

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие	9
часть I откуда взялись все	15
1. В начале были буквы	17
2. Хорошая идея	59
3. Зачем все усложнять	97
4. Чего ни сделаешь ради любви	145
часть II откуда взялись мы	173
5. Сложение движения	175
6. На сушу!	207
7. Когда кончается свет	243
8. Зеркало	291

часть III откуда взялся я	321
9. Мысль как абстракция	323
10. Огонь изнутри	361
11. Сколько стоит счастье	413
12. В начале было слово	439
Эпилог	477
Благодарности	487
Список литературы	493
Предметно-именной указатель	529

ПРЕДИСЛОВИЕ

Но в нас горит еще желанье,
К нему уходят поезда,
И мчится бабочка сознания
Из ниоткуда в никуда.

Виктор Пелевин. Чапаев и Пустота

“Две ладони сходятся в хлопке — и возникает звук. Каков звук одной ладони?”

В дзен-буддизме есть специальный тип мысленного упражнения — коан. Иногда дзен-коаны описывают как загадки без разгадки, но это не совсем точно. В действительности цель коана не разрешить задачу, а скорее прочувствовать ощущение неразрешенности, вызвать в практикующем “состояние вопрошания”. Но на самом деле это не означает, что у коанов вообще не может быть “разгадок”. Просто в коане важна не разгадка, а сам процесс разгадывания.

Впервые я услышал коан про хлопок в институте, на биолого-почвенном факультете СПбГУ, от однокурсников-интеллектуалов. Все мы тогда увлекались, так сказать, поп-буддизмом — Борхесом, Пелевиным, Гребенщиковым — и в перерывах между лекциями про древние растения и зоологию

.....9

беспозвоночных разгадывали дзен-коаны, резко схлопывая одну ладонь. О, остроумие первокурсника!

С годами я стал видеть у этого коана другую разгадку. В хлопке сходятся две руки, и звук — то, что происходит в результате их соединения. Это метафора восприятия, взаимодействия между миром и разумом. Все, что я слышу, вижу и ощущаю, — это звук хлопка, рождающийся на границе между мной и окружающей меня реальностью, между двумя ладонями, между субъектом и объектом.

Мир всегда, с первой секунды нашей жизни, поделен на две части, одна из которых направлена внутрь, а другая — наружу. Я и все остальное. Мы и они. Свои и чужие. Человек и животные. Исследователь и образец. Любое такое расщепление мира пополам — это хлопок двумя руками. Наша жизнь — это звук, рождающийся на границе между мной и не-мной.

Но что, если субъект — это часть объекта? Что, если я — это часть всего остального, а исследователь — часть образца, на который он смотрит? Что, если две руки — это иллюзия? Как звучит хлопок, если рука всего одна?

Я начинал свой путь в биологии с молекул и клеток (моя кандидатская, например, про гликопротеины — белки с углеводными метками), но каким-то образом оказался среди всего неохватного и бесконечного. Сейчас я изучаю, как из молекулярных сигналов возникает в мозге память и как так сложилось за миллионы лет эволюции. Тут волей-неволей приходится думать в терминах, сильно напоминающих коаны. Если я замеряю память через молекулы, то где граница между памятью и движением этих молекул? Как понять, где механизм мышления, а где само мышление? А если это непонятно, то где граница между телом и сознанием, между моим мозгом и мной? Как понять, когда я думаю “наружу”, а когда “внутри”, и что, если разницы нет вообще? Каков, короче говоря, звук одной ладони?

Книга о себе

Эта книга — об истоках всего, что делает нас людьми.

Что такое человек? Зависит от того, у кого спрашивать. Биолог, психолог, философ, историк, художник — все они ответят на этот вопрос по-разному. Одни будут искать ответ на вопрос внутри себя, другие — в окружающем мире, третьи — в глубинах прошлого. Каждая область мысли, научная или нет, преломляет человеческую жизнь призмой собственных понятий и категорий. Это хлопки двумя ладонями: ладонь человеческой жизни сходится с ладонью научного метода, или с ладонью чувственного восприятия, или с ладонью исторической перспективы — и возникает звук.

И все же биологов, психологов, философов, историков и художников объединяет то, что все они люди. Все они слышат звук, когда их собственные ладони — ладони человека как субъекта — ложатся на ладонь человека как объекта, человека в целом, человека в принципе. Но на самом деле эти две ладони едины. Человек есть человек, независимо от того, субъект он или объект.

Задача этой книги — взглянуть на человека одновременно изнутри и со стороны, с позиций прошлого и с позиций настоящего, с точки зрения биолога и с точки зрения философа, с точки зрения вида *Homo sapiens* и с точки зрения других видов: бактерий, растений, медуз, птиц. Эта книга — обо всем не-человеческом, что предвосхитило и определило все человеческое: от зарождения жизни до полового размножения, от происхождения животных до социальных инстинктов, от нейронных сетей до абстрактного мышления. Книгу можно считать научно-популярной с той точки зрения, что я буду использовать научные знания и надеяться, что книга будет популярной. Но это книга не про науку, а про природу. Не про людей, изучающих жизнь, а про жизнь, порождающую человека. *Вместо истории жизни от лица людей, это история людей от лица жизни.*

Эта книга — летопись человека и его ума. Повесть о том, как из ниоткуда и из ничего возник кто-то, кто сумел оглянуться назад.

Жизнь как чудо

Как ни крути, то, что мы есть, — это чудо. Даже три чуда.

Чудо первое: жизнь. Вокруг нас несметные количества живых существ, больших и маленьких, видимых и невидимых, и мы — одни из них. Даже самое примитивное растение или животное по своей сложности превосходит все, что когда-либо умел делать своими руками человек. Их количество и разнообразие просто невозможно охватить человеческим умом. Жизнь на Земле — непостижимая, вездесущая, кишашая миллионами ног, сучков, колючек и зубов вакханалия, в которой мы существуем и из которой мы исходим.

Этому чуду посвящена первая часть книги: “Откуда взялись все”. Все живые то есть. Человека многое делает человеком, но тот факт, что он — живой организм, пожалуй, все-таки главный. В этой части книги людей почти не будет, зато будет этот товарищ, *живой организм*, и его история как череда событий древнего мира. Мы рассмотрим происхождение и эволюцию жизни на Земле, а также становление исторической траектории, которую миллиарды лет спустя увенчает человеческий вид. Самая ранняя история жизни задала тон всем дальнейшим событиям, произошедшим на планете. Мы увидим, что многие свойства человека — от беспрецедентной сложности его мозга до гендерных ролей — берут свои истоки за миллиарды лет до появления даже самых примитивных животных.

Чудо второе: человеческий вид. Мы можем делать вещи, которые не может делать никто. Человек как вид явно выделяется на фоне всего остального, что он видит вокруг. Мы охотимся с копьями, разводим огонь и заготавливаем еду на зиму. Мы

летаем в космос, строим города и подводные лодки. Я много ворчу на тему антропоцентризма, то есть убеждения, что человек — пуп земли. Но нашему виду *Homo sapiens* все-таки стоит отдать должное. Человек — это действительно чудо. Ему как виду среди других видов посвящена вторая часть книги: “Откуда взялись мы”.

Эта часть книги больше всего напоминает летопись. Она разделена на четыре главы, соответствующие четырем эрам: “докембрийской”, палеозойской, мезозойской и кайнозойской. Речь в них пойдет о возникновении человека как вида. Принято считать, что момент происхождения человека от обезьяны сделал его “особенным”, а до того в системе природы человек ничем не выделялся. Я постараюсь убедить читателя, что история человеческой исключительности начинается гораздо раньше. Для этого мне придется рассказать о множестве других видов, без которых разговор об исключительности потерял бы всякий смысл. Мы познакомимся с динозаврами, насекомыми, губками, даже с водорослями и грибами. Только в такой перспективе станет понятна исключительная судьба нашего вида и его предков.

Наконец, *чудо третье*: человеческое сознание. Среди всех людей у каждого из нас есть один избранный, исключительный человек, который принципиально из них выделяется. Он называется “я”. Он смотрит на других людей из своих глаз и разговаривает внутренним голосом. Его мысли, желания и эмоции доступны нам напрямую, а не через восприятие слов или выражений лиц. Мы можем управлять своим телом усилием воли.

Третья часть книги посвящена этому “чуду точки зрения”, первому лицу, сознанию, расщепляющему мир на себя и не-себя. В ней пойдет речь про мозг, в хитросплетениях которого скрыт наш внутренний мир. Мы поговорим о том, что в принципе представляет собой мозг и в чем состоит его эволюционная задача. Мы увидим, что мозг имеет особый статус в нашем организме, предоставляя нам частичную незави-

симость от собственных генов. Наше сознание — следствие такой частичной свободы. С одной стороны, это дает нам право на личность, но с другой стороны, вечно отравляет нам жизнь. В этой части книги мы углубимся в детали собственной памяти, восприятия, мотивации, языка и постараемся соединить взгляд на человека со стороны со взглядом изнутри. Мозг — это история внутри истории, жизнь внутри жизни, чудо внутри чуда, и из всех трех “чудес” этой книги в нем на сегодняшний день остается больше всего загадок.

Что такое чудо? Можно сказать, что это нечто реальное, но при этом необъяснимое. Принято считать, что если чудо объяснить — то оно перестает быть чудом. Но, с другой стороны, как показывает история, человек только и делает, что находит объяснения чудесам. Мы не любим неразрешенных вопросов и так или иначе объясняем существование себя и окружающего мира. Откуда берутся молния и гром? Наверное, там наверху сидит мужик со специальным молотком, которого невозможно увидеть. Куда уходят мертвые? Видимо, под землю, к другому мужику. (Мы вообще любим везде мужиков добавлять.)

Мне кажется, что чудесность чуда заключается именно в его объяснении. Чем грандиознее объяснение — тем чудеснее чудо. И вот по такой шкале чудесности ничто не сопоставимо с картиной мира, выстроенной современным научным знанием. Легенды и мифы Древней Греции — это детские сказки по сравнению с историей эволюции фотосинтеза. Мужики понятнее, чем молекулы, но я постараюсь убедить дорогого читателя, что молекулы гораздо грандиознее. Можно даже сказать, эпичнее.

Эта книга — попытка объяснить чудо. Без объяснения чудо — просто неизвестность.

ЛАДОНЬ ЗАМАХ ХЛОПОК


..... ЧАСТЬ I

ОТКУДА ВЗЯЛИСЬ ВСЕ

1. В НАЧАЛЕ БЫЛИ БУКВЫ

Все происходит нечаянно.

Лев Толстой. Война и мир

Мир, строго говоря, состоит из энергии.

Есть бородатый анекдот о сложности этого понятия. Вопрос на экзамене по физике: что такое энергия? Студент мучается, пыхтит, в конце концов говорит: “Простите, профессор, знал, но забыл!” Профессор встает и торжественно объявляет аудитории: “Друзья, трагедия! Один человек в мире знал, что такое энергия, но и тот забыл!”

При попытке определить, что такое энергия, обычно приземленный и конкретный язык физической науки виляет из стороны в сторону и обрастает почти эзотерическими интонациями. Это мера причинно-следственной связи. Разменная валюта Вселенной, описывающая, что во что может превращаться, что куда может двигаться или чем становиться. Энергия — это такое необъяснимое и философски неделимое нечто, которое никак не выглядит и ни из чего не состоит, не убывает и не возникает, но является нам в разных формах — массы, тепла, движения, волны. Энергия перетекает из одной формы в другую: например, теплом можно вызвать движение. Чтобы сделать что-то, что не хочет делаться само, нужно вложить энергию — толкнуть камень в гору, например.

..... 17

А если что-то делается самопроизвольно, то энергия при этом выделяется, как свет и жар при горении. В том, откуда и куда энергия перетекает, состоит, собственно, последовательность всех событий в мире. Мы называем направление этого перетекания временем.

Одна из главных форм существования энергии — это материя, то есть энергия с массой. Известная нам материя состоит из атомов, крупиц энергии, пойманной в форме массивных комков. Благодаря наличию массы атомы обладают свойствами, интуитивно понятными нам, массивным существам. Атомы, например, отскакивают друг от друга — их можно весьма условно сравнить с бильярдными шарами.

Все атомы имеют похожую структуру. В центре — тяжелое ядро, несущее в себе почти всю массу атома. Ядро состоит из плотно слепленных друг с другом протонов и нейтронов, которых может быть от одной штуки (у водорода) до пары сотен (у урана). У нейтронов есть только масса, а у протонов, помимо массы, есть еще заряд — особое свойство материи, которое существует в двух вариантах, притягивающих друг друга. Мы называем эти варианты положительным и отрицательным зарядом: у протона по договоренности плюс, а противоположный минус — у еще одной составляющей атома, электрона.

В основном атом состоит из пустоты. Ядро из протонов с нейтронами — центр тяжести — занимает ничтожную часть пространства по сравнению с диаметром атома. Поверхность же атома состоит из почти невесомого электронного облака. В школьных учебниках принято писать, что электрон летает вокруг ядра, но это сразу создает ложное представление, которое приходится потом долго ломать, когда дело доходит до квантовой механики. Дело в том, что если атом в целом еще худо-бедно напоминает шарик, то электрон — вообще нечто иное, и как шарик его никоим образом не описать. Он и волна, и материя. У него есть масса, но нет четкого положения: вероятность его существования как бы размазана по пространству, окружающему атом. Электроны имеют заряд, про-

тивоположный протонному, благодаря чему электронная оболочка и окружает ядро, к которому ее все время тянет. Таких оболочек у атома может быть много, они слоятся и переплетаются вокруг ядра многомерной квантовой капустой, от которой студентам-первокурсникам на лекциях по химии или физике обычно становится плохо.

Различаются атомы количеством протонов, нейтронов и электронов. Атомы с определенным количеством протонов называются элементами. Элемент — это тип атома. У каждого элемента свои свойства. Самый простой элемент — водород. У водорода один протон и один электрон, а нейтронов обычно нет вообще. У углерода, например, 6 протонов и обычно 6 нейтронов, а у железа — 26 протонов и 30 нейтронов. Чем больше протонов с нейтронами — тем атом тяжелее. Количество электронов в норме уравнивает количество протонов, нейтрализуя общий заряд атома. Но в махинациях с электронами, как мы увидим, состоит вся атомно-молекулярная жизнь.

Пантеон элементов

Атомам все время не сидится со своим набором электронов. В этой нервной — причина всех химических реакций. Спокойна только особая группа атомов, носящих благозвучное название благородных газов: гелий, неон, аргон, криптон, ксенон, радон. В пантеоне химических элементов они как шесть бодхисаттв, поддерживающих баланс своих электронов в полной гармонии с протонами, лишённые желаний и устремлений, не вступающие ни в какие реакции и ведущие одиночную жизнь в форме газа.

Остальные атомы, так или иначе, чего-то хотят от других атомов, благодаря чему и существуют вещества, предметы и организмы. Некоторые атомы не удовлетворены своим “естественным” количеством электронов и хотят оторвать или хотя бы оттянуть их от других атомов. Другим атомам

слишком много положенного набора, и они ищут желающего принять избыток. У некоторых вроде бы все в порядке с количеством электронов, но у них нестабильная конфигурация, которую можно стабилизировать, только вступив в связь с другим атомом с похожей проблемой.

Химическая связь возникает, когда электронные облака двух атомов сливаются в единое облако. Полученная совместная электронная оболочка распределяется между ядрами-партнерами. Бывает мирное слияние, когда оба атома получают поровну коммунального облака. Бывают почти рейдерские захваты, когда один атом после слияния перетягивает облако на себя, и перед атомом-партнером встает выбор: либо довольствоваться краешком облака, прилипая к захватчику, либо отколоться и остаться вообще без электрона. Если облако растянуто на два ядра, то теперь два атома существуют как единое целое, и такая стабильная связка атомов называется молекулой. Молекулы помогают атомам успокоить свою нервозность.

Живой мир состоит не из отдельных атомов, а именно из молекул — конгломератов атомов, связанных друг с другом общими электронами. Молекулы живой природы — органические молекулы — отличаются своими огромными размерами. Они состоят не из двух-трех атомов, а из десятков, сотен, даже тысяч атомов, складывающих свои электронные облака в сложные трехмерные структуры. Количество возможных молекул бесконечно, а количество реально существующих молекул определяется, скорее, нашими способностями их находить или создавать. Но атомов гораздо меньше, чем молекул, а ключевые атомы природы, собственно химический каркас жизни, и вовсе можно пересчитать по пальцам.

Главный из них — бесспорно, углерод. Если говорить отвлеченно, то из углерода состоит все живое, а другие атомы — так, понаליпли. Почему углерод? Он обладает уникальными среди элементов способностями. Атом углерода в молекуле может быть связан с двумя, тремя и даже четырьмя другими атомами, в том числе, и это особенно важно, с другими ато-

мами углерода. В итоге образуются ветвящиеся цепи и многогранные кольца, причем их размеры и строение почти ничем не ограничены. Это свойство углерода настолько расширяет возможности и разнообразие состоящих из него молекул, что их изучение даже носит особое название — “органическая химия”.

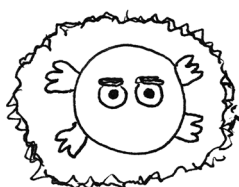
КСТАТИ

Есть такая шутка: что такое органическая молекула? Это любая молекула, интересная химикам-органикам.

Границу между органической и неорганической молекулой действительно сложно провести. На первый взгляд, это просто: подавляющее большинство органических соединений одновременно состоит из углерода и производится живыми организмами — отсюда “органика” в их названии. Но есть спорная территория, например углекислый газ — вездесущая и очень простая форма существования углерода, которая бывает на других планетах и безо всякой жизни. Его едва ли можно отнести к органическим молекулам, а вот мочевины — молекулу не намного сложнее, но гораздо более редкую за пределами биосферы — возможно. Именно синтез мочевины из цианата аммония, осуществленный немецким химиком Фридрихом Вёлером, считается первым случаем искусственного производства органического соединения из неорганического. Своим достижением Вёлер помог опровергнуть концепцию витализма, согласно которой в молекулах живого организма содержится особая жизненная сила, принципиально отличающая ее от “неживых” веществ.

.....

Углерод — фигура конструктивная, производительная, хозяйственная. Он готов сотрудничать с другими атомами на разумных условиях. Он не пытается оторвать у них каждый увиденный электрон, а спокойно объединяет свои электронные облака с чужими во все более и более крупные структуры.



C
(УГЛЕРОД)



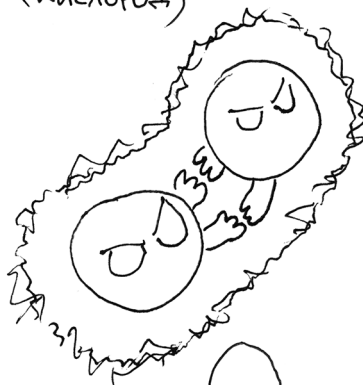
O
(КИСЛОРОД)



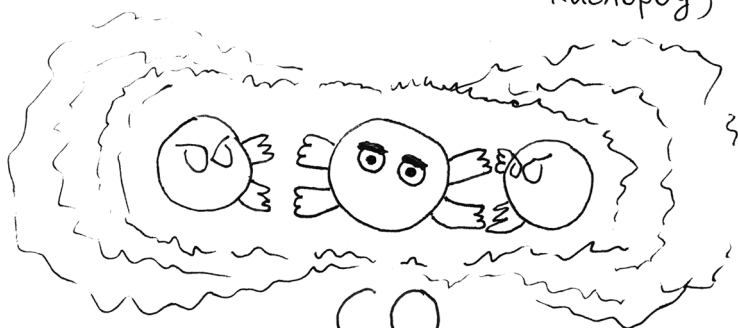
H
(ВОДОРОД)



H₂O
(ВОДА)



O₂
(МОЛЕКУЛЯРНЫЙ
КИСЛОРОД)



CO₂
(УГЛЕКИСЛЫЙ ГАЗ)

Углерод готов сотрудничать с другими углеродами, до четырех на атом — получаются ветвящиеся цепочки, где все на равных правах. Углерод ведет себя вежливо даже в отношениях с водородом, лишь слегка оттягивая на себя его смехотворный единственный электрон. Именно благодаря таким деловым качествам углерода живая природа существует в известном нам виде. Из-за своей стоворчивости и общительности углерод идеально подходит для сборки в гигантские мегамолекулы, такие как белки или ДНК.

Водород — самый распространенный элемент во Вселенной¹.

Материя в целом, можно сказать, состоит из водорода и его близкого родственника, благородного бодхисаттвы гелия, с вкраплениями других, более тяжелых элементов. Но среди этих больших элементов водород — самая мелкая сошка. Он как несчастный крепостной крестьянин, плотно прилепленный к барину своим электроном, курсирующим в составе общей молекулы. У него совсем нет сил, чтобы удерживать и этот свой единственный отрицательный заряд, поэтому отношения с другими атомами у него почти всегда подчиненные. Но ни от кого на планете Земля водород не страдает столько, сколько от кислорода.

Кислород — элемент деструктивный, беспощадный, яростный. Он разорвет на части все, что ему подsunут. По силе, с которой он тянет на себя электроны, ему нет равных, за исключением экзотического фтора². Вклиниваясь в чужие молекулы, кислород расчленяет их на отдельные атомы, присасываясь к их электронным облакам и образуя простые соединения. Если попадетсЯ водород — получится вода. Если попадетсЯ углерод — получится углекислый газ. Молекула-жертва, скажем, целлюлоза в бумаге и древесине, может содержать несколько тысяч сложно состыкованных углеродов, но кислород готов превратить всю эту сложность в простые, мелкие, неорганические молекулы. Часть энергии, содержащейся в электронных облаках углеводородного каркаса целлюлозы, при этом освобождается в форме света и тепла. Это называется горением.



Конечно, такая сугубо деструктивная роль кислорода — большое упрощение. Кислород не только рушит молекулы из углерода и водорода, но и входит в их состав. Тем не менее с планетарной точки зрения можно смотреть на такие кислородсодержащие молекулы как на топливо в постепенном процессе сгорания. Углекислый газ и вода — конечные продукты горения углеводородной молекулы, а все остальные формы существования в ней кислорода — промежуточные продукты.

На первый взгляд, углерод и кислород выглядят врагами: один строит, другой рушит. Углерод отличается тем, что из него можно создавать сложнейшие инженерные конструкции. Кислород же способен любые конструкции в конечном итоге превратить в простейшие молекулы.

На самом деле даже в горении есть очевидная польза. В химических связях, сковывающих сложную молекулу, заключено огромное количество энергии, которое можно высвободить, если эту сложную молекулу расщепить на простые. Горение топлива, например, несет ракету в космос со скоростью, невиданной в дикой природе. Это тоже кислород, накидывающийся на углерод с водородом, и энергия, выделенная в ходе такой атаки, превращается в ускорение. Так же и кислород в живом организме: его “электронная жадность” используется природой для высвобождения энергии, которую можно затем использовать. Мы вдыхаем кислород, чтобы сжечь съеденный обед и пустить его энергию на конструктивные дела: например, обдумывание ужина.

В дихотомии углерода и кислорода есть что-то космически значимое для жизни на Земле. У кислорода действительно в характере рушить и отбирать, но он умеет это делать так эффективно и беспощадно, что из чинимого им тотального уничтожения рождается новое и невозможное. Кислород — не просто вандал природы, он что-то вроде химического Шивы — несущий обновление через разрушение. (Для углерода тогда напрашивается образ четверорукого Вишну.)

Кислород и углерод как элементы воплощают в себе свойства, которые после возникновения жизни лягут в основу метаболизма, или обмена веществ. Метаболизм имеет две стороны. Анаболизм — строительство больших молекул с затратой энергии, то есть почти всегда строительство углеродных цепочек. Катаболизм — расщепление больших молекул с выделением энергии, то есть, в современной природе, почти всегда сжигание углеродной пищи кислородом. Вместе анаболизм и катаболизм замыкаются в энергетический цикл, способный приспособливаться к любым нуждам живого организма, и в этом цикле заключается одно из самых главных, самых чудесных свойств жизни. Любой живой организм имеет сложную систему “обмена валюты”, которая связывает анаболизм с катаболизмом. Эта восхитительная система позволяет нам записывать в рот почти все что угодно и каким-то образом безо всяких усилий превращать спрятанную там химическую энергию в мысли и движения.

Можно сказать, что метаболизм — это половина того, что значит быть живым. Но цикл энергии, в принципе подходящий под определение обмена веществ, встречается во многих системах (например, любой природный круговорот). В понятие живого организма, по крайней мере в известных нам земных вариантах, входит, помимо метаболизма, еще один цикл: информационный. Живые организмы обладают наследственностью. Но, перед тем как я произнесу слово на букву “г”, предлагаю отвлечься на легкий пересмотр природы реальности.

Мир как рецепт пирожка

В бытовом смысле мы используем слово “информация” для обозначения значимого и обычно передаваемого знания. Информация передается, когда два человека разговаривают. При чтении информация преобразуется из письменной формы в мысленную. Информация копируется, если переслать

файл с одного компьютера на другой. Может показаться, что само понятие информации возникает в тот момент, когда что-то значимое куда-то передается. То есть с бытовой точки зрения информация — это “мера общения”, слово, обозначающее передачу каких-то важных параметров из одной системы в другую.

С более формальной, физической точки зрения информация совсем необязательно должна куда-то копироваться или что-то значить, чтобы быть информацией. Информация — это не передача параметров, это сами параметры. Абстрактное описание системы, отличающее ее от других систем. Например, в доме содержится информация о взаимном расположении кирпичей, и эта информация существует независимо от самих кирпичей, от вашего знания об этих кирпичах и вообще от материального мира. Она может быть нигде не записана и никому не известна, но она то, что отличает дом от груды кирпичей. Информация — не столько “мера общения”, сколько “мера порядка”, индекс свойств системы, выделяющий ее из хаоса. Она “содержится” в материи, но существует независимо. Например, роман “Война и мир” — это информация, абстрактное описание того, как должны быть расположены буквы на листе, чтобы отражать задумку автора. Эта информация может содержаться в бумажной книге или в памяти компьютера, но эти материальные носители — не то же самое, что великий роман русского классика.

С этой точки зрения можно еще раз взглянуть на Вселенную в целом. Из чего она состоит? Допустим, что всю Вселенную взяли, стерли в порошок и распылили до гомогенного пара. Суммарное количество энергии останется точно таким же, даже количество атомов и частиц вряд ли изменится (зависит от того, как стирать в порошок). Что исчезнет при таком стирании — так это информация. Распределение атомов и энергии между реками и морями, материками, планетами и галактиками, распределение, благодаря которому они были собой. Не будет ли логичным сказать, что из информации Вселенная и состоит?



Л. Н. Толстой
пересматривает свой
взгляд на "Войну и мир"

Энергия — это начинка Вселенной, а информация — рецепт вселенского пирожка. Вот вам и легкий пересмотр реальности.

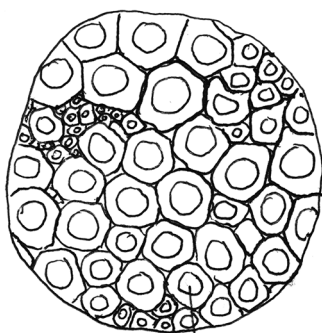
Что делает жизнь живой? Способность воспроизводить информацию. Точнее, способность информации воспроизводить саму себя. Но все по порядку.

Молекула всего

Принципиальны для понимания жизни два типа молекул: белки и нуклеиновые кислоты.

Это огромные молекулы, если смотреть на них с точки зрения неживой природы. Допустим, вы атом углерода — как мы помним, четверорукий крепкий хозяйственник, из которого в основном выстроены молекулы живого организма.

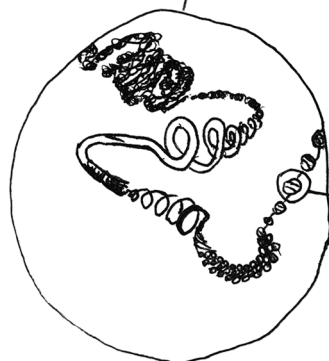
Допустим, ваш диаметр соответствует человеческому росту. В таких координатах средний белок будет размером эдак со Спасскую башню или статую Свободы, а рибосома — машина для изготовления белков — примерно с футбольный стадион. Матричная РНК — программа, которая в эту машину вставляется, — окажется лентой шириной в 20 метров, а длиной в десятки километров. ДНК — две похожие ленты, закрученные друг вокруг друга, но ленты настолько длинные, что это, скорее, дороги, ведущие из ниоткуда в никуда. У бактерий ДНК замкнута в огромное кольцо окружностью в половину, а иногда и весь земной экватор. У человека ДНК не кольцевая, поэтому начало и конец у нее все-таки есть, зато длина человеческой ДНК во много раз больше бактериальной. В наших воображаемых координатах расстояние между двумя концами ДНК в человеческой хромосоме — порядка расстояния от Земли до Луны. Оно и в обычных, реальных-то коор-



Человек состоит
из клеток

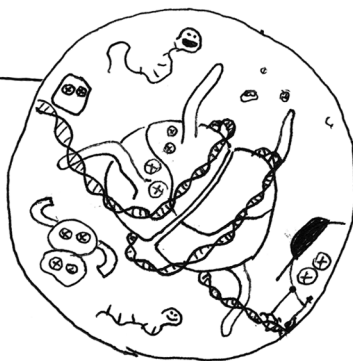


В клетках содержатся
хромосомы



Хромосома – туго
скрученная нить
из нуклеосом

Нуклеосома – белковая
катушка с накрученной
на нее ДНК

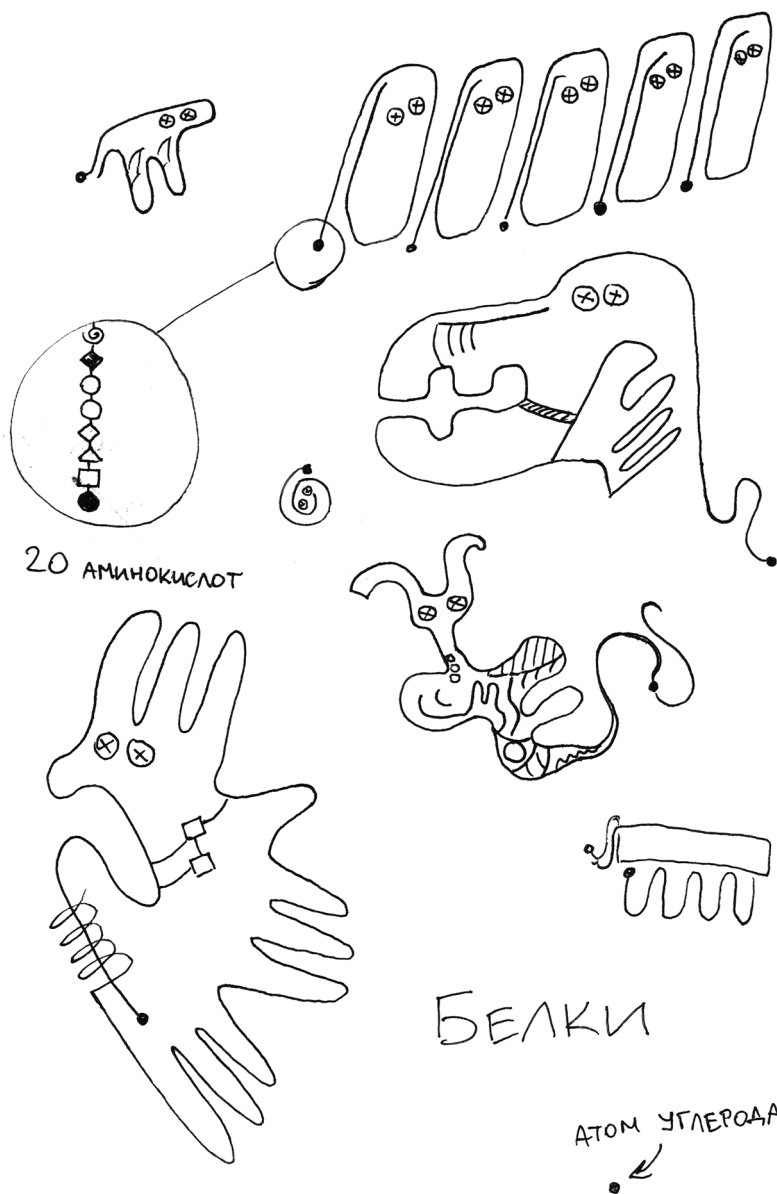


динахах впечатляет. Каждая хромосома — это одна молекула ДНК, намотанная на плотно упакованные катушки из белков-гистонов, а всего хромосом в каждой клетке 46 штук. Если хромосомы размотать, то в каждой клетке человека обнаружится аж два метра ДНК³.

Белки — совершенно несуразное название для чего-то настолько важного и величественного. Что такое белок, знает каждый ребенок: белок — это белая, по-моему, менее вкусная часть яйца. Какая связь между яичным белком, прозрачным желе, белеющим при нагревании, и белками, из которых состоит наше тело, понять очень сложно. Яичная аналогия помогает усвоить, что белки очень питательные, но мешает понять, что белок вовсе не однородная масса одного и того же вещества.

Ту же, в общем, идею однородности белкового вещества выражает синоним “белка” — “протеин”. Предложил его в 1838 г. шведский ученый Йёнс Якоб Берцелиус в письме голландскому химику по имени Геррит Ян Мульдер⁴. Мульдер изучал химический состав разных биологических субстанций (шелка, яиц, плазмы крови) и пришел к убеждению, что в основе всего живого лежит одна и та же сущность, “первовещество”. Мульдер фантазировал, что это первовещество производить умеют только растения и в этом заключается их питательная ценность для животных. Берцелиус — выдающийся шведский химик, с которым Мульдер много лет переписывался, — предложил так это первовещество и называть: *протеин*, от слова *πρωτεῖος*, то есть “первичный” по-гречески.

Все оказалось несколько иначе, чем предполагал Мульдер. “Первовещества” как такового на самом деле нет. Все сложные молекулы, из которых мы состоим, производят наши собственные клетки из простейших деталей, причем организм великолепно умеет изготавливать одни детали из других. Некоторые детали должны обязательно поступать с пищей, как, например, половина аминокислот — из них состоят белки. Но в целом живой организм обходится тем, что имеет.



Как правило, он может сожрать что угодно, разобрать практически на атомы и собрать в любые нужные ему молекулы. Поэтому идея о том, что растения производят некий единый белок, из которого состоят животные, неверна. Тем не менее Мульдер действительно нащупал кое-что важное и общее между изучаемыми им субстанциями. Просто они оказались не одним и тем же *белком*, а разными *белками*. Белок — не одна какая-то молекула, а тип сложного химического соединения, представляющий собой разнообразные цепи из одинакового набора деталей, бусин, аминокислот. То есть химически белки очень похожи друг на друга, что и натолкнуло химика Мульдера на мысль о “первовеществе”. Но главное в белке то, что разные последовательности бусин позволяют создавать совершенно разные молекулы из одного и того же набора компонентов.

Эти разнообразные белки правят живым организмом. Как рабочие разных профессий, они делают все, что только можно в нем делать. Мы перевариваем пищу с помощью белков, дышим кислородом с помощью белков, двигаемся с помощью белков. Белки копируют ДНК, синтезируют клеточную мембрану, а при формировании долгосрочной памяти белки в гиппокампе отправляют при помощи белков белковые сигналы другим белкам в кору. Всего у человека порядка 20 000 разных белков⁵, но каждая клетка решает, когда и в каких количествах производить из них тот или иной белок.

В общем, как “первовещество” термин “протеин” себя не оправдал: белок — это не одна вещь, а огромное количество похожих вещей. Я предлагаю простое решение вопроса: можно переосмыслить этимологию слова как отсылку к греческому богу Протею, морскому божеству, способному принимать разные формы. Тогда все встает на свои места. Так или иначе, “протеин” — слово, конечно, поэлагантнее, чем “белок”, но, к сожалению, в русском языке так белки называют только продавцы биодобавок. Так что придется терпеть яичную терминологию. Белки так белки.

Нуклеиновые кислоты — название еще хуже. Во-первых, длинное, сложное, учебником химии веет за километр. Во-вторых, тот факт, что нуклеиновые кислоты именно кислоты, конечно, многое определяет в их химических свойствах, но для общего понимания их смысла совершенно не принципиален. Да и “нуклеиновость” этих кислот, в общем, вторична. *Nucleus* означает “ядро”, отдел клетки, в котором у нас, эукариот, нуклеиновые кислоты хранятся. У бактерий — самой многочисленной формы жизни на Земле — ядер нет, а кислоты все равно нуклеиновые.

Что такого важного в нуклеиновых кислотах — ДНК и РНК? Сами по себе, то есть без белков, они почти беспомощны. За редкими (хотя и важными) исключениями, о которых речь впереди, нуклеиновая кислота тихо лежит, а белки с ней что-то делают. Сила нуклеиновых кислот не в работоспособности или многофункциональности, а в том, что они несут информацию о том, какими нужно быть белкам, чтобы исполнять нужные функции. Нуклеиновые кислоты *кодируют* белки. Белки на самом деле — это не рабочие, а роботы. Они изготавливаются по специальным программам, записанным в нуклеиновых кислотах.

Физически и белки, и нуклеиновые кислоты представляют собой цепи, сложенные из последовательностей повторяющихся деталей, блоков, бусин. Белки состоят из блоков, называемых аминокислотами, нуклеиновые кислоты — из блоков, называемых нуклеотидами.

В белках 20 возможных составных частей, причем все они очень разные с химической точки зрения. Аминокислоты — это как набор “Юный химик”. Все их можно комбинировать в почти бесконечном количестве вариантов. Благодаря разным последовательностям аминокислот разные белки приобретают разные свойства, изгибаются в сложные трехмерные формы, покрытые всевозможными химическими группами, работающими как детали машины. Это обилие компонентов и комбинаций дает белкам такое бесконечное разнообразие функций. В конечном итоге все сводится к простейшему рецепту: такие-то аминокислоты в такой-то последовательности.

Информация определяет функцию. Последовательность белка решает, что этот белок умеет делать.

Четырехбуквенный роман

Что касается нуклеиновых кислот, то они бывают двух типов: рибонуклеиновая (РНК) и дезоксирибонуклеиновая (ДНК). По молекулярному составу они очень похожи друг на друга, но их роли и значение совершенно разные. О РНК разговор впереди, пока же для простоты можно ограничить нуклеиновые кислоты знаменитой двойной спиралью ДНК.

В ДНК всего четыре составные части, причем не так сильно различающиеся по химической сущности. Но эти составные части, нуклеотиды, обладают ключевым свойством, носящим название комплементарности. Комплементарность — это способность одной цепи нуклеотидов связываться с другой комплементарной цепью нуклеотидов, если их последовательности соотносятся как негатив и позитив. Иначе говоря, это способность одной цепи задавать другую цепь, и наоборот.

Благодаря этому свойству нуклеотидные цепи идеально подходят для воспроизведения особого типа информации, которую называют наследственной информацией, генетической информацией или просто генами. (Вот оно, слово на букву Г!) Все гены организма в совокупности называются геномом*. Ген — это фрагмент генома, как глава — фрагмент романа. Геном записан в ДНК, как роман записан в книге.

* Знатки биологии заметят, что “генами” обычно называют только малую часть генома, хотя на вопрос о том, какую именно, разные ученые отвечают по-разному. Считается, что большая часть последовательности ДНК в наших клетках не несет смысловой нагрузки, а роль играют только отдельные островки информации. Но с каждым годом в этом море “бессмысленного” кода ДНК обнаруживаются все новые и новые “смыслы”, поэтому граница между генами и не-генами в геноме размывается все сильнее и сильнее. О различных определениях слова “ген” мы еще поговорим в последующих главах, но в любом случае это вопрос терминологии. Исходя из задач этой книги, я предлагаю считать геном любую единицу информации, наследуемую посредством последовательности ДНК.

Каждая цепь ДНК состоит из четырех возможных нуклеотидов: аденин, гуанин, цитозин и тимин. Их иногда даже называют для простоты “буквами”: А, Г, Ц и Т. Эти буквы связаны друг с другом последовательно, как бусины: например, Т-Ц-Ц-Г-А. Благодаря химической структуре четырех нуклеотидов, такая цепь может связаться с другой, параллельной цепью, причем к А подходит только Т, а к Г — только Ц, и наоборот. То есть парная цепь в нашем примере: А-Г-Г-Ц-Т. Две эти цепи, встретившись, обовьются друг вокруг друга и образуют двойную спираль, а две другие цепи со случайными, не подходящими друг к другу последовательностями ее не образуют. Такую “парность” двух цепей и называют комплементарностью, а сами парные последовательности — комплементарными.

Чем так принципиальна комплементарность? Благодаря тому, что последовательность одной цепи “знает” последовательность другой цепи, ДНК можно копировать. Имея две цепи, достаточно знать последовательность одной из цепей, чтобы восстановить всю исходную молекулу. Это происходит при делении любой клетки. ДНК разматывается из двойной спирали на две отдельные нити, и недостающая нить достраивается специальными белковыми роботами по принципу комплементарности. В итоге образуются две одинаковые двойные спирали, которые распределяются между дочерними клетками³.

То есть нуклеиновые кислоты, благодаря своей химической структуре, позволяют копировать содержащуюся в их последовательности информацию. В каком-то смысле комплементарные цепи ДНК — это воплощение самой идеи жизни. Удвоение, копирование, размножение, деление — все это синонимы, когда речь идет о ДНК. (Вдумайтесь: только в биологии множить и делить — это одно и то же.) Даже производство Евы из ребра Адама следует тому же самому принципу, что и копирование последовательности ДНК: имея часть исходника, восстанови недостающее.

Но самое главное в том, что эта самая генетическая информация, последовательность нуклеотидов, так хорошо при-

способленная к копированию, имеет скрытый смысл, который в ней можно прочесть, если знать шифр. Последовательность нуклеотидов — не просто молекулярные бусы. Это код. Информация в ДНК *означает* последовательность белка, а вместе с ней — то, что белок делает: дыхание, движение, питание, и все остальные функции живого организма. С помощью этого своего кодирующего свойства бездейственная ДНК, тихо хранящая в себе мудрость поколений, манипулирует окружающим миром, извлекая из себя информацию о полчищах белковых роботов.

Роботы кодируются четырехбуквенным кодом, в котором каждой аминокислоте соответствует “слово” из трех букв: АТТ — изолейцин, ГЦЦ — цистеин и так далее. Всего возможны 64 таких слова, и они распределены между 20 аминокислотами и специальными обозначениями “конец белка”: ТАА, ТАГ и ТГА. Если часть последовательности ДНК прочесть со специальным словарем, то получится последовательность белка.

КСТАТИ

Словарь перевода с нуклеотидного на аминокислотный называется генетическим кодом. Генетический код — это не то же самое, что генетическая информация. Генетическая информация — это все, что записано в ДНК. Генетический код — это таблица из 64 трехбуквенных комбинаций нуклеотидов, или кодонов, и соответствующих аминокислот, которые они кодируют. “Таблица кодонов” висит над столом у многих биологов наподобие таблицы Менделеева у химиков или, наверное, карты метро у работников метрополитена — требуется часто, теоретически можно и запомнить, но зачем?

.....

В живой клетке есть специальная машина, ответственная за “перевод со словарем”. Этот огромный молекулярный комплекс под названием *рибосома* — точка, в которой производятся белки и в которой нуклеиновые кислоты сообщают им

свою генетическую волю. Здесь принципиальной становится вторая из кислот, рибонуклеиновая, она же РНК, родственница вездесущей двойной спирали. Пора составить семейный портрет.

В центре догмы

ДНК строга, спокойна, склонна к стабильности. Ее роль — нести свое знание из поколения в поколение с максимальной точностью. Она как жрица, живущая под грузом вечности: в ней содержатся гены, исчисляющие время эпохами. ДНК — это обычно гигантская цепь из миллионов нуклеотидов, и разные белки записаны в разных участках этой цепи. Геном, в принципе, можно называть любой участок ДНК. По Ричарду Докинзу, например, ген — “единица, продолжающая существовать в ряду многочисленных последовательных индивидуальных тел”⁶. Но обычно в качестве такой единицы выбирают участок ДНК, обозначающий один белок.

РНК куда менее стабильна, чем ДНК, — постоянная головная боль для биохимиков, пытающихся ее исследовать. Она ретива и мимолетна, но в каком-то смысле гораздо более талантлива, чем ее статная родственница ДНК. ДНК не умеет делать ничего и только торжественно хранит покой содержащихся в ней генов. РНК не сравнится с белком в плане талантов, но в принципе умеет делать множество вещей, иногда даже вступая в принципиально важные химические реакции. Ее жизнь коротка, а по размерам она редко превышает тысячу-другую нуклеотидов (хотя и при такой длине РНК крупнее большинства белков).

РНК — это копия одного из участков ДНК. Она как бы распечатка одного из тысяч негативов, хранящихся в архиве. Сделать такую распечатку можно, конечно, благодаря комплементарности. На одну из цепей ДНК садится специальный белок, называемый РНК-полимеразой, и собирает комплементарную ей цепь, только состоящую из слегка отличающихся