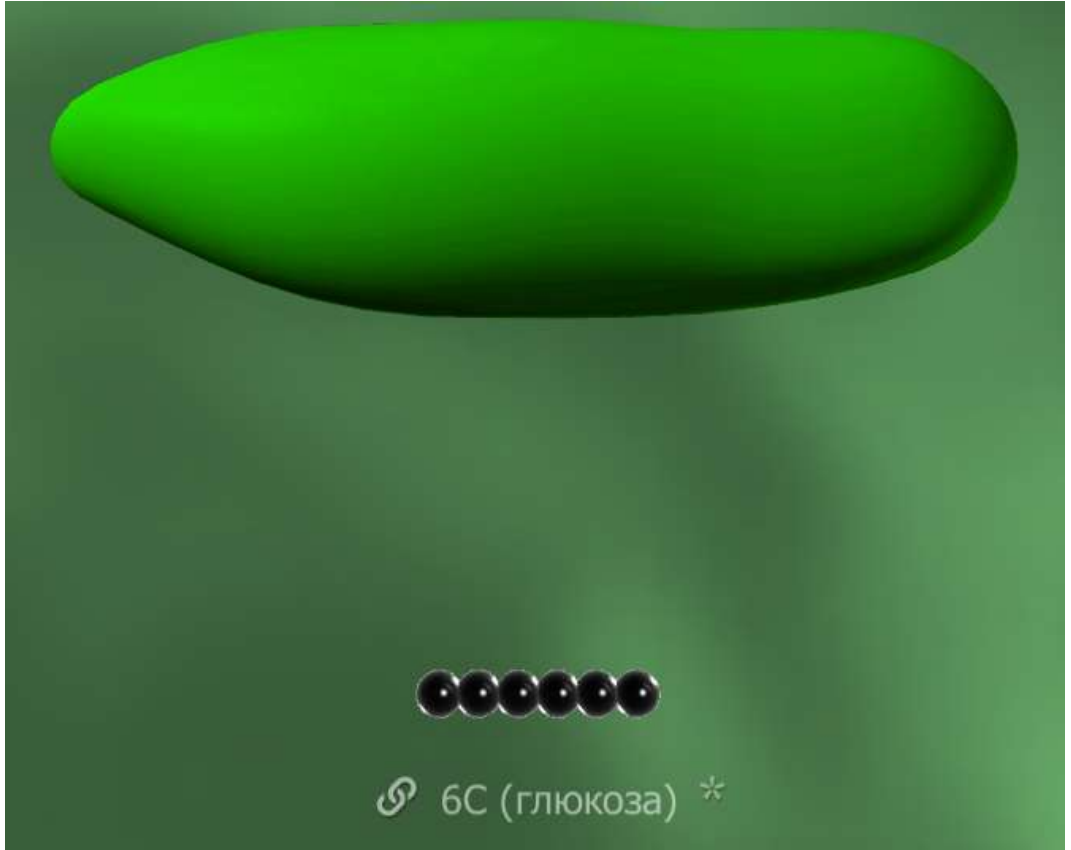
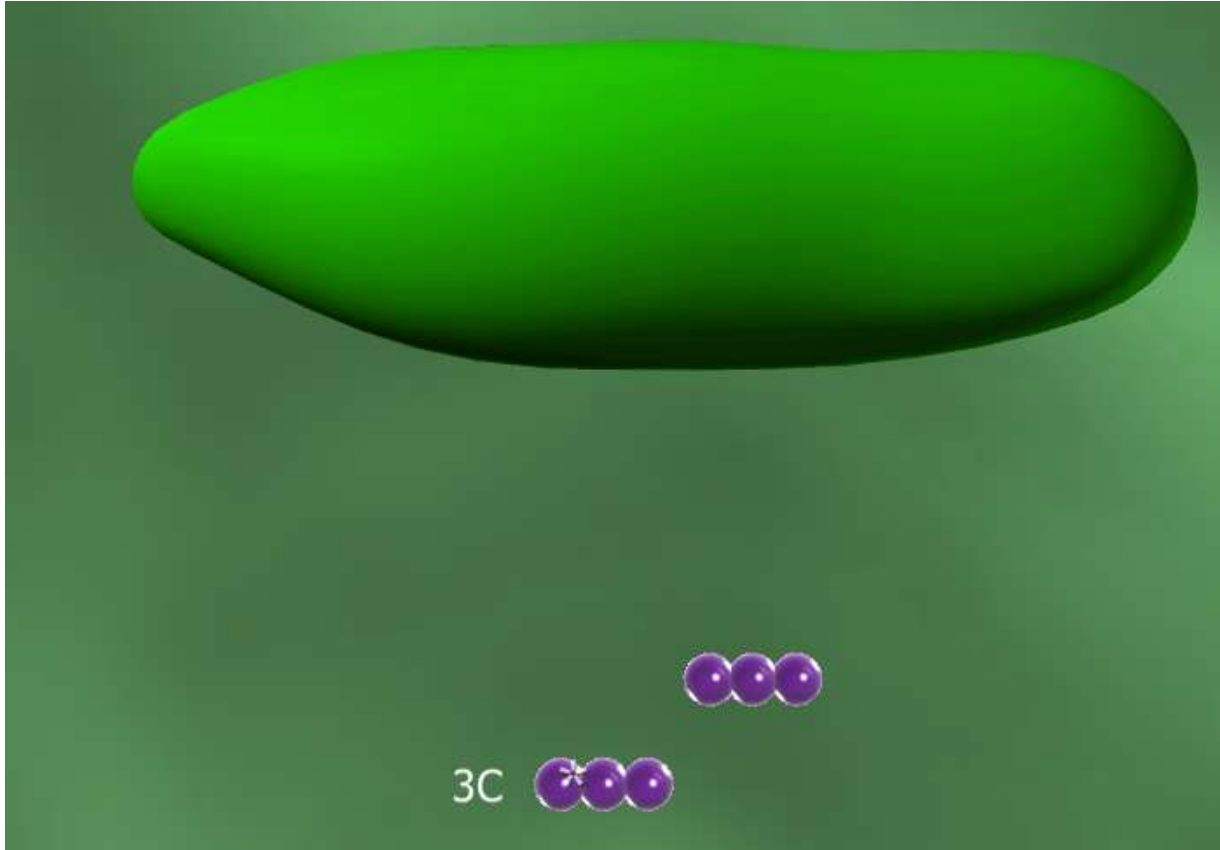


синтез пентоз-дифосфата (рибулозо-1,5-бисфосфат) *

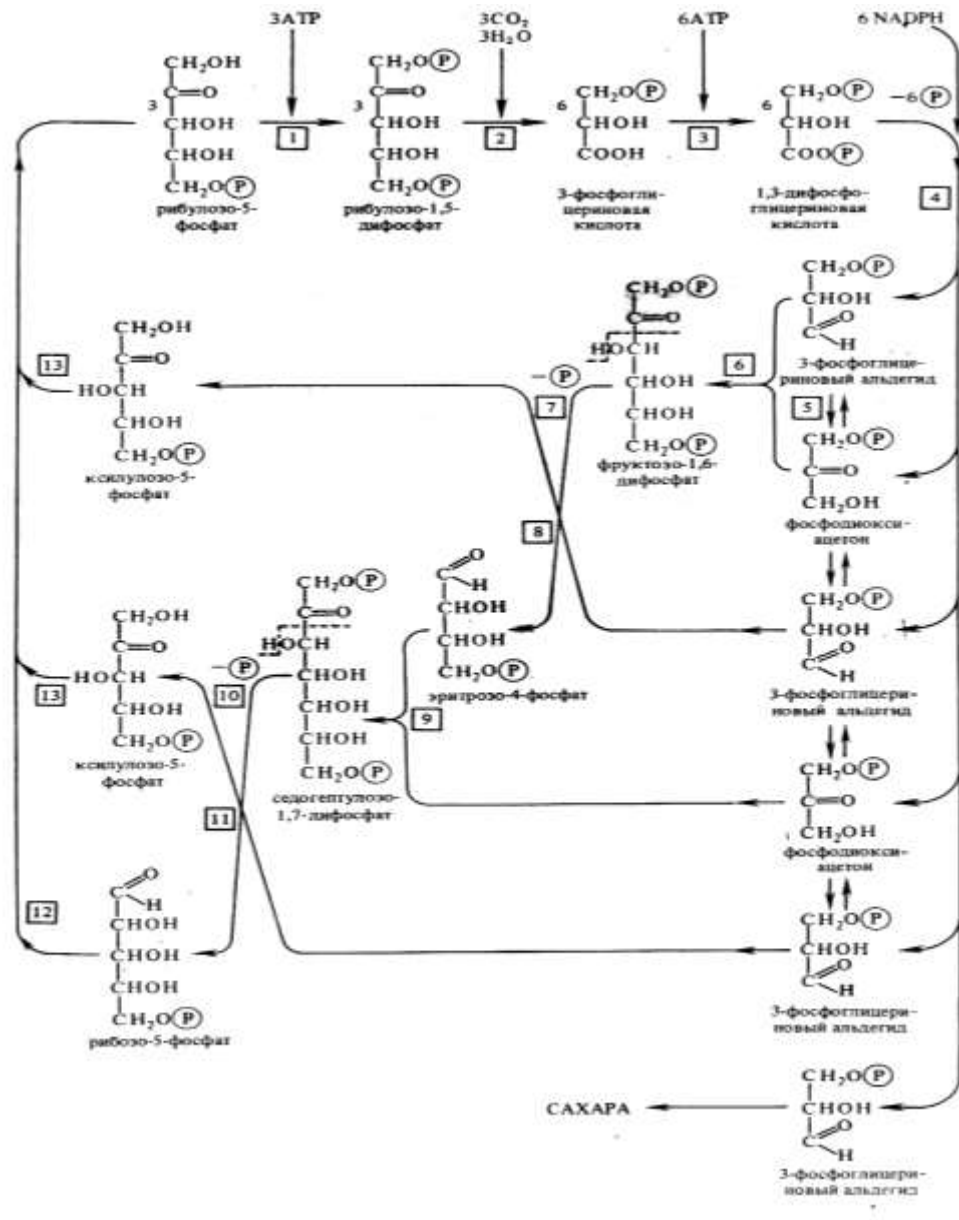


синтез пентоз-дифосфата (рибулозо-1,5-бисфосфат) *



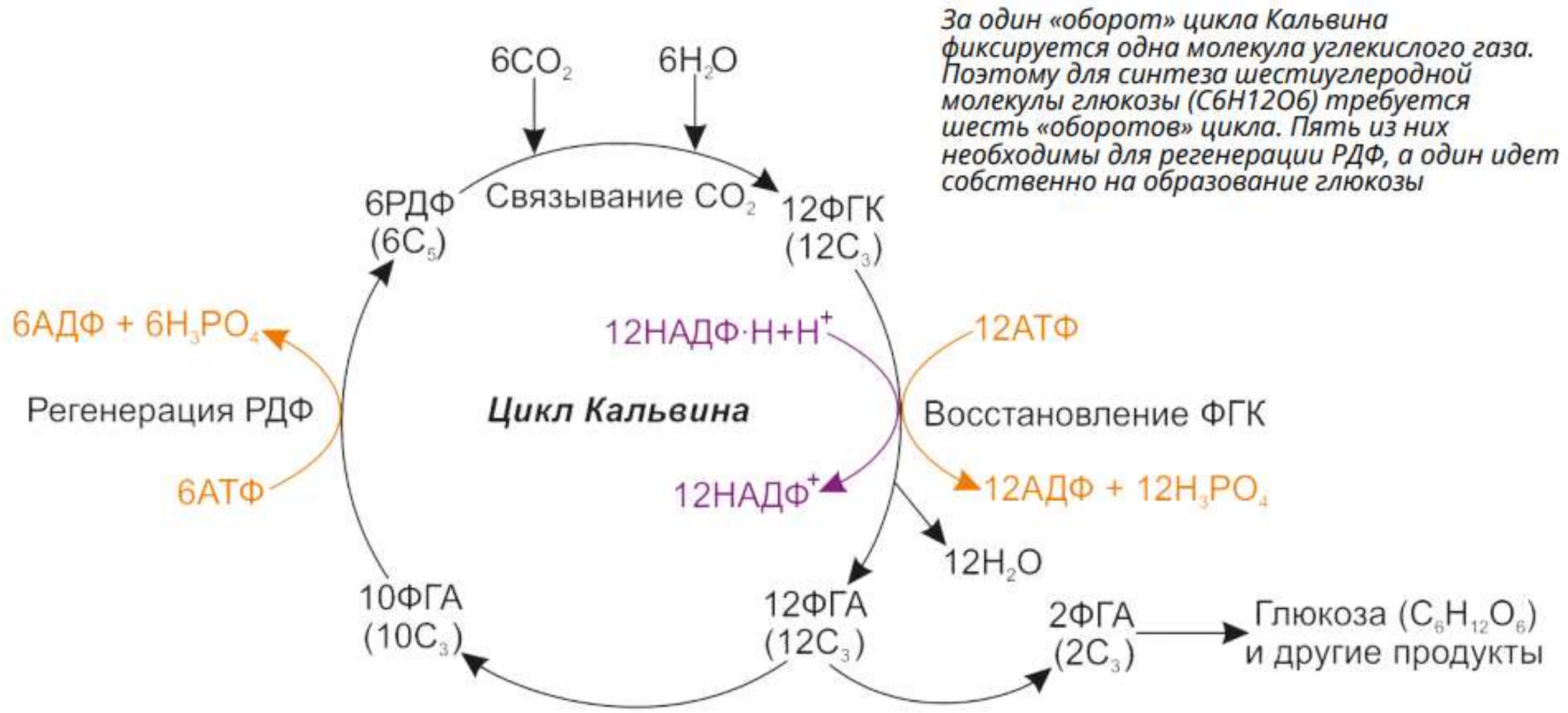


Темновая фаза. Цикл Кальвина - C₃-путь фотосинтеза



Ферменты

- 1 – фосфорибулокиназа,
- 2 - рибулозодифосфаткарбоксилаза,
- 3 - фосфоглицераткиназа,
- 4 - триозофосфат дегидрогеназа,
- 5 – триозофосфат изомераза,
- 6 – альдолаза,
- 7 – фосфатаза,
- 8 – транскетолаза,
- 9 – альдолаза,
- 10 – фосфатаза,
- 11 – транскетолаза,
- 12 – рибулофосфатизомераза,
- 13 – фосфокетопентозэпимераза (по В. В. Полевому).



За один «оборот» цикла Кальвина фиксируется одна молекула углекислого газа. Поэтому для синтеза шестиуглеродной молекулы глюкозы (C₆H₁₂O₆) требуется шесть «оборотов» цикла. Пять из них необходимы для регенерации РДФ, а один идет собственно на образование глюкозы

Темновая фаза фотосинтеза

Цикл Кальвина состоит из трех стадий:

1) карбоксилирование

(фиксация углевода);

2) восстановление;

3) регенерация.



Zea mays



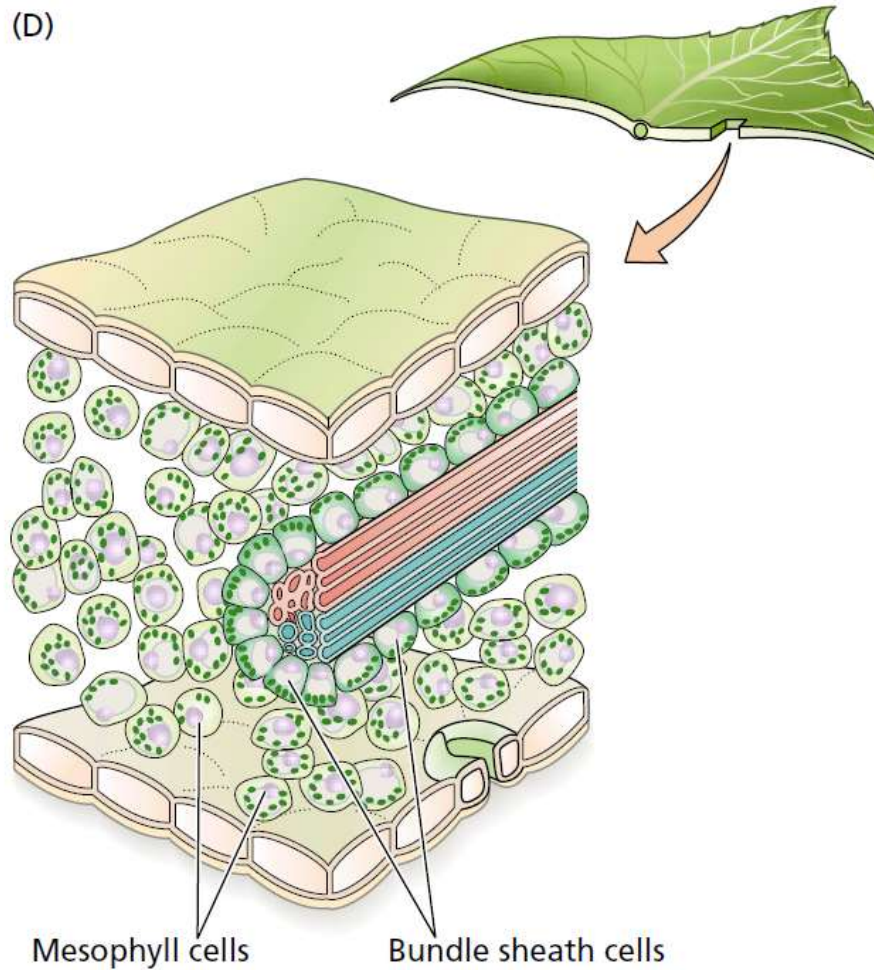
Amaranthus retroflexus



Amaranthus caudatus

Особенности листа C4-растения

(D)



Анатомия листьев у C3 и C4-растений

C3-растения

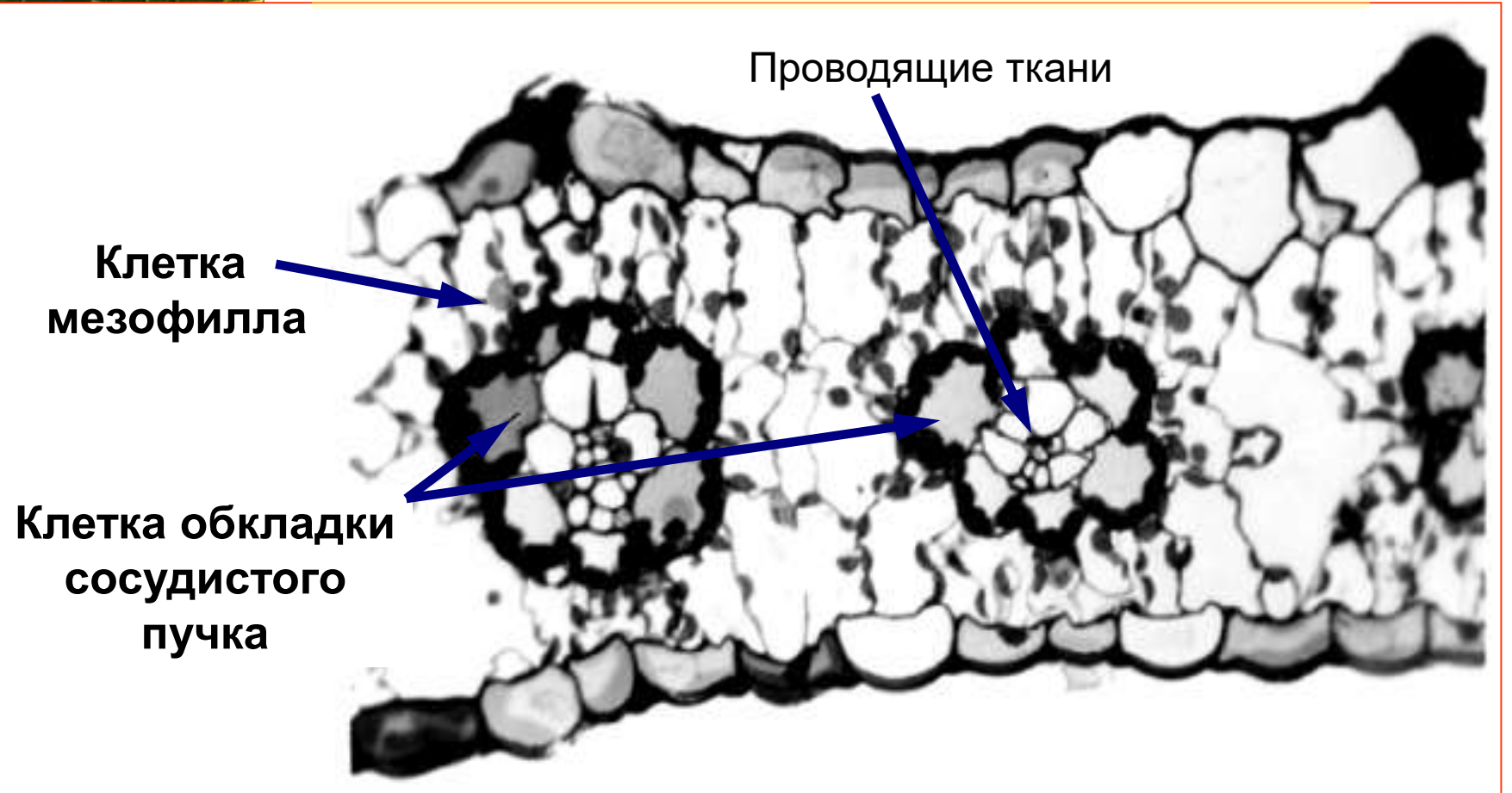
C4-растения





Кранц-анатомия листа (кукуруза)

1. Нет дифференцировки на столбчатый и губчатый мезофилл
2. Клетки вокруг пучков увеличены (обкладка), напоминают «корону» на срезе (нем. Kranz-korona)
3. У хлоропластов клеток обкладки **нет гран**, они расположены вдоль стенок, прилежащих к мезофиллу

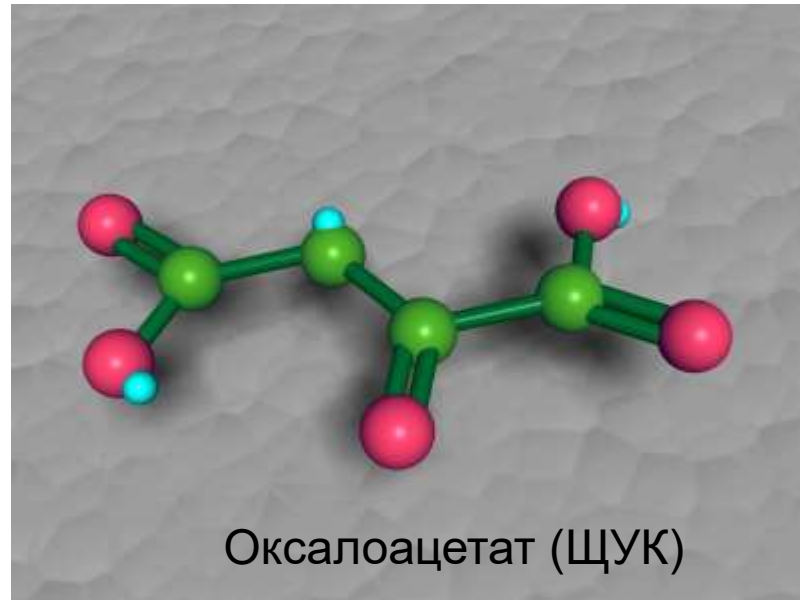




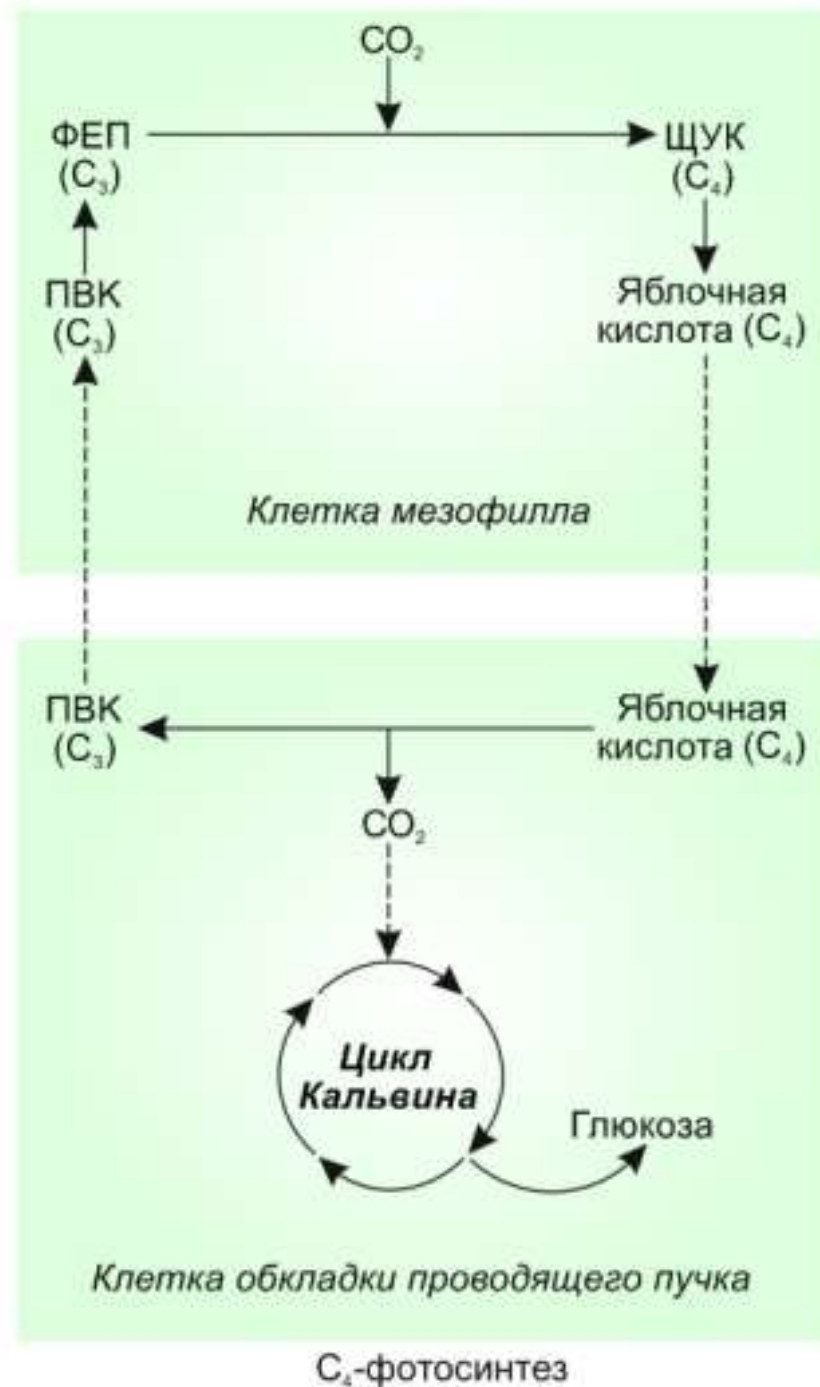
Фосфоенолпируваткарбоксилаза (ФЕП-карбоксилаза)

Первое 4-х углеродное
соединение:

C - 4 !



C₄-путь фотосинтеза (цикл Хетча—Слэка)

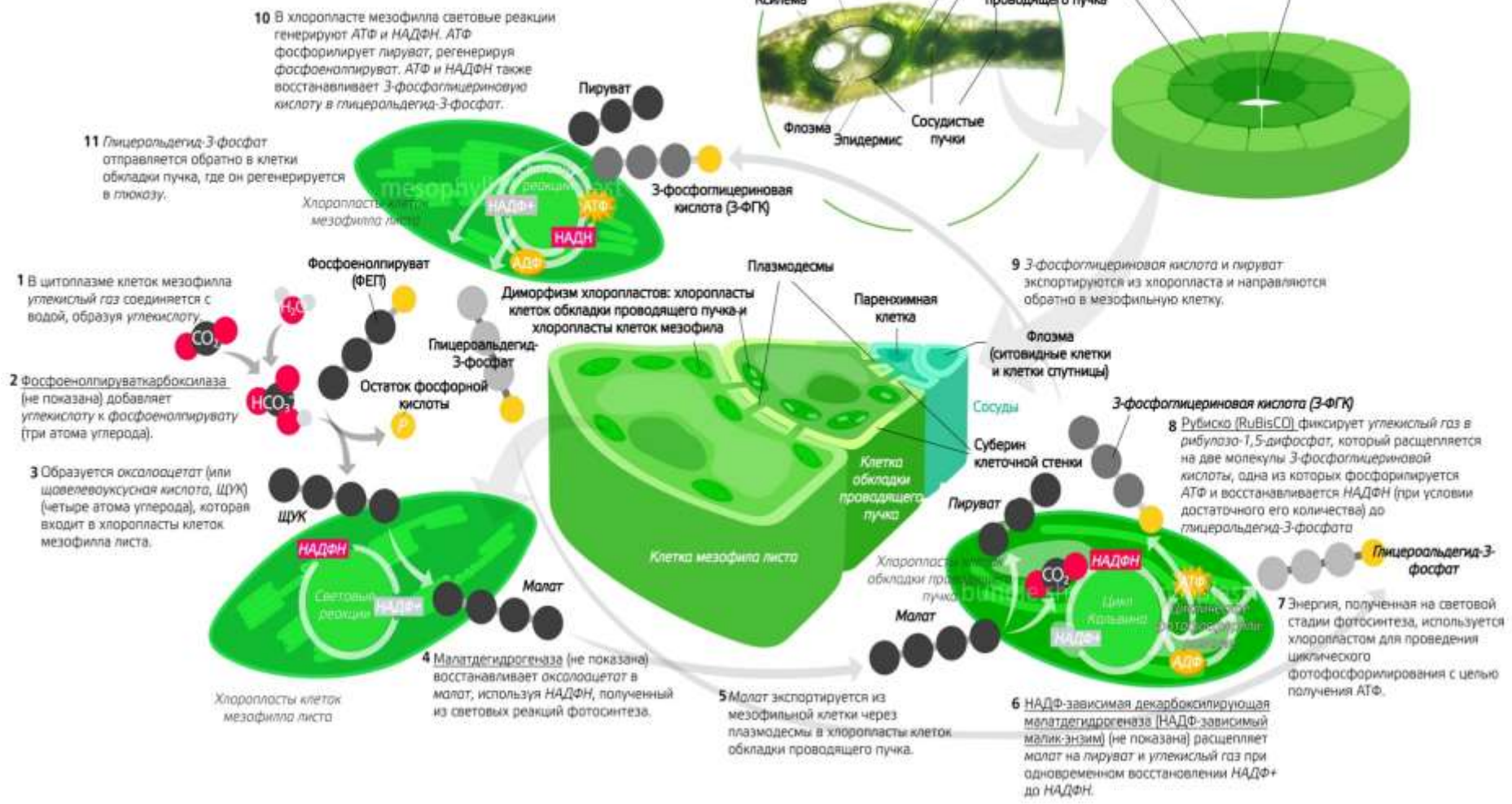
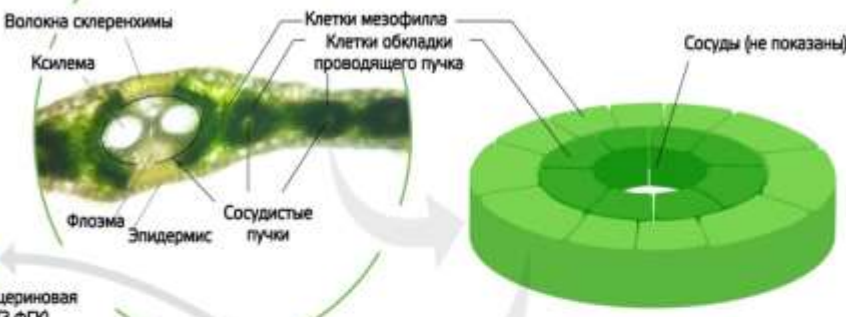


C₄-ФОТОСИНТЕЗ



vk.com/biovk

Поперечное сечение листьев C₄ – растений (кукуруза, Zea mays)



10 В хлоропласте мезофилла световые реакции генерируют АТФ и НАДФН. АТФ фосфорилирует пируват, регенерируя фосфоэнлириват. АТФ и НАДФН также восстанавливает 3-фосфоглицериновую кислоту в глицеральдегид-3-фосфат.

11 Глицеральдегид-3-фосфат отправляется обратно в клетки оболочки пучка, где он регенерируется в глюкозу.

1 В цитоплазме клеток мезофилла углекислый газ соединяется с водой, образуя углекислоту.

2 Фосфоэнлириваткарбоксилаза (не показана) добавляет углекислоту к фосфоэнлириувату (три атома углерода).

3 Образуется оксалоацетат (или щавелевоуксусная кислота, ЩУК) (четыре атома углерода), которая входит в хлоропласты клеток мезофилла листа.

4 Малатдегидрогеназа (не показана) восстанавливает оксалоацетат в малат, используя НАДФН, полученный из световых реакций фотосинтеза.

5 Малат экспортируется из мезофилльной клетки через плазмодесмы в хлоропласты клеток оболочки проводящего пучка.

6 НАДФ-зависимая декарбоксилирующая малатдегидрогеназа [НАДФ-зависимый малик-энзим] (не показана) расщепляет малат на пируват и углекислый газ при одновременном восстановлении НАДФ+ до НАДФН.

9 3-фосфоглицериновая кислота и пируват экспортируются из хлоропласта и направляются обратно в мезофилльную клетку.

8 Рубиско (RuBisCO) фиксирует углекислый газ в рибулозо-1,5-дифосфат, который расщепляется на две молекулы 3-фосфоглицериновой кислоты, одна из которых фосфорилируется АТФ и восстанавливается НАДФН (при условии достаточного его количества) до глицеральдегид-3-фосфата

7 Энергия, полученная на световой стадии фотосинтеза, используется хлоропластом для проведения циклического фотофосфорилирования с целью получения АТФ.

CAM-метаболизм



Sempervivum

Неблагоприятный
водный
режим

Пустыни



Hawortia

Солончаки



Salicornia

Низкая
влагоемкость
субстрата
(эпифиты,
наскальные
растения)

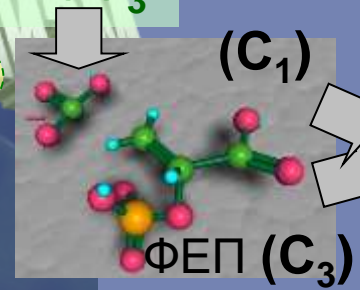
Dendrobium



CAM-M

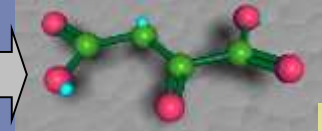


карбо-ангидраза



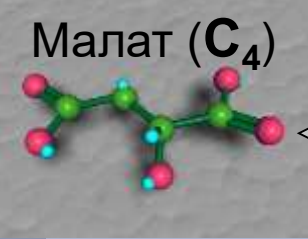
ФЕП-кар-боксилаза

Оксалоацетат (C₄)

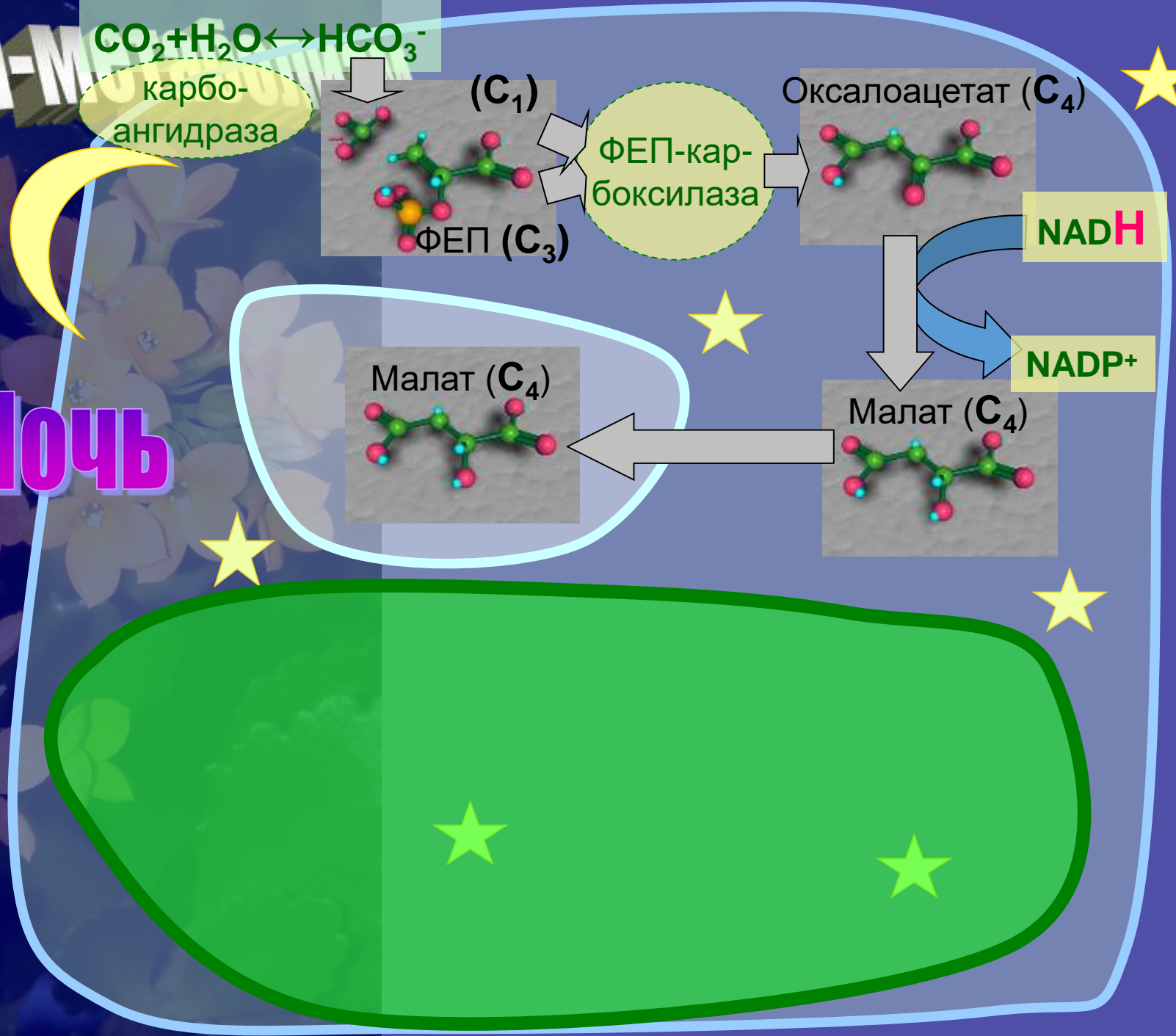


NADH

NADP+



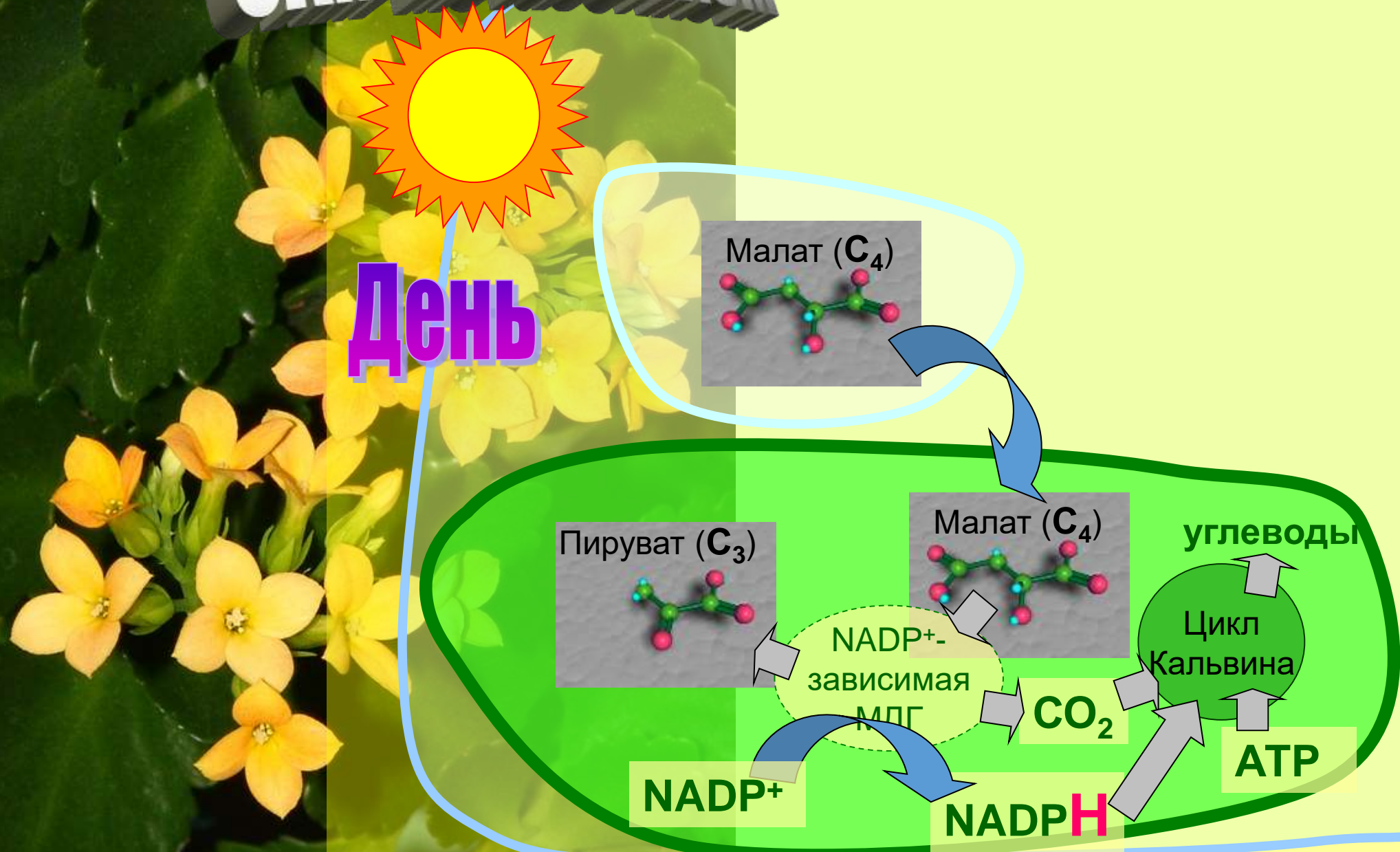
Ночь

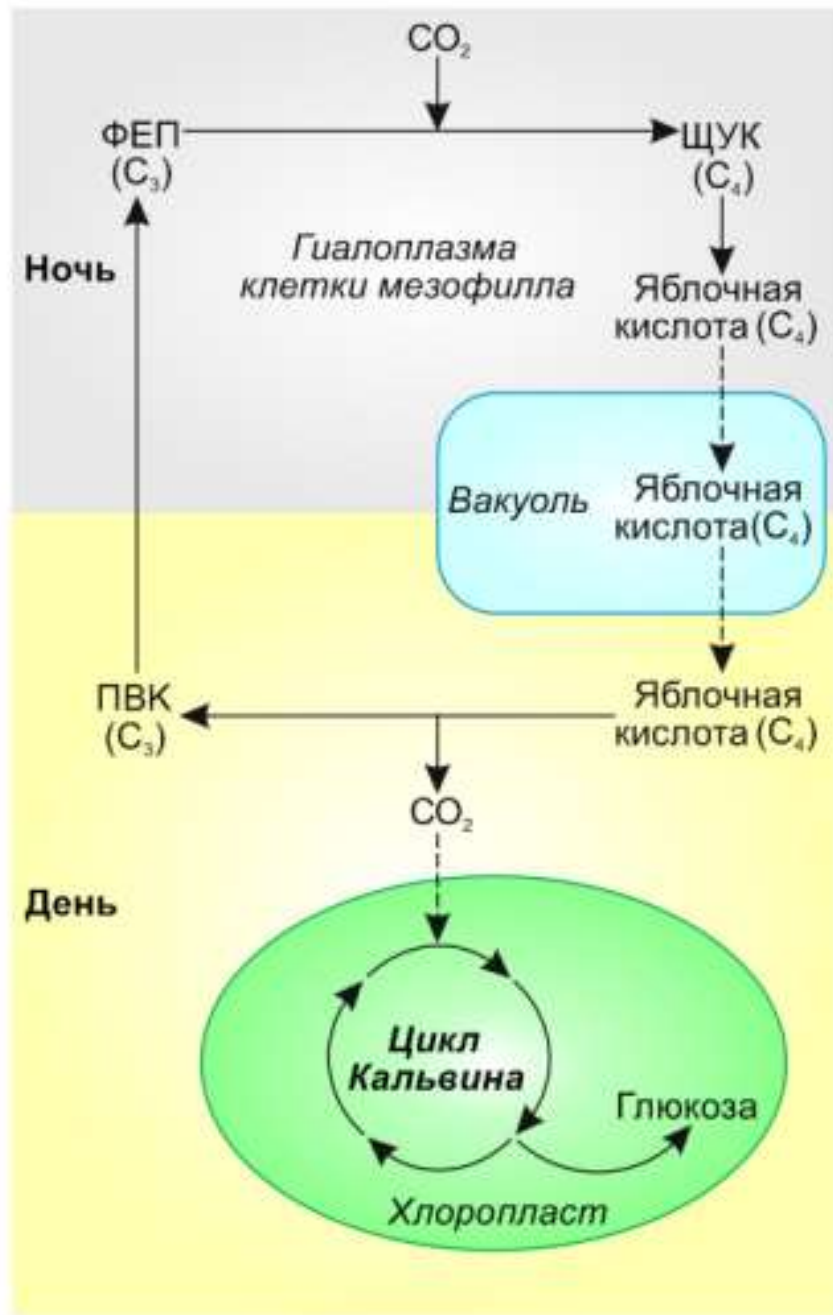


САН-метаболизм

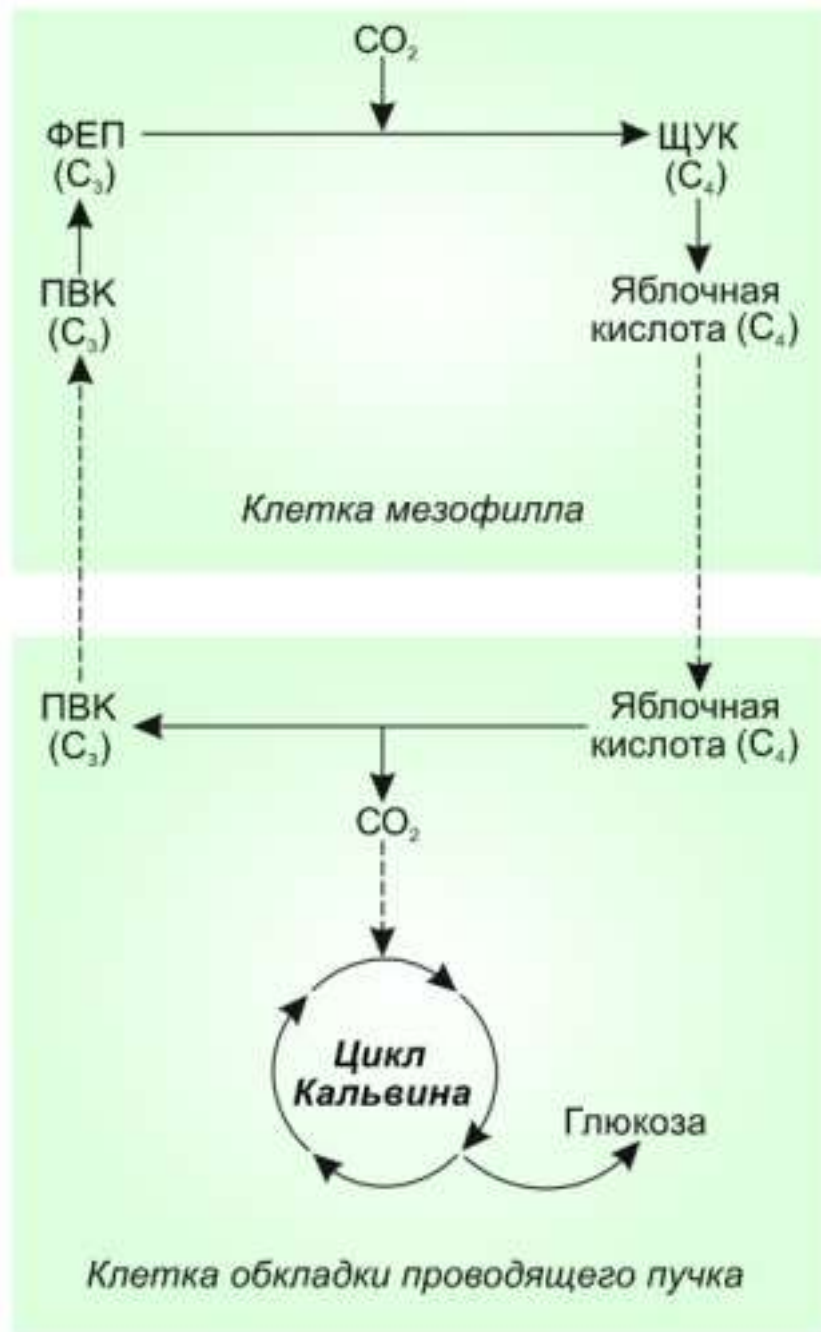
NADP⁺-зависимый МДГ путь

День

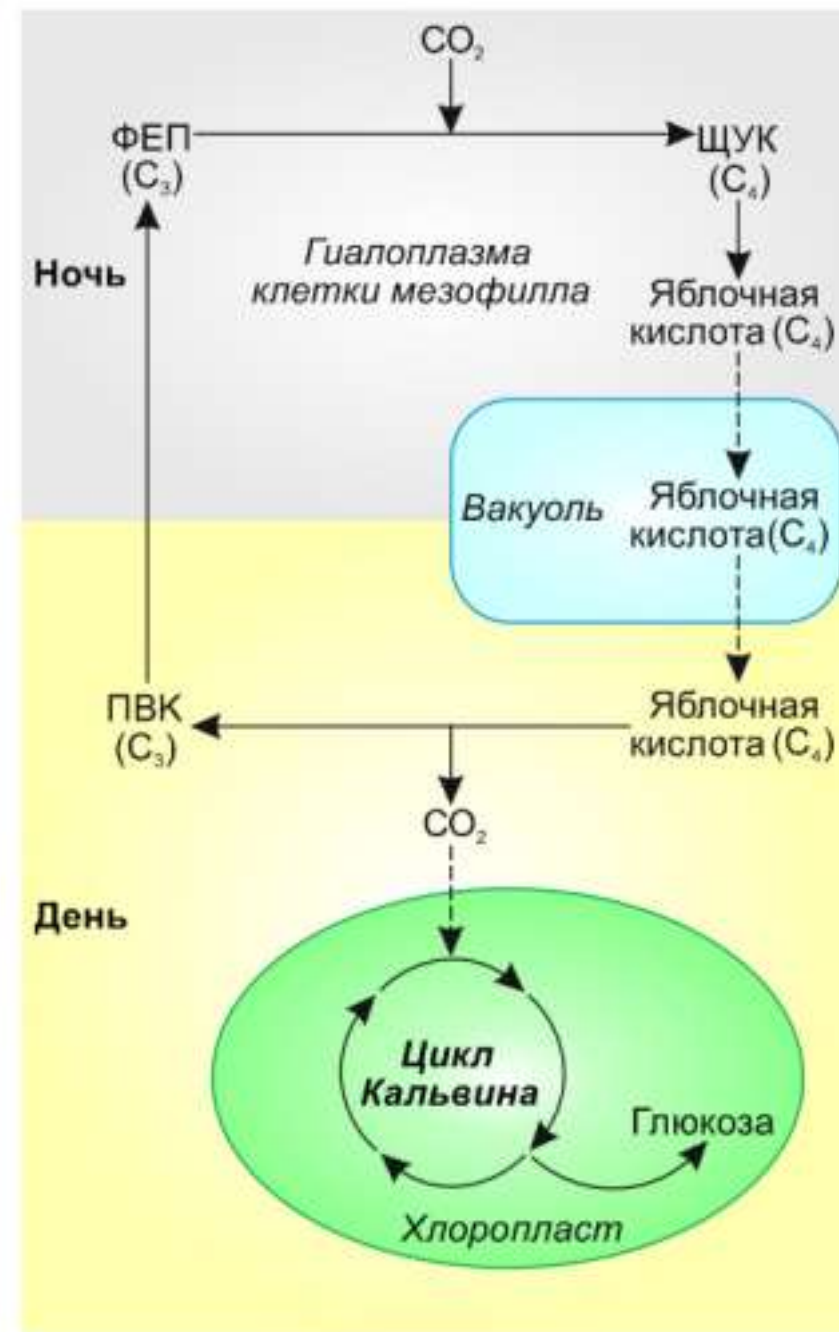




САМ-фотосинтез

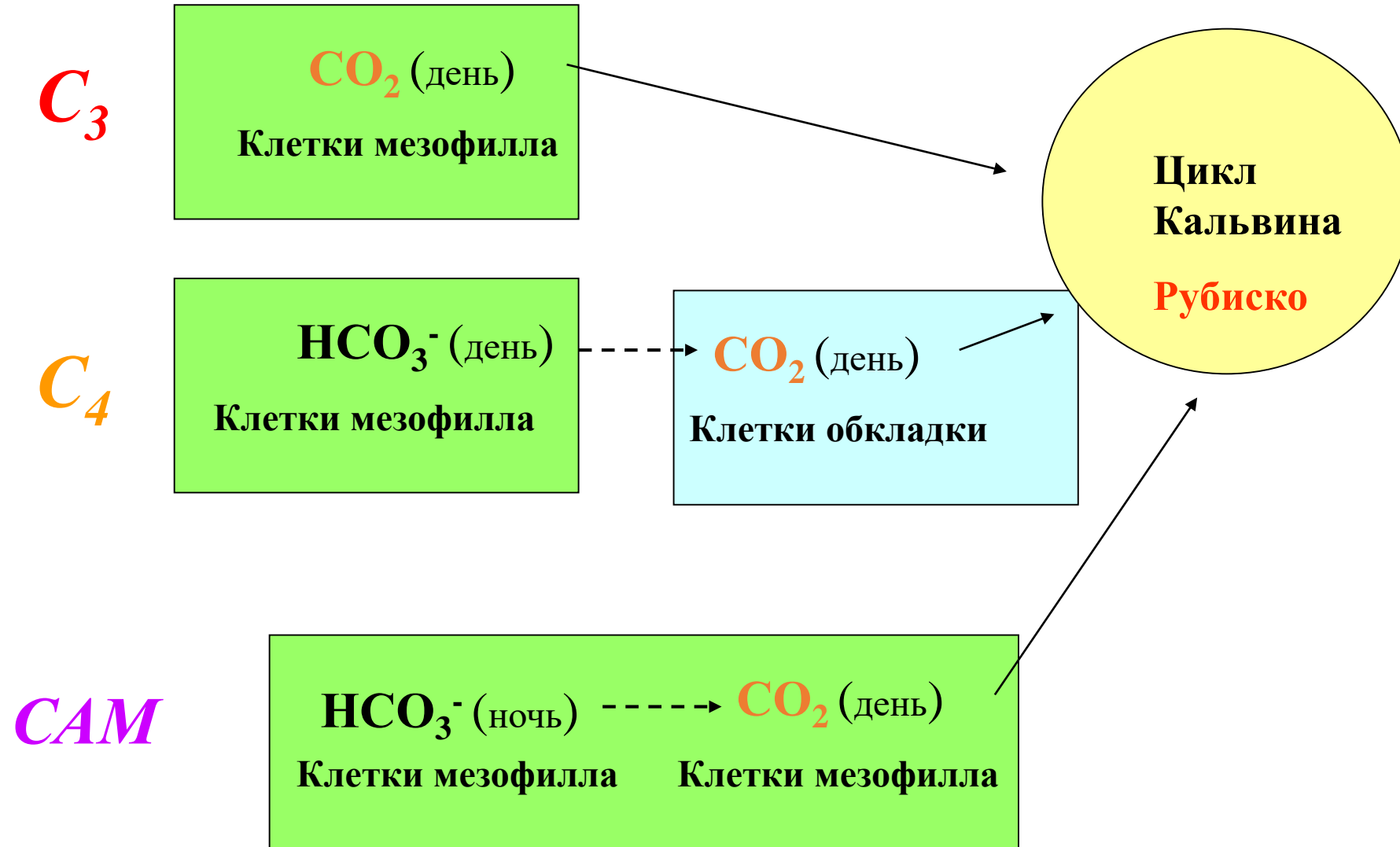


C₄-фотосинтез

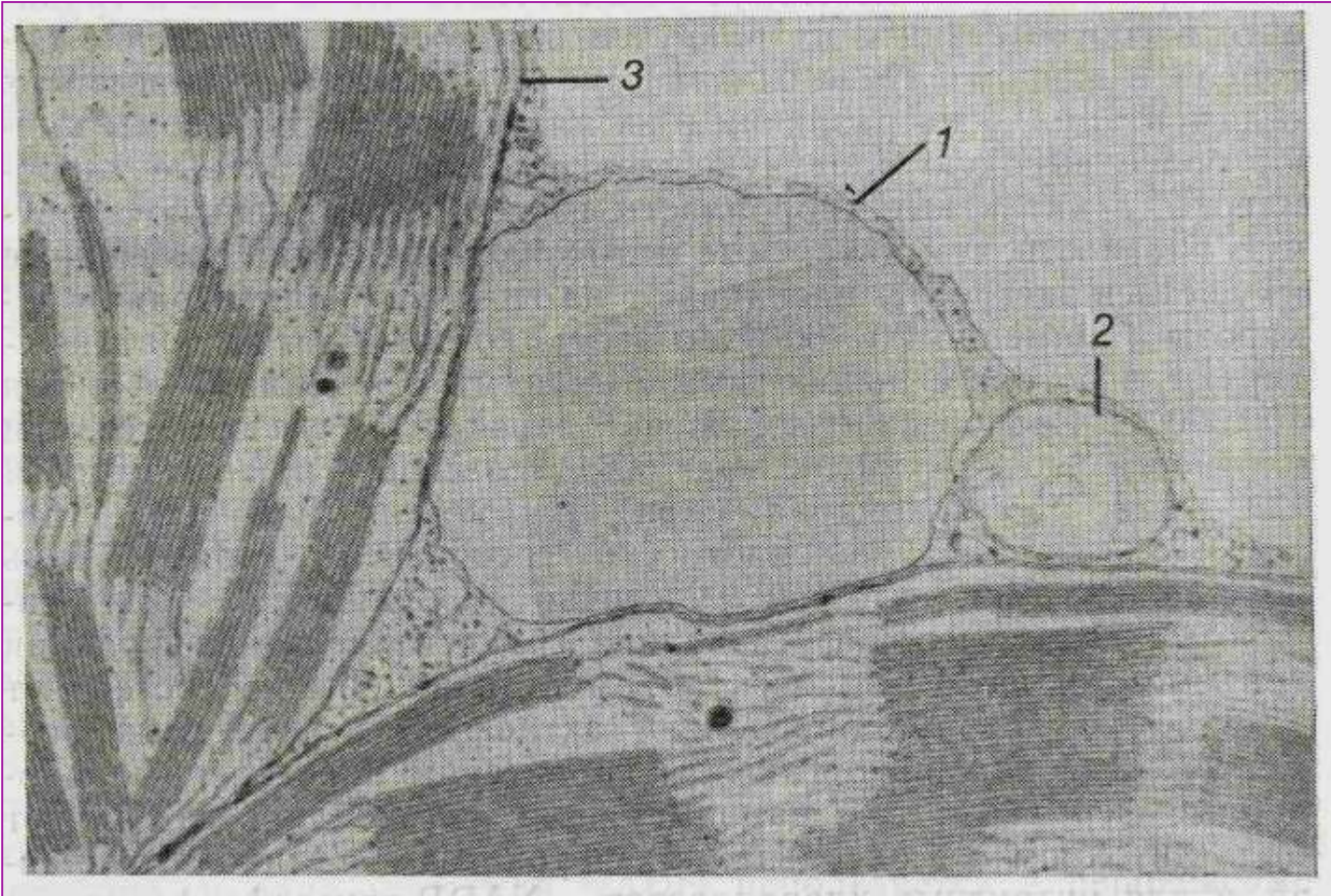


CAM-фотосинтез

Схема ассимиляции CO_2 у растений с разным типом ФС



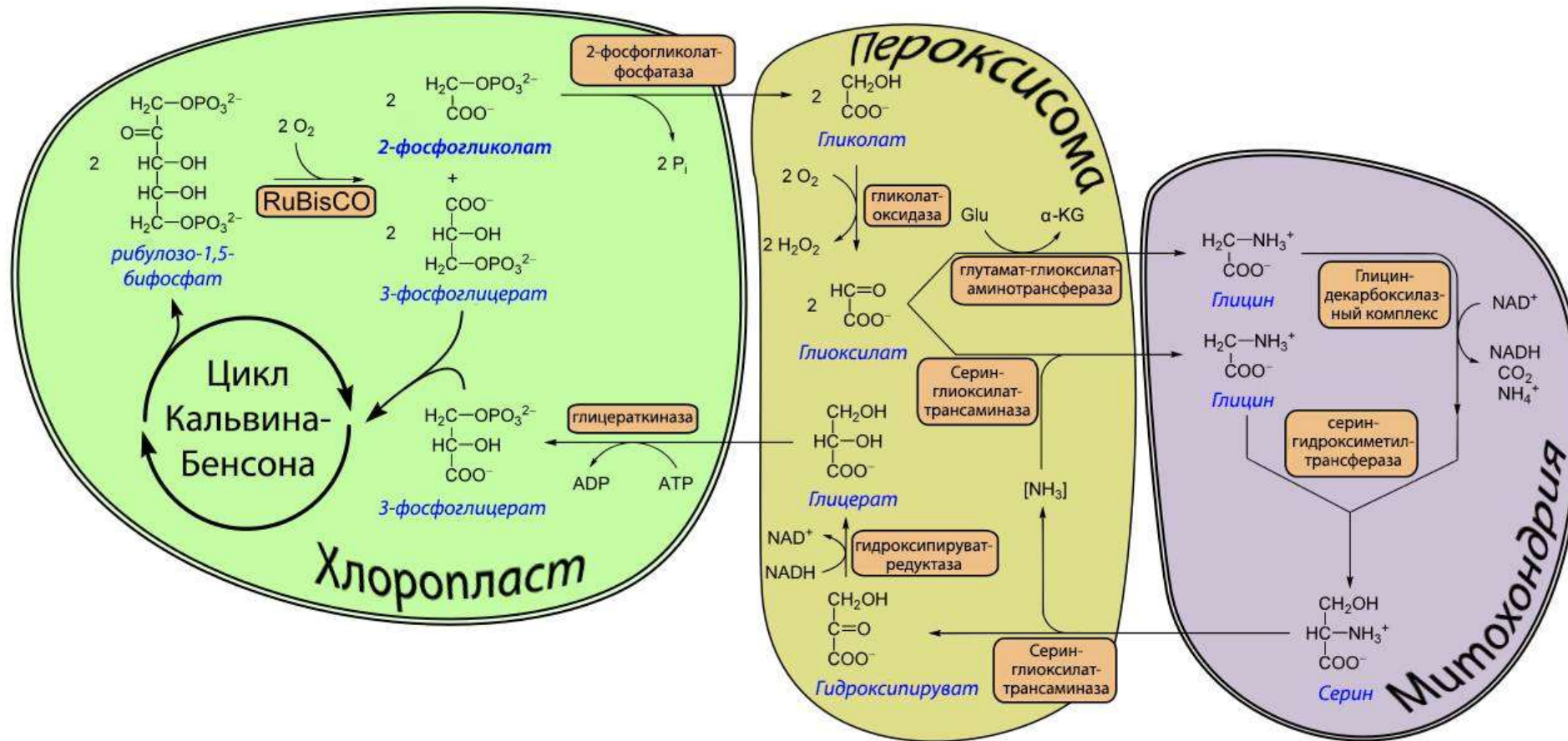
Фотодыхание – процесс, происходящий в трех органеллах



Клетка мезофилла молодого листа табака *Nicotiana tabacum* (x 48 000)
1 – пероксисома, 2 – митохондрия, 3 – хлоропласт

Общая схема фотодыхания

Рибулозодифосфат карбоксилаза/
оксигеназа (RuBisCo)



https://disk.yandex.ru/i/R_Yxn57J4hefeg

https://youtu.be/wOCtZlssS_k

Характеристика основных показателей фотосинтеза:

интенсивность фотосинтеза - это количество углекислого газа, которое усваивается единицей листовой поверхности за единицу времени. В зависимости от вида растения этот показатель колеблется от 5 до 25 мг $\text{CO}_2/\text{дм}^2 \cdot \text{ч}$.

продуктивность фотосинтеза - это отношение суточного увеличения массы всего растения (в граммах) к площади листьев. В среднем эта величина составляет от 5 до 12 г сухого вещества на 1 м² листовой поверхности в сутки.

Условия, влияющие на интенсивность и продуктивность фотосинтеза.

На основные показатели фотосинтеза влияют как внутренние факторы, так и внешние абиотические факторы.

К **внутренним факторам** - то есть к эндогенным механизмам регуляции фотосинтеза у растений - относятся:

- проводимость листа,
- фотохимическое лимитирование фотосинтеза,
- биохимическое лимитирование фотосинтеза,
- гормональное воздействие,
- донорно-акцепторные отношения,
- накопление углеводов,
- возраст листа или растения.

Влияние внешних факторов на фотосинтез

Освещенность растения влияет не только за счет количества ФАР, падающей на лист, но и за счет качества падающей световой энергии. Качество света влияет на превращение промежуточных продуктов фотосинтеза и на направленность дальнейшего процесса биосинтеза. Так коротковолновой свет способствует образованию аминокислот, белков, органических кислот, а длинноволновой - образованию углеводов. Интенсивность фотосинтеза максимальна в красной части спектра и минимальна в жёлтой и зеленой его частях.

Температура. При низкой освещенности фотосинтез идет с одинаковой скоростью при 15 и 25°C. Это объясняется тем, что при низкой освещенности интенсивность фотосинтеза зависит от скорости световых реакций. При высокой освещенности интенсивность фотосинтеза лимитируется скоростью темновых реакций и Q_{10} примерно равен 2. Для большинства растения C_3 -типа оптимальная температура 20-25°C, для растений C_4 -типа она равна 25-40°C. При температуре выше оптимальной интенсивность фотосинтеза снижается из-за инактивации хлоропластов и закрытия устьиц.

Содержание CO_2 в воздухе. Повышение содержания CO_2 с 0,03 % до 0,3 % вызывает увеличение интенсивности фотосинтеза. Дальнейшее возрастание концентрации CO_2 до 1 % не сказывается на фотосинтезе, но более высокий уровень CO_2 в воздухе приводит к депрессии фотосинтеза. Высокие концентрации CO_2 особенно неблагоприятны при высокой освещенности, так как происходит ингибирование темновых реакций. Влияние содержания углекислого газа на фотосинтез зависит от вида растения.

Снабжение водой. При большом водном дефиците интенсивность фотосинтеза снижается из-за закрытия устьиц, что уменьшает поступление CO_2 в листья, снижает транспирацию и приводит к повышению температуры листа. Кроме того, обезвоживание изменяет конформацию и, следовательно, активность ферментов.

Содержание кислорода в воздухе, в среднем, равно 21 %. Повышение концентрации или отсутствие кислорода для фотосинтеза неблагоприятны. Кислород снижает активность рибулозодифосфаткарбоксилазы.

Минеральное питание. Исключение любого элемента минерального питания отрицательно сказывается на фотосинтезе. Особенно важны такие элементы как фосфор, магний, железо, марганец, медь, калий и азот. На всех этапах фотосинтеза участвуют фосфорилированные соединения. Калий активирует процессы фосфорилирования и участвует в открывании устьиц. Магний входит в состав хлорофиллов, активирует реакции карбоксилирования и восстановления НАДФ. Железо необходимо для синтеза хлорофиллов. Марганец участвует в фоторазложении воды. Медь входит в состав пластоцианина. Азот необходим для формирования хлоропластов и образования пигментов.

Пути повышения продуктивности фотосинтеза.

Прежде всего это точное соблюдение оптимальной технологии:

- соблюдение режима орошения,
- соблюдение режима минерального питания,
- использование необходимых внекорневых подкормок микроэлементами,
- повышение в защищенном грунте концентрации углекислого газа за счет применения органических удобрений (внесение навоза), использования сухого льда, поддымление парниковых рам. При этом у огурцов не только повышается интенсивность фотосинтеза, но и увеличивается количество женских цветков.



Тема: Анализ информации

Проанализируйте таблицу «Зависимость активности фотосинтеза от степени освещённости». Измерялось количество пузырьков, поднимающихся от среза стебля к поверхности стакана за 3 минуты. Результаты измерений представлены в таблице. Выберите все утверждения, которые можно сформулировать на основании анализа представленных данных. Запишите в ответе цифры, под которыми указаны выбранные утверждения.

Зависимость активности фотосинтеза от степени освещённости

Расстояние от лампочки до растения, см	Число пузырьков за 3 минуты				Среднее число пузырьков в минуту
	Повтор 1	Повтор 2	Повтор 3	Повтор 4	
100	103	94	64	87	29
70	81	101	104	95	32
40	101	103	93	99	33

- 1) Интенсивность фотосинтеза не зависит от расстояния до источника света.
- 2) При расстоянии 40 см или при минимальном расстоянии фотосинтез идёт наиболее активно.
- 3) Наибольшее количество пузырьков образуется, если растение находится на расстоянии 70 см от лампочки.
- 4) Чем больше расстояние от источника света до растения, тем слабее идёт фотосинтез.
- 5) Чем выше освещённость, тем слабее идёт фотосинтез.

Тема: Анализ информации

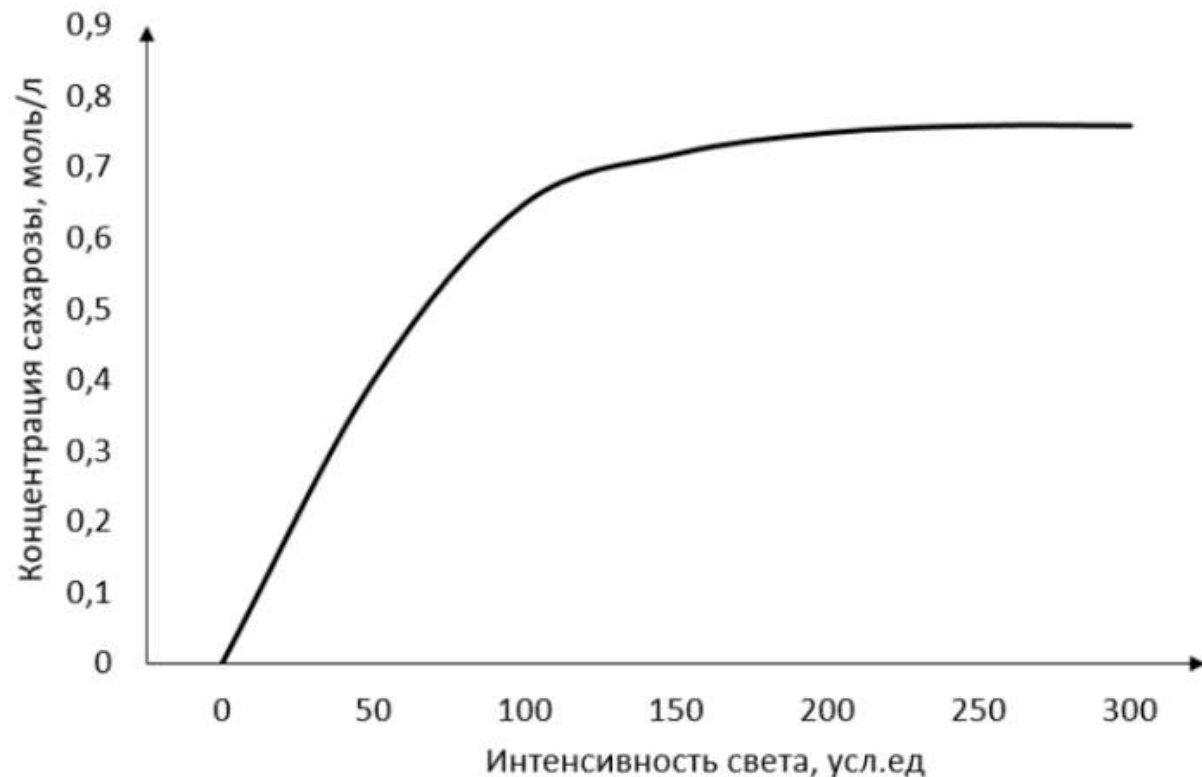
Проанализируйте таблицу «Зависимость активности фотосинтеза от освещённости». Растение помещали под источником света различной интенсивности и измеряли количество углекислого газа, поглощённого растением за 1 минуту. Каждый опыт при одинаковой освещённости повторяли 3 раза (опыты 1-3). Выберите все утверждения, которые можно сформулировать на основании анализа представленных данных. Запишите в ответе цифры, под которыми указаны выбранные утверждения.

Серии опытов	Интенсивность света, люмен	Объёмы поглощённого углекислого газа за 1 мин., мл			
		Опыт 1	Опыт 2	Опыт 3	В среднем
I	100	15	17	16	16
II	200	36	33	39	36
III	300	52	49	49	50
IV	400	67	69	68	68
V	500	88	85	85	86
VI	600	101	101	101	101

- 1) На активность фотосинтеза влияет концентрация углекислого газа.
- 2) Об активности фотосинтеза можно судить по объёму выделившегося кислорода.
- 3) С возрастанием освещённости активность фотосинтеза увеличивается.
- 4) При освещении растений свыше 600 люмен объём поглощённого углекислого газа возрастает.
- 5) Наибольший разброс данных наблюдается в опытах серии II.

Тема: Анализ информации

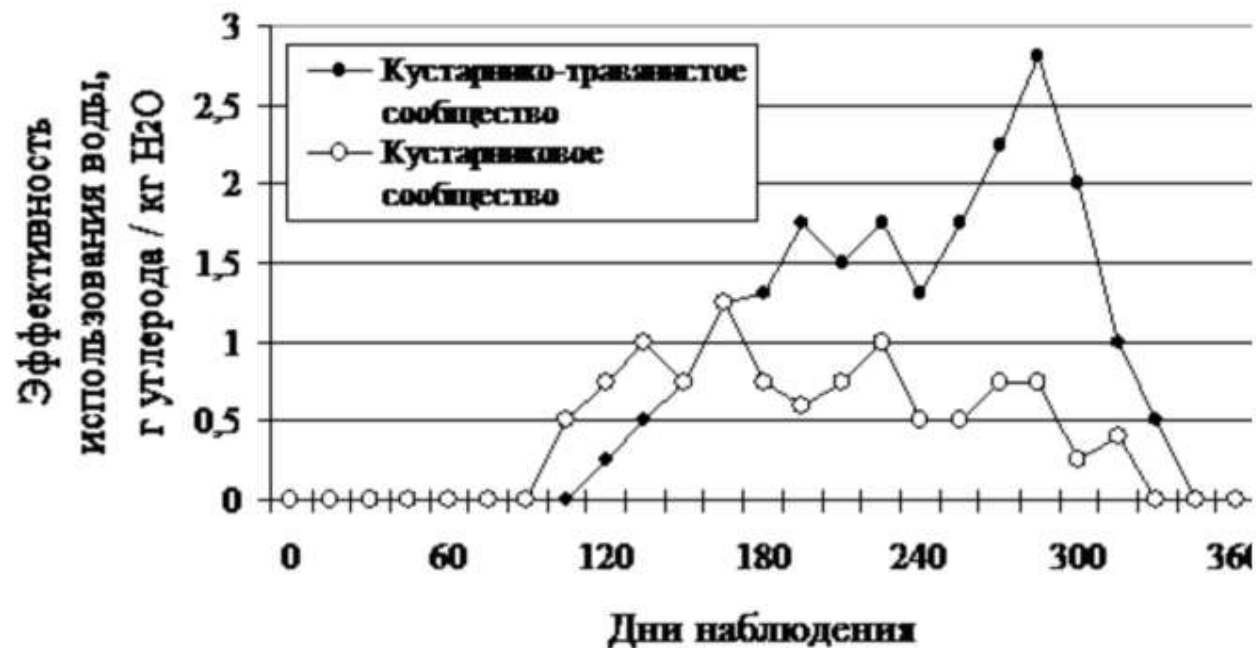
Проанализируйте график "Концентрация сахарозы во флоэмном соке растения в зависимости от интенсивности освещения". Выберите все утверждения, которые можно сформулировать на основании анализа представленных данных. Запишите в ответе цифры, под которыми указаны выбранные утверждения.



- 1) При повышении интенсивности света концентрация сахарозы растет в линейной зависимости.
- 2) Концентрация сахарозы во флоэмном соке растений не может превышать 0,8 ммоль/л.
- 3) Сахароза является одним из продуктов темновой фазы фотосинтеза.
- 4) Повышение интенсивности света от 250 до 300 усл. ед. не приводит к росту концентрации сахарозы во флоэмном соке.
- 5) Наибольший прирост концентрации сахарозы наблюдается в диапазоне интенсивности света от 0 до 100 усл. ед.

Тема: Анализ информации

Проанализируйте график изменения эффективности использования воды в фотосинтезе двух экосистем в течение года. Выберите утверждения, которые можно сформулировать на основании анализа представленных данных. Запишите в ответе цифры, под которыми указаны выбранные утверждения.



- 1) Во второй половине периода наблюдения кустарнико-травянистое сообщество демонстрирует большую эффективность использования воды.
- 2) Кустарниковое сообщество демонстрирует большую эффективность использования воды в начале вегетационного периода по сравнению с кустарнико-травянистым сообществом.
- 3) Исследуемые экосистемы находятся в Северном полушарии.
- 4) В первые 90 дней оценивалась эффективность только кустарникового сообщества.
- 5) Травянистые сообщества демонстрируют более высокую эффективность использования воды, чем кустарниковые.

Тема: Анализ информации

Проанализируйте таблицу "Некоторые характеристики листовых пластинок цветковых растений". Выберите утверждения, которые можно сформулировать на основании анализа представленных данных. Запишите в ответе цифры, под которыми указаны выбранные утверждения.

Вид растения	Площадь поверхности листа, см ²	Количество устьиц на 1 см ²	
		Верхняя сторона листа	Нижняя сторона листа
Капуста	-*	14 100	22 600
Кукуруза	600-1350	5200	6800
Подсолнечник	38	175	325
Пшеница	13-15	3300	1400
Фасоль	49	4000	28 100
Яблоня	18	0	29 400
Картофель	-	5100	16 100
Овес	12-15	2500	2300

*(-) Обозначается отсутствие данных

- 1) У капусты, фасоли и яблони количество устьиц на нижней стороне листа больше, чем на верхней.
- 2) Размер листа и количество устьиц влияют на интенсивность фотосинтеза.
- 3) Площадь листовой пластинки и количество устьиц на 1 см² не коррелируют.
- 4) Количество устьиц на листе зависит от условий обитания растения.
- 5) Пшеница и овес обитают в сходных условиях.

1

23 линия

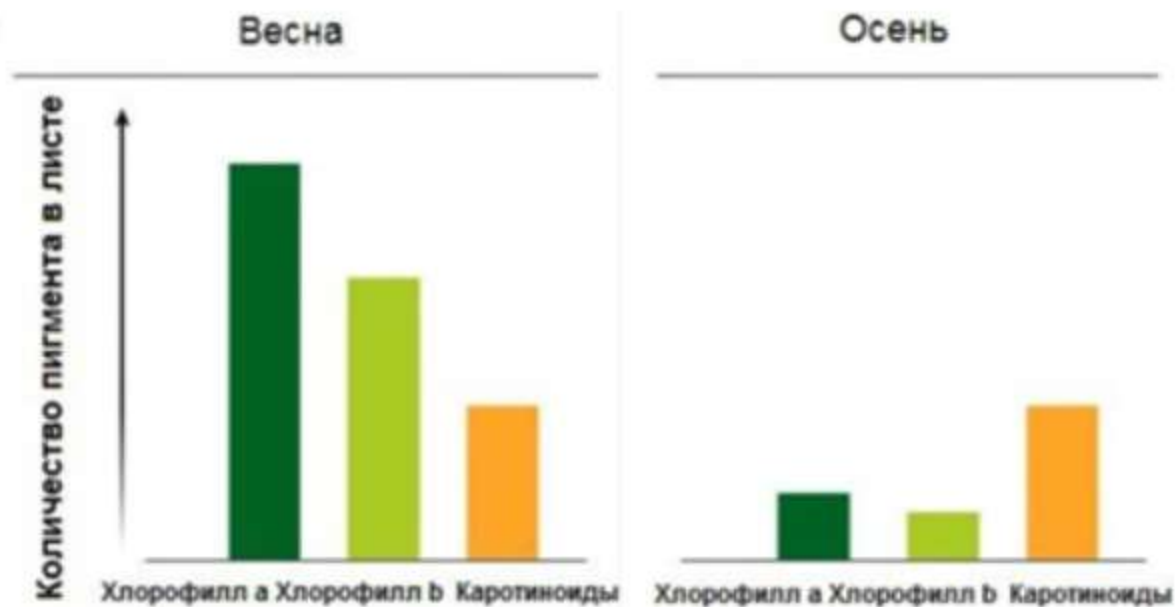
№1936

Не выполнено

[Связанные задания](#)[Сообщить об ошибке](#)[Поде](#)

Тема: Фотосинтез и хемосинтез

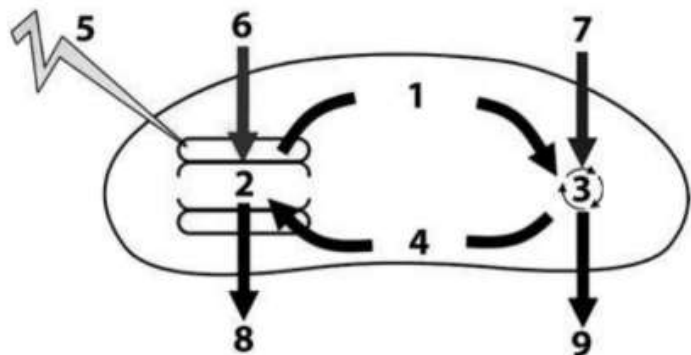
Ученый в течение года определял количество пигментов в листьях растений, и составил диаграммы.



Как и почему изменяется цвет листьев? Опишите закономерность, объясняющую, почему цвет листьев зависит от пигментов, содержащихся в них.

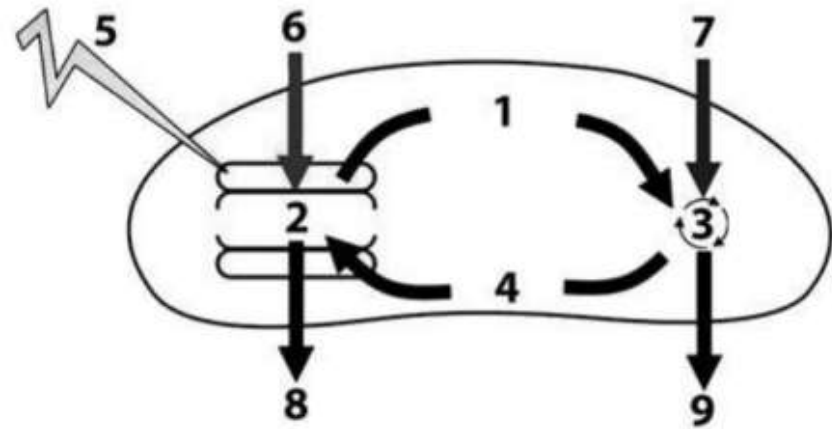
Тема: Фотосинтез и хемосинтез

Установите соответствие между характеристиками и процессами, веществами фотосинтеза, обозначенными цифрами: к каждой позиции, данной в первом столбце, подберите соответствующую позицию из второго столбца.



ХАРАКТЕРИСТИКИ	ПРОЦЕССЫ И ВЕЩЕСТВА
А) представляет собой циклический процесс в строме	1) 1
Б) содержит два остатка фосфорной кислоты	2) 2
В) источник энергии для темновой фазы	3) 3
Г) обеспечивает выделение кислорода	4) 4
Д) преобразуются углеводы	
Е) нуждается в энергии солнечного света	

Тема: Фотосинтез и хемосинтез



Укажите номер, обозначающий на схеме вещество, являющееся источником углерода для синтезируемых органических веществ.

Решение:

1 - АТФ и НАДФН, 2 - световая (светозависимая) фаза фотосинтеза, 3 - темновая (светонезависимая) фаза фотосинтеза, 4 - АДФ и НАДФ+, 5 - квант света, 6 - вода, 7 - углекислый газ, 8 - кислород, 9 - глюкоза. Вещество, являющееся источником углерода для синтезируемых в темновой фазе фотосинтеза органических веществ - углекислый газ, обозначен на схеме цифрой 7.

Ответ: 7

Источник: ФИПИ (реальный ЕГЭ, Рохлов, ЕГКР)

4

8 линия



№3226

Не выполнено

 Сообщить об ои

Тема: Фотосинтез и хемосинтез

Установите последовательность реакций фотосинтеза. Запишите соответствующую последовательность цифр.

- 1) фотолиз воды
- 2) возбуждение электрона в молекуле хлорофилла
- 3) выделение кислорода в атмосферу
- 4) высвобождение НАДФ⁺
- 5) синтез глюкозы



Спасибо за внимание!

ЦНПМ