

ХИМИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ БИОФИЗИКИ

§ 2.1. Химия и биология

Живая клетка, живой организм представляют собой сложные химические машины. Они существуют благодаря химическим превращениям веществ, поступающих извне, и выделению веществ в окружающую среду, благодаря метаболизму. Биология и биофизика неразрывно связаны с химией.

Никакие физические методы сами по себе не были бы в состоянии установить структуру сложных молекул без химических исследований. Химия решает эти задачи, изучая строение веществ и их превращения в химических реакциях.

Химия жизни, органическая химия, поначалу была совершенно отделена от неорганической. Она считалась надежной опорой витализма, до той поры, когда научились синтезировать органические соединения из веществ неживого происхождения (начало было положено синтезом мочевины $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$, проведенным Вёлером в 1828 г.). В дальнейшем органическая химия перестала быть химией живого и превратилась в синтетическую химию соединений углерода — химию углеводородов и их производных. Почти независимо развивалась биохимия — наука о строении и свойствах биологических молекул, о течении химических реакций в живых организмах. Биохимия достигла грандиозных успехов в расшифровке сложных сетей метаболизма. Из биохимии в союзе с физикой выросла *молекулярная биология*, занимающаяся физико-химическим, молекулярным истолкованием основных биологических явлений, прежде всего наследственности. Одновременно органическая химия вновь обратилась к живой природе на основе многолетнего опыта исследований органических соединений. Возникла *биоорганическая химия*, а затем и *бионеорганическая химия*, изучающая биологические молекулы, содержащие атомы металлов. Провести границы между перечисленными областями исследований химии жизни невозможно, да в этом и нет необходимости.

Отметим основные особенности химии жизни — химии биологических молекул.

1. Живая система обязательно химически гетерогенна. Бесмысленно говорить о живых молекулах — отдельно взятые биологические молекулы не живут.

2. Живая природа характеризуется единством химического строения. Градиозное многообразие биологических видов и особей не означает чрезвычайного разнообразия биологических молекул и биохимических реакций. Основные вещества и основные химические механизмы едины во всей живой природе. Все белки строятся из двадцати аминокислот, все нуклеиновые кислоты — из четырех нуклеотидов. Одни и те же атомные структуры фигурируют во всех организмах. Однотипны и фундаментальные биохимические процессы. Разнообразие организмов определяется разнообразием сочетаний одних и тех же атомных групп и их взаимодействий.

3. Строение и свойства клетки и организма в конечном счете диктуются нуклеиновыми кислотами (ДНК и РНК), обладающими «законодательной» властью в том смысле, что ими задается генетическая программа синтеза белков. В свою очередь белки обладают «исполнительной» властью уже потому, что ни одна химическая реакция в клетке не идет без участия специального фермента.

4. Биохимические процессы и биологические молекулы являются результатом эволюционного развития. Биологической эволюции предшествовала химическая (гл. 17), далее они были связаны неразрывно. Виды и организмы характеризуются биохимической, молекулярной адаптацией к условиям среды. Изучая химию жизни, необходимо постоянно иметь в виду биологическое развитие.

5. Жизнь характеризуется точной и тонкой индивидуализацией. Малые различия в строении молекул, например различия между метильной и этильной группами, не имеющие существенного значения в обычной химии, очень важны в биологии (этиловый спирт $\text{H}_3\text{C}-\text{CH}_2-\text{OH}$ вызывает опьянение, метиловый спирт $\text{H}_3\text{C}-\text{OH}$ — слепоту). Биологические молекулы и макромолекулы имеют строго определенные состав и строение.

6. Химические реакции в организмах строго регулируются как прямыми и обратными связями в многостадийных процессах метаболизма, так и пространственным разделением реакций вследствие *компартиментации*, реализуемой клеточными и внутриклеточными мембранами. Поддерживаются тонкие концентрационные градиенты.

7. Наконец, укажем, что биологические молекулы построены из атомов легких элементов: С, Н, О, N, P, S. Кроме того, в организмах универсальна функциональность ионов щелочных и щелочноземельных металлов Na, K, Ca, Mg. Важнейшую роль играют малые количества других металлов — Fe, Zn и т. д., вплоть до Mo.

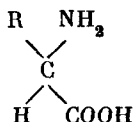
Человеческий организм содержит (в атомных процентах) 60,56 Н, 25,67 О, 10,68 С, 2,44 N, 0,23 Ca, 0,13 P, 0,13 S, 0,08 Na, 0,04 K, 0,03 Cl, 0,01 Mg и много меньшие количества Fe, Zn, Cu, Co, Se, F, I. Избыток Н и О определяется большим содержанием воды.

Далее в этой главе дается краткая характеристика наиболее важных биологических молекул и биохимических процессов. Наша задача состоит не в дублировании курсов биохимии, но в суммировании основных сведений, необходимых для изложения биофизики.

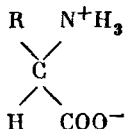
§ 2.2. Аминокислоты

Все белки построены из 20 типов аминокислотных остатков; ряд аминокислот, не фигурирующих в белках, участвует в метаболизме. По-видимому, аминокислоты возникали на Земле на первом этапе химической эволюции около $4 \cdot 10^9$ лет назад, в результате химических реакций в архаической восстановительной атмосфере и в океане при поглощении энергии (гл. 17). Простейшие аминокислоты встречаются и в метеоритах.

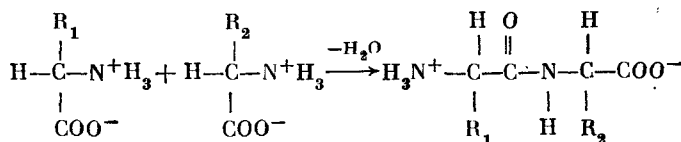
В белках фигурируют остатки α -аминокислот, имеющих строение



где R — радикал, углеводородный или содержащий помимо C и H и другие атомы — O, S, N. Как показывает изучение электрических свойств аминокислот (§ 2.3), их строение точнее выражается формулой *дипольного иона*



Образование белковой или полипептидной цепи происходит путем поликонденсации аминокислот:



причем образуются пептидные связи —NH—CO—.

В табл. 2.1 дана сводка 20 канонических аминокислотных остатков —CO—CHR—NH—, которые классифицированы по электрохимическим свойствам. Среди них есть алифатические углеводородные остатки (Ала, Вал, Гли, Иле, Лей), остатки, содержащие гидроксил (Сер, Тре), амидную группу (Асп, Глн), карбоксильную группу (Асп, Глу), содержащие серу (Цис, Мет), содержащие ароматические л-электронные циклы (Тир, Фен,