

*Моим друзьям и коллегам
по Обсерватории глубинного углерода.*

Приключение только началось

SYMPHONY IN C

Carbon and the Evolution of (Almost) Everything

ROBERT M. HAZEN



W. W. NORTON & COMPANY

Independent Publishers Since 1923

New York • London

Роберт Хейзен

Симфония № 6

Углерод и эволюция почти всего

Перевод с английского



Книжные проекты
Дмитрия Зимина



АЛЬПИНА НОН-ФИКШН

Москва, 2021

УДК 546.26
ББК 24.124
Х35

Переводчик Анастасия Науменко
Научный редактор Владислав Стрекопытов
Редактор Анастасия Ростоцкая

Хейзен Р.

Х35 Симфония № 6. Углерод и эволюция почти всего / Роберт Хейзен ; Пер. с англ. — М.: Альпина нон-фикшн, 2021. — 402 с. + 8 с. вкл.

ISBN 978-5-00139-283-5

Роберт Хейзен — незаурядный ученый, меломан и успешный музыкант, и этим обусловлена структура его книги, повторяющая принципы построения симфонии. Ее лейтмотив — химический элемент № 6 в Периодической таблице, или углерод, без которого немислима жизнь, с самого ее зарождения и до всего, что нас окружает в современном мире. Временной охват книги — чуть менее 14 млрд лет, от возникновения Вселенной до наших дней. И на протяжении практически всего этого времени углерод исполняет свою уникальную партию в симфонии эволюции. Глубинный углеродный цикл, минералогия углерода, вулканические газы, алмаз и графит, органическое топливо, нанотрубки, климат, ископаемые остатки животных и растений — вот лишь малая часть тем, затронутых в этой невероятно познавательной книге.

Для широкого круга читателей.

УДК 546.26
ББК 24.124

Все права защищены. Никакая часть этой книги не может быть воспроизведена в какой бы то ни было форме и какими бы то ни было средствами, включая размещение в сети интернет и в корпоративных сетях, а также запись в память ЭВМ для частного или публичного использования, без письменного разрешения владельца авторских прав. По вопросу организации доступа к электронной библиотеке издательства обращайтесь по адресу mylib@alpina.ru

ISBN 978-5-00139-283-5 (рус.)
ISBN 978-0-393-60943-1 (англ.)

© Robert M. Hazen, 2019
© Издание на русском языке, перевод, оформление.
ООО «Альпина нон-фикшн», 2021



Книжные проекты
Дмитрия Зимина

Эта книга издана в рамках программы
«Книжные проекты Дмитрия Зимина»
и продолжает серию «Библиотека «Династия».
Дмитрий Борисович Зимин — основатель
компании «Вымпелком» (Beeline), фонда
некоммерческих программ «Династия» и фонда
«Московское время».

Программа «Книжные проекты Дмитрия
Зимина» объединяет три проекта, хорошо
знакомые читательской аудитории: издание
научно-популярных переводных книг
«Библиотека «Династия», издательское
направление фонда «Московское время»
и премию в области русскоязычной научно-
популярной литературы «Просветитель».
Подробную информацию о «Книжных проектах
Дмитрия Зимина» вы найдете
на сайте ziminbookprojects.ru.

Оглавление

Пролог..... 9

ТИШИНА..... 23

ЧАСТЬ I — **ЗЕМЛЯ**: Углерод — элемент кристаллов

ПРЕЛЮДИЯ — До образования Земли..... 27

ВСТУПЛЕНИЕ — Земля появляется и эволюционирует 48

РАЗРАБОТКА — Глубинный углерод Земли 93

РЕПРИЗА — Миры углерода..... 123

КОДА — Вопросы без ответов 129

ЧАСТЬ II — **ВОЗДУХ**: Углерод — элемент глобальных циклов

ИНТРОДУКЦИЯ — До воздуха 133

АРИОЗО — Происхождение земной атмосферы..... 137

ИНТЕРМЕЦЦО — Глубинный углеродный цикл 150

АРИОЗО, ДА КАПО — Атмосферные изменения..... 184

КОДА — Известное, неизвестное и непознаваемое 195

ЧАСТЬ III — **ОГОНЬ**: Углерод — элемент вещей

ИНТРОДУКЦИЯ — Материальный мир	203
СКЕРЦО — Полезные вещества	213
ТРИО — Наноматериалы.....	221
СКЕРЦО, ДА КАПО — Истории	228
КОДА — Музыка	242

ЧАСТЬ IV — **ВОДА**: Углерод — элемент жизни

ИНТРОДУКЦИЯ — Первозданная Земля	247
ВСТУПЛЕНИЕ — Происхождение жизни.....	249
ВАРИАЦИИ — Эволюция жизни (Тема с вариациями)	294
РЕПРИЗА — Человеческий углеродный цикл.....	347
ФИНАЛ — Земля, Воздух, Огонь и Вода.....	354

Благодарности

359

Примечания.....

363

Предметно-именной указатель.....

387

Пролог

Взгляните вокруг. Углерод повсюду: в бумаге этой книги, краске на ее страницах и клее, который их скрепляет; в подошве и коже ваших туфель, синтетических тканях и красителях одежды, а также в молниях на основе тефлона и застежках-липучках; в каждом кусочке пищи, в пиве и крепких спиртных напитках, в газировке и игристом вине; в коврах на полу, краске на стенах и потолке, облицовочной плитке; в горючих материалах — от природного газа и бензина до свечного воска; в прочной древесине и отполированном мраморе; во всех клеях и смазках; в грифелях карандашей и бриллиантах украшений; в аспирине и никотиновой кислоте, кодеине и кофеине, а также в любом другом лекарстве, которое вы когда-либо принимали; в любом пластиковом изделии — от магазинных пакетов до велосипедных шлемов, от дешевой мебели до дизайнерских солнечных очков. Атомы углерода окружают вас от самых первых подгузников до обтянутого шелком гроба.

Углерод дарит жизнь: ваша кожа и волосы, кровь и кости, мышцы и сухожилия — все зависит от него. Каждая

клетка в вашем теле — а на самом деле каждая часть каждой клетки — основывается на прочном каркасе из углерода. Углерод материнского молока становится углеродом бьющегося сердца ребенка. Углерод — это химическая суть глаз, рук, губ и мозга вашего любимого человека. Когда вы дышите, вы выдыхаете углерод; когда целуетесь — атомы углерода соединяются.

Из того, до чего вы дотрагиваетесь, проще назвать те предметы, в которых нет углерода, — это алюминиевые банки в вашем холодильнике, кремниевые микрочипы в вашем айфоне, золотые зубные коронки и еще кое-какие ди-ковинки, — чем перечислить хотя бы 10% окружающих вас объектов, его содержащих. Мы живем на углеродной планете и сами являемся представителями углеродной жизни.

Каждый химический элемент своеобразен, но некоторые — своеобразнее остальных. Из всей пестроты обитателей Периодической таблицы элемент № 6 особо выделяется по своему влиянию на нашу жизнь. Углерод не просто стандартный элемент материи. Углерод обеспечивает важнейшую химическую связь, прослеживающуюся через всю бесконечность пространства и времени, — основополагающую для понимания космической эволюции. На протяжении почти 14 млрд лет Вселенная эволюционировала, становясь все разнообразнее и разнообразнее и завораживая бесконечными вариантами своих проявлений. Углерод лежит в сердце этой эволюции, дирижируя появлением планет, жизни и нас с вами. И в большей степени, чем любой другой компонент, углерод способствовал стремительному появлению новых технологий — от паровых двигателей промышленной революции до нынешнего «пластикового века». Но вместе с тем он же ускоряет небывалые изменения окружающей среды и климата, происходящие в планетарном масштабе.

Зачем нам фокусировать внимание на углероде? Водород намного более распространен, гелий — более стабилен, а кислород — химически активнее. Железо, сера, фосфор, натрий, кальций, азот — у всех есть свои замечательные истории. Все играли важную роль в сложной эволюции Земли. Но если вы хотите найти смысл и цель в бескрайнем холоде и темноте Вселенной, приглядитесь к углероду. Углерод как сам по себе, так и в химических соединениях с другими атомами — это беспримерная космическая инновация, предоставляющая ни с чем не сравнимые возможности для вселенской эволюции.

Ни с одним из более чем 100 химических элементов не связано столько наших ожиданий и страхов, сколько с углеродом. Новые углеродсодержащие материалы, изобретаемые тысячами ежегодно, — продукция Kleenex, спандекс, фреон, нейлон, полиэтилен, вазелин, листерин*, бактин**, скотч, пластилин Silly Putty — бесконечно обогащают нашу жизнь, замечаем мы это или нет. Но распространение всех этих синтетических химических веществ привело к непреднамеренным последствиям — появлению опасных дыр в защитном озоновом слое, смертельных аллергических реакций и большого количества канцерогенов. Будучи основой всех биомолекул, углерод как никакой другой элемент способствует благополучию и поддержанию жизни на Земле, включая человека, а потеря или смещение атомов углерода может привести к болезням и смерти.

Близповерхностный геохимический цикл углерода стабилизирует климат Земли, поддерживает здоровье экосистем, а нас обеспечивает богатейшими источниками недорогой энергии. Однако, если в силу природных или антропогенных факторов — таких как извержения вулканов, сжигание угля,

* Антисептическое средство для полоскания рта и горла. — *Прим. науч. ред.*

** Антисептик. — *Прим. науч. ред.*

сбившийся с курса астероид или уничтожение лесов — баланс атомов углерода нарушится, климат может измениться, а экосистемы прийти в упадок. И влияние углерода не ограничивается приповерхностной сферой жизни; поведение его в глубоких, скрытых недрах Земли определяет динамические процессы, которые выделяют нашу планету среди всех известных миров.

История углерода в каком-то смысле история всего. Но этот вездесущий незаменимый элемент окружен тайнами. Мы не знаем, сколько углерода содержится в Земле, и не до конца представляем себе разнообразие его форм, спрятанных глубоко внутри нашей планеты. Мы не понимаем, как движутся потоки атомов углерода, циркулирующие между поверхностью Земли и ее глубокими недрами, и не можем сказать, значительно ли они изменились за миллиарды лет истории Земли — в ходе «глубокого времени»*. Несмотря на существование миллионов известных соединений углерода, ученые только сейчас начали исследовать богатство его химии. И величайшая тайна всего — происхождение жизни — неразрывно связана с поведением углерода в сложных химических соединениях с другими элементами.

В том, что касается углерода — его количеств и форм, движения и происхождения, — везде мы натываемся на границы своих знаний о нем. Мы должны найти ответы, но как нам удастся восполнить столь зияющие пробелы в нашем понимании? Кажется, что сама структура науки препятствует устойчивому продвижению. В университетах не хватает кафедр по изучению углерода, а широкомасштабные междисциплинарные исследования проводятся редко. Научные

* Концепция «глубокого времени» разработана шотландским геологом Джеймсом Геттоном в XVIII в. Суть ее заключается в крайне медленном характере протекания геологических процессов, а также глубокой древности Земли. — *Прим. ред.*

открытия совершаются благодаря правильно поставленным вопросам о мире природы, но они зависят также от финансирования в условиях сжатых сроков и ограниченных средств, когда специализация часто довлеет над интеграцией.

Кто первым разработает иную форму поддержки научных исследований?

Место действия — почтенный клуб Century Association* в Нью-Йорке в начале 2007 г., куда ответственные за сбор пожертвований сотрудники Института Карнеги пригласили несколько десятков потенциальных спонсоров на изысканный ужин. Экономика страны процветает, а Барак Обама — пока еще сенатор от штата Иллинойс. Просторные, отделанные деревянными панелями комнаты клуба украшены произведениями величайших в истории Америки художников и скульпторов. Выдающиеся их представители, среди которых Джон Фредерик Кенсетт, Уинслоу Хомер и Пол Мэншип, предложили свои основные творения в обмен на столь желанное, но дорогостоящее членство в клубе. Это оказалось хорошей сделкой для всех: Century Association собрал превосходную коллекцию шедевров, а художники обзавелись доступом к богатым меценатам, которые могли себе позволить высокие вступительные взносы клуба.

Я выступал после обеда на тему исследований происхождения жизни — по сути развлекательную; лекцию я подкрепил простыми наглядными пособиями: стаканом газировки, подобранным в ближайшем парке камнем, чайной ложкой и соломинкой. И всё! Этого достаточно, чтобы

* Основанный в 1847 г. клуб объединяет мужчин и женщин, известных своими выдающимися достижениями в сфере литературы и искусств. Устоявшегося перевода названия на русский язык нет. Его можно перевести как «Ассоциация ста» или «Ассоциация сотни», поскольку изначально в ассоциации было примерно столько членов. — *Прим. ред.*

доступно проиллюстрировать химические этапы, в ходе которых из глубин горячей, насыщенной углеродом вулканической среды на океаническом дне могла появиться жизнь. То, что мои идеи были слегка противоречивыми — и это являлось источником оживленных, иногда язвительных дебатов с коллегами-скептиками, — добавило моим высказываниям немного остроты. В качестве бонуса я раздал присутствующим по экземпляру «Происхождения»*, моей последней книги на эту тему. Я помню чувство родства с художниками, чьи работы окружали меня. Как и они, я отработывал приглашение, пытаюсь поймать взгляд потенциально возможного мецената в надежде, что следующий заказ позволит мне и моим коллегам создать новое научное полотно.

Наука недешева. На поддержание каждого выпускника или аспиранта нужно 100 000 долларов в год. Новые аналитические приборы могут стоить до миллиона долларов плюс техническое обслуживание и замена деталей, которые добавляют к ценнику десять или более процентов в год. Поездки на конференции, оплата публикаций и самого необходимого для лаборатории (пробирок, реагентов и безворсовых салфеток для очистки оптики) — без этого не обойтись. Не говоря уже о накладных расходах. Не имея поддержки от производственных компаний, правительственных организаций и частных фондов, научные исследования быстро бы завяли и прекратились. Но писать заявки на гранты в организации и фонды, запрашивая 100 000 долларов в год, когда шанс получить поддержку меньше 10%, довольно мучительно.

Вот так я стоял в самом сердце «Большого яблока»** с протянутой рукой, продвигая науку в комнате, полной людей,

* Речь идет о книге: Hazen, Robert M. *Genesis: the scientific quest for life's origins*. Washington, D. C.: Joseph Henry, 2007. — *Прим. ред.*

** Прозвище Нью-Йорка. — *Прим. науч. ред.*

от науки далеких. На подобных мероприятиях есть вероятность добиться успеха, по крайней мере — стоит попробовать. Тот вечер был приятным и веселым, но вскоре я о нем забыл в суете исследовательских проектов и дедлайнов по заявкам на гранты. И тогда раздался телефонный звонок, который изменил все.

Это произошло три месяца спустя, в начале весны 2007 г., когда Вашингтон был весь в цвету.

— Привет, Боб. Это Джесси Аусубел из фонда Слоуна в Нью-Йорке.

Видимо, я познакомился с Джесси на той лекции в Century Association, но не запомнил его. По телефону он произвел на меня впечатление доброжелательного, но весьма делового человека; говорил Джесси приятным баритоном.

— Фонд Слоуна рассматривает новые программы.

Я навострил уши. Фонд Слоуна поддерживает важнейшие научные исследования и просветительскую деятельность: амбициозный проект «Перепись населения океана», цифровые космические исследования, в ходе которых была обнаружена темная энергия, программы Национального общественного радио и Государственной службы телевидения.

— Мы подумали, не заинтересует ли вас обсуждение программы о глубинном происхождении жизни?

Тема моего выступления в Нью-Йорке — очень спорная гипотеза о том, что жизнь зародилась в глубокой вулканической зоне на дне океана, — явно попала в точку.

Аусубел сообщил мне, что программы фонда Слоуна обычно длятся десять лет при финансировании от 7 до 10 млн долларов в год, затем замолчал, ожидая какой-то реакции. У меня не было слов. Единица с восемью нулями парализовала мой мозг.

Наконец я пришел в себя, и мы начали обсуждать детали. Я сказал, что фокусировка исключительно на глубинном

происхождении жизни — слишком узкий взгляд для крупного десятилетнего исследования. Ведь с углеродом в планетарном масштабе связано множество фундаментальных загадок — не только в биологии, но также и в физике, химии и геологии. Я объяснил, что мы не сможем до конца понять загадочное древнее происхождение жизни, пока не разберемся в истории углерода на Земле в целом.

Джесси Аусубелу понравилась идея всеобъемлющего подхода: физика, химия, геология и биология; 4,5 млрд лет истории Земли, от коры до ядра, от наномасштабов до глобальных. Он предложил годовой исследовательский грант в 400 000 долларов («уже предварительно одобренный», по его словам), чтобы собрать экспертов по всему миру, провести рабочие встречи, определить, что мы знаем и чего не знаем, а также рассмотреть глобальную стратегию, меняющую наше представление о земном углероде.

Это было не просто полотно. Это была невероятно величественная симфония Бетховена в небывалом исполнении, с мощным хором, многочисленными оперными солистами и огромным оркестром со множеством инструментов — от тубы до флейты-пикколо. Ничего подобного раньше даже не пытались делать.

Перенесемся на год вперед — в 15 мая 2008 г. Со всего мира съехалось более 100 экспертов¹. Выдающиеся профессора объединились с начинающими учеными из десятка стран, представляющими не меньшее количество научных дисциплин. Мы должны были понять, есть ли смысл и желание браться за изучение углерода исходя из нового целостного подхода.

Первый день нас совсем не обнадежил, поскольку ученые редко выходят далеко за пределы своей зоны комфорта. Несмотря на возвышенную риторику о том, что необходимо «покинуть свои норы» и «пересечь границы», биологи

больше общались с биологами, равно как и геофизики и химики-органики также собирались своими специализированными подгруппами.

Второй день оказался удачнее. Постепенно, по мере того как в наших оживленных разговорах начали определяться неисследованные области — загадка углерода в ядре Земли, вопрос о древних истоках жизни, цикличность движения литосферных плит, признаки огромной микробной биосферы под поверхностью Земли, — мы увидели наши узкие специализации в новом, более широком контексте. Впервые мы узнали о парадоксальных неисследованных связях вулканических взрывов с месторождениями алмазов, движения плит — с изменениями климата, а химически активных минералов — со скрытой глубинной жизнью. Очарование исследований углерода как универсальной целостной темы захватило нас.

К концу третьего дня определились рамки нового глобального проекта. Выявились лидеры, и энтузиазм возрос. Наблюдатели из фонда Слоуна почувствовали в зале энергию, увидели в наших глазах заинтересованность и быстро дали зеленый свет Обсерватории глубинного углерода*². Ей предстояло стать глобальным предприятием необычайного масштаба и огромных научных амбиций. Перспектива была волнующей, но я подозреваю, что каждый также беспокоился о том, как бы не оказаться участником зрелищного, ошеломляющего и очень дорогого провала.

Десять лет спустя результаты этой авантюры превзошли наши самые смелые ожидания. Международная армия исследователей шестого элемента — более 1000 ученых

* Обсерватория глубинного углерода (*англ.* DCO, от Deep Carbon Observatory) — международное сообщество ученых со штаб-квартирой в Геофизической лаборатории Института Карнеги в Вашингтоне (округ Колумбия). — *Прим. ред.*

из 50 стран — проникает в загадки земного углерода. С общим международным грантом около полумиллиарда долларов от десятков организаций и фондов по всему миру Обсерватория глубинного углерода представляет собой один из самых всеобъемлющих междисциплинарных исследовательских проектов в истории.

Как это бывает с любой успешной научной программой, мы многому научились, но также стали острее сознавать, сколького мы еще не знаем. Вопросы, которые не давали нам покоя и оставались без ответа, приобрели отчетливость, чтобы мотивировать будущих исследователей. Парадокс науки заключается в том, что чем больше мы знаем, тем яснее понимаем, сколько же остается непознанного, возможно, даже непостижимого. Каждое открытие отворяет дверь в новый, неисследованный мир.

Мне хочется поделиться появившимися захватывающими откровениями исследований углерода, зафиксировать сделанные открытия, а также обозначить границы того огромного пространства, которое еще предстоит исследовать. Но как? Если бы я был Джоном Фредериком Кенсеттом или Уинслоу Хомером, возможно, я бы нарисовал картину. Словами выразить тяжелее. Многотомная энциклопедия углерода вряд ли осветила бы все многочисленные нюансы этой темы. Как тогда можно отразить историю углерода на страницах одной книги? Такая возможность манила меня, но я находился в тупике. Пустая страница насмеялась надо мной, пока Джесси Аусубел не предложил мне путь решения.

— Ты должен написать симфонию! — скомандовал он³.

Джесси знал, что я музыкант симфонического оркестра, 40 лет играю на трубе, совмещая дневную работу в лаборатории с вечерними выступлениями во многих оркестрах — регулярно в Вашингтонском камерном симфоническом оркестре и оркестре Национальной галереи,

а кроме того — в Национальном симфоническом оркестре и Вашингтонской национальной опере. Я играл все симфонии Бетховена, Брамса, Шумана и Мендельсона много раз. И все же в первый момент его предложение меня озадачило. Симфония в словах, не в музыке? Четыре части... чего?

Я пребывал в неуверенности и замешательстве, но эта метафора имела смысл на нескольких уровнях. Подобно тому как в проекте Обсерватории глубинного углерода работают разные ученые — физики, химики, биологи и геологи, в симфоническом оркестре есть разные музыканты, каждый из которых имеет за плечами годы обучения и опыта. У каждого музыканта оркестра свой инструмент: скрипка или туба, флейта или малый барабан, труба или виолончель... Каждый тембр и диапазон важен, но при этом никто по отдельности не может передать величие целого. Так и с симфонией исследований углерода. Без множества голосов Обсерватории глубинного углерода Симфонию углерода никогда бы не услышали.

Эта метафора также предполагает, что из общей ткани оркестра периодически выступают прекрасные соло. Таким образом наша симфония углерода подчеркивает значение исключительных вкладов отдельных исследователей и исследовательниц, хотя и интегрирует их в общее многозвучие с более мощными темами.

Подобно любой симфонии, эта книга представляет собой индивидуальное путешествие — единственное в своем роде по содержанию, ограниченное по масштабу, изложенное с моей субъективной точки зрения и сыгранное в разных тональностях. Я основывался на работе сотен коллег, но этот рассказ об углеродной истории, по сути, мой личный. Другие Симфонии углерода ждут своего часа.

Когда я провел параллели между научным проектом и большой оркестровой композицией, мне начала нравиться идея

Симфонии углерода, хотя и было нелегко представить ее в четких рамках. Тогда меня осенило: ученые древности постулировали существование четырех элементов — Земли, Воздуха, Огня и Воды; каждая сущность обладает своим набором характеристик, каждая является неисчерпаемым компонентом Вселенной, но вместе они суть источник происхождения всей материи. Углерод единственный среди атомов Периодической таблицы обладает характеристиками всех четырех классических первооснов, которые составляют четырехчастную структуру нашей истории.

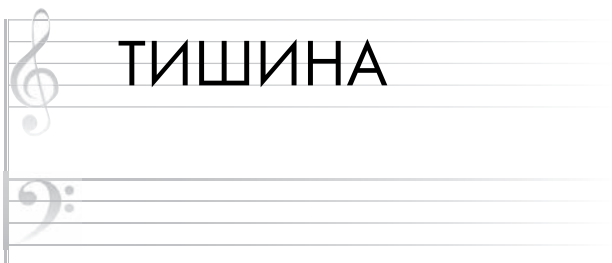
Как и в симфонии, четыре части этой книги различаются по широте охватываемой темы, тональности и темпу. «Часть I — Земля» посвящена минералам и горным породам, составляющим твердое кристаллическое основание нашей планеты. Эта часть начинается с «зари творения», имевшей место задолго до образования планеты Земля, когда атомы углерода образовывались из более мелких элементарных частиц. Затем рассказ переходит к появлению земных минералов и эволюции их богатства — чествованию растущего разнообразия и пышной красоты кристаллических углеродных соединений.

В «Части II — Воздух» рассказывается о величавом углеродном цикле Земли. Атомы углерода постоянно перемещаются между различными геохимическими резервуарами, мигрируя из океана в атмосферу и обратно, опускаясь в недра Земли при движении литосферных плит и выбрасываясь снова на поверхность с горячими газами, выделяемыми сотнями действующих вулканов. Миллионы лет этот глубинный углеродный цикл пребывал в надежном равновесии, но сейчас оно нарушается человеческой деятельностью, что может привести к нежелательным последствиям. Будучи медленной частью симфонии, эта тема взывает к более мягкому, нежному исполнению.

Динамичная роль углерода в энергетике и промышленности, а также все более активное его применение в высоких технологиях требуют острого, быстрого скерцо «Части III — Огонь». Углерод — «материальный» элемент, элемент вещей, он входит в состав повсеместно необходимых для нашей жизни материалов, обладающих множеством свойств. Истории ученых и музыкантов перемежают это скерцо подобно тому, как углерод пронизывает каждый аспект нашей жизни.

И наконец, в «Части IV — Вода» мы исследуем происхождение и эволюцию жизни. Эта часть начинается спокойно — так и жизнь появлялась из первозданного океана Земли, но неустанно ускоряется вместе с поразительным эволюционным многообразием и новшествами жизни. Симфония углерода стремится к единому финалу, в котором соединятся многие темы исследований углерода.

Занимайте свои места. Гаснет свет. Наша история начинается с самого начала — еще до углерода, даже еще до того, как Вселенная собралась возникнуть из абсолютного небытия.



*До Космоса была пустота.
Ничего — ни намека на материю, или свет, или даже
пустое пространство.
Ни единой мысли и открытия, ни искусства и музыки,
ни надежды или мечты.
Темнота. Тишина.*

*Мы не можем представить такое отсутствие всего,
такое абсолютное ничто.
Время до времени остается неизведанным,
загадочным, вне нашего перечня физических законов.
Это было время до углерода и появления всего.*



ЧАСТЬ I — ЗЕМЛЯ:
Углерод — элемент кристаллов

Момент творения!

Время и пространство выходят из ничего.

*Космическая сущность всего появляется за мгновение
в водовороте чистой энергии, возникающей из пустоты.*

*Наша Вселенная рождается в сильно
концентрированном виде —*

*невообразимо плотная, и горячая, и крошечная, но она
расширяется*

*быстрее света, сотворяя объем, быстро остужаясь
по мере разрастания.*

*По мере того как она охлаждается, Космос становится
более структурированным,
более знакомым, более домашним.*

ПРЕЛЮДИЯ — До образования Земли

Великая симфония углерода началась с короткой бурной прелюдии немногим позже возникновения Вселенной 13,8 млрд лет назад. Некоторое время после Большого взрыва не украсил собою Космос ни единый атом. Вселенная была слишком горячей, слишком хаотичной. Плотной разогретой смеси материи и энергии нужно было сначала расшириться и охладиться, прежде чем основные частицы могли образовать вещество звезд, планет и жизни. В безумном вихре первыми появились водород и гелий, заложив основу почти для всех известных нам материальных объектов. Но только недавно стало известно, что тогда же образовались и многие более тяжелые атомы. Среди них — необходимые для жизни углерод, азот и кислород.

Создание атомов. Углерод Большого взрыва

Ученые долгое время утверждали, что история углерода началась в звездах — вероятнее всего, через миллионы лет после Большого взрыва. Об этом писали в десятках учебников и многочисленных научных статьях. Тот факт, что мы оказались введены в заблуждение, подчеркивает важность ключевых тем изменчивого, сводящего с ума и захватывающего

мира исследований углерода. Как можно избежать таких ловушек? Да вот как: сомневаться в каждой предпосылке, проверять и перепроверять результаты и быть готовым к сюрпризам.

Задолго до первого поколения звезд единственным процессом образования атомов в истории Вселенной было уникальное мимолетное событие — 17-минутный всплеск ядерного творчества, названный нуклеосинтезом Большого взрыва, или НБВ¹. Большой взрыв — исключительное, загадочное мгновение, случившееся 13,8 млрд лет назад, когда вся материя, и энергия, и сам космос внезапно возникли в одной точке, — дал начало расширению Вселенной, продолжающемуся до сих пор. Расширение означает охлаждение, а с охлаждением пришла чередой уплотнений — физики называют это застыванием — каскадов преобразований, каждое из которых делало космос все более организованным и интересным.

Первыми из непостижимо горячего и плотного вихря сконденсировались элементарные частицы — кварки (строительные блоки атомных ядер) и лептоны (считайте, электроны). За первую секунду, когда температуры упали до невообразимых 100 трлн градусов, триплеты кварков соединились во множество протонов и нейтронов — также строительных блоков атомных ядер, причем протонов оказалось больше примерно в соотношении семь к одному. Секунды шли, Вселенная продолжала расширяться и охлаждаться.

На третьей минуте в быстро развивающейся Вселенной создались благоприятные условия для образования стабильных атомных ядер — различных комбинаций протонов и нейтронов, удерживаемых вместе ядерными силами. Впервые за всю (надо признать, короткую) историю космоса температуры значительно снизились до каких-нибудь 100 млрд градусов. Этого изменения оказалось достаточно

для того, чтобы сформировавшиеся ядра оставались целыми. Количество отдельных протонов — ядер простых атомов водорода — по-прежнему преобладало в этой субстанции, подобно тому как водород преобладает и в наши дни. Но он не остался в одиночестве. Следующие 17 минут свободные нейтроны лихорадочно соединялись со всеми протонами, попадавшими им на пути, и формировали тяжелый изотоп водорода, называемый дейтерием. Большая часть атомов дейтерия затем попарно объединилась в наиболее распространенную разновидность (изотоп) гелия с двумя протонами и двумя нейтронами, известную как гелий-4. К тому моменту как Вселенной исполнилось приблизительно 20 минут, она охладилась достаточно, чтобы ядерный синтез двинулся дальше. Атомные соотношения стали более или менее постоянными. Самая упрощенная версия результатов НБВ во Вселенной выглядит так: около десяти водородных ядер на каждое ядро гелия-4 и немного дейтерия в остатке.

Это полезное упрощение, но история НБВ не так проста. Ядерные частицы (протоны и нейтроны) соединялись во всевозможные комбинации, формируя, помимо прочего, небольшое, но важное количество гелия-3 (два протона плюс нейтрон) и лития-7 (три протона плюс четыре нейтрона), а также более крупные нестабильные ядра, которые быстро распадались. На самом деле соотношения тех редких ядер гелия и лития, которые присутствуют в сегодняшней Вселенной, резко ограничивают варианты предположений о космической эволюции сразу же после Большого взрыва. В соответствии с основной версией космического происхождения, НБВ не произвел стабильных элементов тяжелее лития (третий элемент Периодической таблицы). То же относится и к углероду — шестому элементу.

В этом прелесть науки. «Не было углерода» в ее контексте не обязательно означает «совсем не было углерода».

Лучше сказать, «не было *значительного количества* углерода», достаточного для того, чтобы влиять на последующее поведение звезд и галактик, которые должны были образоваться. Углерода не доставало для появления кристаллов, или атмосферы, или деревьев. Но так как наше исследование посвящено именно углероду, правду об образовании шестого элемента знать необходимо. Для нас появление даже одного атома углерода имеет космическое значение.

Критический интервал между 3-й и 20-й минутами после Большого взрыва был невообразимо буйным и напряженным — бурное время неконтролируемых ядерных взаимодействий и обменов с последующим появлением новых атомов. Почти все столкновения протонов и нейтронов заканчивались синтезом дейтерия или гелия, и лишь в очень незначительной доле ядерных реакций — особенно тех, что случались между более крупными фрагментами ядер уже ближе к более прохладному концу 17-минутного интервала, — образовались комбинации посложнее, в том числе и некоторые элементы тяжелее лития.

Вычисления, опубликованные в 2007 г. итальянским астрофизиком Фабио Иокко и его коллегами, представили более 100 правдоподобных цепочек ядерных реакций, которые ранее не учитывались, поскольку считались слишком невероятными, не говоря уже об их слишком высокой стоимости с точки зрения затрат времени суперкомпьютеров². Иокко сделал такой вывод: да, эти реакции маловероятны, но не невозможны. И углерод, и азот, и кислород — шестой, седьмой и восьмой элементы — все сформировались при НБВ. Их количество было слишком мало, чтобы значительно повлиять на последующую эволюцию Вселенной, но все же они образовались. Согласно вычислениям Иокко, приблизительно на каждые 4 500 000 000 000 000 000 (четыре с половиной квинтильона) ядер водорода появлялось одно