

Биологическая нанобатарея

Фотосинтез – это процесс преобразования световой энергии Солнца в химическую энергию тканей фотосинтезирующих организмов. Источником углерода для построения молекул органических соединений служит углекислота атмосферы.

Запишите суммарное уравнение химических реакций, протекающих при фотосинтезе (2 балла).

В какой области спектра (укажите диапазон длин волн в нанометрах) поглощают свет молекулы хлорофилла, если мы их видим зелеными (1 балл)? Оцените энергию поглощенного хлорофиллом моля квантов света в джоулях (приведите расчеты) (3 балла).

Несмотря на простое суммарное уравнение, механизм фотосинтеза невероятно сложен. Весь процесс фотосинтеза может быть разделен на две стадии: световую и темновую.

В первичной (световой) энергия поглощенных квантов света ($h\nu$) используется в окислительно-восстановительной реакции для разрыва химических связей восстановителя (в случае высших растений для фотолиза воды), и часть энергии, в конечном счете, запасается в новых химических связях. В последующей (темновой) стадии фотосинтеза запасенная энергия используется в другой окислительно-восстановительной реакции для восстановления углекислоты до сахаров.

Объясните, почему природе пришлось организовать две системы фотосинтеза, ФС1 и ФС2 (3 балла)?

Суммарное увеличение свободной энергии при фотосинтезе у растений составляет примерно 120 ккал/моль кислорода. Каждый поглощенный фотон теоретически может привести к переносу одного электрона.

Сколько квантов поглощенного хлорофиллом света нужно затратить на образование молекулы кислорода, если максимальная эффективность преобразования энергии красного света – около 50% (2 балла)?

Разберем световую стадию фотосинтеза подробнее. Первичные процессы фотосинтеза (ППФ) включают несколько этапов:

I. поглощение света хлорофиллом и миграцию энергии поглощенных квантов к реакционным центрам (РЦ) фотосистем (рис.1)

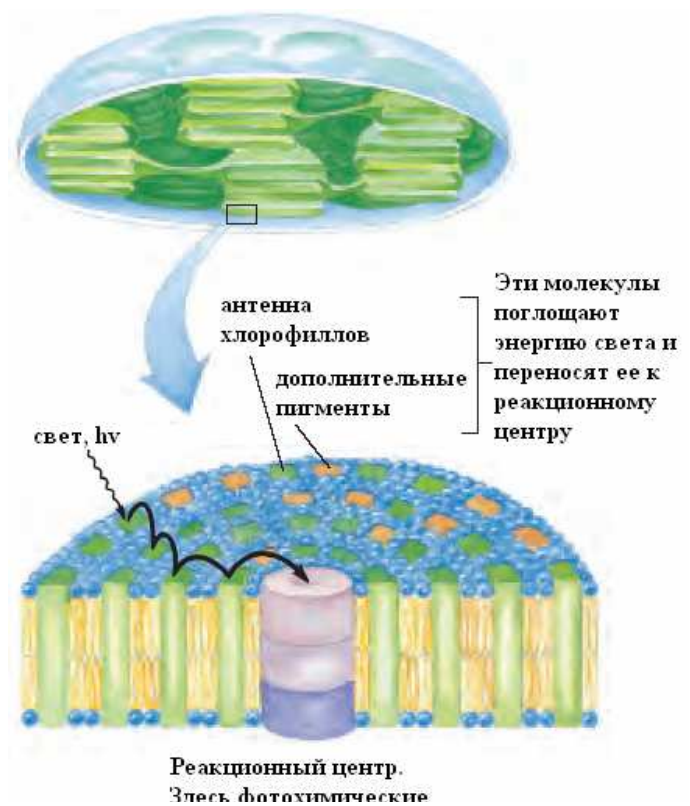


Рисунок 1. Организация фотосистемы в мембране.
©W. H. Freeman&Co, New York, 2004.

Весь комплекс ППФ осуществляется во внутренних мембранах хлоропластов, содержащих хлорофилл. Для эффективного поглощения энергии квантов света молекулы хлорофилла сгруппированы по несколько сотен, образуя специальные «антенные» комплексы. Мембраны состоят из двух слоев молекул липидов (липидный бислой), в которые включены фотосинтетические белковые комплексы. В антенных комплексах происходит миграция энергии поглощенных квантов света к РЦ с небольшими энергетическими потерями, от больших энергий к меньшим.

Расположите хлорофиллы разных типов в порядке приближения к реакционному центру от места поглощения кванта света (в нижнем индексе указаны длины волн света в максимуме поглощения у данного типа хлорофилла):

а) Chl_{680} б) Chl_{570} в) Chl_{620} г) Chl_{520} . Объясните (3 балла).

II. фотохимическое разделение зарядов.

После того, как энергия поглощенного кванта света передана на предпоследнюю молекулу-хромофор, происходят следующие события (рис. 2). Поглощенный свет придает дополнительную энергию молекуле (1). При этом один из электронов переходит в возбужденное состояние, на более высокий энергетический уровень (обозначен звездочкой).

Энергия возбужденного электрона хлорофилла передается на электрон соседней молекулы за счет резонансного переноса энергии (2).

Молекула, находящаяся рядом с РЦ, передает ему энергию, приводящую к возбуждению одного из электронов в РЦ (3).

РЦ состоит из нескольких сопряженных молекул, одна из которых является акцептором электронов (красного цвета), а другая (синего цвета) – донором электронов; донор и акцептор отделены друг от друга в пространстве и находятся на разных сторонах мембраны. Возбужденный электрон РЦ переходит к молекуле-акцептору (4). Образующийся в РЦ дефицит электрона восполняется переносом электрона от донора (5).

Таким образом, энергия поглощенного фотона вызвала разделение зарядов в РЦ, то есть получилась батарейка. С учетом ее размера – нанобатарея.

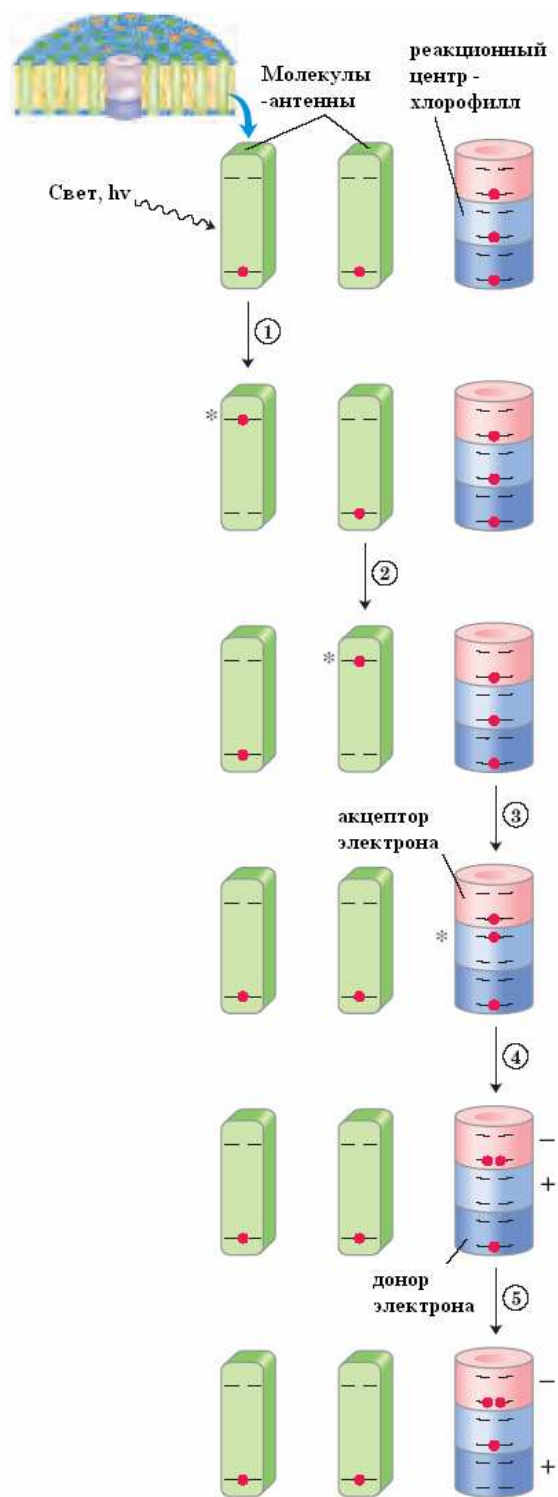


Рисунок 2. Общая схема превращения энергии поглощенного фотона в разделение зарядов на реакционном центре. ©W. H. Freeman&Co, New York, 2004.

Каков заряд нанобатарейки в кулонах (**4 балла**)? Рассчитайте разность потенциалов на ее концах считая, что толщина мембраны составляет 5 нм, диэлектрическая проницаемость белка равна 3.