

# 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 |
| <br>  |     |
| <i>Благодарности</i> .....  | 333 |
| <i>Приложение 1. Цикл Карно</i> .....   | 335 |
| <i>Приложение 2. Как Клаузиус примирил закон<br/>    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 |

# Глава 1

## Путешествие по Британии

*Количество паровых двигателей  
непомерно возросло.*

Французский экономист  
и предприниматель Жан-Батист Сэй  
после визита в Британию

Девятнадцатого сентября 1814 года Жан-Батист Сэй, 47-летний французский предприниматель и экономист, на два с половиной месяца отправился с разведывательной миссией в Британию. Тремя месяцами ранее Наполеона сослали на остров Эльба в Средиземном море, и французская торговая блокада северного соседа прекратилась. Новое правительство в Париже ухватилось за возможность изучить причины британского экономического подъема, и Жан-Батист Сэй оказался идеальным человеком для выполнения этой задачи. Подростком Сэй два года прожил в Британии, где работал в конторах различных британских торговых компаний, постепенно осваивая английский язык. После этого он вернулся на текстильную фабрику на севере Франции и стал публиковать работы по экономике, что помогло ему изучить как практические, так и теоретические аспекты торговли.

Разведывательная миссия Сэя не была ни опасной, ни тайной. Он не скрывал причины своего пребывания в Британии. Общительный англофил, он путешествовал по стране, посещая шахты, заводы и порты, а на досуге — театры и загородные дома. Вспоминая свой прошлый визит, с которого прошло уже 26 лет, Сэй отмечал, что страна преобразилась. Его путешествие началось в Фулхэме, поселке к западу от Лон-

дона, где он жил в юности. Там все изменилось до неузнаваемости. Везде стояли новые дома, а на месте луга, по которому он любил гулять много лет назад, пролегла торговая улица.

Для Сэя преобразование Фулхэма стало наглядным примером того, что в XVIII веке случилось со всей страной. Численность населения Британии резко возросла с 6 до 9 миллионов человек, и эти люди питались и одевались лучше всех в Европе, получая самые высокие жалованья. Торговля тоже процветала — Сэй отметил, что число судов в лондонском порту увеличилось втрое, до трех тысяч. В других регионах он видел новые каналы и газовое освещение на городских улицах. Он осмотрел сталелитейный завод по производству деталей станков в Бирмингеме, семиэтажную текстильную фабрику в Манчестере, угольные шахты в районе Йорка и Ньюкасла, а также хлопкопрядильную фабрику в Глазго, где использовали паровую тягу. Ее владелец, некий Финли, так гордился своими машинами и так мало опасался потенциальной французской конкуренции, что сам показал Сэю, как все работает.

Экономическое чудо питала британская хлопчатобумажная промышленность, экспортная ценность которой между первым визитом Сэя в 1780-х годах и миссией 1810-х возросла в 25 раз. Во Франции многие, включая приближенных Наполеона, полагали, что легче всего добиться сходного успеха, построив империю, — в конце концов, именно колонии давали Британии доступ к дешевому хлопку-сырцу. Сэй не разделял этого мнения. Он считал колониализм невыгодным в длительной перспективе и полагал, что ключом к британскому успеху служат технологические инновации. Особенно Сэя впечатлила одна технология: “Количество паровых машин повсюду непомерно возросло. Тридцать лет назад на весь Лондон их было две или три, а теперь — тысячи. <...> Более невозможно вести прибыльную промышленную деятельность, не имея их мощной поддержки”.

Паровая энергия произвела настоящую революцию в британской горнодобывающей промышленности. Шахты,

как колодцы, уходят глубоко в землю и подвержены затоплению. В предпромышленные времена насосы на лошадиной тяге не позволяли откачивать воду из шахт глубиной более нескольких метров. Кроме того, поскольку на год прокорма лошади необходимо около гектара земли, в Британии не хватало пастбищ для питания того количества лошадей, которое требовалось для ведения масштабного горного промысла. Но к 1820 году развитие паровой технологии привело к появлению двигателей, которые без труда откачивали воду из шахт глубиной более трехсот метров. В связи с этим стоимость добычи угля снизилась, что также привело к более широкому распространению железа, поскольку уголь — ключевой элемент в его производстве. В 1750–1805 годах объемы производства металла возросли в девять раз, с 28 до 250 тысяч тонн в год.



Паровая энергия в Британии начала XIX века была вездесуща, но все же не так инновационна, как казалось Сэю. Технология распространилась не потому, что британцы отличались особенной изобретательностью, а потому, что их страна была так богата углем, что даже плохо сконструированные и неэкономные двигатели оказывались прибыльными. Возьмем, например, двигатель, установленный на Капрингтонском руднике в 1811 году. Он работал по принципу, предложенному веком ранее английским изобретателем Томасом Ньюкоменом. В современном представлении паровой двигатель — это устройство, где давление горячего воздуха толкает поршень, но более ранние экземпляры правильнее называть вакуумными паровыми машинами. Создаваемое в их печах тепло сложным и неэффективным образом взаимодействует с выполняемой ими механической работой.

“Паровые машины Ньюкомена” работают следующим образом: жар от сжигаемого угля производит пар, который через выпускной клапан поступает в большой цилиндр, где

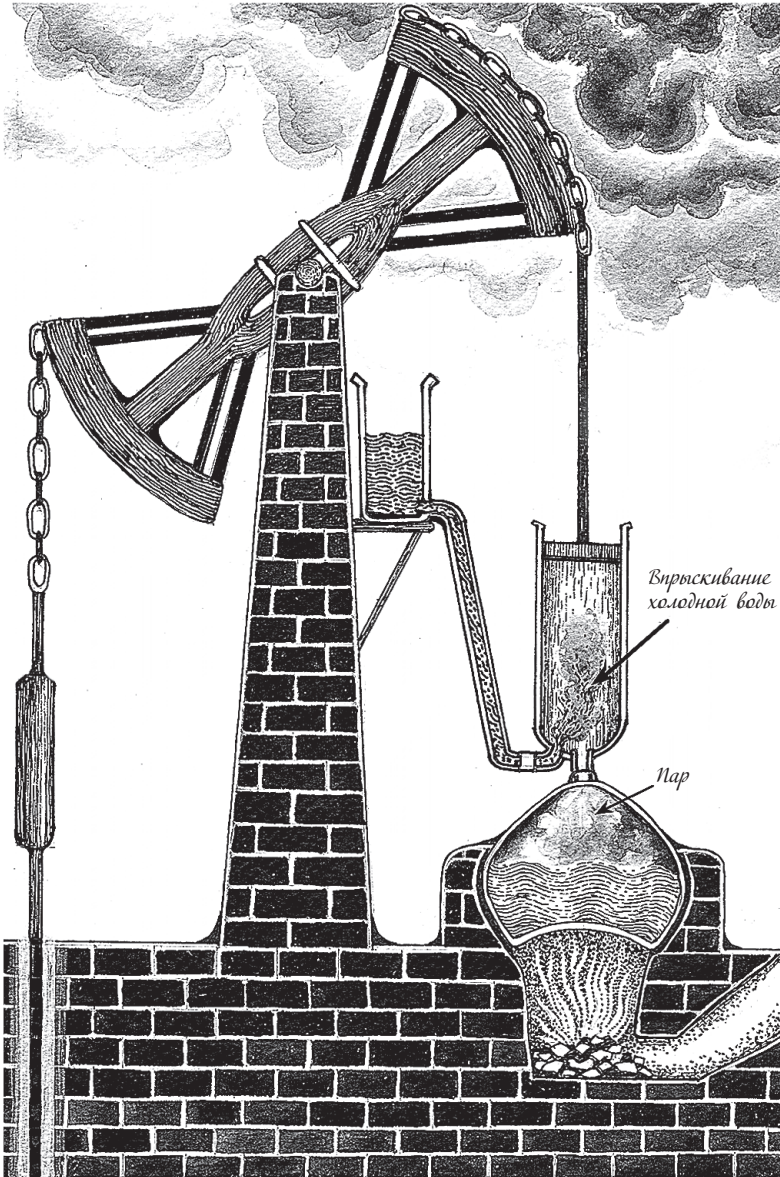
вверх и вниз ходит поршень. Сначала поршень находится в верхней части цилиндра. Когда цилиндр наполняется паром, впускной клапан закрывается. В цилиндр впрыскивается холодная вода, которая охлаждает пар, в результате чего он конденсируется в воду. Поскольку вода занимает гораздо меньше места, чем пар, под поршнем образуется частичный вакуум. Атмосферный воздух всегда пытается заполнить вакуум, и при таком раскладе у него есть лишь один способ для этого — опустить поршень вниз. Таков принцип действия машины. Пар в ней используется для создания вакуума, а работу выполняет направленное вниз атмосферное давление.

Чтобы пронаблюдать этот эффект, налейте немного воды в пустую банку из-под газировки и нагревайте банку, пока она не заполнится паром. В целях предосторожности поднимите банку щипцами — она будет горячей, — быстро переверните и погрузите в миску с ледяной водой. Пар конденсируется в воду, создаст в банке частичный вакуум, и давление земной атмосферы расплющит банку.

При работе описанной паровой машины этот процесс — наполнение цилиндра паром и конденсация пара в воду для создания частичного вакуума — повторяется снова и снова. В результате поршень ходит вверх и вниз, сообщая энергию насосу.

Паровые машины Ньюкомена потребляли огромное количество угля. Одна машина сжигала целый бушель — 84 фунта (38 кг) — угля, чтобы поднять 5–10 млн фунтов (2,5–4,5 млн кг) воды на один фут (0,3 м). Этот показатель — количество воды, поднимаемой на один фут при сжигании одного бушеля угля, — назывался *производительностью* машины. По современным стандартам описываемые машины были крайне неэффективными и теряли около 99,5 % тепловой энергии, высвобождаемой при сжигании угля.

Столь неэкономные машины использовались более века исключительно благодаря дешевизне угля. Во время визита



Паровая машина Ньюкомена

Сэя британские шахты давали по 16 миллионов тонн угля ежегодно, причем в новых промышленных городах — Лидсе и Бирмингеме — уголь часто не стоил и десяти шиллингов за тонну. При таких ценах никого не заботила неудачная конструкция паровых машин.

Затем в 1769 году шотландский инженер Джеймс Уатт запатентовал модифицированную версию паровой машины Ньюкомена, полезная мощность которой оказалась выше примерно в четыре раза. Парадоксальным образом появление конструкции Уатта затормозило британские инновации на 30 лет, поскольку Уатт и его бизнес-партнер Мэттью Болтон использовали патентную систему, чтобы не позволить другим инженерам выводить на рынок более совершенные конструкции машин. Тогда, как и теперь, коммерческий успех не всегда шел рука об руку с инновациями.

Кроме того, англичане противоречиво относились к науке. С одной стороны, в XVIII веке растущий средний класс стал проявлять интерес к натурфилософии — именно так в то время назывались науки естественного цикла. Энциклопедии расходились огромными тиражами. На открытых лекциях, где освещалось множество тем, от свойств магнитов до недавних астрономических открытий, собирались целые толпы. Появлялись неформальные клубы для ведения научных дискуссий, и самым знаменитым из них было Лунное общество, куда входили Уатт и Болтон. С другой стороны, некоторые группы опасались науки, потому что многие ученые, например Джозеф Пристли, открывший кислород, открыто поддерживали радикальную политику Великой французской революции. Пристли поплатился за свои взгляды: в 1791 году озлобленная толпа сожгла его дом и лабораторию.

Более того, в двух английских университетах, Оксфорде и Кембридже, не преподавали предметы, сходные с современной физикой и инженерным делом. Кембридж, альма-матер Исаака Ньютона, систематически обучал студентов математи-



ческим принципам, открытым великим ученым. Однако, упиваясь наследием Ньютона, профессора не видели смысла расширять его учение и с подозрением относились к новым математическим техникам, развиваемым за рубежом. В 1806 году, когда прогрессивно настроенный Роберт Вудхауз призвал к внедрению европейского подхода к математике, консервативный журнал *Anti-Jacobin Review* обвинил его в отсутствии патриотизма. Практическое применение математики также не было в приоритете. Да, законы Ньютона описывали такие аспекты обитаемой Вселенной, как орбиты планет, но кембриджские профессора считали, что объясняют эти законы исключительно для тренировки ума студентов из поместного дворянства, которые впоследствии станут служить церкви и империи. Кембриджские студенты бунтовали против этого, но подход к преподаванию изменился лишь несколько десятилетий спустя.

Во Франции, однако, все было иначе.



Жан-Батист Сэй опубликовал свои наблюдения о британском экономическом и промышленном перевороте в книге “Об Англии и англичанах”, вышедшей в 1816 году. Его отчет, а также сообщения других людей убедили французских инженеров, предпринимателей и политиков, что сравняться с Британией в экономическом отношении можно только при использовании паровой тяги. Но возникла проблема: к югу от Ла-Манша угля было мало. Французские шахты давали миллион тонн угля в год, в основном в далекой области Лангедок, и цена на уголь никогда не опускалась ниже 26 шиллингов за тонну, что было втрое дороже, чем в промышленной зоне Англии. В связи с этим французские инженеры с самых ранних этапов индустриализации страны заботились об эффективности двигателей, стремясь максимизировать полезную мощность при сжигании определенного количества угля, хотя большинству их британских коллег не было до этого дела.

Кроме того, во Франции совсем иначе, чем в Британии, осуществлялось обучение естественным наукам и математике. Примером может служить учебное заведение, где Сэй через три года после возвращения на родину стал преподавать промышленную экономику. Национальная консерватория искусств и ремесел не имела ничего общего с элитным Кембриджем. Расположенная в Париже Консерватория была основана французским революционным правительством, ориентированным на народное просвещение, и воплощала уверенность режима в том, что естествознание и математика служат оружием в войне с предрассудками и незаслуженными привилегиями аристократии. Революционеры принимали рациональные законы, чтобы строить рациональное общество. Наполеон впоследствии тоже поддерживал преподавание этих предметов, считая их важными для военных амбиций Франции. Работая в таких условиях, французские ученые отталкивались от трудов Ньютона, делая их фундаментом для создания собственных теорий. Они расширяли его учение и значительно облегчали его практическое применение. В таких местах, как Консерватория, вполне уместной считалась мысль, что математический анализ можно применить к паровым машинам и, в частности, к расчету их эффективности.

И именно здесь молодой студент заложил основы науки термодинамики.