

decoherence and error correction. As scholarly investigations into the realm of quantum computing persist, a surge of groundbreaking advances in this domain is anticipated [8].

### *References*

1. J. Preskill, "Quantum computing in the NISQ era and beyond," *Quantum*, vol. 2, p. 79, 2018.
2. M. A. Nielsen and I. L. Chuang, *Quantum Computation and Quantum Information*. Cambridge University Press, 2010.
3. S. Lloyd, "Universal quantum simulators," *Science*, vol. 273, no. 5278, pp. 1073-1078, 1996.
4. M. H. Devoret and R. J. Schoelkopf, "Superconducting circuits for quantum information: an outlook," *Science*, vol. 339, no. 6124, pp. 1169-1174, 2013.
5. T. D. Ladd et al., "Quantum computers," *Nature*, vol. 464, no. 7285, pp. 45-53, 2010.
- A. K. Ekert, "Quantum cryptography based on Bell's theorem," *Physical Review Letters*, vol. 67, no. 6, pp. 661-663, 1991.
6. J. Biamonte and P. J. Love, "Quantum machine learning," *Nature*, vol. 549, no. 7671, pp. 195-202, 2017.
7. J. Preskill, "Quantum computing in the NISQ era and beyond," *Quantum*, vol. 2, p. 79, 2018.
8. Volkswagen AG, "Where is the electron and how many of them?," Volkswagen Newsroom, Nov. 2019. [Online]. Available: <https://www.volkswagenag.com/en/news/stories/2019/11/where-is-the-electron-and-how-many-of-them.html>. [Accessed: Jun. 15, 2021].
9. G. Lawton, "Superconducting qubits have passed a key quantum test," *New Scientist*, May 2021. [Online]. Available: <https://www.newscientist.com/article/2372828-superconducting-qubits-have-passed-a-key-quantum-test/>. [Accessed: Jun. 15, 2021].

УДК: 535.373 + 539.2 + 541.14

## **ПЕРВИЧНЫЕ ФОТОПРОЦЕССЫ ФОТОСИНТЕЗА**

Домашевич Е.

Научный руководитель – Зенькевич Э.И., докт. физ.-мат.н., профессор

Фотосинтез является единственным процессом на Земле, который идет с накоплением свободной энергии и протекает вопреки закону возрастания энтропии. Природа в ходе эволюции задолго до ученых разработала основные пути формирования структур и механизмы их взаимодействия, которые активно используются в современных нанотехнологиях. В 2017 году исполнилось 200 лет со дня открытия хлорофилла Жозефом Кавенту и

Пьером Пеллетье, 50 лет со дня установления стереохимии хлорофилла Яном Флемингом и 100 лет со дня рождения лауреата Нобелевской премии, получившего награду, в том числе, и за разработку синтеза хлорофилла – Роберта Вудворда.

Основная реакция фотосинтеза представляет собой процесс, в ходе которого под действием света в растениях и бактериях происходит восстановление углекислого газа и окисление воды, сопровождающиеся образованием молекулярного кислорода и богатых химической энергией органических соединений



Фотосинтез – единственный процесс на Земле, идущий с возрастанием свободной энергии системы  $\Delta E = 120 \text{ Ккал/М} = 42000 \text{ см}^{-1} = 5.2 \text{ эВ}$ . При этом происходит усвоение  $\text{CO}_2$  за счет фотосинтеза. Таким образом, Возникновение на Земле более 3 млрд лет назад механизма расщепления молекулы воды квантами солнечного света с образованием  $\text{O}_2$  представляет собой важнейшее событие в биологической эволюции, сделавшее свет Солнца главным источником энергии биосферы.

Основным действующим звеном в сложной последовательности протекающих под действием света реакций в фотосинтетическом аппарате зеленого листа растений является хлорофилл.



Лист

Хлоропла

Тилакоид

Хлорофилл

Рис.1. Структурные элементы зеленого листа и структура молекулы хлорофилла.

Преобразование солнечной энергии в процессе фотосинтеза осуществляется в ходе целой последовательности световых и темновых реакций (Рис. 2):

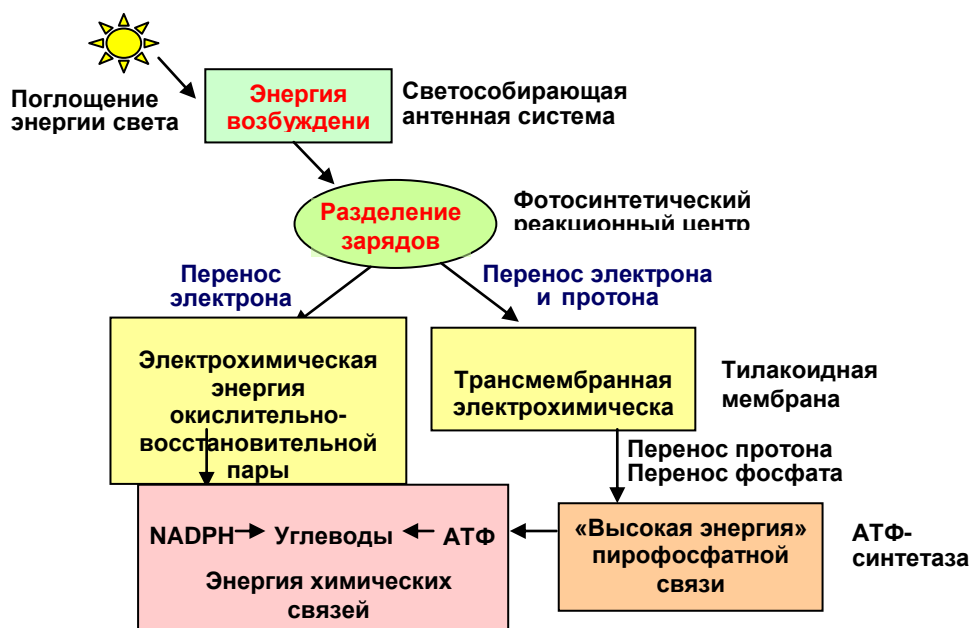


Рис.2. Последовательность световых и темновых процессов фотосинтеза.

Первичными фотопроцессами являются поглощение света молекулами хлорофилла, входящими в состав светособирающих антенных комплексов, а также безызлучательный перенос энергии электронного возбуждения по синглетным возбужденным уровням молекул хлорофилла в антенне (по механизму индуктивного резонанса за времена  $\sim 10^{-10}$  с) с последующей доставкой этой энергии в реакционные центры.

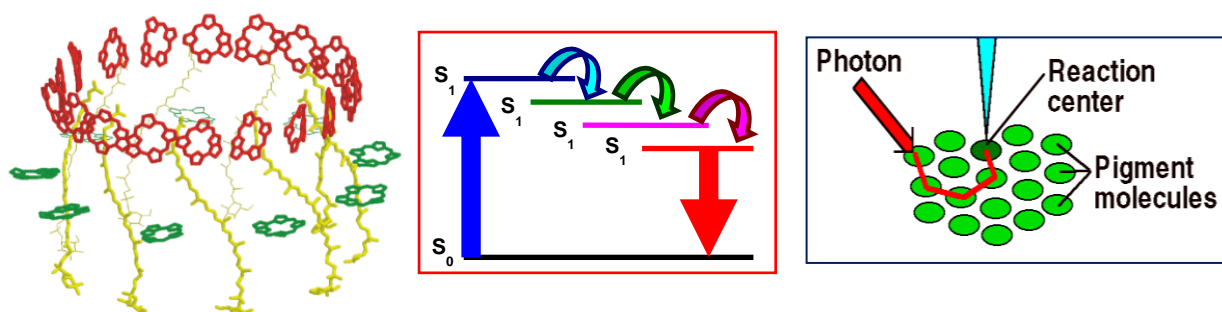


Рис.3. Структура кольцевых антенных комплексов фотосинтезирующих бактерий, энергетическая схема переноса энергии и доставки ее в реакционный центр.

Далее в реакционном центре осуществляется процесс преобразования энергии электронного возбуждения в химическую энергию разделенных зарядов (рис. 4). Этот процесс представляет собой фотоиндуцированный перенос электрона (за времена  $\sim 10^{-12}$  с) от донора – специальной пары реакционного центра (являющейся химическим димером хлорофилла или бактериохлорофилла) на акцептор – хинон. На этом этапе фотофизические процессы запускают целую последовательность темновых химических окислительно-восстановительных реакций, ведущих к образованию молекулярного кислорода и богатых химической энергией органических соединений.

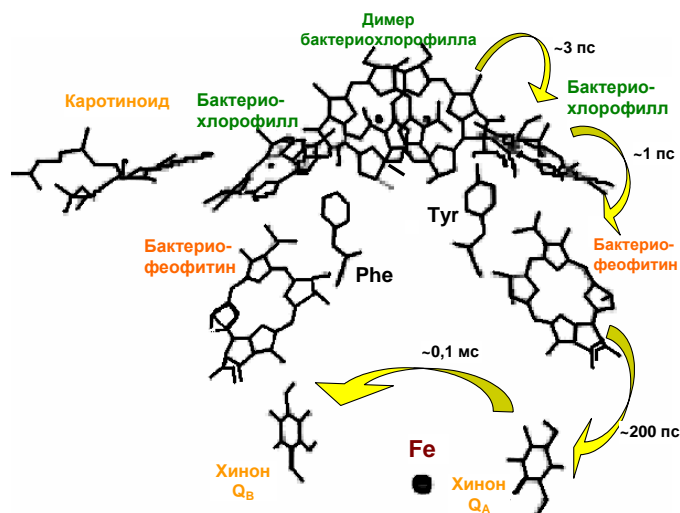
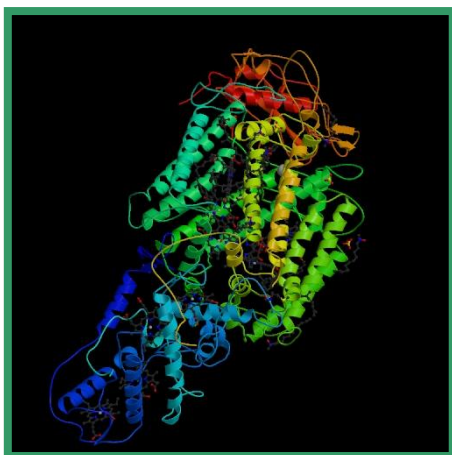


Рис.4. Структура реакционного центра фотосинтезирующих бактерий и энергетическая схема фотоиндуцированного переноса электрона.

Основополагающая роль хлорофиллов как главных участников поглощения и преобразования солнечной энергии вызвала громадный интерес к исследованию этих объектов, охватывающий биологию, химию, физику и современную нанобиомедицину. За два столетия, прошедших после открытия хлорофилла, в мировой науке исследователями из разных стран получен ряд принципиальных результатов (отмеченных десятью Нобелевскими премиями), охватывающих широкую область структурно-морфологических, оптических и энергетических свойств основных фотосинтетических пигментов, а также детально исследованы окислительно-восстановительные реакции и процессы трансформации солнечной энергии, реализуемые в структурах с различным уровнем организации как *in vivo*, так и *in vitro*.

#### Литература

1. Гуринович Г.П., Севченко А.Н., Соловьев К.Н. // Спектроскопия хлорофилла и родственных соединений. – 1968. - Минск: Наука и техника, 517 с.

УДК: 535.373 + 539.2 + 541.14

## ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ КВАНТОВЫЕ ТОЧКИ: СТРУКТУРА И ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА

Карпачев Т.

Научный руководитель – Зенькевич Э.И., докт. физ.-мат.н., профессор

Нанотехнологии – это совокупность методов и средств, обеспечивающих создание структур с типичными размерами от единиц до сотен нанометров