

дии пламенем спички, но устойчивая, т. е. квазиравновесная, в отсутствие активации. Роль катализатора состоит в снижении активационного барьера  $E_a$ .

Неравновесная термодинамика оказывается необходимой при трактовке динамических процессов, — прежде всего, явлений развития.

С термодинамикой связана и теория информации. Увеличение количества информации в системе, рассматриваемой как сообщение, всегда сопряжено с понижением энтропии (см. гл. 9). Информационные аспекты биологии весьма поучительны. Выясняется, что понятие количества информации совершенно недостаточно для рассмотрения развивающихся биологических систем. Оказывается необходимым рассматривать и рецепцию информации, и создание новой информации. И то, и другое возможно лишь в условиях неравновесия, нестационарности и неустойчивости. В биологии важно не количество информации, но ее качество, смысл или ценность (§ 17.8).

## § 1.7. Разделы и методы биофизики

Живая природа, живые организмы представляют собой многоуровневые сложные системы. Большие и малые молекулы, клеточные органоиды, клетки, ткани, органы, организмы, популяции, биоценозы, биосфера — уровни, которыми должны заниматься и биология, и биофизика.

Биофизика условно подразделяется на три области: молекулярная биофизика, биофизика клетки, биофизика сложных систем. Это деление не обязательно, но удобно. Охарактеризуем содержание и методы трех областей биофизики.

Молекулярная биофизика изучает строение и физико-химические свойства биологически функциональных молекул, прежде всего биополимеров — белков и нуклеиновых кислот. Задачи молекулярной биофизики состоят в раскрытии физических механизмов, ответственных за биологическую функциональность молекул, например за каталитическую активность белков-ферментов. Молекулярная биофизика — наиболее развитая область биофизики. Она неотделима от молекулярной биологии и химии. Крупные успехи в этой области понятны — легче изучать молекулы (даже наиболее сложные из известных науке молекулы белков), чем клетки или организмы. Молекулярная биофизика опирается, с одной стороны, на биолого-химические дисциплины (биохимия, молекулярная биология, биоорганическая и бионеорганическая химия), с другой, на физику малых и больших молекул. Соответственно этому в гл. 2 мы рассматриваем химические основы биофизики, в гл. 3 — физику макромолекул и лишь после этого обращаемся к молекулярной биофизике как таковой (гл. 4—8).

Поскольку главные задачи молекулярной биофизики относятся к структуре молекул и их функциональности, как уже сказа-

но, мы можем рассматривать равновесные свойства молекул. Теоретический аппарат молекулярной биофизики — равновесная термодинамика, статистическая механика и, конечно, квантовая механика, поскольку речь идет о химии, о молекулах. Для экспериментального исследования биологически функциональных молекул (будем далее называть их просто биологическими молекулами) применяется широкий арсенал физических методов. Это, во-первых, методы, употребляемые в физике макромолекул для определения их молекулярных масс, размеров и формы — седиментация в ультрацентрифуге, рассеяние света и рассеяние рентгеновских лучей растворами исследуемых веществ и т. д. Во-вторых, методы исследования структуры молекул, основанные на взаимодействии вещества со светом, начиная с рентгеновских лучей и кончая радиочастотным излучением. Методы оптики и спектроскопии, в широком смысле этих слов, включают рентгеноструктурный анализ,  $\gamma$ -резонансную спектроскопию (эффект Мёссбауэра), электронные и колебательные спектры, т. е. спектры поглощения и люминесценции в ультрафиолетовой и видимой областях, инфракрасные спектры и спектры комбинационного рассеяния. Сюда же относится спектрополяриметрия, т. е. исследования естественного и магнитного вращения плоскости поляризации света и кругового дихроизма. Очень ценную информацию дают спектры ядерного и электронного парамагнитного резонансов (ЯМР и ЭПР). В случае ЭПР особенно важно применение парамагнитных спиновых меток. В-третьих, методы калориметрии, применяемые для изучения превращений биологических макромолекул. И, наконец, прямое изучение структуры белков и нуклеиновых кислот (а также, конечно, надмолекулярных структур, клеточных органоидов и клеток) посредством электронной микроскопии.

Применение ряда этих методов в биологии специфично. Поэтому необходимо рассказать о них в курсе биофизики. Глава 5 посвящена краткому изложению теории методов оптики и спектроскопии и полученных с их помощью биофизических результатов.

Молекулярная биофизика естественно переходит в биофизику клетки, изучающую строение и функциональность клеточных и тканевых систем. Эта область биофизики является самой старой и традиционной. Ее главные задачи связаны сегодня с изучением физики биологических мембран и биоэнергетических процессов. Биофизика клетки включает изучение генерации и распространения нервного импульса, изучение механохимических процессов (в частности, мышечного сокращения), изучение фотобиологических явлений (фотосинтез, реценция света, зрение, биолюминесценция). В этой области также применяются уже перечисленные экспериментальные методы. Биофизика клетки имеет дело с более сложными задачами и встречается с большими трудностями по сравнению с молекулярной биофизикой. Биофизике клетки посвящены гл. 10—14.

Биофизикой сложных систем условно называется преимущественно теоретическая область биофизики, посвященная рассмотрению общих физико-биологических проблем и физико-математическому моделированию биологических процессов. Перечислим основные современные разделы теоретической биофизики сложных систем.

1. Общая теория диссипативных нелинейных динамических систем — термодинамика необратимых процессов и кинетическое моделирование.

2. Теория возбудимых сред, частью которой является теория биологических колебательных процессов.

3. Общетеоретическая трактовка биоэнергетических явлений.

4. Общая теория и моделирование процессов биологического развития — эволюции, онтогенеза, канцерогенеза, иммунитета.

Этим разделам биофизики специально посвящены гл. 9, 15—17, но с теми же общими идеями мы встретимся и в остальных главах. В конечном счете любой вопрос, обращенный к живой природе, имеет эволюционный характер.

Все разделы биофизики находят сегодня важные практические приложения, прежде всего в медицине и фармакологии, а также в сельском хозяйстве.