УДК 576.1

СОПРЯГАЮЩАЯ ФУНКЦИЯ ЭЛЕКТРОННОЙ ТЕОРИИ ВЕЩЕСТВА ПРИ ИЗУЧЕНИИ МЕХАНИЗМОВ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ФОТОСИНТЕЗА И ДЫХАНИЯ В КУРСЕ БИОЛОГИИ

Третьякова И.А.

Челябинский государственный педагогический университет, Челябинск, e-mail: tretyakovaia10101966@mail.ru

Методологический потенциал сопряжения, как естественнонаучной категории познания, достаточно ярко высвечивается при изучении биологической формы движения материи, которая «в скрытом виде» включает в себя физическую и химическую формы движения. Этот потенциал в предыдущих исследованиях нами раскрыт на примере изучения механизмов фотосинтеза и дыхания. Целью настоящего исследования явилось изучение механизмов взаимодействия между фотосинтезом и дыханием на электронном уровне. Для достижения данной цели принцип сопряжения был объединен с принципами электронной теории строения вещества. Дуализм таких методологий позволяет глубже понять сущность изучаемых процессов и расширяет границы нашего понимания о принципах структурной организации материи в целом, благодаря чему открываются новые перспективы, новые подходы к решению важнейших проблем науки и их роли в понимании структуры рационального познания.

Ключевые слова: электронная теория, сопряжение, категория, методология, фотосинтез, дыхание, рациональное познание, мировоззрение

CONVEYANCE FUNCTION OF ELECTRONIC THEORY OF MATTER AT STUDY OF MECHANISMS OF CO-OPERATION OF PHOTOSYNTHESIS AND BREATHING IN A COURSE BIOLOGY

Tretyakova I.A.

Chelyabinsk state pedagogical University, Chelyabinsk, e-mail: tretyakovaia10101966@mail.ru

Methodological potential of interface as an estestvennonauchnoy category of cognition is enough bright shined at the study of life-form of motion of matter which «in the hidden kind» plugs in itself the physical and chemical forms of motion. This potential, in previous researches, exposed by us on the example of study of mechanisms of photosynthesis and breathing. The purpose of the real research was a study of mechanisms photosynthesis and breathing. The purpose of the real research was a study of mechanisms of co-operation between photosynthesis and breathing at electronic level. For achievement of this purpose principle of interface was incorporated with principles of electronic theory of stroeniya matter. Dualism of such methodologies allows deeper to understand essence of studied processes and extends the scopes of our understanding about principles of structural organization of matter on the whole, what new prospects are opened due to, new going near the decision of major problems of science and their role in understanding of structure of rational cognition.

Keywords: electronic theory, interface, category, methodology, photosynthesis, breathing, rational cognition, world view

Вещество, как вид материи, претерпело длительную эволюцию в рамках физической, химической и биологической форм движения. На каждом из этапов уровень организации вещества существенно повышался, и это детерминировало появление у новых систем и новых свойств и даже возможностей. Ключевую роль в появлении качественно новых систем играют механизмы *внутреннего взаимодействия* между исходными элементами. Одним из таких внутренних механизмов взаимодействия является *сопряжение.*

Сопряжение, как *внутренняя сторона взаимодействия,* сыграло и играет важнейшую роль в эволюции материи, в том числе и в возникновении и эволюции биологической формы движения материи. Доказательством этого положения является высказывание видных ученых, которые подчеркивают, что «в процессе химической эволюции при наличии всех необходимых для нее условий происходит ***усиление роли сопряженности***. ***Последовательные сопряженные процессы выступают как существенная сторона организации динамических неравновесных систем»*** [8, с. 165]. Курсив наш. Остается только добавить, что к таким динамическим неравновесным системам относятся все живые системы разных уровней организации: начиная с клетки и заканчивая биосферой. Учитывая вышесказанное, клетку, по-видимому, можно охарактеризовать как *элементарную сопряженную живую систему*, а понятие «сопряжение» включить в одно из определений жизни.

В растительной клетке как элементарной живой системе имеют место («в скрытом виде») многие *виды сопряжения,* которые появились при возникновении и развитии физической и химической форм движения материи (*сопряженные электроны*, *сопряженные химические связи, со-*

пряженные реакции, энергетическое сопряжение и т.д.). На основе данных видов сопряжения в заре биологической формы движения материи возникли более сложные виды сопряжения, касающиеся как ее структур, так и явлений (процессов). Важнейшими такими структурными формами являются *сопряженные мембраны, сопряженные органеллы и сама клетка как сопряженная система.* Эти сопряженные структуры обладают и сопряженными явлениями. Биологические мембраны – явлением полупроницаемости (одновременно пропускают молекулы одних веществ и не пропускают молекулы других веществ). В сопряженных органеллах – хлоропластах и митохондриях протекают соответственно процессы фотосинтеза и дыхания, которые тесно сопряжены между собой. В основе такого сопряжения лежат каталитические сопряженные системы, возникшие в ходе химической эволюции. Элементарные стадии процессов фотосинтеза и дыхания оказываются неразделенными потому, что имеют общие компоненты и вследствие их энергетической сопряженности. Исследование особенностей взаимовлияния сопряженных процессов фотосинтеза и дыхания, которые являются звеньями единого углеводного обмена растительной клетки, представляет особый интерес.

В предыдущих наших исследованиях показана методологическая значимость категории сопряжения при изучении механизмов как процесса фотосинтеза, так и механизмов процесса дыхания, которые в своей совокупности являются основой метаболизма растительной клетки. Эти механизмы сопряжения раскрыты на молекулярном, мембранном и электронном уровне [6, 7]. Целью настоящего исследования явилось раскрытие сущности сопряжения как внутреннего ***механизма взаимодействия*** на электронном уровне ***между фотосинтезом и дыханием,*** который обеспечивает целостность углеводного обмена в интактной растительной клетке.

Исключительное значение для понимания механизмов сопряжения, обеспечивающих эволюцию как неживой, так и в живой материи, играют принципы физических теорий, и, прежде всего, теории электронного строения вещества. Это обусловлено тем, что принципы этой теории позволяют понять сущность механизмов сопряжения на самом глубинном (электронном) уровне. Иначе говоря, для понимания механизмов эволюции материи необходимо объединить *всеобщий принцип сопряжения, как один из механизмов эволюции материи, с принципами электронной теории вещества*. Дуализм этих методологических подходов обеспечит, взаимосвязь и взаимодействие естественных наук, углубит и расширит содержательную базу естественнонаучных дисциплин для методологических обобщений и формирования у учащихся и студентов современного научного мировоззрения, диалектического стиля мышления.

По мнению М.С. Свирского, «…особая роль электронов в современной теории вещества определяется тем, что из всех известных в настоящее время микрочастиц электрон имеет наименьшую, отличную от нуля массу покоя и наименьший электрический заряд. Отклик электронов на внешние электрические и магнитные воздействия существенно определяет физико-химические свойства веществ. Поэтому фундаментальное объяснение макроскопических свойств вещества связано с определением влияния электронов на формирование этих свойств.

Явления, изучаемые электронной теорией вещества, имеют первостепенное значение для научно-технического прогресса» [5, с. 3].

Проецируя данную закономерность в образовательную область, С.М. Похлебаев отмечает, что электронная теория является содержательной основой межпредметных связей курсов физики, химии и биологии, изучаемых как в вузе, так и в школе. Это детерминирует необходимость изменения школьного учебного плана, в котором изучение курсов физики и химии предшествовало бы изучению курса биологии [1].

Создание электронной теории вещества физической наукой оказало революционное влияние на все остальные науки естественнонаучного цикла и во многом предопределило стратегию их дальнейшего развития. Не составила исключения и биологическая наука, использовавшая «плоды» этой теории не только напрямую – от физики, но и от смежной науки – химии, которая применила основные идеи электронной теории вещества для объяснения механизмов химических реакций, протекающих как в неживой, так и в живой природе.

Использование новых идей и методов одной науки в других областях знаний приводит, как известно, к рождению новых направлений исследования и смежных (комплексных) наук, которые решают насущные проблемы человечества. Так произошло и после создания электронной теории вещества. Взятие на вооружение постулатов и методов данной теории химией и биологией привело к созданию новой области науки – квантовой биохимии, основной задачей которой является теоретический расчет плотности электронов у отдельных атомов, образующих структуру молекулы.

Квантомеханические расчеты позволяют количественно определить величины энергетических уровней электронов и предвидеть в каждом конкретном случае, какие молекулы будут играть роль доноров, а какие – акцепторов электронов, что, несомненно, открывает большие перспективы в управлении физиолого-биохимическими процессами клеток, лежащими в основе их жизнедеятельности, как в норме, так и при патологии.

Расчеты квантовой биохимии имеют не только теоретическую, но и практическую значимость. Так, изучение электронного строения канцерогенных соединений позволило выяснить, что молекулы этих веществ прикрепляются к белку определенными точками (К-область), и лишь после образования соединения с белком начинается канцерогенный процесс [2, с. 117].

Анализируя вклад современной квантовой биохимии в изучение важнейших физиологических процессов, видные физиологи растений Б.А. Рубин и В.Ф. Гавриленко отмечают, что *«... физической основой процессов фотосинтеза и дыхания является перестройка электронной структуры участвующих в реакции компонентов. Электроны, образующие химическую связь между атомами углерода и водорода, в молекуле углеводов занимают иную орбиталь, чем электроны, образующие связи в молекулах воды и углекислоты. Электроны с атомом кислорода в молекуле воды обладают наименьшей энергией. При образовании связей в молекуле углеводов электроны занимают более высокий энергетический уровень, в результате чего энергетический потенциал их значительно увеличивается»* [3, с. 12].

Понимание биохимических процессов на электронном уровне внесло неоценимый вклад в решение проблем биоэнергетики клетки. Опора на ее основные положения позволила расшифровать механизм преобразования энергии электрона в энергию макроэргических связей АТР (механизмы окислительного и фотосинтетического фосфорилирования). Английским биохимиком П. Митчеллом было выяснено, что в электронтранспортных цепях хлоропластов и митохондрий компоненты, переносящие электроны, чередуются с компонентами, переносящими одновременно и электроны и протоны. Такая уникальная структура позволяет преобразовывать энергию электрона в промежуточную, более долго живущую форму энергии $\Delta\mu H^+$ – электрохимический градиент протонов. В последующих процессах данная форма энергии при участии сопрягающего фактора (АТР-азы) используется на синтез АТР из ADP и P_i. Основные свои идеи П. Митчелл выразил в хемиосмотической теории, в основу которой положил хемиосмотический принцип *энергетического сопряжения*.

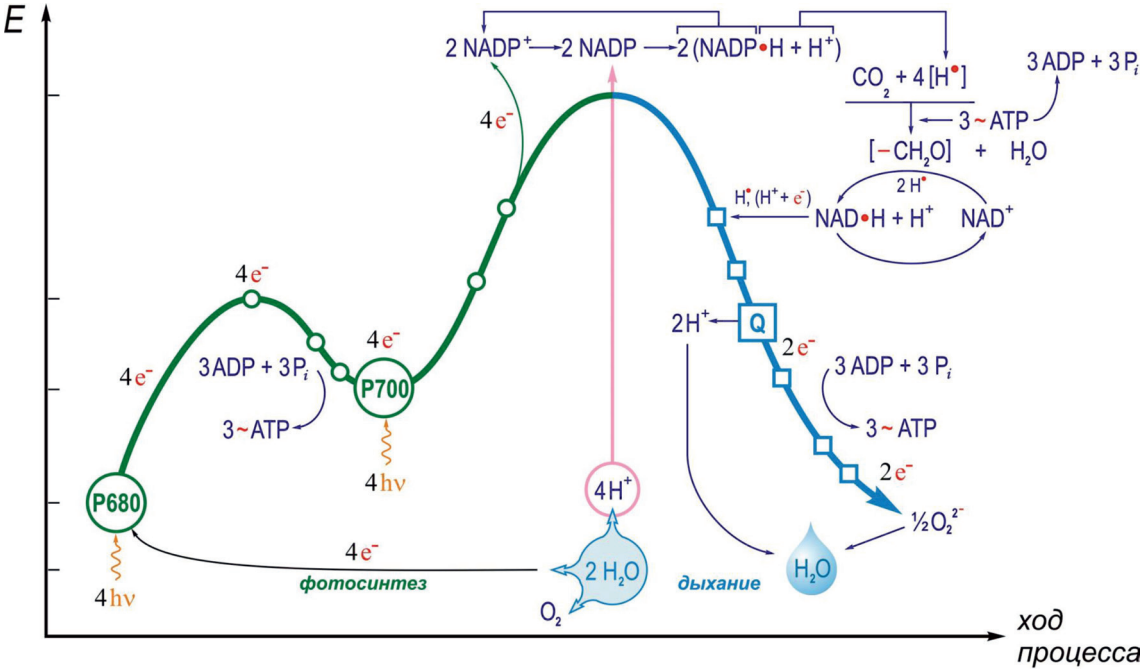
Таким образом, для понимания сущности процессов фотосинтеза и дыхания и их взаимосвязи первостепенное значение имеет *прослеживание энергетических уровней электрона* во всех компонентах, участвующих в этих процессах, что необходимо постоянно подчеркивать при их изучении как в вузе, так и в школе.

В целях реализации данной идеи целесообразно использовать обобщенные упрощенные модели (схемы), отражающие относительное энергетическое состояние $\bar{e}$ в метаболитах, фотосинтеза и дыхания. Разработанная нами модель (рисунок), *раскрывает сущность сопряжения между фотосинтезом и дыханием на электронном уровне.* Применение данной схемы в вузе и школе позволяет студентам и ученикам глубже осмыслить сущность фотосинтеза и дыхания и установить между ними диалектическую связь на самом глубинном уровне.

В левой части схемы показано, что электроны воды (водорода) имеют минимальное количество энергии, что обуславливает большую инертность данного соединения. Для их передвижения к конечному акцептору – $NADP^+$ (против термодинамического градиента) необходима дополнительная энергия. Ее аккумуляция происходит при участии пигмента P_{680}, который, поглотив фотоны, поднимает электроны на более высокий энергетический уровень. После этого они передаются первичным акцепторам электронов (феофитину) и оказываются на энергетической горке. К пигменту P_{700} электроны передвигаются самопроизвольно, теряя при этом часть энергии, которая тратится на фотохимическую работу – синтез важнейшего энергетического эквивалента – АТР в процессе *сопряженного* фотосинтетического фосфорилирования. На уровне длинноволновой формы хлорофилла – P_{700} электроны вновь получают порцию энергии, поглотив кванты света, и поднимаются на вторую энергетическую горку, присоединяются к $NADP^+$, в результате чего образуется NADP. К этой молекуле присоединяется протон воды (образовавшийся после ухода электрона от водорода воды – фотоокисления воды), и в итоге образуется второй высокоэнергетический эквивалент – NADPH, обладающий большим запасом потенциальной энергии. Электроны (водороды) энергетических эквивалентов – АТР и NADPH используются в темновой фазе фотосинтеза

для восстановления углерода углекислого газа до углерода углеводов. Таким образом, в процессе фотосинтеза произошел перевод электронов воды, которые находились в составе этой молекулы на низком энергетическом уровне, на более высокие энергетические орбитали углеводов, благодаря чему последние стали обладать большим запасом потенциальной энергии.

освобождением энергии, которая используется для синтеза основной энергетической валюты клеток – АТР в процессе *сопряженного окислительного фосфорилирования*. В конечном итоге $\bar{e}$ передаются на кислород, и он заряжается отрицательно. В дальнейшем анион кислорода взаимодействует с протоном, и образуется вода, в которой электроны водорода вновь оказываются на



Энергетическое состояние электрона в бетаболитах фотосинтеза и дыхания,
○ – компоненты ЭТЦ хлоропластов, □ – компоненты ЭТЦ митохондрий

Химические связи углеводов, образовавшихся в процессе фотосинтеза, очень устойчивы, поэтому их энергия не может быть потрачена непосредственно на процессы жизнедеятельности. Для этого ее необходимо преобразовать в лабильную форму энергии. Правая часть схемы как раз и показывает такое преобразование, происходящее в процессе дыхания, на электронном уровне в самом общем виде.

Коферменты дегидрогеназ – NAD отнимают от углеводов водороды и сбрасывают их в ЭТЦ митохондрий, конечным акцептором которых является кислород воздуха. Первые компоненты этой цепи переносят $\bar{e}$ и H^+, однако для окислительно-восстановительных процессов последующих (расположенных после кофермента Q) элементов необходимы только электроны, протоны же выбрасываются в межмембранное пространство митохондрий. Передвижение H ($\bar{e}$ и H^+) по дыхательной цепи митохондрий происходит по термодинамическому градиенту и сопровождается поэтапным

самом низком энергетическом уровне, обеспечивая молекуле воды большую химическую устойчивость.

Следовательно, сущность энергетического цикла, основу которого составляют фотосинтез и дыхание, сводится к переводу электрона на разные энергетические орбитали неорганических и органических соединений, участвующих в метаболизме клеток. Ключевую роль в понимании энергетического сопряжения между фотосинтезом и дыханием играют принципы электронной теории строения вещества.

Анализ опубликованных в научной литературе данных и собственные исследования позволяют заключить, что электронная теория вещества является фундаментом не только для курсов физики и химии, но и биологии. Она является методологией глубинного познания структуры и свойств высокомолекулярных соединений, играющих ключевую роль в процессе жизнедеятельности всех типов клеток, существующих на Земле. Познание физико-химических

процессов на субмолекулярном уровне позволяет раскрыть их механизмы, управлять ими и удовлетворять те или иные потребности человека. Вместе с тем электронная теория вещества является и фундаментальной методологией изучения объектов неживой и живой природы как в вузе, так и в школе.

В нашем исследовании реализация постулатов и методов электронной теории вещества при изучении курсов химии и биологии позволила учащимся и студентам предвидеть в каждом конкретном случае, какие молекулы будут играть роль доноров, а какие – акцепторов электронов, что, несомненно, открывает большие перспективы в управлении химическими реакциями, а также физиолого-биохимическими процессами клеток, лежащими в основе их жизнедеятельности как в норме, так и при патологии. Электронная теория вещества, как фундаментальная методология, позволяет выявить физико-химическую сущность физиологических процессов на элементарном уровне, понять взаимосвязь физических, химических и биологических явлений, а через них и *взаимосвязь (преемственность) форм движения материи. Это вносит весомый вклад в формирование научного мировоззрения учащихся и студентов.*

Приведенный пример использования понятия *сопряжения* для проникновения в сущности все более и более высокого порядка, подтверждает его *значительную информационную емкость и статус естественнонаучной категории.* Именно этим положением может быть определена ценность данного исследования как для науки, так и для образования.

Отражая сущность одной из внутренних сторон взаимодействия, категория сопряжения расширяет границы нашего понимания о принципах структурной организации материи в целом, благодаря чему открываются новые перспективы, новые подходы к решению важнейших проблем науки и их роли в понимании структуры *рационального познания.* Как логическая форма мышления, *сопряжение выражает содержание других форм рационального познания*, и, в частности, такой формы нормативного знания, как *стиль научного мышления*, который востребован в настоящее время, как в области науки, так и в области образования.

Овладение студентами сопряжением, как естественнонаучной категорией, способствует развитию у будущих педагогов диалектического, творческого мышления, которое в настоящее время все больше осознается как общечеловеческая *ценность.*

Список литературы

1. Похлебаев С.М. Межпредметные связи курсов биологии и физики при опережающем изучении физики: монограф. / С.М. Похлебаев. – Челябинск: Изд-во ЧГПУ, 2006. – 330 с.

2. Пюльман, Б. Квантовая биохимия / Б. Пюльман, А. Пюльман. – М.: Мир, 1965. – 654 с.

3. Рубин Б.А., Гавриленко В.Ф. Биохимия и физиология фотосинтеза. – М.: Изд-во Моск. ун-та, 1977. – 328 с.

4. Рэкер Э. Биоэнергетические механизмы: новые взгляды / пер. с англ. М.И. Гольдштейн; под. ред. В.П. Скулачева. – М.: Мир, 1979. – 216 с.

5. Свирский М.С. Электронная теория вещества: учеб. пособие для студ. Физ.-мат. фак. пед. ин-тов. – М.: Просвещение, 1980. – 288 с.

6. Третьякова И.А. Методологическая роль категории сопряжения при изучении механизмов дыхания / И.А. Третьякова // Фундаментальные исследования. – 2014. – № 12 (4). – С. 870–875.

7. Третьякова И.А. Реализация методологического потенциала категории «сопряжение» при изучении механизмов фотосинтеза. / И.А. Третьякова // Современные проблемы науки и образования. – 2014. – № 6; URL:http://www.science-education.ru/120-16069 (дата обращения: 13.12.2014).

8. Философские основания естествознания / под ред. С.Т. Мелюхина, Г.Л. Фурмонова, Ю.А. Петрова и др. – М.: Изд-во Моск. ун-та, 1977. – 343 с.

References

1. Pohlebaev S.M. Mezhpredmetnye svjazi kursov biologii i fiziki pri operezhajushhem izuchenii fiziki: monograf. / S.M. Pohlebaev. Cheljabinsk: Izd-vo ChGPU, 2006. 330 p.

2. Pjulman B. Kvantovaja biohimija / B. Pjul'man, A. Pjul'man. M.: Mir, 1965. 654 p.

3. Rubin B.A., Gavrilenko V.F. Biohimija i fiziologija fotosinteza. M.: Izd-vo Mosk. un-ta, 1977. 328 p.

4. Rjeker Je. Biojenergeticheskie mehanizmy: novye vzgljady / per. s angl. M.I. Gol'dshtejn; pod. red. V.P. Skulacheva. M.: Mir, 1979. 216 p.

5. Svirskij M.S. Jelektronnaja teorija veshhestva: ucheb. posobie dlja stud. Fiz.-mat. fak. ped. in-tov. M.: Prosveshhenie, 1980. 288 p.

6. Tretjakova I.A. Metodologicheskaja rol' kategorii soprjazhenija pri izuchenii mehanizmov dyhanija / I.A. Tret'jakova // Fundamental'nye issledovanija. 2014. no. 12 (4). pp. 870–875.

7. Tretjakova I.A. Realizacija metodologicheskogo potenciala kategorii "soprjazhenie" pri izuchenii mehanizmov fotosinteza. / I.A. Tret'jakova // Sovremennye problemy nauki i obrazovanija. 2014. no. 6; URL:http://www.science-education.ru/120-16069 (data obra-shhenija: 13.12.2014).

8. Filosofskie osnovanija estestvoznanija / pod red. S.T. Meljuhina, G.L. Furmonova, Ju.A. Petrova i dr. M.: Izd-vo Mosk. un-ta, 1977. 343 p.

Рецензенты:

Ефимова Н.В., д.б.н., профессор кафедры анатомии, физиологии человека и животных Челябинского государственного педагогического университета, г. Челябинск;

Похлебаев С.М., д.п.н., профессор кафедры ботаники, экологии и методики обучения биологии Челябинского государственного педагогического университета, г. Челябинск.

Работа поступила в редакцию 19.02.2015.