

УДК 007  
ББК 73  
И29

Все права защищены. Книга или любая ее часть не может быть скопирована, воспроизведена в электронной или механической форме, в виде фотокопии, записи в память ЭВМ, репродукции или каким-либо иным способом, а также использована в любой информационной системе без получения разрешения от издателя. Копирование, воспроизведение и иное использование книги или ее части без согласия издателя является незаконным и влечет уголовную, административную и гражданскую ответственность.

Cesar Hidalgo  
WHY INFORMATION GROWS

© 2015 by Cesar Hidalgo. All rights reserved

**Идальго, Сесар.**

И29 Как информация управляет миром : [перевод с английского] / Сесар Идальго. – Москва : Издательство «Э», 2016. – 256 с. – (civilization).

Наша Вселенная состоит из материи и энергии, но по-настоящему осязаемой и понятной ее делает наличие информации. Она скрывается в каждой форме и закономерности, упорядочивая наш мир и придавая ему смысл.

Большая часть книги посвящена Земле и живущим на ней существам, потому что нигде во Вселенной не найти большего количества информации. Но почему она находится на нашей планете в таких объемах и как мы, люди, способствуем ее росту? Как информация бунтует против энтропии?

Вы узнаете о механизмах, которые помогают информации выигрывать битвы, стоически сражаясь в единственной истинной войне нашей Вселенной — в войне между порядком и беспорядком, между энтропией и информацией.

УДК 007  
ББК 73

Научно-популярное издание

CIVILIZATION

**Сесар Идальго**

**КАК ИНФОРМАЦИЯ УПРАВЛЯЕТ МИРОМ**

Директор редакции *Е. Капъёв*

Ответственный редактор *Ю. Лаврова*. Художественный редактор *П. Петров*

В оформлении обложки использована фотография: majcot / Shutterstock.com  
Используется по лицензии от Shutterstock.com

ООО «Издательство «Э»

123308, Москва, ул. Зорге, д. 1. Тел. 8 (495) 411-68-86.

Өндүрүшү: «Э» АКБ Баспасы, 123308, Мәскеу, Ресей, Зорге көшесі, 1 үй.

Тел. 8 (495) 411-68-86.

Тауар белгісі: «Э»

Қазақстан Республикасында дистрибьютор және өнім бойынша арыз-талпағарды қабылдаушының өкілі «РДЦ-Алматы» ЖШС, Алматы қ., Домбровский көш., 3-а», литер Б, офис 1.

Тел.: 8 (727) 251-69-89/90/91/92, факс: 8 (727) 251 58 12 вн. 107.

Өнімнің жарамдылық мерзімі шектелмеген.

Сертификация туралы ақпарат сайтында Өндүрүшү «Э»

Сведения о подтверждении соответствия издания согласно законодательству РФ

о техническом регулировании можно получить на сайте Издательства «Э»

Өндүрген мемлекет: Ресей  
Сертификация қарастырылмаған

Подписано в печать 25.12.2015. Формат 60x90<sup>1/16</sup>.

Печать офсетная. Усл. печ. л. 16,0.

Тираж экз. Заказ



ISBN 978-5-699-85453-0



9 785699 854530 >

ISBN 978-5-699-85453-0

В электронном виде книги издательства вы можете  
купить на [www.itres.ru](http://www.itres.ru)

**ЛитРес:**  
Один клик до книги



© Райтман М.А., перевод на русский язык, 2016  
© Оформление. ООО «Издательство «Э», 2016

# ОГЛАВЛЕНИЕ

Пролог. Вечная война . . . . .	8
Введение. От атомов до людей и экономик . . . . .	10

## Часть I. Биты в атомах

Глава 1. Секрет путешествия во времени . . . . .	24
Глава 2. Тело бессмысленного . . . . .	31
Глава 3. Вечная аномалия . . . . .	48

## Часть II. Кристаллизованное воображение

Глава 4. Выбросьте из головы! . . . . .	75
Глава 5. Усилители. . . . .	91

## Часть III. Квантование ноу-хау

Глава 6. На этот раз — личное . . . . .	103
Глава 7. Связи стоят денег. . . . .	113
Глава 8. Мы верим в связи . . . . .	136

## Часть IV. Сложность экономики

Глава 9. Эволюция экономической сложности . . . . .	159
Глава 10. Шестой элемент . . . . .	176
Глава 11. Слияние знаний, ноу-хау и информации . . . . .	198

## Часть V. Эпилог

Глава 12. Эволюция физического порядка: от атомов до экономик. . . . .	208
Благодарности. Кровоточащие слова. . . . .	217
Примечания . . . . .	227
Предметный указатель . . . . .	251



*Посвящается Айрис, Анне и Мриду*

## Пролог

# ВЕЧНАЯ ВОЙНА

Вселенная состоит из энергии, материи и информации, однако именно информация делает Вселенную интересной. Без информации Вселенная представляла бы собой аморфный суп. В ней отсутствовали бы формы, структуры, аperiodические порядки и фрактальные закономерности, которые делают Вселенную такой красивой и сложной.

Тем не менее информация встречается редко. Она скрывается, пытаясь сопротивляться извечному стремлению Вселенной к беспорядку — к увеличению энтропии. Эта книга посвящена росту объема информации и механизмам, которые позволяют информации бороться со случайностью и расти. К этим механизмам относятся как естественные процессы, способствующие возникновению информации, так и социальные и экономические механизмы, которые ускоряют темп увеличения объема информации в обществе. В этой книге говорится о росте объема информации, то есть об усилении физического порядка, что делает нашу планету уникальной, богатой и неравномерной, начиная от атомов и заканчивая экономиками.

Большая часть этой книги посвящена нашей планете и живущим на ней видам. Это связано с тем, что с космической точки зрения наша планета представляет собой особенное место. Мы знаем о многих местах нашей Вселенной, в которых сконцентрировано больше материи и энергии, чем на Земле, но нам неизвестны места, в которых было бы сконцентрировано больше информации. Нейтронные звезды являются настолько плотными, что чайная ложка их вещества весит больше, чем Эмпайр-стейт-билдинг. Черные дыры настолько массивны, что они искажают геометрию пространства. Энергия также присутствует

в огромном количестве в миллиардах звезд нашей галактики, однако ее не так много на нашей планете. Таким образом, особенностью нашей планеты является не материя или энергия, а физический порядок, или информация. Для информации наша планета представляет то же, что черная дыра для материи или звезда для энергии. Наша планета — это место посреди бесплодной Вселенной, где информация живет, растет и прячется.

Однако откуда же берется информация? Почему информация сосредоточена на нашей планете и как жизнь способствует росту ее объема? Какие социальные и экономические механизмы обеспечивают постоянное увеличение объема информации в обществе? Как социальное накопление информации улучшает нашу способность накапливать еще больше информации? И как механизмы, способствующие росту объема информации, обуславливают социальную и экономическую неравномерность мировой экономики?

Далее мы узнаем о том, что собой представляет информация, откуда она берется и чем вызван рост ее объема. Мы узнаем о природных, социальных и экономических механизмах, которые помогают информации бунтовать против энтропии. Мы узнаем о механизмах, которые помогают информации выигрывать небольшие битвы, стоически сражаясь в единственной истинной войне нашей Вселенной — в войне между порядком и беспорядком, между энтропией и информацией.

## Введение

# ОТ АТОМОВ ДО ЛЮДЕЙ И ЭКОНОМИК

Людвиг был несчастным человеком. Стала ли смерть его сына последней каплей? Или он страдал от критики со стороны своих коллег? Может быть, он слишком любил атомы?

Во время летних каникул Людвиг покончил с собой. Его младшая дочь Эльза обнаружила его повешенным. Она отказывалась говорить об этом эпизоде на протяжении всей своей жизни.

Конечно, я говорю о Людвиге Больцмане. Он был не только успешным ученым, но и неуверенным в себе человеком. Людвиг внес важный вклад в наше понимание природы. Тем не менее его научные выводы не избежали критики.

Людвиг верил в атомы в то время, когда многие из его коллег считали их не более чем удобной аналогией. Их скептицизм беспокоил его. С одной стороны, он знал, что находится на верном пути. Он показал, что эмпирическое поведение газов может быть обусловлено коллективным движением молекул или атомов. Это открытие предоставило ему косвенные доказательства существования атомов, но не дало способа их непосредственного наблюдения.

Отсутствие прямых доказательств сделало Людвигу уязвимым к критике его коллег. Физик и философ Эрнст Мах утверждал, что наука должна сосредоточиваться только на отношениях между непосредственно наблюдаемыми величинами. Такие дополнительные теоретические конструкции, как атомы Больцмана, были недопустимы.

Однако у Людвигу были неприятности не только с обществом. На протяжении десятилетий он пытался объяснить происхождение физического порядка. Его попытки, несмотря

на научную плодотворность, также оказались безуспешными. Предсказания теории Людвиг противоречили тому, что он хотел показать. Его повседневный опыт демонстрировал, что порядок вокруг него увеличивается: цветы цветут, деревья растут, а общество, в котором быстро развивается индустриализация, каждый день разрабатывает новые устройства. Тем не менее теория Людвиг предсказывала, что порядок должен не расти, а исчезать. Это объясняло, почему горячее тело остывает, почему завитки молока рассеиваются в кофе и почему шепот исчезает в ветре. Людвиг показал, что микроструктуры Вселенной пожирают порядок, делая его эфемерным. Однако он понимал, что это было не все и что ему были неизвестны механизмы, которые помогают информации пересекать пределы.

Рост порядка беспокоил Людвиг. Его тревога может быть понятна только ученому. Он знал, что в его теории чего-то не хватает, однако не мог определить, чего именно. К концу жизни Людвиг устал от сражений с людьми и природой. Он попытался решить проблему с помощью веревки, после чего осталась лишь оболочка из атомов, которая начала устойчивый, но однозначный распад, как и предсказывала его теория.

\*\*\*

В 1906 году Людвиг покончил с собой, но не с философскими проблемами, которые его волновали. Чтобы объяснить происхождение физического порядка, Людвиг связал явления различных пространственных масштабов, в основном атомы и газы<sup>1</sup>. Несмотря на то, что сегодня это имеет смысл, во времена Людвиг работа с разными пространственными масштабами являлась практикой, нарушающей негласный договор между учеными. Многим коллегам Людвиг наука представлялась чем-то вроде иерархии русских матрешек с новыми структурами, возникающими на каждом уровне. Такое видение делало пересечение границ ненужным. Экономика не нуждалась в психологии, а психологии не нужна была биология. Биология не нуждалась в химии, а химия — в физике.



Объяснение газов с точки зрения атомов, хотя и не было таким же нелепым, как объяснение поведения человека, исходя из биологических предпосылок, считалось предательством этой негласной договоренности. Больцман «согрешил», пытаясь объяснить макроскопические свойства газов движением атомов.

\*\*\*

Двадцатый век подтвердил верность взгляда Людвиг на атомы и, в меньшей степени, оправдал его страсть к пересечению академических границ. Квантовая механика помогла объединить атомы Людвиг с химией и материаловедением. Молекулярная биология и биохимия позволили объединить биологию клетки с химическими свойствами населяющих ее белков. Параллельно этому биология подружилась с психологией, когда теория Дарвина легла в основу объяснения человеческого поведения<sup>2</sup>. Тем не менее не все взаимообогащение имело место у известных научных границ. В этих междисциплинарных танго существовала концепция, которая танцевала сразу со всеми партнерами. Это была идея *информации*.

Информация являлась объектом восхищения для Людвиг. Это то, что ускользало от него и что он неустанно стремился объяснить: почему порядок во Вселенной стремится сойти на нет при его нарастании на Земле.

В XX веке продолжился не только рост объема информации, но и попытки ученых понять это явление. Однако на этот раз изучение информации было вдохновлено не красотой природы, а ужасами войны. Во время Второй мировой войны у конкурирующих армий возникла потребность в общении с использованием секретных кодов. Эти коды вызывали необходимость в расшифровке перехваченных сообщений, что стало причиной изучения информации с помощью математических методов.

Кодирование и декодирование сообщений являлось математической задачей, которая была слишком интересной, чтобы оставить ее после окончания войны. Математики продолжили

формализацию идеи информации, однако встроили свои попытки в контекст коммуникационных технологий, превзойдя потребность в расшифровке перехваченных сообщений. Математики, которым удалось достичь успеха, стали известны в мире в качестве первых информационных теоретиков или кибернетиков. Среди этих пионеров были Клод Шеннон, Уоррен Уивер, Алан Тьюринг и Норберт Винер.

В 1950-х и 1960-х годах идея информации взяла науку штурмом. Информация была принята во всех академических областях в качестве мощной концепции, пересекающей границы разных наук. Информация не была ни микроскопической, ни макроскопической<sup>3</sup>. Ее можно было записать на глиняных табличках или плотно упаковать в цепочке ДНК. Для многих практических целей масштаб информации был не важен. Эта независимость от масштаба сделала идею информации привлекательной для ученых всех областей, которые приняли эту концепцию и наделили ее особенностями своей дисциплины.

Биологи восприняли эту идею в результате исследования того, как гены кодируют наследственную информацию. Инженеры, вдохновленные работами Шеннона, изобретали передатчики и приемники, оплетая мир аналоговыми и цифровыми сетями. Ученые, работавшие в сфере компьютерных технологий, психологи и лингвисты предприняли попытки смоделировать мозг с помощью электронных мыслящих машин. После того как XX век изжил атомный дух времени, новым тузом в руке у каждого стала информация.

Идея информации также нашла свое место в социальных науках, и в частности в экономике. Фридрих Хайек, австрийский экономист и современник Шеннона, утверждал, что цены передают информацию о предложении и спросе на товары. Это помогло выявить информацию, необходимую для работы «невидимой руки» Смита. Как писал Хайек, «в системе, в которой знание соответствующих фактов распределено среди многих людей, цены могут координировать их отдельные действия»<sup>4</sup>.

Идея информации также помогла экономистам понять некоторые важные проблемы рынка. Джордж Акерлоф прославился, показав, что рынки могут не работать, если люди обладают асимметричной информацией о качестве товаров, которые они хотели бы обменять<sup>5</sup>. Параллельно с этим Герберт Саймон, эрудит, который внес вклад в экономику, организационную теорию и сферу искусственного интеллекта, выдвинул идею ограниченной рациональности, которая сосредоточивалась на поведении экономических субъектов, имеющих ограниченную информацию о мире.

На протяжении XX века идея информации постепенно приобрела глобальное значение. Однако по мере роста ее популярности мы стали забывать о телесности информации, которая тревожила Больцмана. Слово *информация* стало синонимом неземного, нефизического, цифрового, невесомого, нематериального. Однако информация имеет физическую природу, так же, как атомы Больцмана или энергия их движения. Информация не является твердым телом или жидкостью. У нее нет особых частиц, однако

Информация не была ни микроскопической, ни макроскопической. Ее можно было записать на глиняных табличках или плотно упаковать в цепочке ДНК.

она обладает такой же физической природой, как движение и температура, которые также не имеют собственных частиц. Информация бестелесна, но она всегда физически воплощена. Информация — это не вещь, а, скорее, соотношение

физических вещей. Это *физический порядок*, подобный различным комбинациям при перемешивании колоды карт. Однако удивительным для большинства людей является то, что информация не имеет смысла, хотя бессмысленный характер информации, равно как и ее телесность, часто понимается неправильно.

\*\*\*

В 1949 году Клод Шеннон и Уоррен Уивер опубликовали большую книгу под названием «Математическая теория связи».

В ее первом разделе Уивер описал концептуальные аспекты информации. Во втором разделе Шеннон описал математику того, что теперь нам известно как теория информации.

Для правильного понимания теории информации Шеннону и Уиверу нужно было отстраниться от слова «информация» в его разговорном смысле. Уивер описал это различие в начале своего эссе: «Слово “информация” в данной теории используется в особом смысле, и его не следует путать с обычным способом употребления. В частности, понятие “информация” нельзя путать с понятием “значение”»<sup>6</sup>.

Шеннон также отметил это в начале своего раздела, используя аргументы из области инженерии вместо семантических различий: «Фундаментальная проблема связи заключается в точном или приблизительном воспроизведении в одной точке сообщения, взятого из другой точки. Часто эти сообщения имеют значение... Эти семантические аспекты коммуникации [относящиеся к смыслу сообщения] не имеют отношения к инженерной задаче»<sup>7</sup>.

Однако почему Шеннон и Уивер так стремились отделить информацию от значения? На это были как технические, так и философские причины. С технической точки зрения Шеннон был заинтересован в строительстве машин, которые могли бы передавать информацию независимо от смысла сообщения. Смешение информации со значением сбивало с толку при решении инженерной задачи. С философской точки зрения Шеннон и Уивер понимали, что их слова «информация» и «значение» относятся к принципиально различным понятиям. Люди и некоторые машины способны интерпретировать сообщения и наделять их смыслом. Однако то, что передается по проводам или посредством электромагнитных волн, это не значение, а всего лишь информация.

Людям сложно отделить информацию от значения, поскольку мы склонны к интерпретации сообщений. Мы наделяем сообщения смыслом автоматически, ошибочно полагая, что

значение сообщения заключается в самом сообщении. Однако это не так. Это только иллюзия. Значение выводится из контекста и уже имеющегося знания. Значение — это интерпретация, которую познающий субъект, например человек, дает сообщению, но которая отличается от физического порядка, передающего данное сообщение, а также от самого сообщения. Значение возникает тогда, когда сообщение достигает формы жизни или машины, способной обрабатывать информацию. Оно не заключено в чернильных пятнах, звуковых волнах, лучах света или электрических импульсах, передающих информацию.

Подумайте о фразе «11 сентября». Когда я произношу эту фразу, большинство американцев автоматически вспоминают об атаке на башни-близнецы в 2001 году. Чилийцы обычно думают о государственном перевороте в 1973 году. Однако, произнося фразу «11 сентября», я могу просто сказать своим студентам о том, что в этот день я планирую вернуться в Массачусетский технологический институт. Как видите, значение придаете вы. Оно не является частью сообщения, хотя так может показаться. Значение — это то, что мы бесшовно присоединяем при интерпретации сообщений, поскольку людям свойственно интерпретировать проявления физического порядка. Однако эта цельность не означает то, что значение и информация являются одним и тем же.

Чтобы создать машину, которая могла бы передавать информацию, независимо от значения сообщения, Шеннону требовалась формула для оценки минимального количества символов, необходимых для кодирования сообщения. Основываясь на работе Гарри Найквиста и Ральфа Хартли, Шеннон приблизительно определил объем информации, требуемый для передачи сообщения через чистый или подверженный помехам канал. Он также оценил экономичность коммуникации, обусловленную корреляциями в структуре сообщений, например тем фактом, что в английском языке буква *t* чаще предшествует букве *h*, чем букве *q*. Философские рассуждения Шеннона привели

его на математический путь, подобный тому, который прошел Больцман. В конце пути Шеннон вывел основную формулу для максимально эффективного кодирования произвольного сообщения. Эта формула позволяла заключить информацию в магнитном диске, электромагнитных волнах или в чернилах на бумаге. Формула Шеннона была идентична той, которую Больцман предложил почти пятьдесят лет назад<sup>8</sup>. Это совпадение не было случайностью.

Мы наделяем сообщения смыслом автоматически, ошибочно полагая, что значение сообщения заключается в самом сообщении. Однако это не так. Это только иллюзия.

\*\*\*

Совпадение формул Шеннона и Больцмана говорит о физической природе информации. Эта физическая реальность имеет решающее значение для понимания того, как изучение атомов может помочь нам разобраться в экономике. По большей части естественные науки сосредоточивались на описании нашей Вселенной, начиная с атомов и заканчивая людьми, соединяя простоту атома со сложностью жизни\*. Социальные науки фокусировались на связях между людьми, обществом и экономикой, рассматривая человека в качестве основополагающего блока — социального и экономического атома, если можно так выразиться. Тем не менее это разделение не обошлось без потерь, поскольку механизмы, позволяющие информации накапливаться, преодолевают барьеры, отделяющие неживое от живого, живое от социального и социальное от экономического.

Поэтому я посвящаю следующие страницы описанию механизмов, которые способствуют росту объема информации на всех уровнях, начиная с атомов и заканчивая экономиками. Не от атомов к людям или от людей к экономике, как это обычно

---

\* Очевидными исключениями из этого правила являются геология и астрономия.

делается. Это поможет нам навести мосты между физическими, биологическими, социальными и экономическими факторами, которые способствуют накоплению информации, а также ограничивают нашу способность ее обрабатывать. К способности обработки информации относится вычисление, и на уровне человека она требует «программного обеспечения», которое мы называем «знанием» и «ноу-хау». В результате получится книга об истории нашей Вселенной, основанной не на стреле времени, а на стреле сложности.

И это именно стрела сложности, то есть роста объема информации, определяет историю нашей Вселенной и живущих в ней видов. Миллиарды лет назад, вскоре после Большого Взрыва, наша Вселенная не могла создавать порядок, который восхищал Больцмана и который все мы воспринимаем как должное. С тех пор наша Вселенная двигалась к беспорядку, как предсказывал Больцман, однако параллельно с этим она создавала места, в которых концентрировались огромные объемы физического порядка или информации. Наша планета является явным примером такого места.

Волна звезд, предшествовавшая образованию нашей Солнечной системы, синтезировала атомные элементы, необходимые для появления форм жизни. К этим элементам относятся углерод, кислород, кальций, азот и железо. Из останков этих звездных предков сформировалось новое поколение звезд. На этот раз планеты, которые кружили вокруг них, были богаты химическими веществами, необходимыми для развития жизни. Наша планета, возраст которой составляет четыре или пять миллиардов лет, с тех пор использовала это химическое богатство для того, чтобы стать примером особенной сложности. На протяжении миллиардов лет объем информации на нашей планете продолжал расти: сначала в химическом составе, затем в простых формах жизни, а в последнее время — в нас. Во Вселенной, которая в основном представляет собой пустое пространство, наша планета является оазисом, где объем информации, знания