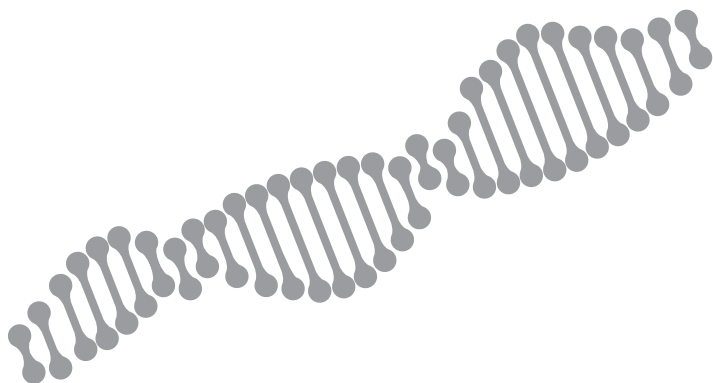


**КРЕЙГ
ВЕНТЕР**

**КРЕЙГ
ВЕНТЕР**

**ЖИЗНЬ
НА СКОРОСТИ СВЕТА**



Издательство АСТ
Москва

УДК 573
ББК 28.1
В29

Серия «Наука: открытия и первооткрыватели»

J. Craig Venter
Life at the Speed of Light
From the Double Helix to the Dawn of Digital Life

Перевод с английского *Наталии Жуковой*

Серийное оформление *В. Воронина*

Дизайн обложки *Г. Смирновой*

Печатается с разрешения автора
и литературного агентства Brockman, Inc.

Вентер, Крейг.

В29 Жизнь на скорости света. От двойной спирали к рождению цифровой биологии / Крейг Вентер; [перевод с английского Наталии Жуковой]. — Москва: Издательство АСТ, 2018. — 320 с. — (Наука: открытия и первооткрыватели).

ISBN 978-5-17-094327-2

Автор этой книги Крейг Вентер — один из самых знаменитых современных генетиков, он первым расшифровал геном человека. Однако этот радикальный научный прорыв оказался лишь этапом в дальнейшей карьере великого ученого-первопроходца: сегодня основанный им Институт Вентера находится на переднем крае биотехнологий: именно там ведутся наиболее передовые исследования, посвященные синтезу искусственной жизни. Вентер убежден, что человечество вступает в «цифровую эру биологии» — эпоху, когда дальнейшая эволюция человеческого рода окажется в наших собственных руках.

УДК 573
ББК 28.1

© 2013 by J. Craig Venter

© Перевод. Н. Жукова, 2016

© Издание на русском языке AST Publishers, 2018

Команда, которая внесла свой вклад в создание первой настоящей синтетической клетки:

Миккель А. Альжир, Нина Альперович, Синтия Эндрюс-Фаннкох, Насира Асад-Гарсия, Кевин С. Аксельрод, Холли Баден-Тильсон, Гвинед А. Бендерс, Анушка Браунли, Кристофер Кэльви, Уильям Каррера, Рэйюань Чжуан, Джейнли Дай, Евгения Денисова, Том Дирник, Марк Эллисман, Нико Энрикес, Роберт Фридман, Дэниел Г. Гибсон, Джон Гласс, Джессика Хостетлер, Клайд А. Хатчисон III, Прабха Айер, Радха Кришнакумар, Кароль Лартиг, Мэтт Льюис, Ли Ма, Махир Маруф, Адмасу Меланке, Чак Мерриман, Майкл Дж. Монтегю, Монзиа М. Муди, Владимир Носков, Прашант П. Пармар, Куанг Фан, Ремберт Пипер, Чжицин Ци, Томас Х. Сегал-Шапиро, Гамильтон Смит, Тимоти В. Стокуэлл, Личжи Сан, Грейнджер Саттон, Йо Сузюки, Дэвид У. Томас, Кристофер Э. Вентер, Санджай Ваши, Шибу Йозеф, Лэй Янг и Джейшири Завери.

Содержание

Глава 1. Дублин, 1943–2012	9
Глава 2. Химический синтез как доказательство . . .	19
Глава 3. Начало цифрового века в биологии	43
Глава 4. Оцифровка жизни	74
Глава 5. Синтетический ϕ X 174	96
Глава 6. Первый синтетический геном	124
Глава 7. Превращение одного вида в другой	142
Глава 8. Синтез генома <i>M. mycoides</i>	162
Глава 9. Внутри синтетической клетки.	183
Глава 10. Жизнь под заказ	200
Глава 11. Биологическая телепортация.	229
Глава 12. Жизнь на скорости света	255
Благодарности.	268
Примечания	271
Указатель	

Глава 1

Дублин, 1943–2012

Как могут физика и химия объяснить те явления в пространстве и времени, которые имеют место внутри живого организма?.. Явная неспособность современной физики и химии объяснить такие явления совершенно не дает оснований сомневаться в том, что они могут быть объяснены этими науками в будущем.

Эрвин Шрёдингер. «Что такое жизнь?» (1944)

«**Ч**то такое жизнь?» Всего три простых слова, и однако каждое из них закручивает вселенную не менее сложных вопросов. Что именно отличает одушевленное от неодушевленного? Каковы основные ингредиенты жизни? Где впервые зашевелилась жизнь? Как эволюционировали первые организмы? Везде ли есть жизнь? Насколько жизнь рассеяна по космосу? Если на экзоплантах есть другие формы жизни, они так же умны, как мы, или еще умнее?

Сегодня эти вопросы о природе и происхождении жизни остаются важнейшими и самыми горячо обсуждаемыми во всей биологии. От них зависит вся данная дисциплина, и хотя мы поныне ищем ответы на ощупь, мы сильно продвинулись за прошедшие десятилетия в их

исследовании. На самом деле мы сильнее продвинулись в этом поиске на памяти ныне живущих людей, чем за десять тысяч или более поколений, в течение которых современный человек ходит по планете¹. Мы теперь вошли в то, что я называю «цифровой эрой биологии», в которую начинают сливаться ранее хорошо различимые области компьютерного программирования и тех программ, что определяют жизнь, и где возникают новые сочетания, которые будут определять принципиальные направления эволюции.

Если бы мне надо было назвать место и время, когда, как я считаю, родилась современная биологическая наука, то это был бы Дублин, февраль 1943 года, когда австрийский физик Эрвин Шрёдингер (1887–1961) сосредоточился на центральной проблеме всей биологии. Шрёдингер поселился в Дублине в 1939 году, отчасти спасаясь от нацистов, отчасти вследствие здешней терпимости к его нетрадиционной личной жизни (он жил одновременно с двумя женщинами и устраивал «бурные сексуальные приключения» для вдохновения²), а отчасти по инициативе тогдашнего премьер-министра Ирландии Эймона де Валеры, который пригласил его туда на работу.

Шрёдингер получил Нобелевскую премию в 1933 году за создание уравнения для квантовых волн, способных объяснить поведение субатомных частиц, самой вселен-

¹ Спасибо Патрику Каннингему, главному научному консультанту правительства Ирландии, за то, что указал на это. — В дальнейшем примечания автора обозначаются в тексте цифрами и приводятся в конце книги. Примечания переводчика обозначены астериском (*) и даны внизу соответствующих страниц.

ной и всего, что есть между этим. Теперь, через десять лет, выступая под эгидой Дублинского института высших исследований, основанного при его и де Валеры участии, Шрёдингер прочитал серию из трех лекций в дублинском Тринити-колледже, и лекции эти цитируют по сей день. Носящие общий заголовок «Что такое жизнь? Физический аспект живой клетки», эти чтения отчасти были вдохновлены интересом его отца к биологии, а отчасти статьей 1935 года³, ставшей результатом предшествовавших встреч физиков и биологов в довоенной Германии. Тогда немецкие физики Карл Циммер и Макс Дельбрюк вместе с русским генетиком Николаем Тимофеевым-Ресовским, используя способность рентгеновских лучей повреждать гены и вызывать мутации у дрозофил, пытались оценить размер гена («около 1000 атомов»).

Шрёдингер начал чтения в 16.30 в пятницу 5 февраля, причем в аудитории перед ним сидел премьер-министр. Репортер из журнала *Time*, бывший там, описал, как «от уже переполненной аудитории заворачивали толпы желающих. Министры, дипломаты, ученые и общественные деятели громко аплодировали худощавому профессору физики из Вены, превзошедшему амбиции всех прочих математиков». На следующий день в *The Irish Times* вышла статья «Живая клетка и атом», начинавшаяся изложением цели Шрёдингера — описать события внутри живой клетки посредством только химии и физики. Лекции были настолько популярны, что ученому пришлось повторять всю серию по понедельникам.

Шрёдингер сделал из своих лекций небольшую книгу, которая вышла в следующем году, за два года до моего рождения. Так «Что такое жизнь?» начала влиять на поколения биологов. (Через пятьдесят лет после прочтения этих замечательных лекций Майкл Мёрфи и Люк О'Нил

из Тринити-колледжа отпраздновали годовщину, пригласив выдающихся ученых из разных дисциплин — в престижный список гостей вошли Джаред Даймонд, Стивен Джей Гулд, Стюарт Кауфман, Джон Мейнард Смит, Роджер Пенроуз, Льюис Вольперт и нобелевские лауреаты Кристиан де Дюв и Манфред Эйген, — чтобы предсказать, что может случиться в следующие полвека.) Я читал «Что такое жизнь?» как минимум раз пять по разным поводам, и каждый раз, в зависимости от этапа моей карьеры, ее основная идея принимала другой смысл, иные акценты и значение.

Причина, по которой эта тоненькая книжечка Шрёдингера оказалась такой влиятельной, по сути проста: он подходил к центральным проблемам биологии — наследственности и тому, как организмы управляют энергией, чтобы поддерживать порядок, — с новой, дерзкой, точки зрения. Он четко и кратко аргументировал, что жизнь должна подчиняться законам физики и что, следовательно, можно использовать физические законы, чтобы делать важные выводы о сущности жизни. Шрёдингер указал, что хромосомы должны содержать «в виде своего рода шифрованной записи весь “план” будущего развития индивидуума и его функционирования в зрелом состоянии». Он предположил, что эта запись должна представлять собой «высокоупорядоченную ассоциацию атомов, наделенную достаточной устойчивостью для длительного сохранения своей упорядоченности», и объяснил, как сумма атомов в «апериодическом кристалле» может нести достаточно информации для наследственности. Он использовал термин «кристалл», чтобы подчеркнуть стабильность, и характеризовал его как «апериодический», который, в отличие от периодического, с повторяющейся структурой (как объясняла *The Irish*

Times, это как сравнивать сложный гобелен и рулон обычных обоев), мог бы нести большую информационную нагрузку. Шрёдингер утверждал, что для того, чтобы содержать много информации, этот кристалл не обязан быть слишком сложным и может быть таким же простым, как бинарный код вроде азбуки Морзе. Насколько я знаю, это первое упоминание того факта, что генетический код может быть простым, как бинарный.

Одно из самых примечательных свойств жизни — это ее способность создавать порядок: ваять сложное и упорядоченное тело из химического хаоса, окружающего нас. На первый взгляд эта способность кажется чудом, которое бросает вызов мрачному второму закону термодинамики, гласящему, что всё стремится соскользнуть от порядка к беспорядку. Но этот закон приложим только к *закрытой системе* вроде запечатанной пробирки, а живые существа — это открытые системы (или маленькие части большой закрытой системы), обменивающиеся веществом и энергией со своим окружением. Они тратят много энергии, чтобы создавать порядок и сложность в виде клеток.

Шрёдингер посвятил большую часть своей лекции термодинамике жизни — теме, в ту пору недостаточно изученной для его прозрений в генетике и молекулярной биологии. Он описывал удивительный дар живого «концентрировать на себе “поток порядка”, избегая таким образом распада в атомный хаос» и «пить упорядоченность» из подходящей среды. Он выяснил, какое отношение к этому подвигу креативности имеют «аперiodические твердые тела». В кодированном тексте заложены средства, способные изменить близлежащие химические вещества таким образом, чтобы запрячь вихри в великом потоке энтропии и заставить их жить в виде клетки или организма.

Гипотеза Шрёдингера вдохновила ряд физиков и химиков обратить внимание на биологию — после того как они разочаровались во вкладе своих наук в проект «Манхэттен», создание атомной бомбы во время Второй мировой войны. Когда Шрёдингер читал свои лекции, научный мир считал, что основу генетического материала составляют не ДНК, а белки. В 1944 году появилось первое явное свидетельство того, что на самом деле носитель информации — не белок, а ДНК. Книга Шрёдингера подтолкнула американца Джеймса Уотсона и британца Фрэнсиса Крика на поиск этой «кодированной записи», что в конечном итоге привело их к открытию самой прекрасной структуры во всей биологии — двойной спирали ДНК, внутри которой лежат все тайны наследственности. Каждая цепочка двойной спирали комплементарна второй, и при этом они идут в противоположных (антипараллельных) направлениях. В результате двойная спираль способна «расстегиваться» посередине, и каждая сторона может служить матрицей или образцом для другой, и так информация ДНК будет копироваться и передаваться потомству. В 1953 году, 12 августа, Крик послал Шрёдингеру письмо, в котором говорилось об этом, с добавлением: «Ваш термин „аперiodический кристалл“, похоже, будет очень подходящим».

Детали того, как именно работает этот носитель информации, были открыты и затем подробно разобраны в 1960-х. Это привело к формулированию Криком в 1970 году «центральной догмы», определившей пути, по которым генетическая информация течет через биологические системы. В 1990-х я возглавляю группу, которая прочитает первый геном живой клетки, а потом одну из двух групп, которая прочитает человеческий геном в широко рекламированной, часто жаркой, раздра-

женной и политизированной гонке с Уотсоном и другими. На рубеже тысячелетий мы на самом деле впервые увидели замечательные детали аperiodического кристалла, содержащего зашифрованную запись человеческой жизни.

В мысли Шрёдингера неявно подразумевалось, что эта запись посылала свои сигналы с момента зарождения жизни, имевшего место больше четырех миллиардов лет назад. Рассмотрев эту идею подробнее, биолог и писатель Ричард Докинз предложил впечатляющий образ реки, текущей из Эдема⁴. Эта медленная река состоит из информации, из рецептов для построения живых существ. Точность копирования ДНК не абсолютна, и случавшиеся в череде поколений повреждения, вызванные кислородом или ультрафиолетом, породили достаточно замен в ДНК, чтобы обеспечить внутривидовую изменчивость. В результате река ветвится и раздваивается, порождая бесчисленные новые виды в течение миллиардов лет.

Полвека тому назад великий эволюционный генетик Мотоо Кимура прикинул, что количество генетической информации за последние пятьсот миллионов лет возросло на сто миллионов бит⁵. Запись в ДНК стала доминировать в биологической науке до такой степени, что в XXI веке биология стала информационной наукой. Сидней Бреннер, южноафриканский биолог, лауреат Нобелевской премии, заметил, что генетическая запись «должна сформировать ядро биологической теории»⁶. Систематики теперь используют штрих-коды ДНК, чтобы удобнее было отличать один вид от другого⁷. Другие начали использовать ДНК для вычислений⁸ или как средство хранения информации⁹. Я руководил попытками не только читать цифровую программу жизни, но и писать