

УДК 576.1

РЕАЛИЗАЦИЯ МЕТОДОЛОГИЧЕСКОГО ПОТЕНЦИАЛА КАТЕГОРИИ «СОПРЯЖЕНИЕ» ПРИ ИЗУЧЕНИИ МЕХАНИЗМОВ ФОТОСИНТЕЗА

Третьякова И.А.

Челябинский государственный педагогический университет, г. Челябинск, Россия (454080, г. Челябинск, пр. Ленина, 69) tretyakovaia10101966@mail.ru

Признание *сопряжения* как важнейшей внутренней стороны взаимодействия между структурными элементами материи, которое приводит к созданию качественно новой системы, позволяет перенести этот принцип в образовательную область и использовать его как методологическую основу (дидактический принцип) для выявления сущности отдельных этапов самого уникального процесса на Земле – фотосинтеза, их взаимосвязи между собой и условиями внешней среды. Усвоение категории сопряжения учащимися и студентами и сознательное ее применение при формировании и развитии понятия «фотосинтез», одновременно вооружить их и эффективным методологическим средством познания, способствующим формированию научной картины мира и мировоззрения, в целом.

Ключевые слова: диалектика, категория, взаимодействие, сопряжение, фотосинтез, образование, мышление.

THE IMPLEMENTATION OF THE METHODOLOGICAL POTENTIAL OF THE CATEGORY OF «MATE» IN THE STUDY OF THE MECHANISMS OF PHOTOSYNTHESIS

Tretyakov I.A.

Chelyabinsk state pedagogical University, Chelyabinsk, Russia, 454080, , Chelyabinsk, Lenin Ave, 69) tretyakovaia10101966@mail.ru

Recognition mates as the most important inner side of the interaction between structural elements of matter, which leads to the creation of qualitatively but the new system allows you to move this principle in the educational area and use it as a methodological basis (didactic principle) to identify things-ness of the individual steps of the unique process on Earth is photosynthesis, their co-interconnection between itself and the external environment. The assimilation category pairing students and conscious of its application in the formation and development of the concept of "photosynthesis", at the same time to arm them and effective methodological tool of knowledge, contributing to the formation of the scientific picture of the world and world-view in General.

Keywords: dialectics, category, interaction, mate, photosynthesis, education, thinking.

При изучении конкретных явлений природы в предметах естественнонаучного цикла перед учащимися и студентами обнажается реальная *диалектика развития материи*. По мнению В.Н. Максимовой, «важно обобщить конкретно-научные и философские представления о мире. Обобщающую функцию выполняют межпредметные философские связи. Они помогают учащимся овладеть ведущими идеями диалектического материализма, усвоить их как *метод познания* и преобразования материального мира. Одновременно с философским обобщением знаний необходимо развитие *диалектического мышления* учащихся. Особое значение при этом приобретает овладение *категориями диалектики*» [3, с. 28] (курсив наш. – И.Т.).

Формирование у учащихся и студентов в обучении категориального аппарата диалектического мышления является важнейшей стратегией постижения всеобщих объективных связей и развития природы. Усвоение отдельных категорий, законов и принципов диалектики включается в общую задачу формирования диалектико-материалистического мировоззрения

при изучении разных предметов [14]. Особенно богатый материал для достижения этой задачи поставляет биология. Это обусловлено тем, что биологическая форма движения материи развивалась на основе физической и химической форм движения и включает их в себя в качестве побочных. В XX веке учение Ф.Энгельса о генетической связи форм движения материи получило дальнейшее развитие, так как в разных областях естествознания были сделаны важнейшие открытия, которые позволили более конкретно и глубоко раскрыть соотношение биологической формы движения с физической и химическими формами движения и ее собственную внутреннюю специфику. И хотя физическая и химическая формы движения входят в биологическую форму как бы в «снятом» виде, тем не менее, для понимания сущности жизни необходимо всестороннее и глубокое изучение всех этих форм движения, в том числе и квантомеханических, совершающихся внутри живых тел. Только благодаря такому методологическому подходу можно в полной мере раскрыть как структурные, так и генетические связи между биологической и другими формами движения, прежде всего химической и физической.

В понимании взаимосвязи между различными формами движения материи важную роль играют *общие принципы* их организации и функционирования. Одним из таких принципов является принцип «сопряжения», который обоснован нами как важнейшая *внутренняя сторона взаимодействия*. Наши исследования свидетельствуют, что природа широко использует *сопряжение* как принцип эволюции вещества. Действие этого принципа имеет место во всех природных формах движения материи: физической, химической и биологической. Особенно важен этот принцип при возникновении новой формы движения материи, у которой возникает абсолютно *новое качество* [10]. Таким образом, 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*» [13, с. 165] (курсив наш. – И.Т.). Остается только добавить, что к таким динамическим неравновесным системам относятся все живые системы разных уровней организации: начиная с клетки и заканчивая биосферой.

Благодатной темой для осмысления и понимания *сопряжения* как фундаментального принципа организации и развития материи является тема «Углеродное питание растений», т. е. фотосинтез. Уникальность фотосинтеза заключается не только в плане его глобальной значимости для всего живого на планете Земля, но в аспекте его сложности. В основе этого уникального процесса лежат физические и химические явления, обеспечивающие превращение

вещества и энергии как внутри фотосинтетического аппарата, так и между хлоропластами и окружающей средой. Сопряжение как принцип организации и функционирования материи «работает» на разных уровнях организации фотосинтетического аппарата, начиная с электронного уровня и кончая уровнем органелл (хлоропластов).

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 эффекта сопряжения образуется общее электронное облако, которое охватывает одновременно большое число атомов, и молекула или часть ее действуют в ряде реакций (окисления, восстановления) как одно целое [12]. К таким веществам, участвующим в процессе фотосинтеза относятся хлорофилл, каротиноиды, фикобилины, NADP, цитохромы и др. Эти важнейшие биологические соединения играют важную роль в превращении *вещества и энергии* в процессе фотосинтеза. Ключевую роль в этом процессе играют молекулы хлорофилла, которые благодаря своей уникальной структуре одновременно обладают свойствами *оптического и химического сенсбилизатора*. Можно сказать, что эффект *многократного сопряжения* между электронами σ - и π -связей предопределил эффект *сопряжения* физических и химических свойств в одной молекуле хлорофилла. Именно такое сопряжение позволило К.А. Тимирязеву назвать хлорофилл самым уникальным веществом на Земле, который играет ключевую роль в обеспечении всего живого солнечной энергией.

Солнечная энергия, поглощенная сопряженной системой σ - и π -связей преобразуется в энергию электронного возбуждения. Дальнейшая стабилизация энергии электронного возбуждения происходит на фотохимическом этапе фотосинтеза, в основе которого лежат *сопряженные окислительно-восстановительные реакции* между компонентами электрон-транспортной цепи (ЭТЦ), локализованной в мембранах и на мембранах тилакоидов хлоропластов. Поэтому понимание сущности фотосинтеза на молекулярном и субмолекулярном уровнях при изучении его в курсе биологии во многом зависит от того, насколько глубоко сформировано у школьников и студентов понятия "*сопряжение*" и «*окислительно-восстановительная реакция*». Необходимость такого требования вытекает из того, что данный тип реакций лежит в основе фотосинтеза, о чем свидетельствуют мнения ряда видных специалистов, как в области химии, так и в области биохимии и физиологии клетки. Так, например, Б.Д. Березин пишет: «По современным представлениям, фотосинтез в зеленом листе – это самый сложный физический, химический и биологический процесс окислительно-восстановительного превращения H_2O и CO_2 в углеводы и другие органические соединения,

инициируемый хлорофиллом а в фотосинтетическом аппарате» [1, с. 735]. Анализируя физико-химические основы фотосинтеза, Г.Г. Комиссаров отмечает: «Фотосинтез – сложный биологический процесс, состоящий из большого числа *сопряженных окислительно-восстановительных реакций*» [2, с. 28]. С философской точки зрения эта диалектическая пара представляет несомненный интерес, так как, обладая двойственной реакционной способностью, окислительно-восстановительные реакции во многом определяют эволюцию вещества, подчиняясь основному закону природы – единства и борьбы противоположностей. В курсе химии существует понятие «*сопряженные реакции*» – химические реакции, которые протекают только при наличии хотя бы одного общего реагента, причем одна из реакций возбуждает или ускоряет другую.

Механизм преобразования энергии электронного возбуждения и запасаания ее в конечном итоге в химической форме, в виде АТФ, которая служит универсальной энергетической «валютой» живой клетки объясняет хемиосмотическая теория П. Митчелла. Иначе говоря, в данной теории расшифровывается механизм фотосинтетического фосфорилирования при транспорте электронов по цепи переносчиков локализованных в мембранах тилакоидов хлоропластов, которые обозначают как *сопрягающие мембраны*. Основным понятием, которое было положено в основу разработки данной теории (первоначально гипотезы) было понятие «*сопряжение*». Вместе с тем, важную роль сыграли и результаты предыдущих исследователей (модельные опыты Пекера и Хинда), в которых было показано, что при освещении изолированных тилакоидов *in vitro* происходит подщелачивание внешнего раствора. На основании этого был выдвинут «основной постулат» хемиосмотической гипотезы: «*энергетическое сопряжение* осуществляется через электрохимический градиент протонов». А затем и сформулирован хемиосмотический *принцип энергетического сопряжения*, который гласит, что «электронпереносящие цепи хлоропластов *сопряжены* с системой синтеза АТФ через разность электрохимических потенциалов протонов ($\Delta\mu\text{H}^+$) на *сопрягающих мембранах*» [4, с. 10].

Наиболее привлекательной чертой хемиосмотической гипотезы для исследователей, занимающихся биоэнергетикой, было то, что она позволяла сразу предложить ряд экспериментов, в которых можно было проверить ее предсказания. Эти опыты можно разделить на две группы. Первая группа опытов была направлена на доказательство того, что электрохимический градиент протонов действительно выполняет функцию *сопряжения* между током электронов по электрон-транспортной цепи и синтезом АТФ на *сопрягающих мембранах*. Это опыты с «кислотно-основными переходами», в которых $\Delta\mu\text{H}^+$ создавался искусственно и при этом регистрировался синтез АТФ. Сопрягающие мембраны содержат специфические обменные переносчики, позволяющие метаболитам проникать через мембрану и сохранять осмотическую стабильность в условиях высокого мембранного потенциала.

Вторая группа – опыты с *разобщиателями*, в которых использовали соединения, «подавляющие» образование $\Delta\mu\text{H}^+$. В таких опытах ток электронов по ЭТЦ имел место, но синтез АТР не регистрировался, и это указывало на то, что $\Delta\mu\text{H}^+$ действительно выполняет функцию фактора *энергетического сопряжения*.

Таким образом, результаты нашего теоретического исследования свидетельствуют, что понятие «сопряжение» выполняет методологическую функцию при изучении физических, химических и физиологических механизмов фотосинтеза, подтверждая тем самым идею С.М. Похлебаева о том, что данная категория является отражением важнейшего принципа организации материи в целом и методологией ее познания [11]. В узком смысле понятие «сопряжение» используется в естествознании в целом, и в частности, в области биохимии и биологии: «сопряженные системы π -электронов», «сопряженные окислительно-восстановительные реакции», «энергетическое сопряжение», «сопрягающий фактор», «сопрягающие мембраны», «сопрягающие органеллы» и т.д. Однако во всех этих частных применениях (значениях) этого понятия оно не несет методологической нагрузки. Только после философского осмысления содержания понятия «сопряжение» и возведения его в ранг категории, оно становится мощным методологическим средством умственной деятельности учащихся, студентов и преподавателей.

Следует отметить, что методологическая значимость понятия «сопряжение» лишь косвенно высвечивается при анализе учебной литературы. В вузовских учебниках, где рассматривается теория Митчелла, понятие «сопряжение» хотя и используется, но не несет методологической нагрузки [9]. В некоторых школьных учебниках общей биологии делается попытка использовать положения хемиосмотической теории Митчелла для объяснения механизма синтеза АТР. Однако авторы этих учебников весьма смутно представляют сущность данной теории, а понятия «сопряжение» вообще не используют [7; 8]. По-видимому, по этой же причине, авторы наиболее распространенного учебника общей биологии (Б.Д. Захаров и др. 1999) механизм синтеза АТР вообще не рассматривают [6].

Многолетняя практика автора свидетельствует, что выпускники школ не понимают сущности фотосинтеза, который К.А. Тимирязев назвал самым уникальным процессом на Земле. Значительные трудности при изучении этого процесса испытывают и студенты вуза. Основная причина этого – игнорирование (скорее всего непонимание) авторами учебников методологического потенциала категории *сопряжения*. Именно это понятие определяло в ходе научных исследований стратегию изучения фотофизического, фотохимического и биохимического этапов фотосинтеза и оно же должно определять стратегию их познания учащимися и студентами при изучении курса биологии.

Усвоение и сознательное применение данной категории внесет определенный вклад в формирование целостного диалектического мышления не только у школьников и студентов, но и у учителей школ и преподавателей вузов.

Список литературы

1. Березин Б.Д. Курс современной органической химии: учеб. пособие для вузов / Б.Д. Березин, Д.Б. Березин. – М.: Высш. шк., 1999. – 768 с.
2. Комиссаров Г.Г. Химия и физика фотосинтеза / Г.Г. Комиссаров – М.: Знание. – 980. – № 2. – 64 с. // Новое в жизни, науке, технике. Сер. «Химия».
3. Максимова В.Н. Межпредметные связи и совершенствование процесса обучения: кн. для учителя / В.Н. Максимова. – М.: Просвещение, 1984. – 143 с.
4. Николс Д. Биоэнергетика. Введение в хемиосмотическую теорию: пер. с англ. / Д. Николс. – М.: Мир, 1985. – 190 с.
5. Николс Д. Биоэнергетика. Введение в хемиосмотическую теорию: пер. с англ. / Д. Николс. – М.: Мир, 1985. – 190 с.
6. Общая биология: учеб. для 10–11 кл. общеобр. учеб. заведений / В.Б. Захаров, С.Г. Мамонов, Н.И. Сонин. – 3-е изд., стереотип. – М.: Дрофа, 2000. – 624 с.
7. Общая биология: учеб. для 9–10 кл. сред. шк. / Ю.И. Полянский, Д.А. Браун, Н.М. Верзилин и др.; под ред. Ю.И. Полянского. – 18-е изд., перераб. – М.: Просвещение, 1988. – 287 с.
8. Общая биология: учеб. для 9–10 классов школ с углубленным изучением биологии / А.О. Рувинский, Л.В. Высоцкая, С.М. Глаголев и др.; под ред. А.О. Рувинского. – М.: Просвещение, 1993. – 544 с.
9. Полевой В.В. Физиология растений: учеб. для биол. спец. вузов / В.В. Полевой. – М.: Высш. шк., 1989. – 464 с.
10. Похлебаев С.М. Сопряжение как фундаментальный принцип организации и развития материи / С.М. Похлебаев, О.С. Похлебаева // Наука и школа. – 2009. – № 6. – С. 30–32.
11. Похлебаев С.М. Сопряжение как фундаментальный принцип организации и развития материи / С.М. Похлебаев, О.С. Похлебаева // Наука и школа. – 2009. – № 6. – С. 30–32.
12. Пюльман, Б. Квантовая биохимия / Б. Пюльман, А. Пюльман. – М.: Мир, 1965. – 654 с.
13. 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. .
14. Шубинский В.С. Формирование диалектического мышления у школьников / В.С. Шубинский. – М.: Знание, 1979. – 48 с.

Рецензенты:

Елагина В.С., д.п.н., профессор кафедры гуманитарных и социально-экономических дисциплин, филиал Военного учебно-научного центра военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия» г. Челябинск;

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