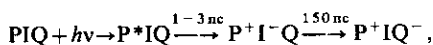


зарядов и перенос электрона на первичный акцептор. Общая схема процессов, происходящих в РЦ, имеет вид



где I — первичный акцептор порфириновой природы, Q — вторичный акцептор хинонной природы.

Последующее восстановление P^+ происходит от вторичных доноров электрона за $10^{-7} - 10^{-6}$ с (тирозин в ФСЦП, P_1 в ФСЦ, цитохром в бактериальном фотосинтезе). Методы фемтосекундной спектроскопии позволяют разрешить во времени кинетику переноса электрона в нач. период (1—3 пс) на этапе $P^+I^-Q \rightarrow P^+I^-$, а также проследить колебательный характер движения ядер при образовании P^+I^- из комплекса P^+I .

Важнейшие особенности транспорта электрона в РЦ — его высокая скорость и направленность в плотном макромолекулярном комплексе, где исключены обычные диффузионные активационные механизмы хим. реакций в растворах по типу сталкивающихся частиц.

Данные рентгеновского структурного анализа кристаллич. образцов белка РЦ, а также данные, полученные на разл. мутантах методами геной инженерии, дают полное представление о ближайшем белковом окружении активных групп переносчиков РЦ и позволяют оценить расстояния между ними, к-рые составляют ~0,5—1,5 нм. Эффект, обеспечивающий транспорт электрона в РЦ, — туннельный перенос, при к-ром часть электронной энергии воспринимается акцептирующей модой, к-рой служат колебания водорода в группах O—H, C—H, и рассеивается по колебат. степеням свободы молекулы. Низкотемпературные процессы переноса электрона в РЦ действительно наблюдаются при 100—4 К, что свидетельствует об их туннельной природе. В ряде случаев (реакция восстановления P^+ от цитохрома f) наблюдаются нек-рое снижение скорости переноса при понижении темп-ры от комнатной до 80—100 К и её независимость от темп-ры при дальнейшем охлаждении образца. В др. случаях (реакция $P^+I^- \rightarrow P^+I^-$ в бактериальном фотосинтезе) скорость переноса не меняется во всём диапазоне изменения темп-ры.

Белок также активно участвует в формировании контактных состояний между донорно-акцепторными группами переносчиков электрона, т. е. в создании «электронной тропы». Этот процесс связан с внутримолекулярной конформацион. подвижностью белков РЦ и зависит от темп-ры. Действительно, параллельное изучение внутримолекулярной динамики белка методами радиоспектроскопии (спиновые зонды, γ-резонансные спектрометры) показало уменьшение скорости переноса электрона и параллельное падение внутримолекулярной подвижности белка РЦ при понижении темп-ры или степени гидратации образцов. В тех случаях, когда исходная взаимная ориентация донорно-акцепторных групп переносчиков оптимальна, скорость переноса электрона от темп-ры не зависит, а в нек-рых образцах при понижении темп-ры наблюдается даже её рост (в 2—3 раза).

Присоединение электрона к молекуле переносчика приводит к новой его равновесной конформации. Конформацион. перестройки в белке РЦ играют регуляторную роль, обеспечивая формирование «электронной тропы» и направленный характер переноса электрона по цепи переносчиков.

Лит.: Клейтон Р., Фотосинтез, пер. с англ., М., 1984; Рубин А. Б., Биофизика, кн. 1—2, М., 1987.

А. Б. Рубин.

ФОТОСФЕРА — слой космич. тела, непрозрачного для собственной радиации, из к-рого выходит наружу осн. часть возникающей в космич. теле радиации. Обычно Ф. наз. ниж. часть *звёздной атмосферы* с оптич. толщиной ~1 для оптич. излучения с непрерывным спектром (осн. часть эл.-магн. излучения невырожденных звёзд). Звёзды непрозрачны во всех диапазонах эл.-магн. спектра. Поэтому излучение, рождающееся в ядре звезды, медленно диффундирует наружу, испытывая многократные рассеяния и переизлучения. По достижении Ф. фотоны рассеиваются (переизлучаются) последний раз и покидают звезду.

При взрывах сверхновых звёзд внутр. части их ядер становятся непрозрачными для образующихся там нейтрино, уносящих в этот момент осн. часть энергии. Они диффундируют до нейтринной фотосферы (расположенной глубоко в недрах звезды, см. *Нейтринная астрофизика*), после чего свободно выходят за пределы звезды.

Осн. механизмами *непрозрачности* Ф. для эл.-магн. излучения являются фотоионизация и свободно-свободные переходы (тормозное поглощение), а также рассеяние фотонов в спектральных линиях и континууме. В Ф. наиб. холодных звёзд (*спектрального класса М*) преобладает рассеяние света в молекулярных полосах (гл. обр. окислов металлов TiO, ZrO и др.). В звёздах спектрального класса К доминирует поглощение излучения металлами, в G- и F-звёздах — отрицательными ионами водорода, в звёздах спектрального класса А — атомами водорода. В Ф. наиб. горячих звёзд, классов В и О, преобладают рассеяние на свободных электронах и поглощение атомами и ионами гелия, а в УФ-области спектра — ионами элементов C—Fe.

Осн. параметры Ф. звёзд гл. последовательности приведены в табл. (N — концентрация частиц, h — шкала высоты, g — ускорение силы тяжести, T — *эффективная температура*, p — газовое давление, p_e — электронное давление, p_r — давление излучения, $\kappa_{0,5 \text{ мкм}}$ — коэф. непрозрачности на длине волны 0,5 мкм).

Параметры фотосфер звёзд главной последовательности (класс светимости V)

Спектральный класс	O5	B0	A0	F0	G0	K0	M0	M5
$\lg N (\text{см}^{-3})$	15,0	15,0	15,2	16,1	16,9	17,2	17,5	17,7
$\lg h (\text{см})$	8,5	8,3	7,8	7,7	7,4	7,3	7,0	6,8
$\lg g (\text{см} \cdot \text{с}^{-2})$	4,0	4,0	4,1	4,3	4,4	4,5	4,6	4,8
$\lg T, (\text{К})$	4,6	4,4	4,0	3,8	3,7	3,6	3,5	3,4
$\lg p (\text{дин} \cdot \text{см}^{-2})$	3,5	3,3	3,2	4,1	4,8	5,0	5,2	5,4
$\lg p_e (\text{дин} \cdot \text{см}^{-2})$	3,3	3,0	2,5	1,9	1,0	0,5	—0,2	—0,6
$\lg p_r (\text{дин} \cdot \text{см}^{-2})$	3,5	2,9	1,2	0,6	0,2	0,0	—0,6	—1,0
$\kappa_{0,5 \text{ мкм}}, \text{см}^2 \cdot \text{г}^{-1}$	+0,3	+0,4	+1,0	—1,0	—0,7	—1,0	—1,2	—1,8

На рис. 1 показано распределение с глубиной осн. физ. величин в Ф. трёх звёзд с параметрами:

$T, \text{ К}$	$\lg g (\text{см} \cdot \text{с}^{-2})$	$M/M_\odot$	$R, \text{ см}$	Спектральный класс
1 6000	1,5	10	$6,5 \cdot 10^{12}$	F8 I
2 6000	4,5	1,1	$7 \cdot 10^{10}$	G0 V
3 30000	4,0	20	$5 \cdot 10^{11}$	B0 V

Здесь M — масса звезды в единицах массы Солнца, $M_\odot = 2 \cdot 10^{33}$ г, R — радиус звезды.

В Ф. большинства звёзд имеются перепады темп-ры и др. параметров не только по вертикали, но и вдоль поверхности. Наиб. изучена в этом отношении Ф. *Солнца* (рис. 2). Осн. её структурные элементы — грануляция, пятна и факелы. Грануляция является прямым отражением конвекции, а пятна и факелы — фотосферными проявлениями солнечной активности — следствием развитой подфотосферной конвекции. На др. звёздах с внеш. *конвективной зоной* (звёзды с $T_s \leq 8000$ К) также часто присутствуют холодные пятна. В Ф. Ар- и Ам-звёзд существуют области (пятна), резко различающиеся по хим. составу (см. *Химически неукладевшие звёзды*). При вращении звёзд вокруг оси наличие пятен приводит к фотометрич. и спектральной переменности.

Различия параметров Ф. в разных местах поверхности звёзд существуют также у быстровращающихся и приливно-деформированных звёзд.

Лит. см. при ст. *Звёздные атмосферы*.

Н. Г. Бочкарев.