

лизации физических подходов. Однако биология стремительно развивается, с ее современным развитием неразрывно связано развитие биофизики.

Биофизика — наука XX века. Из этого не следует, что ранее не решались биофизические задачи. Максвелл построил теорию цветного зрения, Гельмгольц измерил скорость распространения нервного импульса. Число примеров такого рода велико. Однако лишь в наше время биофизика перешла от изучения физических свойств организмов и физических воздействий на них (свет, звук, электричество) к фундаментальным проблемам — к исследованию наследственности и изменчивости, онтогенеза и филогенеза, метаболизма и биоэнергетики. Это оказалось возможным именно благодаря мощному развитию биологии и биохимии.

Задачи биофизики те же, что и биологии. Они состоят в познании явлений жизни. Будучи частью физики, биофизика неотделима от биологии. Биофизик должен обладать и физическими, и биологическими знаниями. Для успешной работы в области биофизики желательно общее понимание живой природы, определяемое знанием основ зоологии и ботаники, физиологии и экологии. Физики часто относятся пренебрежительно к описательным разделам биологии. Необходимость зоологии и ботаники принципиальна, без Линнея не могло бы возникнуть учение Дарвина.

Несмотря на большие трудности, современная биофизика достигла крупных успехов в объяснении ряда биологических явлений. Мы узнали многое о строении и свойствах биологически функциональных молекул, о свойствах и механизмах действия клеточных структур, таких, как мембраны, биоэнергетические органоиды, механохимические системы. Успешно разрабатываются физико-математические модели биологических процессов, вплоть до онтогенеза и филогенеза. Реализованы общетеоретические подходы к явлениям жизни, основанные на термодинамике, теории информации, теории автоматического регулирования. Все эти вопросы будут с той или иной степенью детализации рассмотрены в книге. При этом, в соответствии с пониманием биофизики как физики явлений жизни, мы будем исходить из физических закономерностей, а не из физиологической классификации. Так, например, рецепция внешних воздействий органами чувств рассматривается в различных разделах книги — зрение в главе, посвященной фотобиологическим явлениям, слух и осязание в связи с механохимическими процессами, обоняние — в связи с физикой молекулярного узнавания.

§ 1.2. Физика и биология

Но достаточна ли современная физика для решения биологических проблем, для обоснования теоретической биологии? Не потребуется ли биофизике новая, еще не существующая физика? В истории науки были ситуации, в которых ранее разработанная

теория встречалась с границами своей применимости и оказывалась необходимым строить принципиально новую систему представлений. Именно так возникли и теория относительности, и квантовая механика. *A priori* не исключено, что подлинная биофизика должна быть построена на основе еще не известной будущей физики, существенно отличной от современной.

Оставим в стороне концепции *витализма*, согласно которым биологические явления принципиально непостижимы на основе физики и химии, так как существует некая «жизненная сила», или энтелехия, или биологическое поле, не подлежащие физическому истолкованию. Витализм не научен, он отрицает единство природы и, в конечном счете, приходит к теологии. В современной науке неконструктивные виталистические представления уже не фигурируют.

Обсуждая возможности физического истолкования явлений жизни, т. е. влияние физики на современное и последующее развитие биологии, не следует забывать и об обратном влиянии биологии на физику. Закон сохранения энергии, первое начало термодинамики, был открыт Майером, Джоулем и Гельмгольцем. Как известно, Майер исходил из наблюдений над живыми организмами, над людьми. Менее известно, что Гельмгольц также основывался на биологических явлениях, руководствуясь четкой антивиталистической концепцией. 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 освобождать 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...». Не только биофизика, но и физика в целом развивались на пути преодоления витализма.

Остановимся на представлениях о соотношении физики и биологии, разработанных физиками XX века — Бором и Шредингером.

Бор рассматривал эту проблему на основе концепции *дополнительности*, частным случаем которой является принцип неопределенности квантовой механики. Бор считал дополнительными исследования живых организмов на атомно-молекулярном уровне и как целостных систем. Эти два вида исследований несоместимы. В то же время «ни один результат биологического исследования не может быть однозначно описан иначе как на основе понятий физики и химии». Жизнь следует рассматривать «...как основной постулат биологии, не поддающийся дальнейшему анализу», подобно кванту действия в атомной физике. Таким образом, имеется дополнительность биологии, с одной стороны, и физики и химии — с другой. Эта концепция не виталистична, она

не ставит каких-либо границ применению физики и химии в исследованиях живой природы.

В конце жизни (1961, 1962 гг.) Бор изменил свои взгляды под влиянием успехов молекулярной биологии. Он отметил, что дополнительность в биологии имеет не принципиальный, но практический характер, определяемый чрезвычайной сложностью живого тела. Практическая дополнительность преодолима.

Развитие молекулярной биологии привело к атомистическому истолкованию основных явлений жизни — таких как наследственность и изменчивость. В последние десятилетия успешно развивается и физическая теория целостных биологических систем, основанная на идеях синергетики (гл. 15).

В 1945 г. Шредингер написал книгу «Что такое жизнь с точки зрения физики», оказавшую существенное влияние на развитие биофизики и молекулярной биологии. В этой книге внимательно рассмотрено несколько важнейших проблем. Первая из них — термодинамические основы жизни. На первый взгляд имеется решительное противоречие между эволюцией изолированной физической системы к состоянию с максимальной энтропией, т. е. неупорядоченностью (второе начало термодинамики), и биологической эволюцией, идущей от простого к сложному. Шредингер говорил, что организм «питается отрицательной энтропией». Это означает, что организмы и биосфера в целом не изолированные, но открытые системы, обменивающиеся с окружающей средой и веществом, и энергией. Неравновесное состояние открытой системы поддерживается оттоком энтропии в окружающую среду. Вторая проблема — общие структурные особенности организмов. По словам Шредингера, организм есть *аперриодический кристалл*, т. е. высокоупорядоченная система, подобная твердому телу, но лишенная периодичности в расположении клеток, молекул, атомов. Это утверждение справедливо для строения организмов, клеток и биологических макромолекул (белки, нуклеиновые кислоты). Как мы увидим, понятие об аперриодическом кристалле важно для рассмотрения явлений жизни на основе теории информации. Третья проблема — соответствие биологических явлений законам квантовой механики. Обсуждая результаты радиобиологических исследований, проведенных Тимофеевым-Ресовским, Циммером и Дельбрюком, Шредингер отмечает квантовую природу радиационного мутагенеза. В то же время применения квантовой механики в биологии не тривиальны, так как организмы принципиально макроскопичны. Шредингер задает вопрос: «Почему атомы малы?» Очевидно, что этот вопрос лишен смысла, если не указано, по сравнению с чем малы атомы. Они малы по сравнению с нашими мерами длины — метром, сантиметром. Но эти меры определяются размерами человеческого тела. Следовательно, говорит Шредингер, вопрос следует переформулировать: почему атомы много меньше организмов, иными словами, почему организмы построены из большого числа атомов? Действительно, число атомов в наименьшей бактериальной клетке

Mycoplasma laidlawii имеет порядок 10^9 . Ответ на вопрос заключается в том, что необходимая для жизни упорядоченность возможна лишь в макроскопической системе, в противном случае порядок разрушался бы флуктуациями. Наконец, Шредингер задавался вопросом об устойчивости вещества генов, построенного из легких атомов С, Н, N, O, P, на протяжении множества поколений. Ответ на этот вопрос дала позднее молекулярная биология, установившая двуспиральное строение дезоксирибонуклеиновой кислоты (ДНК).

Мы не останавливаемся на работах некоторых физиков, в которых утверждалось несоответствие биологических явлений и законов физики (Эльзассер, Вигнер и др.). Ошибочность этих работ была выявлена в научной литературе.

Сегодня имеются все основания утверждать, что современная физика не встречается с границами своей применимости к рассмотрению биологических явлений. Трудно думать, что такие границы обнаружатся в будущем. Напротив, развитие биофизики как части современной физики свидетельствует о ее неограниченных возможностях. Приходится, конечно, вводить новые физические представления, но не новые принципы и законы.

§ 1.3. Живая и неживая природа

Определим живой организм как открытую, саморегулируемую, самовоспроизводящуюся и развивающуюся гетерогенную систему, важнейшими функциональными веществами которой являются биополимеры — белки и нуклеиновые кислоты. Организм — система историческая, в том смысле, что он является результатом филогенетического, эволюционного развития и сам проходит путь онтогенетического развития — от зиготы до старости и смерти.

Обычная физика неживой природы не имеет дела с историей. Электрон, атом, молекула характеризуются постоянными физическими свойствами, независимо от своего происхождения. Конечно, обычная физика изучает кинетические, динамические процессы. При этом, однако, не рассматривается индивидуальная история физического тела.

Сказанное не означает, что в физике неживой природы нет исторических проблем. Само возникновение живой природы, ее эволюционное развитие и индивидуальное развитие каждой особи есть часть развития Вселенной как целого, часть развития Солнечной системы, часть развития Земли. Следовательно, имеет смысл рассмотреть сходство и различие между биофизикой, с одной стороны, и космологией, астрофизикой и геофизикой, с другой. Такое рассмотрение поучительно, так как эти разные области физики могут обогатить друг друга едиными подходами к решению исторических задач.

Согласно современным представлениям, история Вселенной начинается с малого сгустка плазмы громадной плотности. При-