

Невозможна самопроизвольная передача теплоты от холодного тела к теплему. (1)  
Никакой двигатель не может преобразовывать теплоту в работу со стопроцентной эффективностью. (2) В замкнутой системе энтропия не может убывать. (3)

Природным процессам свойственна направленность и необратимость, однако в большинстве законов, описанных в этой книге, это не находит отражения — по крайней мере, явного. Разбить яйца и сделать яичницу не сложно, воссоздать же сырые яйца из готовой яичницы — невозможно. Запах из открытого флакона духов наполняет комнату — однако обратно во флакон его не соберешь. И причина такой необратимости процессов, происходящих во Вселенной, кроется во втором начале термодинамики, который, при всей его кажущейся простоте, является одним из самых трудных и часто неверно понимаемых законов классической физики.

Прежде всего, у этого закона имеется как минимум три равноправные формулировки, предложенные в разные годы физиками разных поколений. Может показаться, что между ними нет ничего общего, однако все они логически эквивалентны между собой. Из любой формулировки второго начала математически выводятся две другие.

Начнем с первой формулировки, принадлежащей немецкому физiku Рудольфу Клаузиусу (см. Уравнение Клапейрона—Клаузиуса). Вот простая и наглядная иллюстрация этой формулировки: берем из холодильника кубик льда и кладем его в раковину. По прошествии некоторого времени кубик льда растает, потому что теплота от более теплого тела (воздуха) передастся более холодному (кубику льда). С точки зрения закона сохранения энергии, нет причин для того, чтобы тепловая энергия передавалась именно в таком направлении: даже если бы лед становился всё холоднее, а воздух всё теплее, закон сохранения энергии всё равно бы выполнялся. Тот факт, что этого не происходит, как раз и свидетельствует об уже упоминавшейся направленности физических процессов.

Почему именно так взаимодействуют лед и воздух, мы можем легко объяснить, рассматривая это взаимодействие на молекулярном уровне. Из молекулярно-кинетической теории мы знаем, что температура отражает скорость движения молекул тела — чем быстрее они движутся, тем выше температура тела. Значит, молекулы воздуха движутся быстрее молекул воды в кубике льда. При соударении молекулы воздуха с молекулой воды на поверхности льда, как подсказывает нам опыт, быстрые молекулы, в среднем, замедляются, а медленные ускоряются. Таким образом, молекулы воды начинают двигаться всё быстрее, или, что то же самое, температура льда повышается. Именно это мы имеем в виду, когда говорим, что тепло передается от воздуха ко льду. И в рамках этой модели первая формулировка второго начала термодинамики логически вытекает из поведения молекул.

При перемещении какого-либо тела на какое-либо расстояние под действием определенной силы совершается работа, и различные формы энергии как раз и выражают способность системы произвести определенную работу. Поскольку теплота, отражающая кинетическую энергию молекул, представляет собой одну из форм энергии, она тоже может быть преобразована в работу. Но опять мы имеем дело с направленным процессом. Перевести работу в теплоту можно со стопроцентной эффективностью — вы делаете это каждый раз, когда нажимаете на педаль тормоза в своем автомобиле: вся кинетическая энергия движения вашего автомобиля плюс затраченная вами энергия силы нажатия на педаль через работу вашей ноги и гидравлической системы тормозов полностью превращается в теплоту, выделяющуюся в процессе трения колодок о тормозные диски. Вторая формулировка второго начала термодинамики утверждает, что обратный процесс невозможен. Сколько ни пытайтесь всю тепловую энергию превратить в работу — тепловые потери в окружающую среду неизбежны.

Проиллюстрировать вторую формулировку в действии несложно. Представьте себе цилиндр двигателя внутреннего сгорания вашего автомобиля. В него впрыскивается высокооктановая топливная смесь, которая сжимается поршнем до высокого давления, после чего она воспламеняется в малом зазоре между головкой блока цилиндров и плотно пригнанным к стенкам цилиндра свободно ходящим поршнем. При взрывном сгорании смеси выделяется значительное количество теплоты в виде раскаленных и расширяющихся продуктов сгорания, давление которых толкает поршень вниз. В идеальном мире мы могли бы достичь КПД использования выделившейся тепловой энергии на уровне 100%, полностью переведя ее в механическую работу поршня.

В реальном мире никто и никогда не соберет такого идеального двигателя по двум причинам. Во-первых, стенки цилиндра неизбежно нагреваются в результате горения рабочей смеси, часть теплоты теряется вхолостую и отводится через систему охлаждения в окружающую среду. Во-вторых, часть работы неизбежно уходит на преодоление силы трения, в результате чего, опять же, нагреваются стенки цилиндров — еще одна тепловая потеря (даже при самом хорошем моторном масле). В-третьих, цилиндру нужно вернуться к исходной точке сжатия, а это также работа по преодолению трения с выделением теплоты, затраченная вхолостую. В итоге мы имеем то, что имеем, а именно: самые совершенные тепловые двигатели работают с КПД не более 50%.

Такая трактовка второго начала термодинамики заложена в принципе Карно, который назван так в честь французского военного инженера Сади Карно. Она сформулирована

раньше других и оказала огромное влияние на развитие инженерной техники на многие поколения вперед, хотя и носит прикладной характер. Огромное значение она приобретает с точки зрения современной энергетики — важнейшей отрасли любой национальной экономики. Сегодня, сталкиваясь с дефицитом топливных ресурсов, человечество, тем не менее, вынуждено мириться с тем, что КПД, например, ТЭЦ, работающих на угле или мазуте, не превышает 30-35% — то есть, две трети топлива сжигается впустую, точнее расходуется на подогрев атмосферы — и это перед лицом угрозы глобального потепления. Вот почему современные ТЭЦ легко узнать по колоссальным башням-градирням — именно в них остужается вода, охлаждающая турбины электрогенераторов, и избытки тепловой энергии выбрасываются в окружающую среду. И столь низкая эффективность использования ресурсов — не вина, а беда современных инженеров-конструкторов: они и без того выжимают близко к максимуму того, что позволяет цикл Карно. Те же, кто заявляет, что нашел решение, позволяющее резко сократить тепловые потери энергии (например, сконструировал вечный двигатель), утверждают тем самым, что они перехитрили второе начало термодинамики. С тем же успехом они могли бы утверждать, что знают, как сделать так, чтобы кубик льда в раковине не таял при комнатной температуре, а, наоборот, еще больше охлаждался, нагревая при этом воздух.

Третья формулировка второго начала термодинамики, приписываемая обычно австрийскому физика Людвигу Больцману (см. Постоянная Больцмана), пожалуй, наиболее известна. *Энтропия* — это показатель неупорядоченности системы. Чем выше энтропия — тем хаотичнее движение материальных частиц, составляющих систему. Больцману удалось разработать формулу для прямого математического описания степени упорядоченности системы. Давайте посмотрим, как она работает, на примере воды. В жидком состоянии вода представляет собой довольно неупорядоченную структуру, поскольку молекулы свободно перемещаются друг относительно друга, и пространственная ориентация у них может быть произвольной. Другое дело лед — в нем молекулы воды упорядочены, будучи включенными в кристаллическую решетку. Формулировка второго начала термодинамики Больцмана, условно говоря, гласит, что лед, растаяв и превратившись в воду (процесс, сопровождающийся снижением степени упорядоченности и повышением энтропии) сам по себе никогда из воды не возродится. И снова мы видим пример необратимого природного физического явления.

Тут важно понимать, что речь не идет о том, что в этой формулировке второе начало термодинамики провозглашает, что энтропия не может снижаться нигде и никогда. В конце концов, растопленный лед можно поместить обратно в морозильную камеру и снова заморозить. Смысл в том, что энтропия не может уменьшаться в *замкнутых системах* — то есть, в системах, не получающих внешней энергетической подпитки. Работающий холодильник не является изолированной замкнутой системой, поскольку он подключен к

сети электропитания и получает энергию извне — в конечном счете, от электростанций, ее производящих. В данном случае замкнутой системой будет холодильник, плюс проводка, плюс местная трансформаторная подстанция, плюс единая сеть энергоснабжения, плюс электростанции. И поскольку рост энтропии в результате беспорядочного испарения из градирен электростанции многократно превышает снижение энтропии за счет кристаллизации льда в вашем холодильнике, второе начало термодинамики ни в коей мере не нарушается.

А это, я полагаю, приводит еще к одной формулировке второго начала: *Холодильник не работает, если он не включен в розетку.*