

КАРЛО
РОВЕЛЛИ

СРОК
ВРЕМЕНИ

Потрясающая книга... Ровелли удается излагать одни из самых сложных и захватывающих идей человечества о времени с заразительнейшими поэтичностью, очарованием и остроумием. **БЕНЕДИКТ КАМБЕРБЭТЧ**

КАРМАННЫЙ ПУТЕВОДИТЕЛЬ
ПО РАСПУТЫВАНИЮ ЗАГАДОК
ВРЕМЕНИ



ТРАЕКТОРИЯ

CoRpus

Библиотека фонда «Траектория»

Карло Ровелли

Срок времени

«Corpus (ACT)»

2017

УДК 13
ББК 87.21

Ровелли К.

Срок времени / К. Ровелли — «Corpus (АСТ)»,
2017 — (Библиотека фонда «Траектория»)

ISBN 978-5-17-114985-7

Карло Ровелли – итальянский физик-теоретик, специалист в области квантовой гравитации, автор нескольких научно-популярных книг. В “Сроке времени” он предлагает неожиданный взгляд на такой, казалось бы, привычный нам всем феномен, как время. Время, утверждает он, не универсальная истина, а иллюзия, это просто наше ощущение последовательности событий, их причинно-следственных связей. Время есть форма нашего взаимодействия с миром. Тайна времени, вероятно, в большей степени связана с тем, что такое мы сами, чем с тем, что такое космос.

УДК 13
ББК 87.21

ISBN 978-5-17-114985-7

© Ровелли К., 2017
© Corpus (АСТ), 2017

Содержание

Может быть, это самая большая тайна – время	7
Часть первая	9
Глава 1	9
Глава 2	13
Конец ознакомительного фрагмента.	20

Карло Ровелли

Срок времени

CARLO ROVELLI
L'ORDINE DEL TEMPO

© Carlo Rovelli, 2017

© Д. Баяк, перевод на русский язык, 2020

© А. Бондаренко, художественное оформление, макет, 2020

© ООО “Издательство Аст”, 2020

* * *



ТРАЕКТОРИЯ

ФОНД ПОДДЕРЖКИ НАУЧНЫХ,
ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ И КУЛЬТУРНЫХ
ИНИЦИАТИВ

www.traektoriafdn.ru

Фонд “Траектория” создан в 2015 году.

Программы фонда направлены на стимулирование интереса к науке и научным исследованиям, реализацию образовательных программ, повышение интеллектуального уровня и творческого потенциала молодежи, повышение конкурентоспособности отечественных науки и образования, популяризацию науки и культуры, продвижение идей сохранения культурного наследия. Фонд организует образовательные и научно-популярные мероприятия по всей России, способствует созданию успешных практик взаимодействия внутри образовательного и научного сообщества.

В рамках издательского проекта Фонд “Траектория” поддерживает издание лучших образцов российской и зарубежной научно-популярной литературы.

Посвящается Эрнесто, Било и Эдуардо

Стихотворные эпиграфы в начале каждой главы взяты из “Од” Горация в переводе Джулио Галетто, опубликованных издательством Paniere в 1980 году в виде изящного томика под заголовком In questo breve cerchio [“В этом узком кругу”]¹

¹ Переводы Галетто оказались поэтическим парафразом сочинений Горация, поэтому их пришлось переводить заново с итальянского. Для английского издания эти переводы выполнили Эрика Сегре и Саймон Карнелл, на русский с итальянского их перевел Дмитрий Манин. – *Прим. перев.*

Может быть, это самая большая тайна – время

*И те слова, что ныне произносим, грабитель-время ухватило
и тащит прочь; ничто уж не вернется
(i II)*

Я остановился и ничего не делаю. Ничего не происходит. Ни о чем не думаю. Просто слушаю, как бежит время.

Это время. Такое знакомое и близкое. Время-грабитель. Тащит нас прочь. Торопливый поток секунд, часов и лет пронизывает нашу жизнь, подталкивая нас к небытию... Мы живем в нем как рыбы в воде. Наше существование – это существование во времени. Под его заунывное пение мы пробуждаемся, открываем мир, тревожимся, пугаемся и навеки этот мир покидаем. Во времени разворачивается будущее Вселенной, сроку времени она следует.

В древнеиндийской мифологии космическая река течет лишь в воображении танцующего Шивы: этот танец направляет и развитие Вселенной, и течение времени. Что может быть очевиднее и универсальнее этого течения?

И однако же все не так просто. Реальность часто отличается от того, чем кажется: Земля кажется плоской, а в реальности – шарообразна; Солнце кажется катящимся по небу, а в реальности – мы кружимся вокруг него. Так и время отличается от того, чем нам кажется: оно вовсе не похоже на равномерный вселенский поток. Это я с изумлением обнаружил в учебниках физики, учась в университете. Со временем все не так, как мы думаем.

Из тех же самых книг я почерпнул: что и как на самом деле происходит со временем, мы наверняка пока не знаем. Природа времени остается тайной – возможно, величайшей. Загадочные нити связывают ее с другими великими тайнами: природой сознания, происхождением Вселенной, течением жизни. Всякое явление исключительной важности раз за разом возвращает нас к размышлениям о загадке времени.

В недоумении и удивлении кроется источник нашего стремления к знанию², а открытие, что время не таково, каким нам кажется, дает дорогу тысячам новых вопросов. Природа времени оставалась в центре всех моих исследований по теоретической физике всю мою жизнь. На следующих страницах этой книги я рассказываю о том, что я понял о времени, о путях, по которым шел к более ясной картине, о явлениях, которые нам пока непонятны, и о тех, которые мне кажутся уже разгаданными.

Почему мы помним прошлое, а не будущее? Это мы существуем во времени или время существует в нас? Что в действительности означает фраза “время течет”? Что связывает время с природой нашей субъективности?

Что я слышу, прислушиваясь к течению времени?

Книга поделена на три неравных части. В первой мы резюмируем, что удалось понять о времени современной физике. Это будет похоже на изучение снежинки, лежащей на ладони: пока мы ее рассматриваем, она исчезает, норовя каплей воды проскользнуть меж пальцев. Нам привычно думать о времени как о чем-то простом и фундаментальном, равномерно текущем независимо ни от чего от прошлого к будущему, измеряемом с помощью часов. По ходу времени упорядочены события во Вселенной – прошлые, настоящие, будущие; прошлое неизменно, будущее неопределенно... Ну что же, все это оказалось ложным.

Характерные особенности времени, одна за одной, оборачиваются следствием погрешностей, ошибок, родственных явлению перспективы, кажущейся неподвижности плоской Земли

² Аристотель. *Метафизика*. I, 2, 982 b. (См.: Аристотель. *Сочинения*: В 4 т. М.: Мысль, 1976–1982. Т. 1. С. 69. – Прим. перев.)

или движению Солнца вокруг нее. Рост нашего знания привел к медленному снятию всех покровов, окружающих понятие времени. То, что мы называем временем, представляет собой сложный комплекс структур³, множество разных слоев. Чем глубже мы проникаем в суть этого понятия, тем дальше нам приходится погружаться, слой за слоем, шаг за шагом. И первая часть книги посвящена этому разоблачению времени.

Вторая часть описывает то, что остается нам как итог этого разоблачения. Пейзаж пустынный и продуваемый ветрами, почти утративший свою связь со временем. Мир странный и чужой – и тем не менее наш. Словно мы поднялись высоко в горы, где нет ничего, кроме снега, камней и неба. Или словно мы вдруг, подобно Армстронгу и Олдрину, ступили на застывшие в неподвижности пески лунной поверхности. Оказались в сущностном мире, сияющем своей сухой, ясной и тревожной красотой. Та физика, с которой я работаю, квантовая гравитация, силится постичь суть, а затем и дать связное описание этого чуждого и прекрасного пейзажа – мира без времени.

Третья часть книги – самая сложная, но в то же время самая живая и самая мне близкая. В мире без времени должно все-таки существовать нечто такое, что дает начало времени, каким мы его знаем, с устанавливаемыми им сроками, различием между прошлым и будущим, его сладостным течением. Наше время должно в каком-то смысле возникать внутри нас, в соответствии с нашей мерой, ради нас⁴.

Это – путешествие домой, назад ко времени, утраченному в первой части книги, в соответствии с элементарной грамматикой нашего мира. Словно в детективном романе, мы отправимся на поиски преступника, давшего времени начало. Восстановим, одну за другой, все части, из которых состоит знакомое нам время, – не как элементарные структуры реальности, а как ее приблизительные описания, полезные для нелепых и неуклюжих существ, которыми все мы, смертные, являемся, как аспекты нашей собственной перспективы, а также, вероятно, как аспекты – или детерминанты – того, чем являемся мы сами. Потому что в конце концов – возможно – тайна времени в большей степени связана с тем, что такое мы сами, чем с тем, что такое космос. Может, как и в самом первом и самом великом из детективов, “Царе Эдипе” Софокла, преступник – это сам сыщик. И тут книга заполнится горячей пеной идей, то блистательных, то обескураживающих, и если вы следовали за мной, то я приведу вас туда, где находится, по моему убеждению, самый передний край наших знаний о времени, к берегу того великого океана, полного отражений ночного звездного неба, о котором мы пока еще ничего не знаем.

³ Подробное обсуждение вопроса, как расслаивается понятие времени, можно найти, например, в книге: Fraser J. T. *Of Time, Passion, and Knowledge*. New York: Braziller, 1975.

⁴ Философ Мауро Дорато настаивает на необходимости элементарной концептуальной картины, в явной и связной форме представляющей физику нашего опыта (Dorato M. *Che cos'è il tempo?* Roma: Carocci, 2013).

Часть первая

Заблуждения относительно времени

Глава 1

Утрата единственности

*В танце любовном сплетаясь,
прекрасные дочери
озарены сияньем лунным
прозрачною этой ночью*

(i 4)

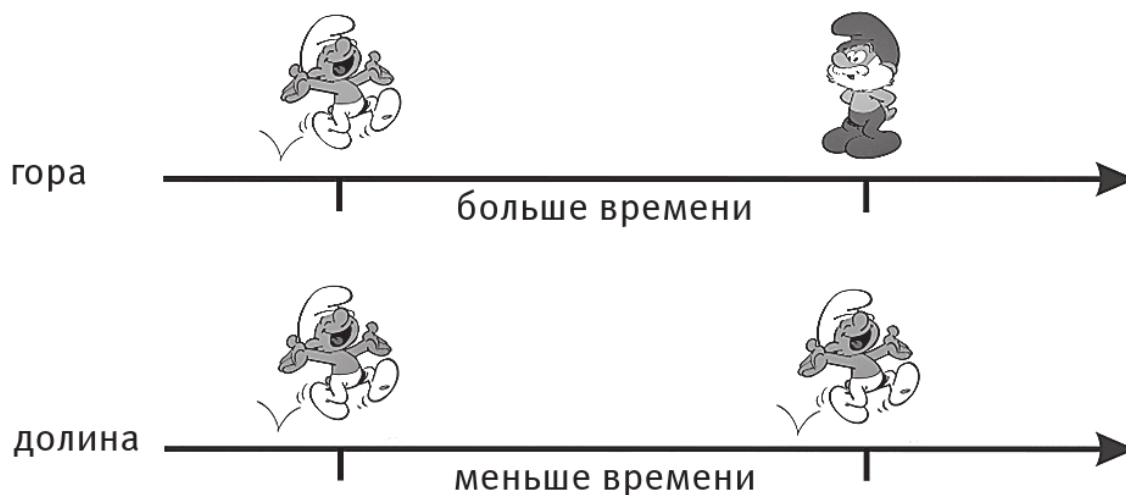
Замедление времени

Начну с простого факта: время движется быстрее на горé и медленнее в долине.

Разница невелика, но ее можно измерить с помощью точных часов, продающихся в интернет-магазинах примерно за тысячу евро. Немного попрактиковавшись, всякий сможет зафиксировать замедление времени. С помощью специальных лабораторных часов такое замедление можно заметить даже при разнице в высоте над уровнем моря в несколько сантиметров. Часы, лежащие на полу, идут чуть-чуть медленнее часов, лежащих на столе.

Замедляются не только часы: внизу все процессы идут медленнее. Два друга расстаются: один отправляется жить на равнине, а другой – в горах. По прошествии лет они снова встречаются: тот, что жил на равнине, меньше прожил и меньше постарел, кукушка в его ходиках меньше куковала, у него было меньше времени на дела, деревья у его дома меньше выросли, его мыслям досталось меньше времени на созревание... Внизу прошло меньше времени, чем вверху.

Удивительно? Может быть. Но так устроен мир. В одних местах время проходит быстрее, в других медленнее. Еще удивительнее, что нашелся человек, который догадался об этом замедлении времени на век раньше, чем у нас появились часы, с помощью которых замедление можно измерить, – это Эйнштейн.



Способность понять прежде, чем увидеть, – в этом суть научной мысли. Анаксимандр понял, что небо продолжается и у нас под ногами, еще в эпоху античности – до того, как появились корабли, способные совершить кругосветное путешествие. Коперник понял, что Земля вращается, в начале Нового времени – прежде, чем астрономы смогли увидеть ее вращение с Луны. Так и Эйнштейн понял, что время бежит не везде одинаково, раньше, чем появились достаточно точные часы, чтобы измерить разницу.

Такие изменения в представлениях учат нас, как казавшееся очевидным оборачивается предрассудком. Небо *очевидно* – казалось – наверху, а не внизу, иначе Земля свалилась бы туда. Земля *очевидно* – казалось – никуда не движется, а то бы на ней все порушилось. Время – казалось – повсюду течет одинаково, это *очевидно*... Детишки вырастают и узнают, что мир снаружи не совсем такой, как им казалось, пока они сидели дома; и человечество в целом обнаруживает то же.

Эйнштейн задал вопрос, который мы, пожалуй, и сами могли бы себе задать, узнав о силе всемирного тяготения: с какой силой Солнце может притягивать к себе Землю, если они не касаются друг друга и не действуют ни на какую среду между ними? Эйнштейн стал искать правдоподобное объяснение. Он представил себе, что Солнце и Земля не притягиваются напрямую, но оба постепенно изменяют что-то такое, в чем сами находятся. А поскольку вокруг них нет ничего, кроме пространства и времени, он заключил, что Солнце и Земля как-то изменяют пространство и время вокруг себя – вроде как тело, погруженное в воду, приводит воду вокруг себя в движение. А изменение структуры времени, в свою очередь, оказывает влияние на движение всех тел, заставляя одни “падать” на другие⁵.

Что означает “изменить структуру времени”? Это означает то самое замедление, о котором шла речь выше: всякое тело замедляет время около себя. У Земли большая масса, и она замедляет время рядом с собой. Больше в долине, меньше – на горé, потому что гора дальше от земли. И поэтому друг, живущий в долине, стареет медленнее.

Если предметы падают, то и время замедляется. Там, где время течет равномерно, в межпланетном пространстве, там и предметы не падают, а просто плавают себе, не испытывая притяжения. А здесь же, на поверхности нашей планеты, их движение, естественно, направлено туда, где время течет медленнее всего; так, когда мы бежим по пляжу к морю, сопротивле-

⁵ В этом суть общей теории относительности: Einstein A. *Die Grundlage der allgemeinen Relativitätstheorie* // *Annalen der Physik*, 49, 1916, pp. 769–822. (См.: Эйнштейн А. *Основы общей теории относительности* // Собрание научных трудов: В 4 т. / Под ред. И. Е. Тамма, Я. А. Смородинского, Б. Г. Кузнецова. М.: Наука, 1965. Т. 1. С. 452–505. – *Прим. перев.*)

ние воды, действуя на наши ноги, заставляет нас падать лицом прямо в волны. Все предметы падают вниз, потому что внизу Земля замедляет течение времени⁶.

Хотя это замедление времени и не очень легко заметить, оно все-таки приводит ко вполне зримым последствиям: благодаря ему тела падают вниз, а мы сами твердо стоим на ногах. И если ноги опираются о землю, то именно по той причине, что все наше тело стремится в область наибольшего замедления времени, а время течет медленнее для ног, чем для головы.

Странно? Не так ли на закате, при взгляде на радостно уходящее за горизонт солнце, на его постепенно гаснущие в далеких облаках лучи, нам вдруг приходит в голову, что это не Солнце движется, а Земля вращается, и тогда мы, словно обезумев, мысленным взором окидываем всю нашу планету – и себя самих на ней, – поворачивающуюся вспять, прочь от Солнца. Подобно дураку с холма из песни Пола Маккартни⁷, как это часто случается с иными безумцами, мы можем заглянуть намного дальше, чем обычно видят наши затуманенные повседневностью глаза.

Десять тысяч танцующих Шив

Я всегда восхищался Анаксимандром, древнегреческим философом, жившим двадцать шесть веков назад и внезапно догадавшимся, что Земля висит в пространстве, ни на что не опираясь⁸. Что думал Анаксимандр, мы знаем благодаря другим, рассказавшим нам об этом, из его сочинений сохранился лишь один фрагмент. Вот этот:

А из каких [начал] вещам рождение, в те же самые и гибель совершается по роковой задолженности, ибо они выплачивают друг другу правозаконное возмещение неправды [= ущерба] в назначенный срок времени⁹.

“В назначенный срок времени” (κατὰ τὴν τον~ χρόνον τάξις). От одного из исходных моментов науки о природе нам не осталось ничего, кроме неясных слов, вызывающих священный трепет, – этого намека на “срок времени”.

Астрономия и физика росли и развивались в соответствии с указанием Анаксимандра: понимать, как случаются события в *назначенный срок времени*. Античная астрономия описывала движения звезд *во времени*. Уравнения физики описывают, как изменяются вещи *во времени*. От уравнений Ньютона, на которых строится классическая механика, уравнений Максвелла, описывающих электромагнитные явления, и уравнения Шрёдингера, описывающего, как развиваются квантово-механические явления, до уравнений квантовой теории поля, описывающих поведение субатомных частиц, – вся наша современная физика представляет собой науку об эволюции вещей “в назначенный срок времени”.

В соответствии с давней традицией обозначим время латинской буквой *t* (слово “время” начинается на *t* во французском, английском и испанском языках, но не в немецком, арабском, русском или китайском). Что означает *t*? Оно означает число, которое мы узнаем, когда посмотрим на часы. Уравнения нам говорят, как изменяются вещи с течением времени, измерением нашими часами. Но если разные часы показывают разное время, как мы убедились

⁶ В приближении слабого поля мы можем написать для метрики $ds^2 = (1+2\phi(x))dt^2 - dx^2$, где $\phi(x)$ – ньютонов потенциал. Ньютоновская гравитация возникает из временной компоненты метрики, g_{00} , то есть из локального замедления времени. Геодезические этой метрики описывают падение тел – это кривые, направленные к минимуму потенциала, то есть туда, где больше всего замедляется время. (Это и другие подобные пояснения – для тех, кто знаком с теоретической физикой.)

⁷ “But the fool on the hill / sees the sun going down, / and the eyes in his head / see the world spinning ‘round...” (“А дурак на горе, / весь в закатной дали, / зрит очами во лбу / обращенье Земли...” Перевод Д. Ю. Манина. – *Прим. перев.*)

⁸ Rovelli C. *Che cos'è la scienza. La rivoluzione di Anassimandro*. Milano: Mondadori, 2011.

⁹ В 1 ДК. Цит. по: *Фрагменты ранних древнегреческих философов*. Ч. 1 / Ред. [и перев.]: А. В. Лебедев. М.: Наука, 1989. С. 127. – *Прим. перев.*

выше, что тогда означает t ? Когда встречаются два друга, один из которых жил на равнине, а другой в горах, часы у них на запястьях показывают разное время. Какое из двух правильное t ? В физической лаборатории часы идут с разной скоростью, если одни лежат на столе, а другие на полу: какие из двух показывают правильное время? Как нам описать разницу в их показаниях? Мы должны сказать, что часы на полу отстают относительно истинного времени, измеряемого на столе? Или что часы на столе спешат относительно истинного времени, измеряемого на полу?

Этот вопрос лишен смысла. Это как спросить, что *более истинно* – стоимость фунта стерлингов в долларах или стоимость доллара в фунтах стерлингов? Нет никакой *истинной* стоимости, а есть две монеты, обладающих определенной стоимостью *по отношению друг к другу*. Ни одна из них не может быть более истинной, чем другая.

Но тут хуже: у нас не то чтобы *два* времени, у нас их *легионы*. Свое время для каждой точки пространства. Нет единого времени. “Времен” бесконечно много.

Время, показанное какими-то определенными часами, относится к какому-то определенному явлению и называется в физике “собственным временем”. Каждые часы предлагают свое собственное время. Всякое явление развивается в своем собственном времени, своем собственном ритме.

Эйнштейн научил нас получать уравнения, описывающие, как *собственное время одного явления развивается по отношению к собственному времени другого*. Он показал нам, как вычислить разницу между ними¹⁰.

Единая мера – “время” – разворачивается в целую паутину разных “времен”. Мы не описываем, как мир развивается во времени, мы описываем только, как разные предметы развиваются в своем локальном времени и как одно локальное время развивается *по отношению* к другому. Мир совсем не похож на взвод солдат, дружно шагающих по команде сержанта. Он как сеть, сотканная из событий, влияющих друг на друга.

Так изображается время в общей теории относительности Эйнштейна. В ее уравнение входит не одно какое-то время, а времена в неисчислимых количествах. Между двумя событиями, при которых, например, разлучаются, а потом встречаются вновь двое часов, протяженность отнюдь не одна¹¹. Физика не описывает, как развиваются события “во времени”. Напротив, она описывает, как развиваются события в своем времени каждое и как развивается *одно время по отношению к другому*¹².

Время потеряло свой первый привычный нам атрибут – свою единственность. В каждом месте у времени свой ритм и свой шаг. Сплетаются в танце с разными ритмами разные вещи. Если мир управляется танцующим Шивой, то Шива должен быть не единственным, должны быть десятки тысяч Шив, объединенных общим танцем, словно на картине Матисса...

¹⁰ Например: $t_{\text{стол}} - t_{\text{на земле}} = 2gh/c^2 t_{\text{на земле}}$, где c – это скорость света, $g = 9,8 \text{ м/с}^2$ – галилеевское ускорение (ускорение свободного падения) и h – высота стола.

¹¹ Они могут также описываться единой переменной t , “временной координатой”, но она ничего не скажет вам о том времени, которое измеряется часами (и определяется величиной ds , а не величиной dt), и его можно произвольно изменять, никак не изменяя описываемый мир. Это t не представляет собой никакой физической переменной. А то, что измеряют часы, это их собственное время на мировой линии γ , для которого мы можем написать выражение $t_\gamma = \int_\gamma (g_{ab}(x) dx^a dx^b)^{1/2}$. Физическая связь между этим выражением и величиной $g_{ab}(x)$ будет предметом обсуждения ниже.

¹² Лексическое замечание. Слово “время” мы употребляем в различных значениях, хотя и связанных друг с другом, но все же несхожих: 1) Время как философская категория, отражающая свойство событий следовать друг за другом (“Время неумолимо”). 2) Время как более или менее протяженный интервал в этой последовательности (“Цветущее время весны”). 3) Время как протяженность (“Сколько времени ты ждешь?”). 4) Время как некий определенный момент (“Настало время отправляться”). 5) Время как переменная, служащая мерой продолжительности (“Ускорение – это производная скорости по отношению ко времени”). На протяжении книги слово “время” используется во всех этих значениях без специальных оговорок. Если возникают недоразумения, перечитывайте эту сноску.

Глава 2

Утрата направления

*Когда и нежнее Орфея,
что деревья музыкой трогал,
ты заиграл бы на цитре,
и то не согрел бы крови
бесплотной тени...
Тяжкая участь, но легче становится,
если смириться с теми вещами,
которым обратный ход невозможен*

(i 24)

Откуда взялся вечный поток?

Часы идут с разной скоростью на горé и в долине, но разве этим время для нас по-настоящему интересно? Вода в реке тоже у берегов движется медленнее, а в середине быстрее, но это все равно поток... И время – разве оно не бежит без остановки от прошлого к будущему? Оставим вопрос о точном измерении минувшего времени, которым я занимался в предыдущей главе, – каким *числом* измеряется время. Есть кое-что поважнее – его бег, течение, *вечный поток* из “Дуинских элегий” Рильке:

...Вечный поток омывает
Оба царства, и всех он влечет за собою,
Там и тут заглушая любые звучанья¹³.

Прошлое и настоящее отличаются друг от друга. Причина предшествует следствию. Боль возникает вслед за полученным ранением, а не предшествует ему. Бокал разбивается на тысячи осколков, но тысячи осколков не складываются в бокал. Прошлое нам не дано изменить, хотя дано хранить по поводу прошедшего сожаление, раскаяние, воспоминания о пережитых моментах счастья. Будущее – напротив, ненадежная область ожиданий, надежд, беспокойства; открытая зона возможной судьбы. Мы можем ради него жить, выбирать его себе, каким хотим, его же еще нет, все еще возможно... Время не похоже на линию, оба направления вдоль которой одинаковы: это стрела, и два ее конца не сходны.



прошлое



будущее

¹³ Rilke R. M. *Duineser Elegien*, in *Sämtliche Werke*, Insel, Frankfurt a. M., vol. I, 1955, I, vv. 83–85 (рус. пер. В. Б. Микушевича; цит. по: Rainer Maria Rilke / Райнер Мария Рильке. *Duineser Elegien / Дуинские элегии* 1912–1922. Мюнхен; Москва: Im Werden Verlag, 2002. С. 6. – Прим. перев.)

И это именно то, что находится в самом сердце времени в гораздо большей степени, чем скорость его течения. Тут сердце времени. Превращение будущего в прошлое мы чувствуем кожей, заботы о грядущем загадочным образом уступают место воспоминаниям о прожитом; в этом превращении главная тайна, суть того, о чем мы думаем, говоря о времени. Что же именно протекает мимо? Как эта субстанция скрыта в грамматике нашего мира? Что отличает прошлое – и то, что оно уже случилось, – от будущего – и того, что оно еще не наступило, – в слаженной работе механизмов нашего мира? Почему прошлое так не похоже на наше будущее?

Физика XIX и XX веков столкнулась с этими вопросами и в попытках ответить на них пришла к неожиданным и обескураживающим выводам – куда более странным, чем тот факт, что время в разных местах течет с разной скоростью. Вся разница между прошлым и будущим, между причиной и следствием, между воспоминанием и надеждой, между раскаянием и намерением... в основополагающих законах, определяющих функционирование нашего мира, просто отсутствует.

Теплота

Все началось с цареубийства. 16 января 1793 года Национальный конвент в Париже проголосовал за смертную казнь короля Людовика XVI. Вероятно, глубокий корень науки – это мятеж: не признавать сложившийся порядок¹⁴. Среди тех, кто объявлял об итогах рокового голосования, был Лазар Карно, друг Робеспьера. Лазар восхищался великим персидским поэтом Саади Ширази, тем самым поэтом, которого в Акко захватили в плен крестоносцы и продали в рабство, тем самым, чьи великолепные стихи украшают здание ООН:

Одно сынов Адама естество,
Ведь все они от корня одного.

Постигнет одного в делах расстройство,
Всех остальных охватит беспокойство.

Тебе, не сострадающий другим,
Мы имя человека не дадим¹⁵.

Вероятно, другой глубокий корень науки – поэзия: видеть за пределами видимого. В честь Саади Карно дал своему первому сыну имя Сади. Так он и появился, из мятежа и из поэзии, – Сади Карно.

Юноша страстно увлекался паровыми машинами, которые как раз в начале XIX века начинали менять мир, приводя вещи в движение силой огня.

¹⁴ Французская революция – один из моментов величайшего взлета научной мысли. Именно тогда были заложены основы химии, биологии, аналитической механики и многих других наук. Социальная революция разворачивалась рука об руку с научной. Первый революционный мэр Парижа был астрономом, Лазар Карно – математиком, Марат считал себя прежде всего физиком. Лавуазье активно участвовал в политической жизни, Лагранжа привлекали к участию в различных правительствах, сменявших друг друга в тот бурный и блистательный период человеческой истории. См.: Jones S. *Revolutionary Science: Transformation and Turmoil in the Age of the Guillotine*. New York: Pegasus, 2017.

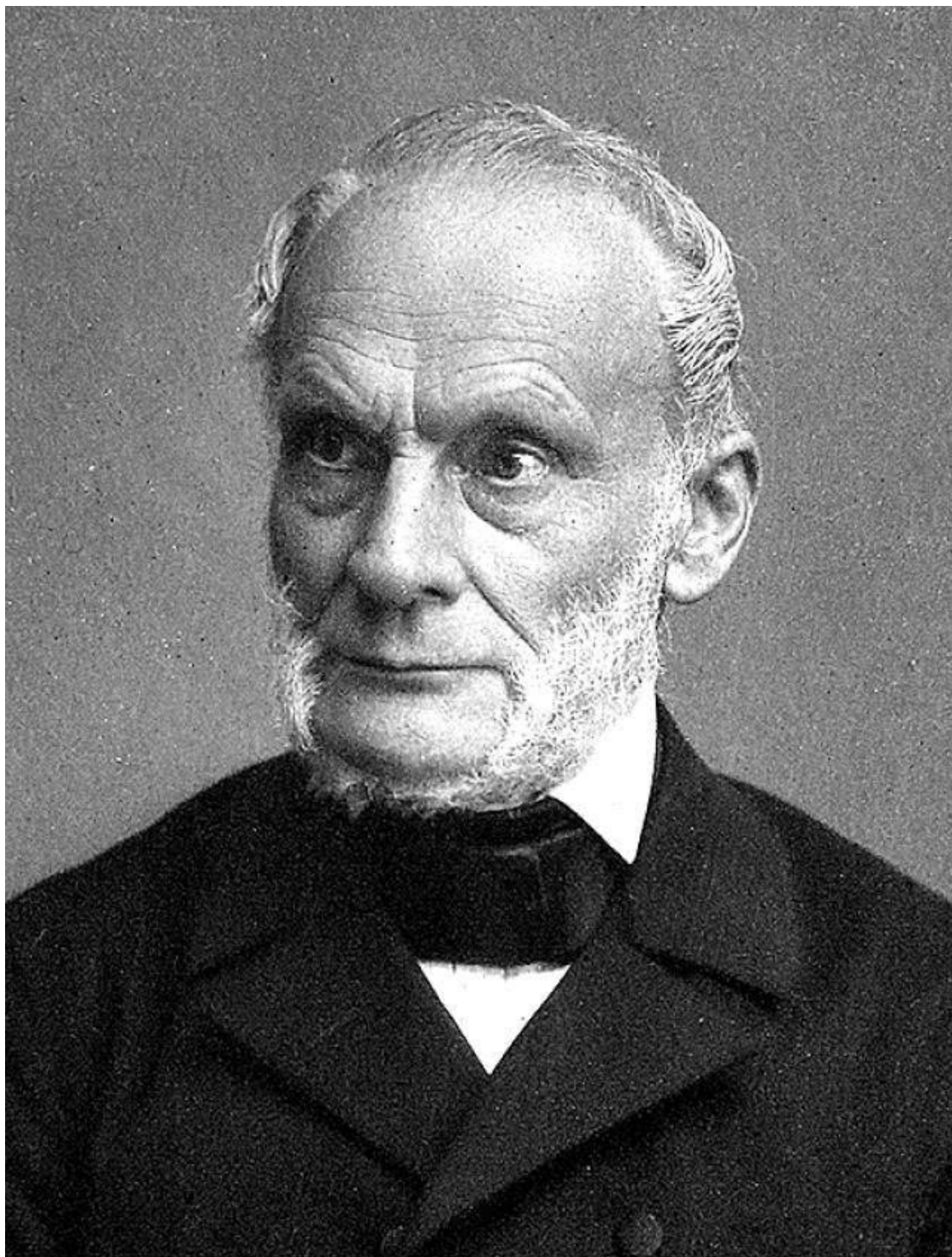
¹⁵ Рус. пер. А. Старостина. Цит. по: Муширфаддин Саади. *Гулистан (Розовый сад)* / Под ред.: А. Бертельс, С. Шервинский; подготовка текста, вступ. статья, примеч.: Р. Алиев. М.: Гослитиздат, 1957. С. 60. – *Прим. перев.*

В 1824 году он написал небольшой трактат с заманчивым названием “Размышления о движущей силе огня”¹⁶, посвященный поискам теоретических принципов работы таких машин. Этот трактат полон ошибочных идей: в нем тепло представляется какой-то конкретной вещью, своего рода жидкостью, которая производит энергию, когда “падает” от нагретого тела к холодному, подобно тому как вода, переливаясь через запруду, производит энергию при падении с высоты вниз. Но ключевая идея была верна: паровая машина в конечном счете работает именно потому, что тепло от нагретого тела переходит к ненагретому.

Трактат в итоге попал в руки строгого прусского профессора с вдохновенным взором – Рудольфа Клаузиуса. Он ухватил суть и дал первую формулировку закона, которому предстояло стать знаменитым: если ничто вокруг не изменяется, то тепло не может передаваться от холодного тела к горячему.

Принципиальное различие с падающими предметами: мяч может упасть, а потом вернуться на место, например, отскочив. А тепло – нет. Провозглашенный Клаузиусом закон – единственный общий закон в физике, который отличает прошлое от будущего.

¹⁶ См. рус. пер.: Карно Н. Л. С. *Размышления о движущей силе огня и о машинах, способных развивать эту силу* / Под ред.: С. Э. Фриш, В. Р. Бурсиан; примеч.: В. Р. Бурсиан, Ю. А. Крутков. М.; Пг.: Госиздат, 1923. – Прим. перев.



Никакой другой закон этого не делает: ни законы механического мира Ньютона, ни уравнения электрических и магнитных сил Максвелла, ни релятивистские уравнения гравитационного поля Эйнштейна, ни уравнения квантовой механики Гейзенберга, Шрёдингера и Дирака, ни уравнения квантовой теории поля XX века... Среди всех этих уравнений нет *ни одного* такого, чтобы прошлое и будущее различались¹⁷. Если какая-то последовательность событий допускается этими уравнениями, то ими же допускается и та же самая последователь-

¹⁷ Можно поменять знак магнитного поля в уравнениях Максвелла или заряд и четность элементарных частиц. То есть для частиц справедлива СРТ-инвариантность (зарядовое сопряжение, четность и обращение времени).

ность, но проигранная в обратном порядке во времени¹⁸. В элементарных уравнениях этого мира¹⁹ стрела времени появляется только тогда, когда есть *тепло*²⁰. Связь тепла и времени исключительно крепкая: каждый раз, когда проявляется различие прошлого и будущего, происходит это благодаря теплу. Во всех последовательностях явлений, оказывающихся абсурдными при проигрывании наоборот, что-то да нагревается.

Если в фильме мы видим катящийся мяч, то мы не можем сказать, в правильном направлении прокручивается пленка или в обратном. Но если в фильме мяч замедляется и останавливается, то мы сразу видим, что направление проигрывания верно, потому что при обратном проигрывании мы увидели бы нечто неправдоподобное: как мяч сам по себе начинает двигаться. Замедление и остановка мяча – следствие трения, в результате которого выделяется тепло. Только выделившееся тепло и позволяет нам сказать, где тут прошлое, а где настоящее. И мысли у нас в голове разворачиваются от прошлого к будущему, а не наоборот, потому что в действительности от них в голове выделяется тепло...

Клаузиус ввел новую физическую величину для измерения этого необратимого движения тепла только в одном направлении и, будучи по-немецки солидно образованным, дал ей имя, заимствованное из греческого, – *энтропия*:

Я предпочитаю выбирать для названий важнейших научных понятий слова из древних языков, чтобы они одинаково звучали во всех живых языках. Предлагаю, таким образом, называть величину S *энтропией* тела, образуя это слово от греческого ἔντροπῆ, “преобразование”²¹.

¹⁸ Уравнения ньютоновской динамики говорят нам, как ускоряются тела, а ускорение не изменяется при просмотре фильма в обратном направлении. Ускорение камня, брошенного вверх, в точности такое же, как ускорение камня, падающего вниз. Если представить себе многие годы, проигранные назад, то Луна будет двигаться вокруг Земли в противоположном направлении, однако видимая сила их взаимного притяжения останется той же.

¹⁹ Этот вывод сохраняется и при введении в рассмотрение квантовой гравитации. О попытках понять, откуда берется направление времени, можно узнать, например, из книги: Zeh H. D. *Die Physik der Zeitrichtung*. Berlin: Springer, 1984.

²⁰ Строго говоря, стрела времени появляется и для тех явлений, когда нет прямой связи с теплом, но есть некоторые принципиальные аспекты, связывающие их с теплотой. Например, при использовании запаздывающих потенциалов в электродинамике. Все последующее, в особенности сделанные выводы, относится также и к ним. Но я предпочитаю не утяжелять повествования дроблением на специальные случаи.

²¹ Clausius R. *Über verschiedene für die Anwendung bequeme Formen der Hauptgleichungen der mechanischen Wärmetheorie II* Annalen der Physik, 125, 1865, ss. 353–400. Здесь цитируется с. 390.

Wärme- und Werkinhalt des Körpers, von der Gröfse S sagen, sie sey der *Verwandlungsinhalt* des Körpers. Da ich es aber für besser halte, die Namen derartiger für die Wissenschaft wichtiger Gröfßen aus den alten Sprachen zu entnehmen, damit sie unverändert in allen neuen Sprachen angewandt werden können, so schlage ich vor, die Gröfse S nach dem griechischen Worte $\eta \tauροπη$, die Verwandlung, die *Entropie* des Körpers zu nennen. Das Wort *Entropie* habe ich absichtlich dem Worte *Energie* möglichst ähnlich gebildet, denn die beiden Gröfßen, welche durch diese Worte benannt werden sollen, sind ihren physikalischen Bedeutungen nach einander so nahe verwandt, dafs eine gewisse Gleichartigkeit in der Benennung mir zweckmäfsig zu seyn scheint.

Fassen wir, bevor wir weiter gehen, der Uebersichtlichkeit wegen noch einmal die verschiedenen im Verlaufe der Abhandlung besprochenen Gröfßen zusammen, welche durch die mechanische Wärmetheorie entweder neu eingeführt sind, oder doch eine veränderte Bedeutung erhalten haben, und welche sich alle darin gleich verhalten, dafs sie durch den augenblicklich stattfindenden Zustand des Körpers bestimmt sind, ohne dafs man die Art, wie der Körper in denselben gelangt ist, zu kennen braucht, so sind es folgende sechs: 1) der *Wärmeinhalt*, 2) der *Werkinhalt*, 3) die Summe der beiden vorigen, also der *Wärme- und Werkinhalt* oder die *Energie*; 4) der *Verwandlungswerth* des Wärme-

Страница из статьи Клаузиуса, где появляются и понятие, и обозначающее его слово “энтропия”. Уравнение дает математическую формулировку для изменения энтропии тела $S - S_0$ как суммы (интеграла) порций тепла, отданных телом при температуре T .

Энтропия по Клаузиусу – это измеримая и вычисляемая²² физическая величина, обозначаемая буквой S . Она может расти или оставаться постоянной, но *никогда не уменьшается*, если только процесс протекает изолированно. Чтобы обозначить, что она никогда не уменьшается, пишут:

$$\Delta S \geq 0$$

Формула читается так: “Дельта S всегда больше либо равна нулю”. Это неравенство называют вторым началом термодинамики (первое начало – это сохранение энергии). Его содержание сводится к тому, что тепло само по себе может перетекать только от горячего тела к холодному, и никогда не наоборот.

²² А именно как количество теплоты, отдаваемой телом, деленное на температуру. Когда нагретое тело отдает часть своего тепла холодному, то полная энтропия растет, поскольку из-за разницы температур покидающая нагретое тело энтропия меньше, чем передаваемая холодному. Когда температура всех тел выравнивается, энтропия достигает своего максимума: мы достигаем равновесия.

Простите мне эту формулу. Она единственная в книге. Это формула стрелы времени, я не мог обойтись без нее в своей книге о времени.

Это единственная формула фундаментальной физики, в которой заложено различие прошлого и будущего. Единственная, говорящая нам о течении времени. В этой необычной формуле скрыт весь мир.

Обнаружит это один симпатичный и неудачливый австрияк, племянник часовых дел мастера, романтик с трагической судьбой Людвиг Больцман.

Расфокусировка

Именно Людвиг Больцман первым начал понимать, что скрывается в формуле $\Delta S \geq 0$, подтолкнув нас к одному из самых головокружительных полетов навстречу более ясному пониманию таинственной грамматики мира.

Людвиг работал в Граце, Гейдельберге, Берлине, Вене и снова в Граце. Он сам говорил о себе, что такая непоседливость у него оттого, что он родился во вторник начала карнавала. Это шутка наполовину: непоседливость в его характере дополнялась переменчивостью. Обладая нежным сердцем, Больцман то переживал воодушевление, то впадал в депрессию. Он был невысок ростом, полного телосложения, темные волосы свивались в кудри, борода была вечно всклокочена. Дочь говорила про него: “Мой милый добрый толстяк”. Это он, Людвиг, сам стал жертвой течения времени.

Сади Карно думал, что тепло – это какая-то субстанция, жидкость. Он ошибался. Тепло – это микроскопические возбуждения молекул. Горячий чай – это чай, в котором молекулы сильно возбуждены. А холодный чай – это чай, в котором молекулы не очень возбуждены. В кубике льда, который еще холоднее, молекулы движутся еще спокойнее.

Конец ознакомительного фрагмента.

Текст предоставлен ООО «ЛитРес».

Прочитайте эту книгу целиком, [купив полную легальную версию](#) на ЛитРес.

Безопасно оплатить книгу можно банковской картой Visa, MasterCard, Maestro, со счета мобильного телефона, с платежного терминала, в салоне МТС или Связной, через PayPal, WebMoney, Яндекс.Деньги, QIWI Кошелек, бонусными картами или другим удобным Вам способом.