

УДК 53(07):539.2

ИНТЕГРАТИВНАЯ ФУНКЦИЯ ЭЛЕКТРОННОЙ ТЕОРИИ КАК ФУНДАМЕНТАЛЬНОЙ МЕТОДОЛОГИИ ИЗУЧЕНИЯ ЕСТЕСТВЕННЫХ ДИСЦИПЛИН В ШКОЛЕ

Похлебаев С.М., Елагина В.С.

ФГБОУ ВПО «Челябинский государственный педагогический университет»,
Челябинск, e-mail: V_275@mail.ru, istina48@mail.ru

Показана методологическая значимость электронной теории вещества в изучении естественнонаучных дисциплин. Раскрывается общекультурная значимость физики как фундаментальной науки естествознания, ее роль в формировании естественнонаучного знания, научного мировоззрения, научной картины мира. Изучение основ физики в школе должно предшествовать изучению других естественнонаучных дисциплин, в частности химии и биологии. Развиваясь на основе физики, электронная теория становится одной из важнейших методологий познания неживых и живых систем. Результаты экспериментальной работы в общеобразовательных школах позволяют сделать вывод о том, что благодаря интегративному подходу к изучению электронной теории, общей для физики, химии и биологии, знания учащихся становятся прочными, глубокими и системными.

Ключевые слова: электронная теория, методология, мировоззрение, естественнонаучная картина мира

INTEGRATIVE FUNCTION OF THE ELECTRONIC THEORY AS FUNDAMENTAL METHODOLOGY OF STUDYING NATURAL DISCIPLINES AT SCHOOL

Pochlebaev S.M., Elagina V.S.

Chelyabinsk State Pedagogical University, Chelyabinsk, e-mail: V_275@mail.ru, istina48@mail.ru

The methodological significance of the electronic theory of matter in the study of natural science is shown. The historiographical description of evolution of the electronic theory of the substance discovering the role of physics for the explanation of the mechanisms of the biochemical reactions proceeding both in living and nonliving nature is presented. The overall cultural significance of physics as the basis of science, its part in the formation of scientific knowledge, the scientific outlook, the scientific picture of the world is revealed. The study of the basics of physics in school should precede the study of other scientific disciplines including chemistry and biology. Developing on the basis of physics, the electron theory has become one of the most important methodologies for the knowledge of inanimate and living systems. The results of experimental work in schools enable to draw a conclusion that an integrated approach to the study of the electronic theory is common to physics, chemistry and biology and students' knowledge become strong, deep and systemic.

Keywords: electronic theory, methodology, philosophy, natural science world view

Приоритетность физической науки, ее главенствующая роль среди других естественных наук определяется, как ее положением в системе естественных наук (она изучает наиболее простую форму движения материи), так и теми фундаментальными законами и принципами, которые лежат в основе организации и развития материи. Именно физика определяет стратегию развития других естественных наук. Это подтверждается всем историческим ходом ее развития и местом в системе естествознания. Физика стала фундаментом становления и развития химической и биологической науки. Физическая наука первой взяла на себя *мировоззренческую функцию* и внесла на этом поприще огромный вклад не только в становление и развитие методологических подходов естествознания, но и диалектики в целом. «Первый шаг – создание из обыденной жизни картины мира – дело чистой науки», – писал выдающийся физик XX в. М. Планк. Физическая картина мира позволяет человеку выполнять ориентировочную и продуктивную деятельность в определенных социально-исторических условиях.

Физика во многом определила прогресс всего естествознания, предложив *методологию перехода от эмпирического уровня познания явлений к теоретическому: выявлению их сущности*. Такой подход связан с постепенным отказом от непосредственной наглядности и введением идеальных теоретических моделей и понятий, с которыми ученые-физики проводят мысленные эксперименты. Отказ от непосредственной наглядности позволил ученым-физикам перейти к исследованию более глубоких уровней реальности. Используя мысленный эксперимент, Эйнштейн создал теорию относительности, которая показала единство пространства и времени, выражающееся в совместном изменении их характеристик в зависимости от концентрации масс и движения.

Таким образом, физическая наука предложила принципиально новый метод исследования объектов и явлений природы на основе идеализированных моделей и понятий, которые позволили выявить *самые фундаментальные общие свойства, законы и принципы организации и эволюции материального мира*. Они лежат в основе не

только физической формы движения, но и всех последующих форм движения, которые возникли на ее основе.

Исключительное значение для понимания процессов, протекающих как в неживой, так и в живой материи, имеет теория *электронного строения вещества*. Вещество как один из видов материи является объектом пристального внимания с момента появления человека. Первоначально его изучение велось на бытовом уровне. Качественный скачок в изучении вещества стал возможен после открытия элементарных частиц, образующих атом: электрона, протона и нейтрона. Первая элементарная частица (электрон) была открыта в 1897 г. английским физиком Дж.Дж. Томсоном. В 1932 г. после открытия нейтрона картина строения вещества казалась в общих чертах окончательно выясненной. Известных к тому времени частиц (протона, нейтрона и электрона) полностью хватало для того, чтобы объяснить строение и свойства всех веществ.

Открытие элементарных частиц привело в итоге к созданию Х.А. Лоренцом *электронной теории* (микроскопической, классической электродинамики), в которой вещество рассматривается как совокупность взаимодействующих между собой микроскопических заряженных частиц (отрицательных и положительных), движущихся в вакууме. 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» [6, с. 3].

Создание данной теории физической наукой оказало революционное влияние на все остальные науки естественного 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.

Данные историографии позволяют констатировать, что биологическая наука неод-

нократно поднималась на новый качественный уровень на «плечах» физики и химии. Об этом свидетельствует широко известное высказывание выдающегося физиолога растений XX века К.А. Тимирязева: «... пока ботаники занимались исключительно формами, химики и физики проникли в заманчивую область растительной жизни и положили основание физиологии растений. Главными своими устоями физиология обязана не ботаникам, а химикам и физикам» [8, с. 24].

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.

По мнению Я. Ладики, квантомеханические исследования электронной структуры биологически активных молекул (ДНК, белков, порфиринов) и их биологическое истолкование будут способствовать решению важнейших биологических проблем в области мутагенеза, свойств белков, канцерогенеза, фотосинтеза, старения, действия лекарственных веществ и т.д. Говоря об уникальности данного метода, автор отмечает: «Вряд ли можно представить себе один теоретический или экспериментальный подход, который мог бы объяснить механизм столь сложных и в общем разнообразных биологических процессов» [1, с. 5].

Согласно наиболее распространенной и общепризнанной теории происхождения жизни – теории биопоэза, сформулированной в 1947 г. английским ученым Дж. Берналом, одним из ключевых моментов химической эволюции вещества, предопределивших появление биологической формы движения материи, явилось возникновение таких биополимеров, как белки и нуклеиновые кислоты. Кроме них, при становлении живой материи использовались и другие высокомолекулярные соединения: полисахариды (биополимеры), жиры, металлопорфирины, АТФ и др. Уникальные физико-химические свойства этих макромолекул, по мнению Л.А. Николаева, во многом определяются полярными группами, возникновение которых обусловлено перераспределением *электронной плотности* между ее атомами [2, с. 34–35].

Используя метод молекулярных орбиталей для изучения распределения электронной плотности и роли π -электронов у важнейших биологически активных веществ, Б. Пюльман и А. Пюльман пришли к заключению, что почти все высокомолекулярные соединения содержат *сопряженные системы π -электронов*. Они представляют собой длинную цепь (кольцо) с многократно чередующимися σ - и π -связями. В результате мезомерного эффекта (эффекта сопряжения) образуется общее электронное облако, которое охватывает одновременно большое число атомов, и молекула или часть ее действуют в ряде реакций (окисления, гидролиза) как одно целое. К таким веществам относятся NAD, FAD (коферменты оксидоредуктаз), гемм и его производные, пуриновые и пиримидиновые основания, входящие в состав нуклеотидов DNK, RNK, ATP и др. [3]. Эти важнейшие биологические соединения играют ключевую роль в превращении *вещества, энергии и информации* во всех типах клеток, существующих на Земле.

Наличие сопряженной системы простых и двойных связей у коферментов обеспечивает достаточно большую их активность, и это существенно облегчает протекание биохимических реакций. Так, например, π -электроны обеспечивают взаимодействие между ферментом и субстратом, результатом которого является образование промежуточного продукта. В молекуле такого продукта электронная плотность сосредоточена на одном каком-либо атоме, в результате чего энергия активации снижается (энергетический барьер преодолевается) и открывается путь к дальнейшим превращениям веществ. *Промежуточные продукты* сочетают в себе весьма ценные свойства: они одновременно и *активны*, и *устойчивы*, поэтому имеют место во всех важнейших биохимических превращениях [там же, с. 96].

Молекулы с сопряженной системой π -электронов играют исключительно важную роль в окислительно-восстановительных процессах, лежащих в основе функционирования электрон-транспортных цепей (ЭТЦ), локализованных в мембранах митохондрий и хлоропластов эукариотов и клеточной мембране – прокариотов. Как известно, в состав основных компонентов ЭТЦ входят железо- и магний-порфирины, содержащие сопряженные системы π -электронов, что обеспечивает быстрое перераспределение энергии между молекулярными орбиталями. В ходе окислительно-восстановительных реакций, как правило, получают окисленные формы, у которых свободны самые нижние орбитали (низшие энергетические уровни), и восстано-

вленные формы, где электронами заняты самые верхние орбитали. Это и обеспечивает работу ферментов: окисленный компонент ЭТЦ активно присоединяет электрон, сразу попадающий на самый нижний уровень, а восстановленный легко отдает его с верхнего энергетического уровня. Данный механизм лежит в основе функционирования ЭТЦ, обеспечивающей транспорт электронов от исходного донора к конечному акцептору; в случае дыхания – от NADH и FADH к кислороду, при фотосинтезе – от воды к NADP⁺.

Таким образом, 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 [10, с. 117].

Квантовая биохимия, основоположником которой является Сент-Дьерди, применяя законы и методы квантовой механики к вопросам биологии, позволяет проводить анализ основных биологических процессов на субмолекулярном уровне, т.е. на уровне *электронных* взаимодействий участвующих в реакциях компонентов. Новый подход явился фундаментом для биоэнергетики и позволил глубже понять механизмы поглощения, миграции и преобразования энергии в физиолого-биохимических процессах интактных клеток, прежде всего таких, как фотосинтез и дыхание.

По мнению Сент-Дьерди, законы квантовой биохимии позволили обосновать выбор живой природой трех основных органоенов – С, Н, О, которые составляют скелет всех органических соединений и играют важную роль в реакциях энергообмена. Уникальные свойства каждого из этих химических элементов обусловлены электронной структурой их атомов. Атом водорода имеет всего один легко диссоциируемый электрон и поэтому активно взаимодействует с различными по уровню энергии соединениями, участвуя в процессах аккумуляции и освобождения энергии. Именно

это дало основание рассматривать водород как основное биологическое горючее. Значимость кислорода определяется тем, что он является конечным акцептором электронов (или атомов водорода) аэробов, образуя при этом систему с максимальной величиной окислительного потенциала и минимальной энергией. Углерод способен образовывать органические комплексы молекул с большим запасом атомов Н (электронов), обладающих значительным резервом внутренней энергии [7].

Кроме того, углерод, водород, кислород, а также азот, по мнению А. Ленинджера, поразительно подходят для выполнения биологических функций. Это обусловлено как минимум двумя причинами. Во-первых, они легко образуют ковалентные связи посредством спаривания электронов. Во-вторых, среди химических элементов, способных образовывать ковалентные связи, они самые легкие. Прочность ковалентной связи обратно пропорциональна атомным весам связанных с ее помощью атомов. И возможно, что живые организмы выбрали именно эти элементы из-за их способности формировать прочные ковалентные связи. Эти четыре элемента могут реагировать друг с другом, заполняя свои внешние электронные оболочки.

Непосредственное использование основных метаболитов клеток (углеводов, белков и жиров) как источников энергии для физиолого-биохимических процессов невозможно в силу того, что энергия аккумулирована в устойчивых химических связях этих соединений. Трансформация этой потенциальной энергии в метаболически активную форму осуществляется в процессе дыхания. Понимание механизмов этого процесса на *электронном уровне* было заложено швейцарским химиком Х.Ф. Шейнбином и русскими биохимиками А.Н. Бахом, В.И. Палладиным, а в дальнейшем подтверждено кванто-механическими расчетами. В процессе дыхания при участии дегидрогеназ происходит активация атомов Н окисляемого субстрата (отнятие $\bar{e}$ и H^+). Восстановленные дегидрогеназы, коферментами которых являются NAD и FAD, сбрасывают Н ($\bar{e}$ и H^+) в ЭТЦ, локализованную во внутренней мембране митохондрий. Движение $\bar{e}$ по ЭТЦ осуществляется по термодинамическому градиенту, поэтому сопровождается освобождением энергии, которая используется для синтеза основного энергетического эквивалента всех клеток — АТФ. Следовательно, в процессе дыхания происходит важнейшее энергетическое преобразование: устойчивая энергия химических связей органических соединений (субстратов дыхания) трансформируется в ла-

бильную энергию макроэргических связей АТФ, которая является основной энергетической валютой всех клеток и используется на все физиолого-биохимические процессы.

Энергетические преобразования процесса дыхания также тесно связаны с преобразованием вещества. В процессе аэробного дыхания происходит поэтапное окисление (отнятие $\bar{e}$ и H^+) исходных органических веществ до углекислого газа и воды. При этом образуется большое разнообразие *промежуточных метаболитов*, которые благодаря метаболическим вилкам могут использоваться как исходный материал для синтеза всех органических соединений клетки. Поэтому дыхание является непосредственным источником и энергетического, и пластического материала для метаболизма клеток.

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*» [4, 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 АТФ (механизмы окислительного и фотосинтетического фосфорилирования). Английским биохимиком П. Митчеллом было выяснено, что в ЭТЦ хлоропластов и митохондрий компоненты, переносящие электроны, чередуются с компонентами, переносящими 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 (АТФ-азы) используется на синтез АТФ из ADP и P_i . Основные свои идеи П. Митчелл выразил в хемиосмотической теории, за которую в 1972 г. полу-

чил Нобелевскую премию [5, с. 70–84]. По своей значимости данное открытие сопоставимо с расшифровкой структуры ДНК.

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

Указывая на огромную методологическую значимость электронной теории вещества для всех предметов естественного цикла, в том числе и для курса биологии, известный методист-физик академик РАО А.В. Усова в своей «Новой концепции естественнонаучного образования» отмечает, что «биология должна опираться на знания по физике и химии. Физика является лидером в естествознании. Ее фундаментальные понятия, законы и теории являются «работающими» в биологии и химии» [9, с. 3]. Автор научно обосновывает необходимость изменения учебного плана, в котором изучению биологии предшествовали бы курсы физики и химии. Относительно содержательной части пропедевтического курса физики в данной концепции особо подчеркивается значимость электронной теории вещества: «Дидактическими единицами опережающего курса физики являются факты, эмпирические закономерности, понятия, законы, элементы теорий (учение об атомно-молекулярном строении вещества и электронной теории)» [там же, с. 47].

Результаты многолетней экспериментальной работы авторов в общеобразовательных школах и вузах г. Челябинска и области позволяют сделать вывод о том, что благодаря интегративному подходу к изучению электронной теории, общей для физики, химии и биологии, знания учащихся и студентов становятся прочными, глубокими и системными. Огромный мировоззренческий потенциал электронной теории позволяет определить общую стратегию формирования современной естественнонаучной картины мира у учащихся и студентов при изучении естественных дисциплин.

Список литературы

1. Ладик Я. Квантовая биохимия для химиков и биологов. – М.: Мир, 1975. – 256 с.
2. Николаев Л.А. Химия жизни: пособие для учителей. – 2-е изд., перераб. – М.: Просвещение, 1977. – 239 с.
3. Пюльман Б., Пюльман А. Квантовая биохимия. – М.: Мир, 1965. – 654 с.
4. Рубин Б.А., Гавриленко В.Ф. Биохимия и физиология фотосинтеза. – М.: Изд-во Моск. ун-та, 1977. – 328 с.
5. Рэкер Э. Биоэнергетические механизмы: новые взгляды / пер. с англ. М.И. Гольдштейн; под. ред. В.П. Скулачева. – М.: Мир, 1979. – 216 с.
6. Свирский М.С. Электронная теория вещества: учеб. пособие для студ. Физ.-мат. фак. пед. ин-тов. – М.: Просвещение, 1980. – 288 с.
7. Сент-Дьерди А. Введение в субмолекулярную биологию / А. Сент-Дьерди; пер. с англ.; под. ред. Л.А. Тумерман. – М.: Наука, 1964. – 139 с.
8. Тимирязев К.А. Жизнь растения. Десять общедоступных лекций. – М.: Гос. изд-во с.-х. лит., 1949. – 334 с.
9. Теоретико-методологические основы построения новой системы естественнонаучного образования: монография / А.В. Усова, М.Д. Даммер, С.М. Похлебаев, М.Ж. Симонова; под ред. А.В. Усовой. – Челябинск: Изд-во ЧГПУ, 2000. – 100 с.
10. Pullman A., Pullman B. Advan. Cancer Res. – 1955. – Vol. 3. – P. 117.

References

1. Ladik Ja. Kvantovaja biohimija dlja himikov i biologov. M.: Mir, 1975. 256 p.
2. Nikolaev L.A. Himija zhizni: posobie dlja uchitelej: 2-e izd., pererab. M.: Prosve- wenie, 1977. 239 p.
3. Pjul'man B., Pjul'man A. Kvantovaja biohimija. M.: Mir, 1965. 654 p.
4. Rubin B.A., Gavrilenko V.F. Biohimija i fiziologija fotosinteza. M.: Izd-vo Mosk. un-ta, 1977. 328 p.
5. Rjeker Je. Biojenergeticheskie mehanizmy: novye vzgljady / per. s angl. M.I. Gol'dshtejn; pod. red. V.P. Skulacheva. M.: Mir, 1979. 216 p.
6. Svirskij M.S. Jelektronnaja teorija vewestva: ucheb. posobie dlja stud. Fiz.-mat. fak. ped. in-tov. M.: Prosve wenie, 1980. 288 p.
7. Sent-D'erdi A. Vvedenie v submolekuljarnuju biologiju / A. Sent-D'erdi; per. s angl.; pod. red. L.A. Tumerman. M.: Nauka, 1964. 139 p.
8. Timirjazev K.A. Zhizn' rastenija. Desjat' obwedostupnyh lekcij. M.: Gos. izd-vo s.-h. lit., 1949. 334 p.
9. Usova A.V., Dammer M.D., Pohlebaev S.M., Simonova M.Zh. Teoretiko-metodologicheskie osnovy postroenija novoj sistemy estestvennonauchnogo obrazovanija: monogrija / pod red. A. V. Usovoj. – Cheljabinsk: Izd-vo ChGPU, 2000. 100 p.
10. Pullman A., Pullman V. Advan. Cancer Res. 1955. Vol. 3. pp. 117.

Рецензенты:

Суровикина С.А., д.п.н., профессор, зав. кафедрой теории и методики обучения физике ФГБОУ ВПО «Омский государственный педагогический университет», г. Омск;

Якунчев М.А., д.п.н., профессор, зав. кафедрой зоологии, экологии и методики обучения биологии ФГБОУ «Мордовский государственный педагогический институт имени М.Е. Евсевьева», г. Саранск;

Ильмушкин Г.М., д.п.н., профессор, зав. кафедрой высшей математики Димитровградского инженерно-технологического Института – филиала Национального исследовательского ядерного университета МИФИ, г. Ульяновск.

Работа поступила в редакцию 14.03.2012.