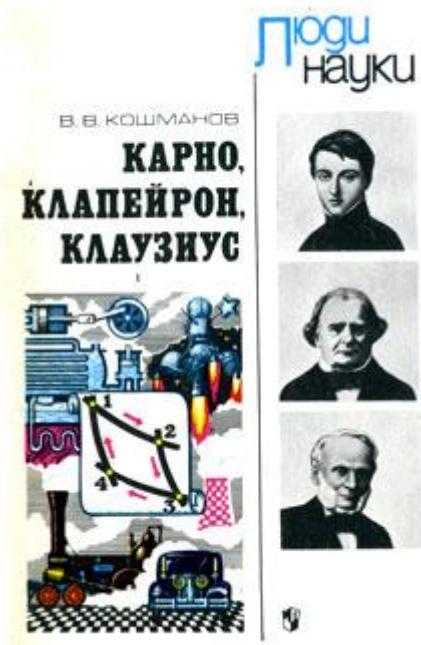


Кошманов В.В. 'Карно, Клапейрон, Клаузиус' - Москва:
Просвещение, 1985 - с.95



Кошманов Василий Владимирович - Люди науки. Карно,
Клапейрон, Клаузиус

ББК 22.317 К76

Рецензенты: кандидат педагогических наук, заведующий кафедрой методики физики МОПИ им. Н. К. Крупской Л. П. Свитков; кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник Института истории естествознания и техники АН СССР О. А. Лежнева

Кошманов В. В.

К76 Карно, Клапейрон, Клаузиус: Кн. для учащихся.- М:
Просвещение, 1985. - 96 с, ил. - (Люди науки).

В книге изложены научно-биографические сведения о создателях термодинамики С. Карно, Б. Клапейроне и Р. Клаузиусе, дано краткое содержание их работ, относящихся к этому разделу науки. Книга предназначена для учащихся средних школ и для лиц, интересующихся историей физики.

ББК 22.317 + 22.3г

530.1 + 53(09)

К 4306020000-349 171-85
103(03)

Издательство "Просвещение", 1985 г.

Заведующая редакцией Н. В. Хрусталь Редактор Е. В.
Смольникова Младший редактор Л. С. Дмитриева
Художественный редактор В. М. Прокофьев Технический
редактор Г. В. Субочева Корректор Л. Н. Новожилова

ИБ № 8383

Сдано в набор 10.10.84. Подписано к печати 05.02.85.
Формат 60x90 $\frac{1}{16}$. Бум. офсетная № 2. Гарнит. школьная.
Печать офсетная. Усл. печ. л. 6. Усл. кр.-отт. 6,56. Уч.-изд. л.
5,46. Тираж 100 000 экз. Заказ № 790. Цена 15 коп.

Ордена Трудового Красного Знамени издательство
"Просвещение" Государственного комитета РСФСР по делам
издательств, полиграфии и книжной торговли. 129846,
Москва, 3-й проезд Мярьиной рощи, 41.

Ярославский полиграфкомбинат Союзполиграфпрома при
Государственном комитете СССР по делам издательств,
полиграфии и книжной торговли. 150014, Ярославль, ул.
Свободы, 97.

Глава IV Клаузиус и становление термодинамики

От Клапейрона до Клаузиуса

В XIX в. темпы развития науки заметно возросли. Каждое десятилетие этого века давало столько нового, сколько столетия в предшествующие эпохи. Причинами необычного взлета науки были нужды развивающейся промышленности и всеобщий прогресс. Физика как наиболее близкая к практике отрасль знания ощутимо набирала темпы. За шестнадцатилетний период, прошедший между появлением работ Клапейрона (1834) и Клаузиуса (1860), в физике произошли важные события. Так, в 1839 г. немецким ученым К. Гауссом была создана теория потенциала. В 1845 г. английский физик М. Фарадей открыл диамагнетизм и парамагнетизм; им же открыто явление вращения плоскости поляризации в магнитном поле, что подтверждало давно предсказываемую связь света и магнетизма. В эти же годы открыт эффект Доплера, законы Кирхгофа и Джоуля-Ленца, произведено первое лабораторное измерение скорости света.

Не отставали в развитии и те разделы физики, которые были связаны с тепловыми явлениями. Наиболее выдающееся событие в этой области произошло в 1842 г. В этом году немецкий врач-физиолог Р. Майер (1814 - 1878) опубликовал работу, в которой был сформулирован открытый им закон сохранения и превращения энергии. В 1843 г. Дж. Джоуль (1818 - 1889) доказал этот закон и, наконец, в 1847 г. соотечественник Майера Г. Гельмгольц (1821 - 1894) теоретически решил этот вопрос в более общем виде.

В 1843 г. Джоуль, изучая вопросы взаимопревращения теплоты и работы, первым из исследователей экспериментально измерил работу, которую необходимо произвести, чтобы определить единицу теплоты. Эти исследования Джоуля, естественно, способствовали утверждению идеи, высказанной Майером.

Результаты экспериментальных исследований этих лет помогли ученым окончательно порвать со старыми заблуждениями относительно природы теплоты. Однако с общим развитием науки количество вопросов, поставленных перед природой, не убывало. Одновременно с решением старых вопросов в науке возникали новые. Практика

настойчиво требовала от науки более эффективных результатов. Тепловые явления оказались в эти годы в центре внимания практиков. Важно было не только понять и установить закономерности протекания того или иного теплового процесса: ученых интересовали более общие сведения о возможности их практического осуществления. В этом направлении было много неизвестного. В первую очередь предстояло выяснить, в каком направлении протекают различные процессы в природе, какие из них практически осуществимы, как оценить эффективность работы той или иной тепловой машины. Решение этих вопросов вскоре было найдено, да иначе и быть не могло, так как в рядах ученых, работавших в этом направлении, были такие именитые физики, как У. Томсон, Р. Клаузиус, Дж. Джоуль и много других, не менее талантливых исследователей.

В 1849 г. после детального ознакомления с исследованиями Карно (по работе Клапейрона) У. Томсон (lord Кельвин) опубликовал в "Трудах Лондонского Королевского общества" статью под названием "Доклад о теории Карно - о движущей силе теплоты с численными результатами, полученными из опытов Реньо над парами". Как следует из названия, статья была посвящена дальнейшему развитию идей французского инженера. В этой работе Томсон четко выделил все то ценное, что содержалось в сочинении его предшественника по поводу работы тепловой машины. Особо подчеркивал он основную мысль Карно о том, что необходимым условием превращения теплоты в работу является наличие двух тепловых резервуаров с различной температурой. Относительно природы теплоты в этой работе Томсон не высказался сколько-нибудь конкретно, хотя чувствовал справедливость выводов, следующих из экспериментов Джоуля, противоречащих вещественной теории теплоты.

Еще раньше, в 1848 г., Томсон поставил вопрос о необходимости разработки принципа измерения температуры, результаты которого не зависели бы от природы термометрического тела. Он не только сформулировал проблему, но и сделал первые шаги к ее разрешению. Для измерения температур он предложил шкалу, единицей которой являлся температурный интервал, соответствующий совершению определенной механической работы. "Основным свойством шкалы, которую я теперь предлагаю, - пишет он, - является то, что все ее градусы имеют одно и то же значение,

то есть что единица теплоты, падающая от тела Л с температурой T° по этой шкале к телу В с температурой $(T^\circ-1)$, будет давать один и тот же механический эффект, каково бы ни было число T . Такая шкала действительно может быть названа абсолютной, так как для нее характерна полная независимость от физических свойств какого-либо вещества".

Дальнейшие исследования этого вопроса привели Томсона к идеи измерения абсолютной температуры с использованием идеальной машины Карно, эффективность работы которой как раз не зависела от природы рабочего тела. Для машины Карно справедливо равенство

$$\frac{Q_1}{T_1} = \frac{Q_2}{T_2},$$

Для машины Карно

в котором Q_1 - теплота, переданная рабочему телу от нагревателя, температура которого T_1 ; Q_2 - теплота, принятая холодильником, температура которого T_2 .

Фиксируя одну из температур, например T_2 , используя в качестве холодильника смесь воды со льдом, калориметрически измеряя Q_1 и Q_2 , нетрудно вычислить температуру нагревателя, роль которого может выполнять исследуемое тело и температуру которого необходимо определить, по формуле

$$T_1 = T_2 \frac{Q_1}{Q_2}.$$

Температуру

Идеи Томсона, касающиеся термометрии, были им подробно разработаны и развиты в последующих публикациях.

В 1850 г. в Англии выходит из печати еще одна работа, представляющая интерес для ученых, занимающихся исследованием тепловых явлений. Автором этой работы был выпускник Эдинбургского университета У. Ранкин (1820 - 1872). В своей работе он высказывает мысль, что при действии тепловой машины в холодильник отводится только

часть теплоты, полученная от нагревателя, а не вся, как это представлял себе Карно, а вслед за ним Клапейрон и Томсон. Другая же часть, утверждал Ранкин, пропорциональная произведенной работе, исчезает из системы. Это замечание, важность которого будет подтверждена в последующих работах физиков, было высказано в том же году, в котором была опубликована первая работа Клаузиуса, посвященная вопросам теплоты. Однако для справедливости следует отметить, что Ранкин пришел к этой мысли самостоятельно и не был знаком с работой немецкого коллеги.

В 1851 г. Томсон публикует очередную работу, посвященную исследованию тепловых явлений, которая называлась "О динамической теории теплоты с численными выводами, полученными на основе джоуляева эквивалента тепловой единицы и наблюдений Реньо над водяными парами". С первых же фраз этой работы чувствуется, что опыты Джоуля окончательно убедили Томсона в том, что теплота не есть "особая упругая жидкость", а представляет собой "особого рода движение, возбуждаемое в частицах тела". Далее ученый делает вывод, что если теплота представляет собой динамическую форму механического эффекта, то должна существовать некоторая эквивалентность между механической работой и теплотой.

В этой же работе он подробно анализирует действие тепловой машины и указывает, что все изменения, происходящие в машинах, должны быть строго периодическими. Серию движений, произведенных в подобной машине за период, к концу которого тела возвращаются в точности к тому состоянию, в каком они находились в начале периода, Томсон предлагает назвать *полным циклом*.

Далее, развивая идеи Карно, он приходит к важному выводу, который был позже переформулирован Клаузиусом в виде основного закона термодинамики - ее второго начала. Хотя Томсон и пришел ко второму началу раньше Клаузиуса, он не смог понять всеобщности и универсальности полученных им результатов. Коллеги не поддержали его: одни считали его выводы неверными, другие - настолько самоочевидными, что не видели необходимости выделять их в особый закон. Предстояла еще упорная борьба за утверждение второго начала термодинамики в физике. Заключая перечисление заслуг Томсона в развитии термодинамики, приведем

несколько цитат, в которых наиболее отчетливо прослеживается эволюция принципа Карно в публикациях Томсона.

Обсуждая достижения Карно, Томсон пишет: "Если какая-либо машина устроена таким образом, что при работе ее в противоположном направлении все механические и физические процессы в любой части ее движений превращаются в противоположные, то она производит ровно столько механической работы, сколько могла бы произвести за счет заданного количества тепла любая термодинамическая машина с теми же самыми температурами источника тепла и холодильника". Доказательство этого положения Томсон предлагает провести на основании сформулированной им аксиомы: "Невозможно при помощи неодушевленного материального деятеля получить от какой-либо массы вещества механическую работу путем охлаждения ее ниже температуры самого холодного из окружающих тел". Аксиоматичность этого утверждения Томсон аргументирует тем, что невыполнение его означало бы возможность получать при помощи тепловой машины механическую работу в неограниченном количестве путем охлаждения суши и моря и в конце концов всего материального мира.

Здесь стоит прервать исторический экскурс в теорию тепловых явлений. В эти годы исследованием интересующего нас вопроса занимался немецкий ученый Клаузиус, который и довел его до завершающего этапа.

Построению термодинамики Клаузиусом способствовали теоретические и экспериментальные результаты, полученные его предшественниками. Без работы Карно, без ее интерпретации Клапейроном, без исследований свойств газов и паров и открытия закона сохранения и превращения энергии невозможно было бы осуществить те фундаментальные исследования, которые составляют сегодня сущность классической термодинамики. Если Карно высказал основную идею, Клапейрон и Томсон более обстоятельно разработали ее, то Клаузиус окончательно завершил трудные поиски по установлению второго начала термодинамики.

Биографические сведения

Рудольф Клаузиус родился 2 января 1822 г. в городе Кеслине, в семье пастора. Начальное образование получил в небольшой частной школе, которую патронировал его отец. После завершения начального образования он поступает в гимназию города Штеттина, окончив которую будущий ученый был принят в Берлинский университет. Интересы восемнадцатилетнего юноши были весьма разносторонни: его одинаково привлекали и история, лекции по которой читал известный в те годы профессор Л. Ранке, и математика, и физика. Но со временем гуманитарные дисциплины уступили место точным наукам. Университет был закончен блестяще. Для продолжения образования Клаузиус был командирован в университет города Галле для стажировки и написания диссертации, защита которой была завершающим этапом университетского образования. Здесь, в Галле в течение двух лет Клаузиус провел свои первые научные исследования в лабораториях университета, за что ему в 1847 г. была присуждена степень доктора философии.



R. Клаузиус

Тематика первых научных исследований Клаузиуса заслуживает внимания, так как именно эти годы становления его как ученого и выбор тематики научных поисков во многом определили карьеру будущего исследователя. В первой статье, опубликованной в 1847 г., он описывает результаты своих исследований по проблеме отражения света. Эта,

казалось бы, малоперспективная проблема увлекла молодого ученого, подошедшего к ее разрешению с совершенно неожиданной стороны. Уже в этой статье можно было заметить хватку настоящего исследователя: глубокий анализ явления, широкие познания в физике, безупречное владение математическим аппаратом. Для более глубокого проникновения в сущность изучаемого им явления Клаузиус разработал микроскопическую модель этого явления, с помощью которой ему удалось математически исследовать интересующие его вопросы. В этой работе он утверждает, что голубой цвет неба обусловлен отражением волн голубой части спектра от тонких пленок воды, которые содержатся в атмосфере в виде микропузьрьков. Здесь же им был дан математический расчет условий возникновения и существования этих пузырьков, их концентрации и размеров, толщины образуемой ими пленки, а также проведены другие, не менее важные математические выкладки.

В следующей работе, появившейся в печати в этом же году, Клаузиус показал, что при исследовании механических свойств упругих тел наблюдаются аномалии в их свойствах. Для объяснения этих аномалий он высказывает мысль, что молекулы, образующие упругое тело, по своему строению несколько отличны "от нормальных", или, точнее, за аномалии механических свойств упругих тел ответственны искажения в строении молекул. (Для себя отметим тот факт, что в этих рассуждениях Клаузиус зрительно представлял себе молекулы, хотя соответствующих теорий еще не существовало; он "видел" дефекты в их строении и искажения.)

Это глубокое проникновение в сущность изучаемого объекта позволило разработать ему в последующие годы основы молекулярно-кинетической теории и способствовало его плодотворным научным поискам. Именно эти первые работы явились подготовкой для начинающего ученого к разрешению более серьезных, фундаментальных задач современной ему физики.

Признание научных заслуг Клаузиуса пришло после выхода из печати его работы "О движущей силе тепла и о законах, которые могут быть получены из учения о теплоте", опубликованной в 1850 г., всего через три года после получения им степени доктора философии. Содержание, этой

работы явилось продолжением научных поисков Карно и Клапейрона. В этой работе Клаузиус обсуждает важные для того времени вопросы взаимопревращения теплоты и работы. Здесь же ученый дает обобщение уравнения Клапейрона - уравнения фазового перехода, которое он распространил на жидкость и на твердые тела (уравнение Клапейрона - Клаузиуса). В этой же работе, используя более точные табличные данные, он продолжает поиски вида функции Карно и изыскивает новые способы вычисления механического эквивалента теплоты. Нельзя не отметить тот факт, что уже в начале этой статьи Клаузиус в отличие от предшественников отрицает сохранение теплоты при работе тепловой машины. Он утверждает, что теплота не перераспределяется между нагревателем и холодильником, а исчезает в количестве, пропорциональном произведенной работе.

Эта статья Клаузиуса получила благоприятные отзывы в среде коллег и была замечена ведущими европейскими учеными. Официальным признанием научных заслуг Клаузиуса явилось назначение его в 1850 г. на должность преподавателя Королевской артиллерийской технической школы в Берлине. Клаузиус с увлечением продолжает развивать исследования по избранной им теме - учению о тепловых процессах. Его публикации все больше привлекают внимание ученых.

Через пять лет после выхода из печати работы, посвященной исследованию тепловых процессов, Клаузиуса приглашают в Цюрихский политехникум на должность профессора математической физики. Приглашение было принято, и вскоре молодой ученый, имя которого уже получило известность в европейских научных центрах, приступает к исполнению своих служебных обязанностей.

Годы работы в Цюрихе были самыми плодотворными в научном творчестве Клаузиуса. Здесь произошло его становление как ученого и именно здесь он создал свои работы, которые принесли ему мировую известность. В эти годы Клаузиус занимался вопросами теплоты и созданием молекулярно-кинетической теории. Сообщения о результатах его научных исследований выходили из печати регулярно, причем каждая последующая работа развивала содержание предыдущих. Научная значимость его исследований была столь высока, что друзья и коллеги посоветовали ему

объединить все опубликованные работы и подготовить монографию, в которой бы наиболее полно были изложены результаты его исследований. Обстоятельства благоприятствовали этому, и в 1867 г. она была опубликована в трех томах под общим названием "Механическая теория тепла".

Первый том монографии содержал собственно учение о теплоте. Во втором томе рассматривались вопросы механической теории электричества, менее удачно разработанные ученым. В третьем томе были изложены основы кинетической теории газов. Этот фундаментальный труд ученого сразу же получил мировое признание коллег и был переведен на многие европейские языки. Нельзя сказать, что все было в изданной работе "чисто и гладко" и не нашлось ярых противников нового учения. Но споры по тем или иным вопросам, подготовка ответов оппонентам - устных и письменных - давали возможность ученому развивать и уточнять результаты, полученные им.

В 1867 г. сорокапятилетний ученый получает новое приглашение - занять профессуру в университете города Вюрцбурга. Это было ближе к родным местам. Условия, которые ему предлагали, были заманчивы и казались более подходящими для продолжения научных изысканий. Все произошло так быстро, что Клаузиус впоследствии сам себе не мог объяснить скоропалительность принятого им решения. В действительности все оказалось не так, как ожидал ученый. Перемена места жительства не благоприятствовала осуществлению его творческих замыслов: большая педагогическая нагрузка, взаимоотношения с коллегами, отличные от тех, что царили в политехникуме, отсутствие единомышленников. Клаузиус очень сожалел, что недостаточно продумал вопрос переезда. Но все это было поправимо. Проработав в Вюрцбурге два года, он без колебаний принимает новое приглашение и переезжает в Бонн. На этот раз его ожидания не были напрасными. Перемена места жительства оказалась удачной, о чем свидетельствует тот факт, что вся - остальная жизнь ученого связана именно с этим городом.

Однако боннский период жизни Клаузиуса нельзя назвать счастливым. Именно эти годы в жизни ученого были полны трагизма. В 1870 г. во время франко-прусской войны Клаузиус

был тяжело ранен и долго лежал в полковом госпитале¹. Однако полностью излечиться ему не удалось: боли от раны мучили его все последующие годы и преждевременная смерть ученого, несомненно, связана с этим. Вскоре новый трагический случай. В 1875 г. при рождении шестого ребенка умирает жена. Воспитание детей полностью легло на его плечи, и все последующие годы он посвятил не науке, а административной деятельности, домашним делам. Он мог сделать больше, но и того, что сделано им, достаточно, чтобы его имя навечно вошло в историю физики.

Исследования Клаузиуса до сих пор не утратили научной ценности. Именно им было сформулировано второе начало термодинамики в его окончательном виде, введено понятие энтропии, оказавшееся столь плодотворным при изучении тепловых явлений и процессов. Им же предсказана возможность сублимации, теоретически обоснован закон Джоуля-Ленца, разработаны теория термоэлектричества и теория поляризации диэлектриков. В физике известны уравнение Клапейрона-Клаузиуса, неравенство Клаузиуса, уравнение Клаузиуса - Моссоти, уравнение Клаузиуса - уравнение молекулярно-кинетической теории и многое другое. Как ведущий физик Европы он вместе с У. Томсоном, Г. Гельмгольцем, Г. Кирхгофом, А. Г. Столетовым и другими известными учеными был членом Специальной комиссии по разработке единой системы единиц физических величин, которая была создана Первым международным конгрессом электриков, проходившем в Париже в 1881 г.

В последние годы жизни Клаузиус занимал должность ректора Боннского университета. Он был членом многих научных обществ, в том числе иностранным членом Петербургской Академии наук (с 1878 г.), имел много наград и отличий как в своей стране, так и за ее пределами. Больше всего Клаузиус гордился золотой медалью Коплея, которой отметило его научные заслуги Лондонское Королевское общество в 1879 г. Умер Клаузиус в Бонне 24 августа 1888 г. в возрасте 66 лет.

¹ (Обстоятельства ранения Клаузиуса установить по существующим источникам не удалось)

Клаузиус и первое начало термодинамики

Как уже отмечалось, основные результаты, полученные Клаузиусом при исследовании вопросов теплоты, были изложены в его монографии. Для понимания и оценки сущности вклада Клаузиуса в развитие и становление термодинамики достаточно ознакомиться с тремя первыми главами первого тома. Именно здесь заложен фундамент теоретической термодинамики, именно эта информация сохранила свое значение до наших дней.

Первую главу указанной работы предваряет математическое введение, в котором автором даны приемы механических и тепловых расчетов, математические определения основных физических величин, характеризующих процессы взаимопревращения теплоты и работы. Это можно понять даже по названиям параграфов "Введения": § 1. Понятие о механической работе и ее мера... § 3. Интегрирование дифференциала работы... § 8. Зависимость между работой и живой силой (кинетическая энергия. - В. К.) и т. д. Здесь же, в § 6 Клаузиус предлагает новый физический термин "эргал", эквивалентный термину "потенциальная энергия", введенному Ранкином. Но термин "эргал" коллеги не приняли и в науке он не прижился.

Первая глава монографии имеет название "Первое начало механической теории тепла, или принцип эквивалентности теплоты и работы". Прежде чем переходить к изложению результатов своих исследований, Клаузиус формулирует "исходный пункт теории". Начиная эту главу, он пишет: "В прежнее время было всеобщим воззрение, что теплота представляет собой особое вещество, которое в большем или меньшем количестве находится во всех телах, чем и обуславливается большая или меньшая высота их температуры; предполагалось, что все тела выделяют это вещество, которое затем с огромной скоростью пролетает через пустое пространство и даже через области, заполненные весомой массой, образуя, таким образом, лучистую теплоту. Однако в последнее время проложил себе путь взгляд, что теплота представляет некоторый род движения. При этом находящаяся в телах теплота, обуславливающая их температуру, рассматривается как некоторое движение весомых атомов, в котором может принимать участие также и находящийся в телах эфир. Лучистая теплота рассматривается

как колебательное движение эфира". Далее он сообщает, что в последующем изложении он будет представлять теплоту как результат движения мельчайших частиц вещества, причем именно теплота должна быть мерой кинетической энергии этого движения. Это означает, что Клаузиус уже в те годы был в числе ученых, которые полностью отказались от вещественной теории теплоты. Однако в отличие от многих коллег он не только отбрасывает старую теорию, но и предлагает новую, кинетическую теорию теплоты, которую и развивает в последующих работах. Именно в "Механической теории тепла" Клаузиус предложил для закона эквивалентности теплоты и работы название "первого начала механической теории тепла", которое впоследствии по предложению Томсона было названо "первым началом термодинамики". Здесь же он дает формулировку и математическое выражение этого закона, обобщив все известное по этому поводу в естествознании.

Первое начало термодинамики по своему содержанию представляет собой не что иное, как закон сохранения и превращения энергии для механических и тепловых процессов. Этот закон представляет собой результат многочисленных теоретических и экспериментальных исследований многих и многих ученых. Как уже указывалось, среди имен ученых, заложивших основы первого начала, следует отметить в первую очередь Р. Майера, Дж. Джоуля, Г. Гельмгольца, работы которых явились решающими для утверждения этого положения в науке. Первое начало термодинамики выясняет вопрос о процессе взаимопревращения теплоты и работы, рассматривая не только качественный, но и количественный аспекты этого процесса. Так, если термодинамической системе, например идеальному газу, сообщается некоторое количество теплоты, то наблюдается повышение температуры этого газа и как следствие его расширение. Процесс расширения газа можно использовать для получения работы против внешних сил, как это и осуществляется в тепловых машинах.

Повышение температуры рабочего тела ведет к увеличению его внутренней энергии, представляющей собой кинетическую энергию молекул, образующих газ, если рассматриваемый газ идеальный, и сумму кинетической и потенциальной энергий взаимодействия этих молекул, если исследуемый газ реальный. Из этих рассуждений становится понятным, что не

вся теплота, сообщаемая системе, переходит в работу, а только часть ее, которая пропорциональна произведенной работе.

С учетом вышесказанного первое начало термодинамики можно сформулировать следующим образом: теплота, сообщаемая системе (ΔQ), расходуется на увеличение внутренней энергии этой системы (ΔU) и на совершение работы этой системой против внешних сил (ΔA), или математически:

$$\Delta Q = \Delta U + \Delta A.$$

Теплота (16)

Правда, Клаузиус пришел к этому выводу не сразу. Эволюцию его взглядов на физический смысл первого начала термодинамики можно проследить, знакомясь с соответствующим разделом его монографии. Рассуждая по этому поводу, он пишет: "Силы, которые участвуют в работе, можно разделить на два класса: во-первых, на те, с которыми атомы тела действуют друг на друга и которые поэтому коренятся в природе самого тела, и, во-вторых, на те, которые проистекают от посторонних воздействий, которые испытывает тело". В соответствии с этими рассуждениями Клаузиус подразделяет полную работу ΔA на два слагаемых:

$$\Delta A = \Delta I + \Delta W,$$

Полная работа

где ΔI - внутренняя, ΔW - внешняя работа, и записывает первое начало термодинамики в виде

$$\Delta Q = \Delta H + \Delta I + \Delta W,$$

Первое начало термодинамики

где ΔH - энергия хаотического движения молекул, составляющих изучаемую систему.

Далее он отмечает, что так как внутренние силы нам неизвестны, то есть смысл оперировать не с отдельными слагаемыми H и I , а с их суммой:

$$U + H + I,$$

Сумма

и дает название образованной таким образом функции V внутренней энергии. С учетом этих рассуждений Клаузиус записывает первое начало термодинамики в виде (16), сохранившемся до наших дней.

После того как Клаузиус пришел к математической формулировке первого начала термодинамики, он дает физические пояснения установленного им закона: "Во всех случаях, когда из теплоты появляется работа, - пишет он, - тратится пропорциональное полученной работе количество тепла, и наоборот, при затрате той же работы получается то же количество теплоты". Затем ученый утверждает, что разность $\Delta Q - \Delta A$ всегда постоянна при переходе из одного состояния в другое. Величина ΔU , равная разности теплоты и работы, является функцией только температуры и не зависит от того, каким образом система переходит из начального состояния в конечное.

В последующих рассуждениях Клаузиус разбирает вопрос о том, что совершенная работа будет разной при осуществлении различных процессов. Здесь же он проводит классификацию процессов на обратимые и необратимые, излагает свои рассуждения о механическом эквиваленте теплоты, анализирует способы его определения и приводит числовое значение, найденное им: "Для выделения количества тепла, - пишет ученый, - нужного для поднятия температуры одного килограмма воды на один градус по Цельсию, потребна работа в 423,55 килограммометров".

В этой же главе Клаузиус поддерживает предложение Ранкина о том, что теплоту можно измерять в тех же единицах, что и работу. Это позволило бы упростить ряд теоретических и математических выражений. Но в то же время он понимает, что в те времена в связи со сложившимися в науке традициями принять его предложение практически вряд ли возможно.

Все эти дополнения, уточнения, предложения и формулировки Клаузиуса были приняты учеными, разрабатывающими те же проблемы. Именно Клаузиус одним из первых среди ученых распространил фундаментальный закон механики на тепловые процессы и понял значение этого закона для развития и становления учения о них.

Первое начало термодинамики, как и закон сохранения и превращения энергии, имеет огромное познавательное значение. Этот закон представляет собой одно из основных положений диалектического материализма. Его установление сопровождалось идеологической борьбой в философии. Немецкий ученый В. Оствальд утверждал в свое время, что все многообразие явлений в природе можно свести к энергетическим изменениям. Им же была выдвинута идея замены понятия материи понятием энергии. Оствальд утверждал, что под понятие энергии можно подвести "все физические явления, данные нам в опыте". Против энергетизма Оствальда резко выступал В. И. Ленин. Ленин показал, что отрыв движения от материи неизбежно ведет к устраниению материи и, следовательно, к идеализму: признание существования движения без материи равносильно признанию мышления без источника мысли. "Поэтому оторвать движение от материи равносильно тому, чтобы оторвать мышление от объективной реальности, оторвать мои ощущения от внешнего мира, т.е. перейти на сторону идеализма"¹.

Заключая разговор относительно первого начала термодинамики и роли Клаузиуса в его становлении, отметим одну из особенностей этого закона. Несмотря на то что первое начало термодинамики представляет собой закон сохранения и превращения энергии для механических и тепловых процессов, утверждать полную тождественность этих фундаментальных положений физики было бы не совсем правильным. Дело в том, что первое начало термодинамики представляет собой вероятностный, среднестатистический закон, применимый только к большому числу однородных объектов. Закон же сохранения и превращения энергии выполняется при любых взаимодействиях как в макро-, так и в микромире, в любых опытах, при участии любого числа объектов.

¹ (Ленин В. И. Поли. собр. соч., т. 18, с. 283)

Было бы бессмысленно утверждать, что при взаимодействии двух молекул равенство $\Delta Q = \Delta A + \Delta U$ будет справедливым. Вероятностный характер первого начала как основы термодинамики приводит к выводу, что все явления и законы термодинамики являются статистическими, о чём будет дополнительно сказано в последующих параграфах.

Клаузиус и второе начало термодинамики

Утверждение в науке первого начала термодинамики разрешило, пожалуй, меньше вопросов, чем возникло в ходе его установления. Наблюдая процессы, осуществляющиеся в газах, было замечено, что если газу предоставить дополнительный объем, то он будет самостоятельно расширяться, занимая все предоставленное ему пространство, но никогда и никому не удавалось наблюдать самопроизвольное сжатие газа. Далее, тело, нагретое до некоторой температуры, всегда охлаждается, нагревая окружающие тела и воздух, но никогда не происходит нагревания исследуемого объекта за счет охлаждения соседних тел или воздуха, хотя этот процесс не противоречит первому началу термодинамики. Или бруск, положенный на наклонную плоскость, скатывается с неё; при этом наблюдается нагревание бруска, плоскости и воздуха. Однако обратный процесс самопроизвольно не осуществляется: бруск сам по себе никогда не поднимется вверх по наклонной плоскости за счет охлаждения его и плоскости.

Приведенных примеров достаточно для того, чтобы понять сущность важнейшей проблемы термодинамики, которую ученым предстояло решить. Необходимо было разобраться в фактах и объяснить, какие из всевозможных процессов осуществимы, какие нет. Необходимо было установить, в каком направлении будет развиваться та или иная термодинамическая система, предоставленная самой себе. Но и это не все вопросы, которые волновали ученых.

Так, при работе тепловой машины Карно часть теплоты должна передаваться холодильнику. Кроме того, в реальной тепловой машине рассеяние теплоты было неизбежным фактом, что являлось причиной необратимости процессов, составляющих ее цикл. Трение, теплопроводность, теплоизлучение - все это приводило к тому, что значительная часть энергии в форме теплоты безвозвратно уходила из

системы и никакими способами ее нельзя было использовать для производства работы. Температуру, переданную холодильнику, никаким образом невозможно обратить в работу в этой же машине. Как оказалось впоследствии, проблема повышения эффективности работы тепловой машины была неотделима от сформулированных выше. Нужно было ввести какую-то количественную характеристику процессов, которая давала бы возможность оценить ту часть энергии, которая, рассеиваясь, теряет свою ценность как источник работы. Необходимо было связать ее с уже известными физическими величинами. Нужно было научиться вычислять ее для того, чтобы установить, насколько один процесс "необратимее" другого. Зная эту величину, можно было бы разрешить вопрос о том, на сколько КПД данной реальной тепловой машины меньше соответствующего значения для идеальной, работающей в том же температурном интервале. Манипулируя этой величиной, можно было бы узнать направление протекания всех мыслимых процессов и предсказать, какие из них осуществимы в реальных условиях.

Огромная заслуга Клаузиуса состоит в том, что именно ему удалось ввести в физику новую величину, названную им энтропией, использование которой давало возможность ответить на все вопросы, приведенные выше. Второе начало термодинамики представляет собой закон, который регулирует всевозможные процессы, позволяет производить оценку эффективности реальных тепловых машин и осуществляющихся в них процессах. Этот закон и был установлен Клаузиусом. Толкованию этого закона посвящена третья глава его монографии.

Содержание третьей главы не вызывает трудностей при изучении, но объем информации, заложенный в ней, очень велик и математические выкладки несколько громоздки. Попытаемся передать ее содержание современным языком, базируясь на методологических позициях нашего времени. При этом ход рассуждений ученого и его логика нисколько не пострадают.

Исходным пунктом рассуждений Клаузиуса при установлении им второго начала термодинамики служит математическое выражение для КПД идеальной тепловой машины Карно. К этому выражению можно прийти следующим образом.

Пусть рабочее тело в процессе изотермического расширения получает от нагревателя некоторое количество теплоты Q_1 и отдает холодильнику количество теплоты Q_2 . Тогда работа, произведенная машиной Карно за один цикл, будет определяться разностью $Q_1 - Q_2$. Выражая количество теплоты и работу в одинаковых единицах, можно для КПД машины Карно в соответствии с определением записать выражение

$$\eta = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1},$$

КПД

где η - КПД тепловой машины.

Так как в изотермических процессах внутренняя энергия, являющаяся функцией только температуры, неизменна ($\Delta U = 0$), то из первого начала следует:

$$\Delta Q = \Delta A.$$

Из первого начала следует

Вычислим работу, совершающую идеальным газом при его изотермическом расширении. В соответствии с определением работы

$$\Delta A = F \Delta r,$$

Работа

где F - сила давления газа на поршень; Δr - перемещение поршня. Так как $F = pS$, где p - давление газа, являющегося в этом случае рабочим телом; S - площадь поршня, то

$$\Delta A = pS \Delta r.$$

Работа (18)

Произведение $S\Delta r$ представляет собой изменение объема газа под поршнем. С учетом этого выражение (18) можно представить в виде

$$\Delta A = p\Delta V.$$

С учетом этого выражение (18) (19)

Заменяя давление идеального газа его выражением из уравнения Клапейрона для одного киломоля идеального газа

$$p = \frac{RT}{V},$$

Для одного киломоля идеального газа

получим, переходя к бесконечным малым величинам:

$$dQ = dA = \frac{RT}{V} dV.$$

Переходя к бесконечным малым величинам (20)

После интегрирования этого выражения окончательно найдем:

$$Q_{1_{\text{изотерм.расш}}} = A_1 = RT_1 \ln \frac{V_2}{V_1},$$

После интегрирования (21)

где T_1 - температура нагревателя, от которого рабочее тело (идеальный газ) принимает теплоту.

Для изотермы, соответствующей температуре T_2 , выражение для работы будет иметь вид:

$$Q_{2_{\text{изотерм.сж}}} = A_2 = RT_2 \ln \frac{V_4}{V_3},$$

Для изотермы (22)

где T_2 - температура холодильника, которому отдается часть количества теплоты, полученной от нагревателя. Работа при адиабатном расширении и сжатии газа в сумме даст нуль. Используя уравнение Пуассона для адиабатных процессов, можно показать, что

$$\frac{V_2}{V_1} = \frac{V_4}{V_3}.$$

Для адиабатных процессов (23)

Тогда, подставляя выражения для Q_1 и Q_2 из (21, 22) в (17) и учитывая равенство (23), получим для КПД идеальной тепловой машины Карно выражение

$$\eta = \frac{T_1 - T_2}{T_1},$$

КПД идеальной тепловой машины (24)

где T_1 и T_2 - соответственно температуры нагревателя и холодильника.

Таким образом, КПД тепловой машины Карно, как это и утверждал автор, полностью определяется температурами нагревателя и холодильника.

Объединяя выражения для КПД (17) и (24), Клаузиус получает равенство, справедливое для тепловых машин, работающих по обратимому циклу:

$$\frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = \frac{T_1 - T_2}{T_1}.$$

Объединяя выражения для КПД (17) и (24), (25)

После несложных преобразований получаем:

$$\frac{Q_1}{T_1} - \frac{Q_2}{T_2} = 0.$$

После несложных преобразований (26)

Отношение Q/T Клаузиус назвал приведенной теплотой. Выражение (26) означает: для обратимого цикла, каким является цикл Карно, сумма величин, равных отношению количества теплоты, переданной или принятой каким-либо из тепловых резервуаров, к температуре соответствующего резервуара, равна нулю. Это утверждение следует из того, что приведенные теплоты, отнесенные к телу или к системе тел, принимающих теплоту, входят в уравнение (26) со знаком "минус". Иначе уравнение (26) может быть представлено в виде

$$\sum \frac{Q_i}{T_i} = 0,$$

Иначе уравнение (26), (26, а)

т. е. алгебраическая сумма приведенных теплот в машине, работающих по циклу Карно, равна нулю.

В последующем изложении Клаузиус обобщает полученный результат на произвольные обратимые циклы, отличные от цикла Карно. Для этого он предлагает произвольный обратимый цикл разбить бесконечно близко расположеными изотермами и адиабатами на элементарные циклы Карно. Для каждого из элементарных циклов справедливо равенство

$$\frac{dQ}{T} = 0,$$

Для каждого из элементарных циклов (26, б)

где dQ - "порции" теплоты, которыми рабочее тело обменивается с нагревателем или холодильником в элементарном цикле Карно. С учетом этого для произвольного обратимого цикла имеем:

$$\oint \frac{dQ}{T} = 0,$$

Для произвольного обратимого цикла (27)

где кружок на интеграле означает, что суммирование отношений dQ/T производится по замкнутому циклу.

Введение физической характеристики тепловых процессов, представляющей собой отношение теплоты, полученной или отданной, к температуре этого перехода, оказалось очень плодотворным для дальнейшего развития термодинамики. Математически выражение (27) означает, что существует некоторая функция, изменение которой полностью определяется параметрами начала и конца процесса или цикла и не зависит от способа перехода системы из одного состояния в другое. Эта однозначная функция является важной характеристикой термодинамических процессов. На основании вышеприведенных рассуждений Клаузиус предлагает использовать для характеристики тепловых процессов эту функцию, полный дифференциал которой равен отношению dQ/T , т. е.

$$\frac{dQ}{T} = dS,$$

Полный дифференциал (28)

где S - искомая функция состояния, названная Клаузиусом энтропией.

Если термодинамическая система изолирована, т. е. не происходит теплообмена между телами системы и телами, не входящими в нее, то $dQ=0$ и для некоторого обратимого процесса 1 - 2 имеем:

$$\int_1^2 \frac{dQ}{T} = S_2 - S_1,$$

Если термодинамическая система изолирована (28, а)

или

$$S_2 = S_1.$$

Если термодинамическая система изолирована (29)

Полученный результат означает, что в обратимых процессах энтропия системы остается неизменной. Иначе, в обратимых процессах повышение энтропии одних тел полностью компенсируется уменьшением энтропии остальных тел, составляющих данную термодинамическую систему. Поведение энтропии в реализуемых процессах является одним из способов определения характера данного процесса или цикла: обратимы они или нет и если необратимы, то насколько данный процесс или цикл сильнее отличается от обратимого, чем любые другие. Для того чтобы более четко уяснить сущность излагаемого, рассмотрим поведение энтропии в обратимых и необратимых процессах и циклах.

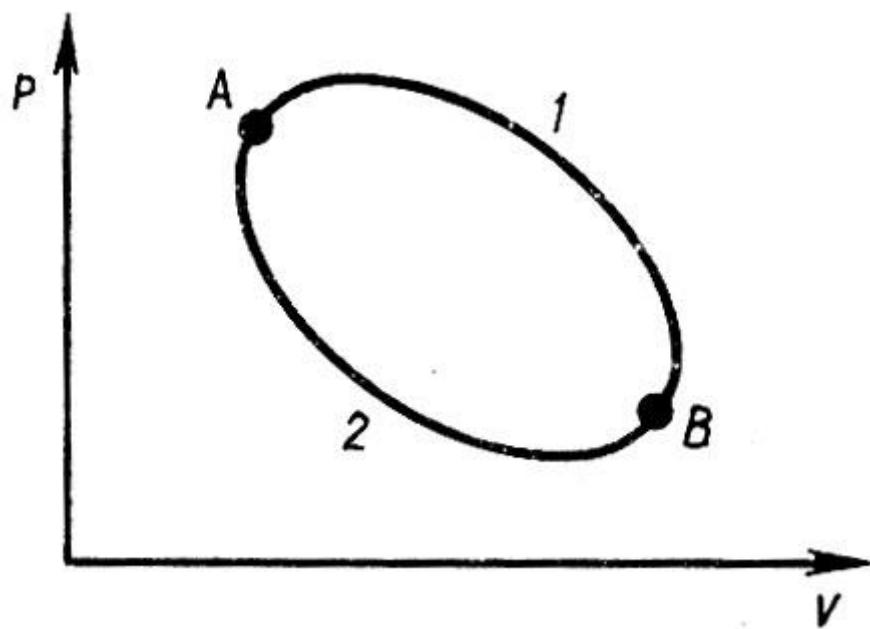


Рис. 8. Пусть некоторая термодинамическая система совершает цикл A1B2A

Пусть некоторая термодинамическая система совершает цикл A1B2A (рис. 8). Если рассматриваемый цикл обратимый, то

$$\oint \frac{dQ}{T} = 0,$$

Если рассматриваемый цикл обратимый
или после разбиения этого цикла на два процесса

$$\int_{A1B} \frac{dQ}{T} + \int_{B2A} \frac{dQ}{T} = 0.$$

После разбиения этого цикла на два процесса

Перепишем последнее равенство в виде

$$\int_{A1B} \frac{dQ}{T} = - \int_{B2A} \frac{dQ}{T}.$$

Перепишем последнее равенство (30)

Так как процессы A1B и B2A обратимые, то направление обхода B2A можно заменить на обратное и равенство (30) переписать в виде

$$\int_{A1B} \frac{dQ}{T} = \int_{A2B} \frac{dQ}{T}.$$

Так как процессы A1B и B2A обратимые

Следовательно, интеграл

$$\int_{AB} \frac{dQ}{T}$$

Следовательно

не зависит от пути перехода из А в В, а определяется только параметрами начального и конечного состояний.

Так как

$$\int_{AB} \frac{dQ}{T} = \Delta S,$$

Зависимо от пути перехода

то для изолированной системы, совершающей обратимый процесс,

$$\Delta S = S_B - S_A = 0,$$

Для изолированной системы

или

$$S_B = S_A,$$

Для произвольного обратимого процесса

что и было получено выше для произвольного обратимого процесса. Полученное равенство означает, что после завершения обратимого цикла энтропия системы остается неизменной.

Иначе обстоит дело, если цикл, по которому работает тепловая машина, является необратимым. Из ранее приведенных рассуждений следует, что КПД реальной тепловой машины всегда меньше КПД машины Карно:

$$\frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} < \frac{T_1 - T_2}{T_1}.$$

Сравнение КПД (31)

После преобразования этого неравенства получим:

$$\frac{Q_1}{T_1} - \frac{Q_2}{T_2} < 0,$$

После преобразования

или с учетом правила знаков

$$\oint \frac{dQ}{T} < 0.$$

С учетом правила знаков (32)

Выражение (32) означает, что приведенная теплота, отнесенная к холодильнику, имеет большее абсолютное значение, чем соответствующая величина для нагревателя.

Рассмотрим тепловую машину,工作的 по необратимому циклу. Если процесс B2A предполагать необратимым, то и весь цикл A1B2A будет также необратимым. Для этого случая

$$\int_{A1B} \frac{dQ}{T} + \int_{B2A} \frac{dQ}{T} < 0.$$

Тепловая машину, работающая по необратимому циклу

Так как первый интеграл в правой части этого неравенства записан для обратимого процесса, то его можно заменить в соответствии с (28, а):

$$S_B - S_A + \int_{B2A} \frac{dQ}{T} < 0,$$

Первый интеграл в правой части можно заменить

или

$$\int_{B2A} \frac{dQ}{T} < S_A - S_B.$$

первый интеграл в правой части можно заменить

Если система изолирована ($dQ=0$), то для необратимого процесса получим:

$$Q < S_A - S_B,$$

Для необратимого процесса

или

$$S_A > S_B.$$

Для необратимого процесса (33)

Ввиду того что изменение состояния в системе рассматривается по направлению процесса от В к А, то можно утверждать, что к концу необратимого процесса энтропия системы возросла. Так как описываемый выше процесс рассматривался в общем виде, то отсюда следует общий вывод о возрастании энтропии в необратимых процессах. Иначе, необратимые, реальные процессы развиваются всегда в таком направлении, следование по которому приводит к возрастанию энтропии. К сказанному нужно добавить, что по приросту энтропии можно судить о степени необратимости интересующего нас реального процесса.

В этом месте у читателя возможно возникает недоумение: состояния А и В однозначно определяются параметрами системы, но они отличны, а энтропия, определяемая через эти параметры, имеет одинаковое значение и в А, и в В, если процесс обратимый, и различное, если процесс необратимый. Здесь все дело в том, что графическое изображение процессов А1В и В2А (см. рис. 8) относится к изменению состояния одного из тел термодинамической системы, в данном случае к рабочему телу тепловой машины. В действительности значение энтропии остается неизменным для группы тел, участвующих в тепловых процессах и представляющих собой термодинамическую систему (источник теплоты, источник работы, рабочее тело и др.). Повышение энтропии рабочего тела в обратимых процессах вызывает понижение ее значения в других телах системы.

Все вышеприведенные рассуждения относительно направления протекания процессов с использованием понятия энтропии и составляют сущность второго начала термодинамики. Математически второе начало термодинамики определяется следующим образом: разность энтропий двух состояний системы равна интегралу ($\int dQ/T$) между этими состояниями, если процесс между ними обратимый, и больше этого интеграла, если процесс необратимый.

Высказанные утверждения не означают, что разность энтропии между состояниями 1 - 2 зависит от типа процесса перехода между этими состояниями. Энтропия является однозначной функцией состояния термодинамической системы, и, следовательно, ее изменение для любого процесса, осуществляющегося между этими состояниями, одинаково. Знак неравенства в формуле (32) указывает лишь на то, что в случае необратимого процесса интеграл в левой части уже не выражает собой разность энтропии, а меньше ее, тогда как в обратимых процессах соблюдается равенство суммы приведенных теплот и изменения энтропии.

Второе начало термодинамики представляет собой закон, указывающий направление протекания различных процессов. Используя второе начало термодинамики, можно установить связь между тем количеством теплоты, которое превращается в работу (или получается за счет механической работы), и тем, которое переходит от более теплого тела к более холодному (или наоборот, в холодильных машинах). Существует несколько формулировок второго начала термодинамики, но все они равнозначны и приводят к одинаковым следствиям. В работе Клаузиуса второе начало термодинамики сформулировано так: "Теплота не может переходить сама собой от более холодного тела к более теплому". А несколько ниже: "Переход теплоты от более холодного тела к более теплому не может иметь места без компенсации". Эти же мысли Клаузиус выражает в виде правила: "...Дробь Q_1/Q_2 может зависеть только от температуры T_1 и T_2 ". Последняя формулировка наиболее близка к результату, полученному Карно. Все процессы, противоречащие утверждаемому в формулировках, протекали бы с убыванием энтропии, и осуществление их практически невозможно.

Пользуясь информацией, заложенной во втором начале термодинамики, можно теоретически исследовать всевозможные мыслимые процессы. Вычисляя изменение энтропии для интересующих нас процессов, можно узнать, обратим данный процесс или нет. Если значение энтропии в некотором процессе не изменилось, значит, данный процесс является обратимым; если же значение энтропии возросло - необратимым. Нужно отметить, что все реальные процессы протекают всегда с возрастанием энтропии. Чем больше прирост энтропии при переходе из одного состояния в другое, тем дальше данный процесс от обратимого, тем меньше работы производится за счет каждой единицы теплоты в данном процессе, тем меньше КПД данного процесса. Если расчет какого-либо задуманного процесса приводит к тому, что при его протекании энтропия должна убывать, то это означает, что такой процесс практически неосуществим. Таким образом, введение понятия энтропии дало возможность ответить на все те вопросы, которые были сформулированы в начале этого параграфа.

Понимание физического смысла энтропии связано с многочисленными трудностями, возникающими особенно у тех, кто впервые знакомится с этой физической величиной. Однако в действительности новое понятие нисколько не труднее других понятий физики. "Энтропия представляется несколько таинственной в том смысле, - пишет известный французский ученый А. Пуанкаре, - что величина эта недоступна ни одному из наших чувств, хотя и обладает действительным свойством физических величин, потому что по крайней мере в принципе вполне поддается измерению". Энтропия как физическая величина характеризует направление протекания того или иного реального процесса. Как следует из приведенных рассуждений, наиболее вероятен такой процесс, при осуществлении которого наблюдается наибольший прирост энтропии. "Энтропия является, следовательно, величиной, - продолжает Пуанкаре, - в некотором роде измеряющей эволюцию данной системы или по крайней мере указывающей направление этой эволюции".

И если до сих пор понятие энтропии приводит в смущение начинающих изучать термодинамику, то можно представить те трудности, которые стояли на пути Клаузиуса при его неустанном, хотя и нелегком, продвижении к истине. Редко кому из ученых выпадает честь ввести новую величину,

характеризующую то или иное свойство. Клаузиус был одним из немногих таких "счастливчиков".

Глава V. Дальнейшие шаги термодинамики

"Тепловая смерть" вселенной

Последовательно развивая основные положения термодинамики, ученые пришли к выводу, реакционному по своей сути и в корне противоречащему материалистическому мировоззрению. Начало положил У. Томсон. В работе "О проявляющейся в природе тенденции к рассеянию механической энергии", опубликованной в 1852 г., он обратил внимание ученых на следствия, которые вытекают из учения Карно. Так, пишет Томсон, при переходе теплоты от одного тела к другому, находящемуся при более низкой температуре, если процесс осуществляется не в идеальной машине Карно, а в реальных тепловых двигателях, происходит общая потеря энергии, которая в дальнейшем не может быть использована. Далее он утверждает, что если теплота образуется при осуществлении необратимого процесса, например при трении, то происходит рассеяние механической энергии и возвращение системы к первоначальному состоянию становится невозможным. К этому следует добавить, что возвращение отнятой от нагревателя теплоты к ее первоначальному значению невозможно вследствие отвода теплоты из системы путем теплопроводности. И наконец, теплота излучения не может быть возвращена к первоначальному состоянию и использоваться для производства работы.

Рассеяние теплоты в окружающее пространство с течением времени приведет к тому, что все тела Вселенной окажутся в состоянии термодинамического равновесия, т. е. температура всех тел станет одинаковой и из имеющейся во Вселенной теплоты никакие другие виды энергии получить не удастся.

Высказанная Томсоном концепция получила в ученом мире название "тепловой смерти" Вселенной. К аналогичным выводам пришел и Клаузиус. Исследуя необратимые процессы, он показал, что при протекании их энтропия всегда увеличивается. А так как энтропия есть мера способности теплоты к превращениям в другие виды энергии, то, рассуждает далее Клаузиус, через некоторое время во

Вселенной должно наступить тепловое равновесие. Он утверждал, что хотя энергия некоторой системы и остается постоянной (первое начало термодинамики), однако с течением времени она лишается способности к превращениям, а значит и способности совершать работу. Это означает, что всякая термодинамическая система со временем "деградирует", наступает "тепловая смерть".

Концепция "тепловой смерти" Вселенной имеет не только физический, но и философский смысл. Нелепые выводы относительно "смерти" Вселенной, конечно же, пришли по вкусу жрецам религии, так как библейская легенда о сотворении мира и о его конце однозначно получала научное подтверждение. Концепцию "тепловой смерти" с ликованием подхватили не только теологи, но и философы идеалистического толка. Борьба "эмпириков" и теоретиков была борьбой не научных течений, а борьбой двух противоположных мировоззрений. Именно в результате борьбы со сторонниками идеалистического лагеря утвердилось в науке миропонимание, соответствующее действительности. Маркс и Энгельс внимательно следили за развитием естествознания и не случайно первая критика гипотезы "тепловой смерти" была дана Ф. Энгельсом в его работе "Диалектика природы".

Энгельс неоднократно утверждал, что результаты, полученные учеными, строго говоря, противоречат первому началу термодинамики. Дело в том, что в первом начале термодинамики утверждается количественное сохранение энергии, но, продолжает Энгельс, многими совершенно не учитывается тот факт, что энергия сохраняется не только количественно, но и качественно. В силу этого утверждения не могут все виды энергии перейти в тепловую. "Количественное постоянство движения, - писал он, - было высказано уже Декартом и почти в тех же выражениях, что и теперь (Клаузиусом, Робертом Майером?). Зато превращение формы движения открыто только в 1842 г., и это, а не закон количественного постоянства, есть новое"¹.

¹ (Маркс К., Энгельс Ф. Собр. соч., т. 20, с. 595)

Несмотря на многочисленные попытки материалистически мыслящих ученых найти ошибку в рассуждениях Томсона и Клаузиуса долго не удавалось. Первым ученым, кто разрешил вопрос о "тепловой смерти", был австрийский физик Л. Больцман. Разрабатывая статистическую трактовку основных положений термодинамики, он пришел к выводу, что результаты Томсона и Клаузиуса неверны. И причин этому несколько. Во-первых, вряд ли справедливым можно считать мнение о том, что Вселенная представляет собой изолированную систему. Во-вторых, второе начало термодинамики вследствие своего статистического характера применимо только к большому числу однородных объектов. Больцман утверждал, что отклонения от второго начала термодинамики возможны, но эти отклонения представляют собой не что иное, как флуктуации состояния. Энтропия может уменьшаться в объемах, содержащих несколько молекул, но для большого коллектива молекул, для макросистемы, теория вероятности предсказывает единственный путь развития - возрастание энтропии. Следовательно, наряду с общей тенденцией к возрастанию энтропии некоторой изолированной системы в отдельных областях ее возможны процессы, протекающие с убыванием энтропии. В-третьих, второе начало термодинамики, по крайней мере его статистическая интерпретация, разработано для молекул, а Вселенная представляет собой другие объекты - планеты, звезды, звездные скопления, галактики и др., и переносить закономерности мира молекул на объекты, составляющие Вселенную, представляется совершенно необоснованным.

Полученные Томсоном и Клаузиусом результаты, строго говоря, противоречат первому началу термодинамики, в котором утверждается неуничтожимость движения, причем не только количественно, но и качественно. Концепция "тепловой смерти" Вселенной, созданная физиками, ими же была и похоронена.

Ф. Энгельс в "Диалектике природы" показал, к каким неприемлемым, антинаучным выводам приводит неправомерное распространение законов термодинамики на всю Вселенную в целом. Он показал, что в теории "тепловой смерти" мира скрывается внутреннее противоречие такого расширения этих законов. Вывод о "тепловой смерти" Вселенной есть в сущности вывод, противоречащий закону сохранения энергии.