





# ТРАЕКТОРИЯ

ФОНД ПОДДЕРЖКИ НАУЧНЫХ,  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ И КУЛЬТУРНЫХ  
ИНИЦИАТИВ

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.

[www.traektoriafdn.ru](http://www.traektoriafdn.ru)



# Оглавление

Пролог .....	11
Глава 1. Путешествие по Британии .....	17
Глава 2. Движущая сила огня .....	25
Глава 3. Замысел Творца .....	45
Глава 4. Долина Клайда .....	58
Глава 5. Главная задача физики .....	68
Глава 6. Тепловой поток и конец времени .....	80
Глава 7. Энтропия .....	94
Глава 8. Движение, которое мы называем теплотой .....	109
Глава 9. Столкновения .....	119
Глава 10. Подсчет способов .....	135
Глава 11. “Страшная туча” .....	160
Глава 12. Больцмановский мозг .....	177
Глава 13. Кванты .....	185
Глава 14. Сахар и пыльца .....	199
Глава 15. Симметрия .....	214
Глава 16. Информация материальна .....	229

Глава 17. Демоны .....	256
Глава 18. Математика жизни .....	271
Глава 19. Горизонт событий .....	298
Эпилог .....	327
<i>Благодарности</i> .....	333
<i>Приложение 1. Цикл Карно</i> .....	335
<i>Приложение 2. Как Клаузиус примирил закон     сохранения энергии с идеями Сади Карно</i> .....	343
<i>Приложение 3. Четыре начала термодинамики</i> ...	349
<i>Примечания</i> .....	351
<i>Библиография</i> .....	385
<i>Предметно-именной указатель</i> .....	391

*Посвящается Джозефу и Нейтану*



# Пролог

Страшным словом “термодинамика” называется, пожалуй, самая полезная и универсальная научная теория из всех когда-либо созданных.

Судя по названию, это узкая научная дисциплина, которая занимается исключительно поведением теплоты. Истоки теории действительно таковы, но она разрослась гораздо шире и теперь дает нам способ постичь загадки Вселенной.

В ее основе лежат три понятия: энергия, энтропия и температура. Если бы люди не представляли их себе и не знали законов, которым они подчиняются, остальная наука — физика, химия и биология — была бы несостоятельной. Законы термодинамики управляют всем — от атомов до живых клеток, от двигателей, питающих энергией мир, до черной дыры в центре галактики. Термодинамика объясняет, почему нам необходимо есть и дышать, как включается свет и каким будет конец Вселенной.

Термодинамика — это область знаний, на которой основан современный мир. После ее открытия человечество сделало самый большой в своей истории шаг вперед. Мы живем дольше, а наше здоровье крепче, чем когда-либо ранее. Большинство детей, которые рождаются сегодня, становятся взрослыми. Хотя в настоящем хватает проблем, мало кто из нас согласился бы поменяться местами со своими предками. Все это



объясняется не только термодинамикой, но без нее ничего бы не вышло. От канализационных насосов до реактивных двигателей, от надежного снабжения электроэнергией до биохимии спасающих жизни лекарств — все технологии, которые мы воспринимаем как должное, требуют, чтобы мы понимали, что такое энергия, температура и энтропия.

И все же, несмотря на свою важность, термодинамика остается Золушкой среди наук. С ней поверхностно знакомятся в курсе школьной физики, причем об энтропии — ключевой концепции для понимания Вселенной — на уроках упоминается лишь вскользь.

Я впервые столкнулся с термодинамикой на втором курсе бакалавриата, когда учился на инженера в Кембриджском университете, и тогда мне показалось, что термодинамика имеет ценность лишь при проектировании автомобильных двигателей, паровых турбин и холодильников. Если бы мне сказали, что она дает универсальный способ понимать всю науку, то я бы, вероятно, уделил ей больше внимания. Большинство взрослых знакомится с темой подобным образом: даже люди, которые считают себя образованными, не знают о величайшем научном достижении человечества. Мы считаем калории, оплачиваем счета за электроэнергию, беспокоимся о температуре на планете, но даже не понимаем принципов, которые лежат в основе всего этого.

Термодинамика кажется Золушкой и тогда, когда речь заходит о трудах Эйнштейна. Все признают революционный характер его открытий, но мало кто понимает, в какой степени его работа основана на термодинамике и какой большой вклад он сам внес в эту сферу. В 1905 году, который прозвали “годом чудес”, он опубликовал четыре статьи, совершившие переворот в физике, включая статью с формулой  $E = mc^2$ . Нельзя сказать, что эта работа появилась из ниоткуда, ведь за предыдущие три года Эйнштейн опубликовал три статьи по термодинамике, и первые статьи “года чудес” — об атомном строении вещества и о квантовой природе света — стали

продолжением этих исследований. В третьей статье “года чудес”, заложившей фундамент специальной теории относительности, он вдохновлялся термодинамикой в своем подходе к физике, а в четвертой, содержащей формулу  $E = mc^2$ , объединял ньютоновское понятие массы с термодинамическим понятием энергии.

Эйнштейн сказал о термодинамике: “Это единственная физическая теория общего содержания, относительно которой я убежден <...> она никогда не будет опровергнута”.

Проявляя интерес к термодинамике, Эйнштейн не ограничивался ее ролью в фундаментальной и теоретической физике. Он также изучал ее практическое применение. В конце 1920-х годов он занимался разработкой холодильников, надеясь сделать их дешевле и безопаснее доступных в то время. Этот малоизвестный эпизод его биографии нельзя назвать странным отклонением от курса: Эйнштейн посвятил проекту несколько лет и сумел договориться о его финансировании с компаниями-разработчиками AEG и *Electrolux*. Интерес к холодильникам проснулся у Эйнштейна в 1926 году, когда он прочитал в берлинской газете статью о семье с несколькими детьми, которая погибла из-за смертоносных газов, испускаемых неисправным холодильником. Узнав об этом, Эйнштейн запустил проект по разработке более безопасных устройств.

Термодинамика не просто великая наука. Она имеет и великую историю.



В начале 2012 года я работал над документальным телефильмом и наткнулся на тонкую книжицу “Размышления о движущей силе огня и о машинах, способных развивать эту силу”, которую в 1824 году на собственные деньги опубликовал в Париже молодой француз Сади Карно, живший затворником.

Карно умер от холеры в возрасте 36 лет, полагая, что его труды будут забыты. Однако через два десятилетия после

смерти его уже считали отцом-основателем термодинамики. Позже в XIX веке великий физик лорд Кельвин сказал о работе Карно: “Этот короткий очерк стал поистине epochальным подарком науке”.

Книга увлекла и меня. Работа Карно не похожа на другие труды по фундаментальной физике: в ней алгебраические выкладки и физические наблюдения сочетаются с размышлениями о строительстве счастливого и справедливого общества. Карно, которого глубоко волновала судьба человечества, считал науку ключом к прогрессу.

Исследования Карно также стали ответом на масштабные социальные изменения в Европе начала XIX века. В этом отношении “Размышления” оказались в равной степени продуктом двух революций — Великой французской и промышленной — и блестящего ума Карно. Затем я стал читать об ученых, которые перехватили у него эстафету, и увидел, что происходящее в мире оказывало влияние на труды каждого из них. История термодинамики рассказывает не только о том, как люди приобретают научное знание, но и о том, как это знание формируется под влиянием общества и, в свою очередь, принимает участие в формировании этого общества.

В настоящей книге утверждается, что история науки имеет огромное значение. Исследователи, раздвигающие горизонты наших знаний, гораздо важнее генералов и монархов. В связи с этим на страницах своей книги я собираюсь прославить героев и героинь науки и представить их стремление докопаться до истины о сущности Вселенной как величайшее творческое предприятие. Сади Карно, Уильям Томсон (лорд Кельвин), Джеймс Джоуль, Герман фон Гельмгольц, Рудольф Клаузиус, Джеймс Клерк Максвелл, Людвиг Больцман, Альберт Эйнштейн, Эмми Нётер, Клод Шеннон, Алан Тьюринг, Джейкоб Бекенштейн и Стивен Хокинг входят в число умнейших людей в истории. Узнав об их работе, мы получим способ осознать и оценить одно из величайших достижений человеческого разума.

Людвиг Больцман, один из героев этой истории, выразился так:

Прекрасно, должно быть, командовать миллионами людей в великих государственных начинаниях и вести сотню тысяч человек к победе в битве. Но мне кажется, что еще важнее открывать фундаментальные истины, сидя в скромной комнате и будучи стесненным в средствах, ведь эти истины останутся основой человеческого знания, когда память о битвах сохранится лишь в архивах кропотливого историка.