

§ 1.1. ВВЕДЕНИЕ

Тела неживой и живой природы равно построены из атомов и молекул. Тем самым они подчиняются единым законам, выражающим строение и свойства вещества и поля. Современная физика обращается к изучению жизни. Проблема соотношения физики и биологии стала сейчас особенно актуальной.

Тесная связь биологии и физики представлялась очевидной на ранних этапах развития естествознания. В дальнейшем, по мере углубления биологических знаний, раскрывавших сложность и своеобразие явлений жизни, пути биологии и физики все более расходились. Основные биологические закономерности — прежде всего дарвиновский закон естественного отбора — рассматривались как совершенно несовместимые с физикой.

Иначе развивалось взаимодействие биологии с химией. Химия жизни, органическая химия поначалу была совершенно отделена от неорганической. Казалось, что вещества, фигурирующие в живых организмах, принципиально не могут быть получены *in vitro*. Их можно проанализировать, но не построить. Возникновение органического вещества требует участия особого агента — жизненной силы. Органическая химия считалась надежной опорой витализма.

Но химия перешагнула этот рубеж. В 1777 г. Лавуазье показал, что дыхание и горение имеют общую природу — они сводятся к окислению органических веществ с образованием воды и углекислого газа. В 1828 г. Вёлер впервые синтезировал органическое соединение — мочевины $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ — из неорганических исходных веществ. В дальнейшем органическая химия перестала быть химией живого и превратилась в химию соединений углерода. Исходя из успехов химии, наиболее дальновидные мыслители прошлого века отвергли витализм во имя материалистического естествознания. «...Химия подводит к органической жизни, и она продвинулась достаточно далеко вперед, чтобы гарантировать нам, что *она одна* объяснит нам диалектический переход к организму» — писал Энгельс ([1], стр. 198). «Остается добиться еще только одного: объяснить возникновение жизни из неорганической природы. На

современной ступени развития это означает не что иное, как следующее: изготовить белковые тела из неорганических веществ» ([1], стр. 156).

Эти представления привели Энгельса к его формуле жизни: «Жизнь — это способ существования белковых тел, существенным моментом которого является *постоянный обмен веществ с окружающей их внешней природой...*» ([1], стр. 244). В этой формуле указаны основные особенности жизни, познание которой сводится к искусственному синтезу белка.

Сейчас мы понимаем, что дело обстоит не так просто — сегодня некоторые белки уже синтезированы, но это совсем не означает решения проблемы. Если организм — белковая система, то надо понять, как она работает. Как справедливо писал Энгельс, необходимым условием ее работы является обмен веществ с окружающей средой. Тем самым, речь идет об открытой белковой системе.

Последующее развитие науки показало, что белки действительно ответственны за функционирование живого организма. Однако для жизнедеятельности необходимы многие другие вещества — низко- и высокомолекулярные — и прежде всего нуклеиновые кислоты. Без многообразия веществ, взаимодействующих друг с другом, без химической гетерогенности жизнь невозможна. Индивидуальное химическое соединение любой сложности — будь то белок или нуклеиновая кислота — не живет. Бессмысленно говорить о живых молекулах. Живой организм и любая его функциональная часть — всегда сложная гетерогенная система взаимодействующих элементов — больших и малых молекул, ионов и надмолекулярных структур.

Передовые идеи XIX века не могли еще преодолеть витализм. Это направление мысли нашло новые аргументы в самом развитии естествознания.

В XIX веке были созданы две великие эволюционные теории. Второе начало термодинамики (Клаузиус, Гиббс, Больцман) дает закон эволюции вещества в изолированной системе к его наиболее вероятному состоянию, характеризующему максимальной неупорядоченностью, максимальной энтропией. Напротив, теория биологической эволюции (Дарвин) выражает возрастание упорядоченности и сложности живых систем, начиная с примитивных микроорганизмов и кончая *Homo sapiens* с его мыслящим мозгом. Между этими двумя теориями действительно имеется несоответствие — биологическая эволюция, филогенез, а также онтогенез никак не согласуются с равновесной термодинамикой изолированных систем.

В то же время в XIX веке биология оказала мощное воздействие на развитие физики. Закон сохранения энергии, первое начало термодинамики, был открыт Майером, Джоулем и

Гельмгольцем. Как известно, Майер исходил в своей работе из наблюдений над живым организмом, над людьми. Менее известно, что Гельмгольц также исходил из биологических явлений, из четкой антивиталистической концепции. Он писал: «По Шталю, силы действующие в живом теле, суть физические и химические силы органов и веществ, но какая-то присущая телу жизненная душа или жизненная сила может связывать или освобождают их деятельность... Я нашел, что теория Штала приписывает всякому живому телу свойства так называемого *perpetuum mobile* (вечного двигателя)... Таким образом я натолкнулся на вопрос, какие отношения должны существовать между различными силами природы, если принять что *perpetuum mobile* вообще невозможно...» [2].

Основной вопрос, с ответа на который должно начинаться построение и изучение биофизики, т. е. физики живой природы, — это вопрос о соотношении биологических и физико-химических явлений. Либо в биологии содержится нечто принципиально чуждое физике и химии, либо жизнь есть особое проявление физических и химических процессов, протекающих в сложных открытых системах. *Tertium non datur*. Либо биология противостоит физике, либо противоречия между биологией и физикой кажущиеся, и витализм в любой его форме несостоятелен.

Современный витализм не отрицает применимости законов физики к исследованию явлений жизни, но, как мы увидим, утверждает, что здесь нужна новая, еще не созданная физика. Вместе с тем физическая трактовка важнейших биологических процессов зачастую рассматривается как недопустимый редукционизм, как сведение сложных биологических законов к более простым — физическим.

Однако рассуждения о «сводимости» или «несводимости» лишены содержания. Речь идет не о поглощении биологии физикой, но о выяснении единства живой и неживой природы. Физика, как общая наука о веществе и полях, никак не пренебрегает биологии. Следует говорить не о редукционизме, но об интеграции различных областей знания. Так, сейчас совершенно ясно, что в химических превращениях нет никаких явлений помимо физических, и химия «сводится» к физике. Это ни в коей мере не отменяет самостоятельности и значимости химии, напротив, химия получает более глубокое и общее обоснование.

В то же время вопрос о достаточности современной физики для познания жизненных явлений имеет реальный смысл. В связи с этим следует остановиться на концепциях, предложенных некоторыми биологами и физиками.

Берталанффи на протяжении ряда лет развивал идеи, относящиеся к так называемой общей теории систем (см. [3]).

Берталанффи считает биологические явления познаваемыми средствами точной науки. Мнимое противоречие с термодинамикой снимается, если учесть, что организмы — открытые системы, обменивающиеся с окружающей средой и веществом и энергией. Между тем каноническая термодинамика относится к изолированным системам. Поэтому для физического истолкования биологических явлений необходима термодинамика открытых систем, неравновесная термодинамика. Берталанффи усматривает основу теоретической биологии в теории систем. Система — совокупность объектов, взаимодействующих друг с другом. Свойства системы нельзя представить суммой свойств образующих систему элементов. Рассмотрение системности позволяет исследовать проблемы целостности, динамического взаимодействия и организации. Для биологии эти проблемы — основные.

Еще до построения термодинамики открытых систем Бауэр писал о неравновесных свойствах организмов. Основной закон биологии по Бауэру гласит: «...живые системы никогда не бывают в равновесии и исполняют за счет своей свободной энергии постоянную работу против равновесия, требуемого законами физики и химии при существующих внешних условиях» [4]. Идеи Бауэра остались непонятыми его современниками, как, впрочем, и некоторыми новейшими комментаторами (см., например, [5]). Бауэр приближался к современной биофизике, но сегодня его работы сохранили главным образом исторический интерес. Существенно то, что Бауэр доказывал возможность атомно-молекулярного истолкования жизни: «...неравновесное состояние живой материи и, следовательно, ее постоянно сохраняющаяся работоспособность обуславливаются... молекулярной структурой живой материи, а источником работы, производимой живыми системами, служит в конечном счете свободная энергия, свойственная этой молекулярной структуре, этому состоянию молекул» [4].

Бор рассматривал проблему соотношения физики и биологии на основе принципа дополнительности [6]. Он считал, что собственно биологические законы дополнительные к законам, которым подчиняются неживые тела. Нельзя одновременно определить физико-химические свойства организма и явления жизни — познание одного исключает познание другого. Жизнь следует рассматривать «...как основной постулат биологии, не поддающийся дальнейшему анализу, подобно тому, как существование кванта действия... образует элементарную основу атомной физики» [6], стр. 37). Таким образом, Бор считал биологические и физико-химические исследования дополнительными, т. е. несовместимыми, хотя и не противоречащими друг другу. Эта концепция не имеет ничего общего с витализмом, так как она отрицает существование какой-либо границы при-

менения физики и химии к решению биологических проблем. «...Ни один результат биологического исследования не может быть однозначно описан иначе, как на основе понятий физики и химии, совершенно так же, как всякое описание опыта даже в атомной физике должно в конечном счете опираться на понятия, необходимые для сознательной регистрации чувственных восприятий» ([6]), стр. 37).

Исходя из того же принципа дополнительности, говорили о несовместимости познания морфологического строения и функциональности, гомологии и аналогии, среды и внутреннего состояния, наследственности и адаптируемости. Изучая одну сторону биологического явления, мы так сильно влияем на другую, что она становится принципиально непознаваемой. Так как в жизни одновременно проявляются все некомутирующие факторы, она непознаваема. Можно изучить атомно-молекулярную структуру организма, но для этого он должен быть убит [7].

В сущности эта точка зрения не нова. Еще Гёте устами Мефистофеля говорил:

«Кто хочет живое описать и познать,
 Пытается дух из него изгнать.
 И вот он держит все части в руках,
 Но связи духовной в них нет — лишь прах.
 «*Enheiresin naturae*» — вот химии слово,
 Самой над собой посмеяться готовой».

«*Enheiresin naturae*» — повадка природы, способ ее действия. Гёте считал, что организм столь разнообразен и неисчерпаем, что невозможно выбрать достаточное число исходных точек для его обозрения, развить у себя достаточное число органов, для того чтобы расчленил организм без того, чтобы его убить.

Взгляды Бора изменялись по мере развития современной биологии. Позднее он говорил о дополнительности между практически применяемыми в биологии соображениями физико-химического характера и понятиями, прямо связанными с целостностью организма и выходящими за рамки физики и химии ([6], стр. 107). Применение принципа дополнительности в биологии Бор аргументировал уже не постулативным характером понятия жизни, но чрезвычайной сложностью организма как целостной системы. В своем последнем выступлении на эту тему [8] Бор говорил только о практической, но не о принципиальной дополнительности, связанной с неисчерпаемой сложностью жизни (см. также письмо Бора к автору этих строк, опубликованное в [9]).

В 1945 г. Шредингер написал книгу, посвященную связи биологии с физикой [10]. В этой книге глубоко и содержательно

рассмотрены три проблемы, имеющие фундаментальное значение для биофизики.

Первая проблема — термодинамические основы жизни. Отличие живого организма от тел неживой природы состоит в исключительно высокой упорядоченности организма, подобного в этом смысле «апериодическому кристаллу», к способности этой упорядоченности поддерживать себя и производить упорядоченные явления. Речь идет о саморегуляции и самовоспроизведении организмов и клеток. Шредингер объяснил эту особенность тем, что организм — открытая система, существующая в неравновесном состоянии благодаря потоку энтропии во внешнюю среду. Организмы непрерывно создают «порядок из порядка», «извлекают упорядоченность из окружающей среды» в виде «хорошо упорядоченного состояния материи в пищевых продуктах». Шредингер отвечает на вопрос о причине макроскопичности, многоатомности организма. В системе, состоящей из малого числа атомов, флуктуации должны уничтожать упорядоченность. Именно благодаря многоатомности организм существует в соответствии с законами термодинамики.

Вторая проблема — молекулярные основы жизни. Шредингер аргументирует материалистическое представление о молекулярной природе генов и ставит вопросы о структуре вещества наследственности и причинах его устойчивого воспроизведения в ряду поколений. Ответы на эти вопросы дала молекулярная биология, возникновение которой было в большой степени стимулировано книгой Шредингера.

Третья проблема — квантовомеханические закономерности, отчетливо выраженные в радиобиологических явлениях. Обсуждая труды Тимофеева-Ресовского, Дельбрюка и др., Шредингер отмечает соответствие биологических процессов законам квантовой физики.

Книга Шредингера очень важна, так как в ней не только показано отсутствие противоречий между физикой и биологией, но и начертаны пути развития биофизики, реализованные в дальнейшем.

Эльзассер противопоставлял физику биологии [11]. Запас информации, содержащейся в исходной зародышевой клетке, зиготе, значительно меньше, чем во взрослом многоклеточном организме. Возрастание объема информации, с точки зрения Эльзассера, физически необъяснимо — это специфическая для живых систем «биотонная» закономерность. Далее эти представления будут рассмотрены подробно (стр. 33).

Вигнер считал, что саморепродукция биологических молекул и организмов противоречит квантовой механике [12]. Вероятность существования саморепродуцирующихся состояний практически равна нулю. Можно представить гамильтониан,

управляющий поведением сложной системы, беспорядочной симметричной матрицей. Пусть состояние организма описывается N -мерным вектором v ; аналогичный многомерный вектор для пищи обозначим w . Общий вектор для системы организм + пища имеет вид

$$\Phi = v \times w. \quad (1,1)$$

После репродукции получаем

$$\Psi = v \times v \times r, \quad (1,2)$$

где r — R -мерный вектор, описывающий результаты обмена веществ и координаты двух организмов. Если «матрица столкновений» S , создающая конечное состояние в результате взаимодействия организма и пищи, беспорядочна, стохастична, то вектор Ψ преобразуется при «столкновении» по закону

$$v_k v_{\lambda} r_{\mu} = \sum_{k', \lambda', \mu'} S_{k\lambda\mu, k'\lambda'\mu'} v_{k'} w_{\lambda'\mu'}. \quad (1,3)$$

Число таких уравнений равно N^2R . Число неизвестных (N значений v плюс R значений r плюс NR значений w) много меньше числа уравнений, так что было бы чудом, если бы неизвестные удовлетворяли написанному соотношению. Вигнер вслед за Эльзассером считал редупликацию биологических макромолекул «биотонным» явлением.

В действительности, как показал Эйген [13], матрица S не беспорядочна. Вигнер не учитывает инструктирующих функций информационных макромолекул. Все рассуждения Вигнера по этому не имеют отношения к действительности, и вывод о необходимости модификации квантовой механики применительно к биологии оказывается ложным. В то же время применение квантовой механики к макроскопическим системам требует специального рассмотрения.

В важной работе Эйгена [13], посвященной самоорганизации и эволюции биологических макромолекул, убедительно аргументируется тезис о достаточности современной физики для объяснения биологических явлений.

Живой организм представляет собой открытую, саморегулируемую и самовоспроизводящуюся гетерогенную систему, важнейшими функциональными веществами которой служат биополимеры — белки и нуклеиновые кислоты. Такая система подлежит комплексному физическому и химическому исследованию. Ее познание должно опираться на раскрытие физических особенностей жизни — на физическое рассмотрение развития организма, его неравновесности, упорядоченности, системности.