

**А.К. Тимирязев**

**Второе начало  
термодинамики**

**Сборник работ (С. Карно, Р.  
Клаузиус, В. Томсон-Кельвин, Л.  
Больцман, М. Смолуховский)**

**Москва  
«Книга по Требованию»**

УДК 53  
ББК 22.3  
А11

А11      **А.К. Тимирязев**  
Второе начало термодинамики: Сборник работ (С. Карно, Р. Клаузиус, В. Томсон-Кельвин, Л. Больцман, М. Смолуховский) / А.К. Тимирязев – М.: Книга по Требованию, 2022. – 311 с.

**ISBN 978-5-458-26621-5**

Предлагаемая читателю книга посвящена второму закону термодинамики в его историческом развитии, причем особое внимание удалено его статистическому истолкованию. В книгу вошли работы выдающихся ученых, основоположников термодинамики и статистической физики. Открывается книга работой С.Карно, которая представляет большой интерес как первая попытка подойти к закономерностям, составляющим содержание второго закона термодинамики. Далее следуют главы из книги Р.Клаузиуса, где излагаются основы термодинамики. Приводятся статьи У.Томсона, который, в отличие от Р. Клаузиуса, особенно подчеркивает ту мысль, что второй закон термодинамики отражает процесс рассеяния энергии. Даётся часть классического труда Л. Больцмана, посвященная статистическому истолкованию второго закона. Завершается сборник работами М.Смолуховского, устанавливающими пределы приложимости второго закона в его классической формулировке. Книга будет интересна физикам, историкам науки и всем, кто желает по первоисточникам ознакомиться с развитием одного из основных законов современного естествознания.

**ISBN 978-5-458-26621-5**

© Издание на русском языке, оформление

«YOYO Media», 2022

© Издание на русском языке, оцифровка,

«Книга по Требованию», 2022

Эта книга является репринтом оригинала, который мы создали специально для Вас, используя запатентованные технологии производства репринтных книг и печати по требованию.

Сначала мы отсканировали каждую страницу оригинала этой редкой книги на профессиональном оборудовании. Затем с помощью специально разработанных программ мы произвели очистку изображения от пятен, кляксы, перегибов и попытались отбелить и выровнять каждую страницу книги. К сожалению, некоторые страницы нельзя вернуть в изначальное состояние, и если их было трудно читать в оригинале, то даже при цифровой реставрации их невозможно улучшить.

Разумеется, автоматизированная программная обработка репринтных книг – не самое лучшее решение для восстановления текста в его первозданном виде, однако, наша цель – вернуть читателю точную копию книги, которой может быть несколько веков.

Поэтому мы предупреждаем о возможных погрешностях восстановленного репринтного издания. В издании могут отсутствовать одна или несколько страниц текста, могут встретиться невыводимые пятна и кляксы, надписи на полях или подчеркивания в тексте, нечитаемые фрагменты текста или загибы страниц. Покупать или не покупать подобные издания – решать Вам, мы же делаем все возможное, чтобы редкие и ценные книги, еще недавно утраченные и несправедливо забытые, вновь стали доступными для всех читателей.



## ПРЕДИСЛОВИЕ

Предлагаемый вниманию читателей сборник посвящен второму принципу термодинамики в его историческом развитии, причем особенное внимание уделено его статистическому истолкованию. Так как основная задача сборника заключается в том, чтобы читатель по первоисточникам мог ознакомиться с развитием одного из основных законов современного естествознания и притом сделать это с возможно меньшей затратой труда, мы умышленно в некоторых частях брали не первые оригинальные труды самих основателей второго начала термодинамики, а ими же самими составленные обзоры более позднего периода, которые в смысле изложения отличаются большими достоинствами по сравнению с оригинальными статьями, появлявшимися в текущей журнальной литературе, и изучение которых сопряжено с большими трудностями.

Поэтому мы изложение второго принципа в его классической формулировке взяли из сочинения Клаузиуса «Механическая теория тепла», представляющего составленное им самим более систематическое изложение его собственных работ, появлявшихся в Анналах Поггендорфа. Точно так же статистическое истолкование второго принципа термодинамики, предложенное Больцманом, дается в сборнике в той форме, в которой Больцман изложил этот вопрос в своих знаменитых лекциях по теории газов.

История второго принципа термодинамики представляет одну из интереснейших страниц истории науки. Едва ли можно найти другую область нашей науки, в которой с такой удивительнейшей ясностью выступала бы связь самой отвлеченной области, так называемой «чистой» науки с развитием производительных сил.

Толчком к изучению вопросов, связанных со вторым принципом термодинамики, послужило широкое распространение паровых машин, последовавшее за промышленной революцией конца XVIII в. Здесь любопытно то, что удачные опыты с паровой машиной производились уже в конце XVII в., но до 80-х гг. XVIII в. паровая машина не двигала вперед промышленной революции и не вызывала потока научных исследований, которые бы разъясняли вопрос о превращении тепла в работу. Промышленная революция началась с создания механизмов, заменявших в производстве человеческие руки.

«Создание исполнительных механизмов, или рабочих машин, собственно, сделало паровую машину необходимую, а потому возможную. И только при этих условиях паровая машина сделалась орудием промышленной революции. Как скоро человек, вместо того чтобы обрабатывать при помощи инструмента предмет труда, служит лишь двигательной силой при рабочей машине, существование двигательной силы в форме человеческих мускулов становится совершенно случайным, и человек всегда может быть заменен ветром, падающей водой, паром и т. д.».

(Маркс, Капитал, т. I, гл. XIII.)

В свою очередь, когда паровая машина, став орудием промышленной революции, стала распространяться с гигантской быстротой, на очередь были выдвинуты вопросы ее усовершенствования, которые не могли быть решены без глубоких теоретических исследований в области теории тепла. Что эти события шли именно в такой последовательности, ясно сознавали сами основатели второго принципа термодинамики.

В замечательном сочинении Карно (перевод этого сочинения приводится в нашем сборнике), где дается первая, еще весьма несовершенная, попытка сформулировать то, что теперь носит название второго принципа термодинамики, ясно выражена мысль, почему надо было поставить вопрос о теории тепла в порядок дня тогдашней науки.

«Изучение этих машин чрезвычайно интересно, так как их значение весьма велико и их распространение растет с каждым днем. Повидимому им суждено сделать большой переворот в цивилизованном мире». «Несмотря на работы всякого рода, предпринятые относительно паровых машин, несмотря на удовлетворительное состояние, в которое они теперь приведены, их теория весьма мало подвинута и попытки их улучшить почти всегда руководились случаем».

Далее, в 50-х гг. XIX в., когда второй принцип термодинамики сложился в работах Клаузиуса в ту форму, в какой он известен сейчас, мы встречаемся с теми же мыслями. Так у Клаузиуса в гл. V его сочинения «Механическая теория тепла» читаем мы следующие замечательные строки:

«Наши взгляды на природу и свойства тепла теперь известны под названием «механической теории тепла». Первым толчком к изменению этих взглядов послужил известный факт, что тепло можно использовать для получения механической работы. Поэтому можно заранее ожидать, что возникшая таким путем теория, в свою очередь, должна бросить новый свет как раз на это применение тепла. Найденные новые положения должны в особенности дать возможность высказать обоснованное суждение об отдельных машинах, осуществляющих это применение тепла,—суждение в том смысле: осуществляют ли они поставленную им цель и насколько они способны к дальнейшему усовершенствованию».

Почти одновременно с Клаузиусом второй принцип термодинамики развивался Вильямом Томсоном (Кельвиным).

Этими работами, можно сказать, завершается период развития классической термодинамики в наиболее существенной своей части. Основной недостаток методологического характера этих классических работ состоит в том, что вся теория разрабатывалась чисто описательным путем. Второй принцип формулировался как обобщение опыта, причем его физический смысл оставался невыясненным. Точно так же оставались совершенно невыясненными пределы его приложимости. На этой почве в качестве вывода получился закон рассеяния энергии и, как следствие его, — «тепловая смерть» вселенной. Таким образом несомненные успехи науки, вследствие недостаточно ясных формулировок, были использованы как опора для религиозных предрассудков.

Энгельс в своих заметках в «Диалектике природы» дает ключ к объяснению этих недочетов в методологической структуре исследований, приведших ко второму закону термодинамики, в следующих замечательных словах:

«Проблема не решена, а только поставлена, и это преодоленится как решение».

(Энгельс, Диалектика природы, стр. 9.)

В чем должно заключаться решение? А в том, чтобы объяснить, почему энергия рассеивается. Чтобы объяснить, почему тепловая энергия отличается от других форм энергии. Все это возможно было сделать после того, как тепловую энергию стали рассматривать как форму движения.

«Если мы знаем, в какое количество механического движения превращается определенная масса теплового движения, то мы еще ничего не знаем о природе теплоты, как бы необходимо ни было изучение этих превращений для исследования этой природы теплоты. Рассматривание ее как формы движения — это последний триумф физики».

(Энгельс, Диалектика природы, стр. 19.)

Уже много лет спустя, после того как были написаны эти слова, развилось и достигло весьма значительных размеров реакционное попятное движение в науке, связанное с именами Маха и Оствальда, пытавшееся, выражаясь словами Энгельса, заставить всех и каждого признать, что сама постановка задачи есть уже и ее решение. Это течение боролось против всяких попыток объяснить природу тепла. Однако, если мы присмотримся к трудам созидателей классической термодинамики, мы увидим, что все они одновременно с классической термодинамикой разрабатывали кинетическую теорию материи, т. е. ту ветвь науки, которая рассматривает тепло как форму движения. Так, Клаузиус был не только одним из созидателей классической термодинамики, но и одновременно одним из основателей кинетической теории. То же относится и к Томсону-Кельвину. Наконец Виллард Гиббс, труды которого по термодинамике усиленно пропагандировал Оствальд (в чем его большая заслуга), является в то же время автором замечательного сочинения «Элементы статистической механики как рациональная основа термодинамики». Что эта связь была не случайной, свидетельствует следующее, весьма ценное, признание самого Клаузиуса.

«В первом томе этой книги, развивая основы механической теории тепла, мы оставили без рассмотрения вопрос о том, какой вид движения может нам объяснить тепловые явления. Все выведенные в первой части книги заключения основываются на нескольких общих положениях, правильность которых можно доказать, не делая никаких предположений о природе тепла... Но мои исследования были не настолько свободны от побочных мыслей, связанных с гипотезой (о природе тепла). Существует врожденная потребность нашего ума связывать общие понятия со специальными представлениями. Вот почему, уже в самом начале моих работ по теории тепла, я пытался дать себе отчет о состоянии движения внутри горячего тела. Я составил себе по этому вопросу определенное представление, которым я пользовался при различных исследованиях и вычислениях еще до опубликования моей первой работы (по теории тепла)».

(Clausius, Mechanische Wärmetheorie, III B., p. 1.)

Конечно в этом вопросе играла роль не «врожденная потребность ума», а необходимость при сколько-нибудь серьезном исследовании доводить исследование до такой ступени, когда выступает наружу вся действительная цепь причин и следствий. Без этого поставленная задача не может считаться решенной, хотя бы только даже в первом приближении.

В работах Больцмана второй принцип термодинамики получил статистическое истолкование. Только применение статистики позво-

лило вскрыть специфическую особенность тепловых явлений. Клаузиус и Больцман в одинаковой мере применяли к учению о тепле уравнения механики, но только Больцман впервые в ясной форме осознал, что основные законы теории тепла описывают не на одну только механику. Посколько в любой системе, состоящей из громадного числа молекул, — уравнения механики должны быть дополнены условиями, определяющими положения и скорости молекул в какой-либо момент времени, принимаемый за начальный, и поскольку этих данных мы не знаем, постолькю нам необходимы статистические исследования, которые бы позволяли нам оперировать с этими начальными условиями и выводить из них то общее, что мы находим в этих системах независимо от различий в начальных условиях. Именно это исследование, основанное на статистике, в соединении с законами классической механики, и определяет качественное своеобразие тепловых явлений и характеризует их необратимость.

Статистический прием исследования молекулярных движений в руках Больцмана привел к настоящему объяснению второго принципа термодинамики, вскрыл пределы приложимости этого закона и нанес сокрушающий удар теории «тепловой смерти».

На чем, спрашивается, основывались выводы, приводящие к «тепловой смерти» вселенной? Исключительно на прямолинейном применении классической формулировки второго принципа термодинамики и на отсутствии учета пределов приложимости этого принципа.

Остановим наше внимание на том, как получаются эти выводы.

Пусть мы имеем нагреватель температуры  $T_1$  (абсолютная температура) и холодильник температуры  $T_2$ , пусть, кроме того, мы имеем обратимую машину Карно, работающую с помощью идеального газа; тогда можно показать, что количество тепла  $Q_{12}$ , взятое у нагревателя, так относится к количеству тепла  $Q_{43}$  тепла, отданному холодильнику, как  $T_1 : T_2$ , т. е. мы имеем:

$$\frac{Q_{12}}{Q_{43}} = \frac{T_1}{T_2} \quad (\text{Клаузиус, гл. III}). \quad (1)$$

Предположим теперь, что у нас имеется еще другая машина, которая, быть может, работает лучше, чем наша машина Карно, и пусть она берет у того же нагревателя количество тепла  $Q'_{12}$  и отдает тому же холодильнику  $Q'_{43}$ . Так как первая машина работает с помощью идеального газа, то

$$Q_{43} = RT_2 \lg \frac{V_3}{V_4},$$

где  $V_3$  и  $V_4$  — начальный и конечный объемы при изотермическом сжатии газа и при температуре  $T_2$ , и по этой причине мы всегда можем подобрать цикл Карно так, чтобы  $Q_{43} = Q'_{43}$ .

Теперь предположим, что вторая машина (с неизвестным нам рабочим веществом, но, по предположению, работающая даже лучше, чем машина Карно) переводит тепло в работу  $W'$ , равную  $Q'_{12} - Q'_{43}$ ; а первая машина идет в обратном направлении и поглощает работу  $W$  равную  $Q_{12} - Q_{43}$ , и в то же время берет у холодильника тепло в количестве  $Q_{43}$  и отдает нагревателю  $Q_{12}$ .

В результате всего процесса нагреватель отдает  $Q_{12}' - Q_{12}$ , холодильник не отдает и не получает, так как  $Q_{43}' = Q_{43}$  и, кроме того, мы имеем избыток работы  $W' - W$ , равной  $Q_{12}' - Q_{12}$ . Если  $W' - W > 0$ , то  $Q_{12}' - Q_{12} > 0$ , но это явно противоречит второму принципу термодинамики, так как означает, что некоторое количество тепла берется у нагревателя и нацело переводится в работу и никаких иных изменений при этом в нашей системе не происходит, а машина или, вернее, комбинация машин действует периодически. Если бы такой процесс был возможен, мы имели бы типичный случай вечного двигателя второго рода, т. е. могли бы, например, использовать тепло океана, нацело переводя его в работу.

Предположение  $W' - W < 0$  ведет к  $Q_{12}' - Q_{12} < 0$ . Но если машина (вторая) обратима, то и это невозможно, так как, заставив первую машину (машину Карно) идти в прямом направлении, т. е. поглощать тепло и давать работу, и вторую, заставив поглощать работу и отдавать нагревателю тепло, — мы изменим знак неравенства; нагреватель будет отдавать тепло  $Q_{12}'$  и получать  $Q_{12}$ , т. е. придем к рассмотренному уже случаю.

Однако если вторая машина необратима, то приведенный нами сейчас случай возможен. В самом деле:  $W' - W < 0$  означает, что система машин получает работу извне, а  $Q_{12}' - Q_{12} < 0$  показывает, что нагреватель получает тепло, т. е., следовательно, некоторое количество работы перешло нацело в тепло, что всегда возможно.

Итак, для необратимых процессов возможно  $Q_{12}' - Q_{12} < 0$  и так как  $Q_{43} = Q_{43}'$ , то, следовательно,  $\frac{Q_1'}{Q_2'} \leq \frac{Q_1}{Q_2}$  или, на основании (1),  $\frac{Q_{12}'}{T_1} \leq \frac{Q_{43}'}{T_2}$ , что можно написать также в виде:

$$\frac{Q_{12}'}{T_1} - \frac{Q_{43}'}{T_2} \leq 0. \quad (2)$$

Если мы теперь будем количество тепла обозначать, включая в обозначение и знак, то (2) можно написать так:

$$\frac{Q_{12}'}{T_1} + \frac{Q_{34}''}{T_2} \leq 0. \quad (3)$$

Уравнение (3) можно обобщить, как показал Клаузиус (гл. IV), на любой необратимый процесс. Тогда (3) принимает вид

$$\int \frac{\delta Q}{T} \leq 0. \quad (4)$$

Предположим теперь, что в изображенном уравнением (4) процессе мы из некоторого состояния  $A$  переходим с помощью необратимых процессов к состоянию  $B$ , и затем обратно — из  $B$  возвращаемся в  $A$  с помощью ряда обратимых процессов. Тогда (4) можно изобразить последовательно следующим образом:

$$\int_{A \text{ необр}}^{\delta Q} \frac{1}{T} + \int_{B \text{ обр}}^{\delta Q} \frac{1}{T} \leq 0 \quad \text{или} \quad \int_{A \text{ обр}}^{\delta Q} \frac{1}{T} \geq \int_{A \text{ необр}}^{\delta Q}, \quad (4')$$

но для обратимого процесса  $\frac{\delta Q}{T} = dS$  (*Клаузиус*, гл. IV). Поэтому (4') принимает вид:

$$S_b - S_a \geq \int \frac{\delta Q}{T} \quad (5)$$

или для бесконечно малых процессов

$$dS \geq \frac{\delta Q}{T}. \quad (6)$$

Представим себе, что все тела, между которыми происходит обмен теплом, включены в нашу систему, тогда процесс будет адиабатным и тогда  $\delta Q = 0$  и отсюда же, как следствие,

$$dS \geq 0. \quad (7)$$

Из этого условия именно и вытекает принцип возрастания энтропии и принцип, что энтропия вселенной стремится к своему максимуму, после чего никаких преобразований энергии уже не будет.

Ошибка этого заключения состоит в том, что уравнение (7) подразумевается как нечто абсолютное.

Больцман показал, что если рассматривать тепло как форму движения, т. е. рассматривать как движение огромного числа молекул, из которых построены все тела, находящиеся вокруг нас и в нас самих, то закон возрастания энтропии есть вывод, основанный на теории вероятности.

Из этого вовсе не следует, что процессы, при которых энтропия уменьшается, абсолютно невозможны. Закон возрастания энтропии, с точки зрения Больцмана, означает только то, что любая система в течение огромных периодов времени находится в состоянии, близком к своему тепловому равновесию, и что промежутки времени, в течение которых эта система находится в состоянии, далеком от максимального значения энтропии, составляют исчезающе малую часть по сравнению с теми периодами, в течение которых энтропия близка к своему максимуму. Но отсюда следует, что если мы рассмотрим промежутки времени достаточно большие, то эти состояния, хотя и мало вероятные с точки зрения теории вероятности, не только могут наступить, но должны наступить.

Эта точка зрения на второй принцип термодинамики была высказана Энгельсом еще задолго до работ Больцмана в его старом введении к «Диалектике природы».

«Но здесь мы вынуждены либо обратиться к помощи творца, либо сделать тот вывод, что раскаленный сырой материал для солнечной системы нашего мирового острова возник естественным путем, путем превращений движения, которые *присущи природы движущейся материи и условия которых должны, следовательно, быть снова произведены материей* (хотя бы после миллионов миллионов лет) более или менее случайным образом, но с необходимостью, присущей и случаю».

Эта программа, намеченная Энгельсом, теперь осуществилась в работах Больцмана и Смолуховского. Два возражения, которые были выдвинуты против взглядов Больцмана, были успешно отражены самим Больцманом.

Первое возражение, выдвинутое еще Лошмидтом, состояло в следующем. Пусть мы имеем газ, и пусть состояние этого газа не соответствовало в начальный, рассмотренный нами момент состоянию равновесия, определяемому условием максимума энтропии или, что то же самое, не соответствовало максвелловскому распределению скоростей. По теории вероятностей следует, что газ очень скоро придет к состоянию равновесия, характеризуемому максвелловским распределением скоростей. Вот в этом пункте как раз мы и подходим к противоречию. В самом деле, пусть в данный момент, т. е. когда наступило максвелловское распределение, скорости всех молекул изменили свои знаки. Мы получим состояние газа столь же вероятное, как и то, которое было только что перед тем. Следовательно, мы вообще будем иметь столько же случаев распределения газа с данными скоростями, какие имели место при наступлении максвелловского распределения скоростей в нашем примере, и столь же часто будем иметь распределение скоростей, в котором все скорости имеют прямо противоположные значения. Но в этом втором случае мы должны вернуться неизбежно к начальному состоянию, в котором энтропия была меньше. Другими словами, энтропия будет столь же часто возрастать, как и убывать.

Больцман разрешил это противоречие следующим образом. Если мы изменим все скорости на обратные, то мы действительно, идя обратным ходом, придем к состоянию, отличающемуся от такого, при котором энтропия будет близка к своему максимуму, но вопрос в том, сколько времени это продлится? Достигнув состояния, далекого от состояния равновесия, мы очень скоро, по законам вероятности, перейдем снова в область таких состояний, где энтропия будет близка к максимуму, что и будет продолжаться в течение длительного промежутка времени, так что и в этом случае пребывание системы в состояниях, далеких от максимума энтропии, будет весьма кратковременным.

Второе возражение было выдвинуто Пуанкаре и Цермельто. Оно состоит в следующем. Согласно Больцману, всякое, хотя бы и мало вероятное, состояние должно повторяться. Следовательно, если мы дадим двум порциям газа, скажем, кислороду и азоту продиффундировать друг в друга, то рано или поздно они должны снова разделиться.

Больцман ответил на это возражение тем, что подсчитал, как велика вероятность, при которой молекулы внутри некоторого объема газа вернутся почти в точности на те же места, которые они занимали в некоторый определенный момент. Вероятность эта оказалась настолько малой, что практически она мало чем отличается от невозможности.

Однако на это можно было возразить следующим образом. В огромном большинстве случаев нам совершенно не важно, что именно те же самые молекулы вернулись на те же самые места. Если на их месте будут другие молекулы и они будут иметь те же самые скорости, то макроскопически, т. е. в масштабе, доступном непосредственному наблюдению, мы получим то же самое событие, какое получилось бы, если бы на свои места вернулись те же самые молекулы, которые когда-то там были. Таким образом данное макроскопическое событие может

быть осуществлено огромным числом способов, огромным числом микроскопически различных группировок из очень большого числа молекул. Поэтому мало вероятные события, по теории Больцмана, могли бы даже происходить чаще, чем думал Больцман, и чаще, чем это на самом деле бывает.

Ответ на этот вопрос дают замечательные работы Смолуховского. Смолуховский как раз выработал методы подсчета вероятности для ряда макроскопических, мало вероятных событий и указал, как можно эту теорию проверить на имеющемся уже экспериментальном материале. Так Смолуховский показал, что если мы будем изучать под микроскопом изменения числа брауновских частиц, видимых в определенном участке поля зрения, скажем, для случая, когда среднее число частиц будет  $v_0 = 1,55$  (этот случай соответствует одному ряду наблюдений Сведберга), то можно по теории подсчитать, через сколько времени мы будем наблюдать 0, 1, 2, 3, 4, 5 или 6 частиц (см. настоящий сборник работы Смолуховского). Подсчитанные таким образом промежутки времени можно сопоставить с тем, что вытекает из данных опыта. До 4 частиц данные опыта и вычислений хорошо совпадают, для 5, 6 и 7 общее время наблюдений было коротко, так как на протяжении 518 наблюдений Сvedberga число 6 встречается два раза, а 7 только один раз.

Что показывают эти числа? Если мы в данную часть поля зрения, где происходит подсчет (при среднем значении  $v_0 = 1,55$  для всего препарата), поместим, скажем, 5 частиц, то этот избыток «концентрации» путем диффузии в ближайшее же время «выравнивается». Будет ли этот процесс необратимым? На это Смолуховский дает ответ: ни да ни нет. Процесс будет обращающимся. В самой природе движения заложены условия, при которых число 5 будет появляться через определенные промежутки времени. Но пойдем дальше, возьмем число частиц равным 10. Оказывается, что число 10 будет повторяться один раз в несколько месяцев. Однако таких явлений мы не наблюдали, но могли бы наблюдать, если бы автоматически регистрировали числа появляющихся частиц на фотографической ленте. Для этой цели опыт пришлось бы вести в течение 1—2 лет, и для подтверждения теории надо было бы еще продлить эту регистрацию, так как пришлось бы собрать хотя бы около десятка таких повторений числа в 10 частиц.

Таким образом и этот случай диффузии мог оказаться для нас обращающимся. Наконец, если мы подсчитаем, как часто появляются в поле зрения 17 частиц (при среднем числе  $v_0 = 1,55$ ), то мы получим следующий ответ: один раз в 50 000 лет!

Ясно, что для нас этот процесс необратим. Если бы мы поместили в поле зрения искусственно 17 частиц, то пришлось бы ждать 50 000 лет, пока «сами собой» частицы соберутся в этом же месте (это, конечно, будут другие) в том же числе.

Ясно, что эти работы в полной мере выясняют всю относительность понятия необратимого процесса. Ясно также, что эти работы в корне подрывают так называемую теорию «цепловой смерти». По этой причине работы Смолуховского имеют громадное философское значение. Отсюда ясно, что реакционное идеалистическое течение в современной

физике, возглавляемое некоторыми весьма крупными представителями теоретической физики с Джинсом и Эддингтоном во главе, не будучи в состоянии противопоставить хоть какое-либо возражение против работ Больцмана и Смолуховского, попросту замалчивают эти работы, заявляя, что против теории «тепловой смерти» не было выдвинуто наукой ни одного возражения.

Ввиду огромного методологического значения, которое представляют работы Смолуховского, мы даем в настоящем сборнике перевод всех его основных работ, касающихся вопроса о связи обратимых и необратимых процессов, опустив две, менее существенные, работы, касающиеся некоторых деталей. Эти работы снабжены переводом примечаний проф. Фюрта, являющегося одним из продолжателей и последователей Смолуховского. Они впервые были напечатаны в издании «Остwaldовских классиков».

В заключение остановимся на краткой характеристике всех приводимых в настоящем сборнике работ.

Первая работа — работа Карно «Размышление о движущей силе огня» представляет большой интерес как первая попытка подойти к тем закономерностям, которые составляют содержание второго принципа термодинамики.

Любопытно, что Карно получил в основном правильные результаты, хотя имел ошибочные взгляды на природу тепла. Перевод исследования Карно и примечания перепечатываются в том виде, как они были напечатаны в первом издании 1923 г. под редакцией и с примечаниями проф. В. Р. Бурсиана и проф. Ю. А. Круткова.

Далее следуют четыре главы из «Механической теории тепла» Клаузиуса, где излагаются основы термодинамики; ввиду того что у Клаузиуса в главах, посвященных второму принципу, много ссылок на первые главы, где даются математическое введение и изложение первого принципа, мы даем перевод первых четырех глав полностью. Изложение Клаузиуса отличается необыкновенной ясностью и ни в каких примечаниях не нуждается.

Почти одновременно с Клаузиусом разработкой основ термодинамики занимался один из крупнейших физиков XIX в., а именно — Виллиам Томсон (Кельвин). Мы приводим отрывок из его большой статьи «Динамическая теория тепла» и две небольшие статьи, связанные с вопросом о рассеянии энергии. Томсон, в отличие от Клаузиуса, особенно подчеркивает ту мысль, что второй принцип термодинамики отражает процесс рассеяния энергии. Именно в этом и заключается существенная особенность данного Томсоном истолкования второго принципа термодинамики. В смысле изложения работы Томсона написаны далеко не так ясно, как у Клаузиуса. По существу работы Томсона представляют в значительной своей части сейчас лишь исторический интерес.

Так как вопрос о связи энтропии и вероятности является центральным вопросом статистического истолкования, то мы в настоящем сборнике приводим § 3—8 гл. I из книги Больцмана «Лекции по кинетической теории газов», где дается в наиболее простой и ясной форме изложение классических работ самого Больцмана.

В качестве приложения мы приводим § 14 из статьи Больцмана и Набля (появившейся после смерти Больцмана), взятой из т. V «Энциклопедии математических наук», где в очень сжатой форме подводится итог работам Больцмана в рассматриваемой области.

Наконец последняя часть сборника посвящена работам Смолуховского, устанавливающим с исчерпывающей полнотой пределы приложимости второго принципа в его классической формулировке и вскрывающим всю относительность наших обычных представлений о не обратимых процессах.

Медленное распространение взглядов Смолуховского можно объяснить лишь тем, что они в корне пресекают те реакционные, идеалистически-поповские течения, которые усиленно распространяются сейчас в Западной Европе и Америке, и задача которых с помощью подогревания теории «тепловой смерти» и полного игнорирования достижений современной науки заставить фальсифицированную таким путем науку стать «служанкой теологии» (*Ancilla theologiae*).

---