

Стивен Строгац

# РИТМ ВСЕЛЕННОЙ

КАК ИЗ ХАОСА  
возникает  
ПОРЯДОК

От автора бестселлера «Удовольствие от X»

[Почитать описание, рецензии и купить на сайте МИФа](#)

# ОГЛАВЛЕНИЕ

<b>Предисловие</b>	11
--------------------	----

## ЧАСТЬ I

### ЖИЗНЬ В СИНХРОНИЗМЕ

<i>ГЛАВА 1</i> <b>Светлячки и неизбежность синхронизма</b>	23
<i>ГЛАВА 2</i> <b>Мозговые волны и условия синхронизма</b>	57
<i>ГЛАВА 3</i> <b>Сон и ежедневная борьба за синхронизм</b>	93

## ЧАСТЬ II

### ОТКРЫТИЕ СИНХРОНИЗМА

<i>ГЛАВА 4</i> <b>Благожелательная Вселенная</b>	131
<i>ГЛАВА 5</i> <b>Квантовый хор</b>	161
<i>ГЛАВА 6</i> <b>Мосты</b>	191

ЧАСТЬ III

**ИССЛЕДОВАНИЕ СИНХРОНИЗМА**

8	<i>ГЛАВА 7</i> Синхронизированный хаос	221
	<i>ГЛАВА 8</i> Синхронизм в трех измерениях	253
	<i>ГЛАВА 9</i> Сети тесного мира	279
	<i>ГЛАВА 10</i> Гуманитарный аспект синхронизма	317
	<b>Эпилог</b>	347
	<b>Примечания</b>	353
	<b>Предметно-именной указатель</b>	378

# ПРЕДИСЛОВИЕ

В сердце Вселенной ощущается постоянное, неуклонное биение: звучание синхронизированных циклических процессов. Это биение буквально пропитывает природу на всех уровнях, начиная с атомного ядра и заканчивая космосом. Каждый вечер вдоль приливных рек Малайзии тысячи светлячков собираются в мангровых лесах и мерцают в унисон, причем в их среде нет какого-либо лидера или внешнего источника, который задавал бы ритм этого мерцания. Триллионы электронов маршируют в ногу в сверхпроводнике, обеспечивая совершенно беспрепятственное прохождение тока по нему: сопротивление сверхпроводника оказывается равным нулю. В Солнечной системе гравитационный синхронизм может приводить к выбрасыванию огромных валунов из пояса астероидов в направлении Земли: считается, что катастрофическое столкновение одного такого метеорита с Землей погубило динозавров. Даже человеческое тело представляет собой симфонию, поддерживаемую скоординированным срабатыванием тысяч клеток, задающих ритм сокращений сердца человека. В каждом случае эти «подвиги» синхронизма происходят спонтанно, как если бы сама природа проявляла сверхъестественное, необъяснимое стремление к порядку.

С давних пор это явление представляет для ученых неразрешимую загадку: существование спонтанного порядка во Вселенной ставит их в тупик. На первый взгляд, законы термодинамики диктуют обратное: подчиняясь им, природа должна была бы неуклонно деградировать в сторону все большего беспорядка, все большей энтропии. Однако мы наблюдаем вокруг себя множество величественных структур — галактики, клетки, экосистемы, людей, — которым

удается каким-то образом собирать самих себя. Эта загадка не дает покоя научному сообществу и в наши дни.

12 Лишь в очень немногих ситуациях у нас есть понимание того, каким образом порядок возникает сам по себе. Первой из таких ситуаций был особый вид порядка *в физическом пространстве*, связанный с идеально повторяющимися структурами. Это тот вид порядка, который возникает, когда температура воды опускается ниже точки замерзания и триллионы молекул воды спонтанно образуют жесткий симметричный кристалл льда. Однако объяснение порядка *во времени* оказалось более проблематичным. Даже простейший вариант, когда одни и те же события наступают одновременно, оказался трудноуловимым. Это тот порядок, который мы называем синхронизмом.

Поначалу может показаться, что здесь, вообще говоря, нечего объяснять. Вы можете договориться со своим приятелем встретиться в ресторане, и если оба вы достаточно пунктуальны, то ваше появление в ресторане будет синхронизированным. Столь же тривиальный вид синхронизма запускается реакцией на какой-либо общий стимул. Стая голубей, напуганных громким звуком из выхлопной трубы автомобиля, поднимется в воздух практически одновременно, причем в течение какого-то времени они могут даже синхронно взмахивать своими крыльями, однако это происходит лишь потому, что все они одинаково реагируют на один и тот же звук. Невозможно ведь подозревать, что голуби каким-то образом договорились между собой о ритме взмахов крыльями; к тому же синхронность их действий пропадает уже спустя несколько секунд после взлета. Другие виды кратковременного синхронизма могут возникать по чистой случайности. Воскресным утром колокола двух разных церквей могут случайно зазвонить в одно и то же время, и этот синхронизм будет поддерживаться в течение какого-то (непродолжительного) времени, после чего они начнут звонить вразнобой. Еще одна возможная ситуация: сидя в своем автомобиле на перекрестке в ожидании разрешающего сигнала светофора, вы можете заметить, что указатель поворота автомобиля, стоящего впереди вас, мигает практически синхронно с указателем поворота вашего автомобиля — и так может продолжаться в течение нескольких секунд. Такой синхронизм является чистой случайностью и его обсуждение не представляет для нас никакого интереса.

Несомненный интерес представляет для нас синхронизм, сохраняющийся длительное время. Когда два события наступают одновременно и этот синхронизм поддерживается в течение долгого времени, то говорить о случайном характере такого синхронизма уже не приходится. Более того, в силу каких-то

причин такой непрекращающийся синхронизм доставляет нам, людям, удовольствие. Нам нравится танцевать вместе, петь хором, играть в оркестре. В своей наиболее утонченной форме постоянный синхронизм может представлять собой поистине захватывающее зрелище, как, например, солдаты, марширующие на воинском параде, или выступления команд на соревнованиях по синхронному плаванию. Ощущение высокого исполнительского мастерства усиливается, когда зрители не знают, каких очередных чудес синхронизма им стоит ожидать в следующий момент времени. Мы интерпретируем постоянный синхронизм как признак кропотливого труда, высокого мастерства, точного планирования и хореографического искусства.

Но когда синхронизм наблюдается между неодушевленными объектами, наподобие электронов или биологических клеток, это кажется почти невероятным. Удивительно наблюдать совместные действия живых существ — тысяч светлячков, стрекочущих в унисон летней ночью, или косяков рыб, совершающих одинаковые элегантные волнообразные движения, — но еще более удивительно видеть скопления неодушевленных объектов, которые сами по себе совершают синхронные действия. Эти явления столь необъяснимы, что кто-то даже отказывается верить в их существование, приписывая их иллюзиям, случайным совпадениям или ошибкам восприятия. Другие же попросту впадают в мистицизм, пытаясь объяснить синхронизм действием сверхъестественных сил космоса.

Буквально до последнего времени изучением синхронизма занимались энтузиасты-одиночки — биологи, физики, математики, астрономы, инженеры и социологи, — каждый из которых замыкался в своей узкой области знаний, действуя по независимым друг от друга (на первый взгляд) направлениям исследования. Мало-помалу на основе фрагментарных представлений, выработанных в этих и других узких дисциплинах, начала формироваться наука о синхронизме. Эта новая наука сосредоточивается на изучении так называемых «связанных осцилляторов». Группы светлячков, планет или клеток-задатчиков ритма представляют собой совокупности осцилляторов — объектов, автоматически совершающих циклические действия, то есть действия, повторяющиеся снова и снова через более или менее регулярные интервалы времени. Светлячки мигают, планеты движутся по определенным орбитам, клетки-задатчики ритма (ритмоводители сердца) срабатывают одновременно. Говорят, что два или большее число осцилляторов связаны между собой, если некий физический или химический процесс позволяет им влиять друг на друга. Светлячки взаимодействуют между собой с помощью света. Планеты влияют друг на друга

посредством силы гравитации. Клетки сердца передают туда и обратно электрические импульсы. Как следует из этих примеров, природа использует каждый доступный ей канал, чтобы предоставить возможность своим осцилляторам взаимодействовать друг с другом. Результатом такого взаимодействия зачастую оказывается синхронизм, при котором все осцилляторы начинают действовать одинаково.

Тем из нас, кто работает в этой зарождающейся области науки, задают примерно одни и те же вопросы. Как именно связанные осцилляторы синхронизируют свои действия — и при каких условиях? Когда такой синхронизм оказывается невозможным, а когда он оказывается неизбежным? Какие другие способы организации могут возникнуть, когда синхронизм пропадает? И какими могут быть практические применения знаний, которые накапливаются в этой области науки?

Эти вопросы волнуют меня на протяжении последних двадцати лет — сначала как выпускника Гарвардского университета, затем как профессора прикладной математики в Массачусетском технологическом институте и Корнельском университете, где я по сей день занимаюсь преподавательской и исследовательской деятельностью в области теории сложности и хаоса. Однако интерес к изучению циклических процессов возник у меня еще раньше, когда в бытность мою студентом-первокурсником меня посетило озарение. Для одного из первых научных экспериментов м-р Ди Курцио вручил каждому из нас по секундомеру и маленькому игрушечному маятнику, который представлял собой хитроумное устройство с выдвижным («телескопическим») стержнем, длину которого можно было пошагово регулировать; это устройство напоминало старые модели подзорных труб, которые вы наверняка видели в фильмах про пиратов. Наша задача заключалась в изменении периода колебаний маятника — времени, которое требуется для совершения одного полного колебания маятника, — и вычислении зависимости периода колебаний маятника от длины стержня, на котором он крепится. Иными словами, нам предстояло выяснить, как поведет себя маятник при удлинении стержня: станет колебаться быстрее, медленнее или период его колебаний останется прежним. Чтобы ответить на этот вопрос, мы «настроили» наши маятники на минимальную длину, измерили период его колебаний и отобразили результат на листе бумаги, разлинованном в клетку. Затем мы несколько раз повторили эксперимент, каждый раз увеличивая длину стержня на одно деление. Когда я отобразил на листе бумаги четвертую или пятую точку своего будущего графика, я заметил, что он похож на параболическую кривую.

Оказалось, что колебания маятника подчиняются параболическому закону. (Что представляет собой парабола, мне было известно из курса алгебры.) Сделав это открытие, я испытал смешанные чувства удивления и страха. На меня снизошло озарение: я узнал о существовании тайного и восхитительного мира, который можно было исследовать лишь математическими методами. Я влюбился в этот мир буквально с первого взгляда; со временем мое восхищение этим миром лишь окрепло.

С тех пор прошло тридцать лет, но я по-прежнему очарован математической природой окружающего нас мира и особенно циклическими процессами, происходящими в нем (например, периодическими колебаниями маятника). Однако меня занимает изучение не столько какого-либо отдельно взятого колебательного процесса, сколько большой совокупности колебательных процессов, происходящих одновременно, то есть изучение упоминавшихся выше связанных осцилляторов. Со временем мне удалось разработать достаточно простые модели, которые, тем не менее, можно использовать для описания очень сложных совокупностей объектов. Разработанные мною идеализированные системы уравнений с достаточной степенью точности моделируют групповое поведение светлячков или сверхпроводников. Я пытаюсь использовать вычислительные методы и компьютеры, чтобы понять, как из хаоса рождается порядок. Эти загадки особенно интересны для меня тем, что являются, образно говоря, передним краем математики. Два связанных осциллятора не представляют собой проблемы: их поведение было изучено еще в начале 1950-х годов. Но когда речь идет о сотнях и тысячах связанных осцилляторов, наука по-прежнему бессильна. Нелинейная динамика систем со столь большим количеством переменных все еще недосягаема для нас. Даже наличие суперкомпьютеров не помогает нам описать коллективное поведение гигантских систем осцилляторов.

И все же благодаря объединенным усилиям математиков и физиков всего мира за последнее десятилетие нам удалось описать один специальный случай связанных осцилляторов, что открыло путь к более глубокому пониманию феномена синхронизма. Если предположить, что все осцилляторы в данной группе почти идентичны и что они в одинаковой степени связаны между собой, то их динамика поддается математической трактовке. В частях I и II этой книги я рассказываю о том, как моим коллегам и мне удалось решить этот класс теоретических проблем и *что* означает их решение для синхронизма в реальном мире: в части I — для осцилляторов живой природы (биологические клетки, животные и люди), а затем, в части II, — для осцилляторов неживой природы

(маятники, планеты, лазеры и электроны). В части III рассказывается о передних рубежах синхронизма, когда мы отказываемся от использования упрощающих предположений, выдвинутых нами ранее. Эта сфера остается в значительной мере неисследованной и включает ситуации, где место осцилляторов занимают хаотические системы или где они связаны менее симметричными способами со своими соседями в трехмерном пространстве или в сложных сетях, охватывающих огромные территории.

Настоящая книга представляет собой попытку синтезировать значительный объем знаний по этому предмету, которые были накоплены учеными, работавшими в разных дисциплинах, на разных континентах и даже в разных столетиях. Наука, которая пыталась изучить явление синхронизма, основывается на работах ряда выдающихся умов XX столетия, многие из которых известны едва ли не каждому из нас, тогда как другие *должны* быть известны каждому. В их числе такие величайшие физики, как Альберт Эйнштейн, Ричард Фейнман, Брайан Джозефсон и Ёсики Курамото; математики Норберт Винер и Пал Эрдёш; специалист в области социальной психологии Стенли Мильграм; химик Борис Белоусов; теоретик хаоса Эдвард Лоренц; а также биологи Чарльз Чейслер и Артур Уинфри.

Мое имя тоже связано с исследованиями, которые внесли определенный вклад в это новое научное направление. Разумеется, я не питаю никаких иллюзий относительно своего места в истории, но хочу лишь рассказать читателям о том, что представляет собой работа в научной сфере: долгое блуждание впотьмах, непростой путь к научному открытию, изобилующий ошибками и разочарованиями, радость открытия, превращение студента в начинающего научного работника, а затем и в наставника молодых ученых. Пытаясь донести до самого широкого круга читателей мысль о необычайной важности математики в современной науке, я старался избегать в своей книге математических формул и полагался исключительно на метафоры и образы из повседневной жизни, иллюстрирующие ключевые идеи математики.

Надеюсь, читатели разделят мое восхищение необычайным многообразием синхронизма в окружающем нас мире и способностью математики объяснить его. Синхронизм — не только загадочное, но и восхитительное явление. Загадочное — потому что синхронизм, на первый взгляд, не считается с законами физики (хотя в действительности он базируется на этих законах — зачастую весьма оригинальными способами). С другой стороны, синхронизм приводит меня в восхищение, поскольку он порождает что-то наподобие космического

балета — представления, которое разыгрывается на самых разнообразных сценах, начиная с человеческого тела и заканчивая Вселенной в целом. В то же время невозможно переоценить важность синхронизма. Наше базовое понимание синхронизма уже породило такие технологические чудеса, как глобальная система позиционирования, лазер и самые чувствительные в мире детекторы, используемые в медицине без хирургического вмешательства для определения точного местонахождения поврежденных тканей в мозге человека, страдающего эпилепсией; в технике — для поиска мельчайших трещин в крыльях самолета; в геологии — для поиска месторождений нефти, скрывающихся глубоко под землей. Выясняя, что происходит в случае, когда синхронизм нарушается, математики помогают кардиологам найти причину фибрилляции, смертельно опасной аритмии, которая ежегодно уносит жизни сотни тысяч людей — внезапно и без предупреждения, даже тех, кто ранее не жаловался на проблемы с сердцем. И это лишь один пример возможностей, которыми мы сейчас располагаем благодаря нашему растущему, но все еще находящемуся в зачаточном состоянии пониманию синхронизма.

17

Я глубоко благодарен судьбе за возможность на протяжении всей моей карьеры работать со многими блестящими и творческими умами. Исследования, о которых рассказывается в этой книге, выполнялись в тесном сотрудничестве с моими консультантами Артом Уинфри, Ричардом Кронауером, Чаком Чейслером и Нэнси Копелл; моими научными сотрудниками Ренни Миролло, Полом Мэтьюзом, Куртом Визенфельдом, Джими Свифтом, Кевином Куомо, Элом Оппенгеймом и Тимом Форрестом; а также моими бывшими студентами Синьей Ватанабе и Дунканом Уоттсом. Благодарю вас за то, что были мне надежными спутниками во время нашего нелегкого путешествия в дебри синхронизма.

Другие ученые помогли улучшить эту книгу. Джек Кауен поделился со мной приятными воспоминаниями о совместной работе с Норбертом Винером в Массачусетском технологическом институте в конце 1950-х годов и познакомил меня с малоизвестной, но глубоко человеческой историей, связанной с открытием двойного спектра. Лу Пекора подробно рассказал мне о том, как вместе с Томом Кэрролом он пришел к открытию синхронизированного хаоса. Джим Торп с присущими ему мудростью и мягким юмором ответил на мои вопросы относительно силовой сетки. Седрик Лангборт любезно перевел для меня письма Гюйгенса о взаимовлиянии часов. Джо Бернс, Эрик Герцог, Крис Лобб, Чарли

Маркус, Радж Рой и Джо Такахаси предложили чрезвычайно ценные комментарии к ранним наброскам текста этой книги. Марджи Нельсон с присущим ей сочетанием научного суждения и художественного таланта подготовила иллюстрации. Хочу выразить особую признательность Арту Уинфри за его глубокие и остроумные идеи по поводу синхронизма, а главное — за его поистине героические усилия по прочтению этого манускрипта от корки до корки, несмотря на крайне сложные обстоятельства, которые сопутствовали этому чтению.

Выражаю благодарность Линди Уильямс, Стивену Тайену, Герберту Хьюи, Тому Гиловху и всем остальным моим друзьям, которые заботливо оберегали автора этой книги от невзгод и проблем, навалившихся на него на ранних стадиях подготовки книги к публикации; Карин Дашифф Гилович, которая помогла мне обрести собственный голос; а также Алана Алда — моего незаменимого партнера по сеансам мозгового штурма, который научил меня, как нужно подходить к творческому процессу. (Правда, мне не удалось воспользоваться его советом относительно того, как написать первый черновой вариант книги за один присест. Может быть, это удастся мне в следующий раз...)

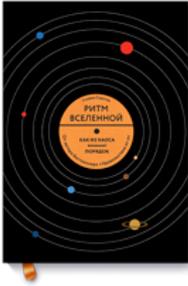
Мои коллеги в Корнельском университете, в частности Ричард Рэнд и заведующий моего отдела Тим Хили, обеспечивали мне моральную поддержку в течение всего изнурительного процесса написания этой книги и были очень внимательны ко мне, когда видели, что мои мысли витают где-то далеко-далеко. Благодарю вас, коллеги, за понимание.

Мои литературные агенты Катинка Мэтсон и Джон Брокман чутко и с огромным энтузиазмом реагировали на каждое мое обращение. Джон предложил мне общее направление этой книги, как только услышал от меня ее описание. Катинка заботливо наставляла меня относительно всех аспектов процесса написания книги, начиная с составления плана и заканчивая публикацией.

Писателю трудно даже мечтать о лучшем издательском коллективе, чем коллектив издательства Huregion Books. В частности, сотрудница редакции Кайра Гепфорд была неизменно любезна, оптимистично настроена и эффективна. Художественный редактор Фил Роуз придумал запоминающуюся и красивую обложку, которая, на мой взгляд, уловила самую суть синхронизма. Выражаю огромную благодарность своему редактору, Уиллу Швальбе, чей острый глаз, хороший вкус и ощущение структуры улучшили мою книгу во многих отношениях. Его неослабевающий энтузиазм по отношению к данному проекту побуждал меня к энергичным действиям в те моменты, когда это было особенно необходимо.

Хочу также поблагодарить членов своей семьи за их любовь и моральную поддержку, особенно это относится к моему отцу, который всегда был на моей стороне, подбадривал, улыбался и старался вселить в меня оптимизм. Невероятная самоотверженность моей тещи, Ширли Шиффман, дала мне возможность подолгу засиживаться за своей книгой, не чувствуя угрызений совести за то, что не уделяю достаточного внимания моим маленьким дочерям. Благодарю вас, мои крошки: Ли — за то, что, научившись ходить, вернула меня к действительности, и Джоанну — за то, что родилась в самый подходящий момент — не слишком рано и не слишком поздно. Моя жена, Кэрол, проявляла свою любовь всеми доступными ей способами, выслушивая меня, читая мои рукописи, уговаривая и прощая меня, подсказывая, как нужно писать, в каких случаях следует развить мысль, а в каких — сократить текст. Ее душевная щедрость предоставила мне возможность полностью погрузиться в процесс написания книги.

Наконец, мне хотелось бы поблагодарить граждан Соединенных Штатов за их доверие и дальновидность. Поддерживая американские исследовательские учреждения посредством таких организаций, как Национальный научный фонд, налоги, выплачиваемые гражданами Соединенных Штатов, обеспечивают ученым самое ценное из того, что они могли бы желать, — возможность следовать за своим воображением туда, куда оно только может завести их. Надеюсь, вы получаете такое же удовольствие от наших открытий, какое получаем мы сами.



[Почитать описание, рецензии  
и купить на сайте](#)

Лучшие цитаты из книг, бесплатные главы и новинки:



Mifbooks



Mifbooks



Mifbooks