

С. С. КУТАТЕЛАДЗЕ · Р. В. ЦУКЕРМАН

РАЗВИТИЕ
ТЕОРИИ ТЕПЛОТЫ
В РАБОТАХ
РУССКИХ УЧЕНЫХ



ИЗДАТЕЛЬСТВО



Основоположник механической теории теплоты
академик Михаил Васильевич Ломоносов
(1711—1765).

Глава первая

МЕХАНИЧЕСКАЯ ТЕОРИЯ ТЕПЛОТЫ М. В. ЛОМОНОСОВ

СОВРЕМЕННАЯ ТЕОРИЯ ТЕПЛОТЫ связана в своих основах с наиболее фундаментальными законами природы, а именно с законами сохранения массы и энергии и законами движения и взаимодействия атомов и молекул, составляющих окружающие нас тела. До того как прийти к стройной и строгой системе взаимосвязей, характеризующих чрезвычайно глубокие свойства материи, современная наука прошла длительный и весьма болезненный путь развития. Если закон сохранения массы стал широко известен в конце XVIII столетия, то кинетическая теория материи и механическая теория теплоты сложились в нечто целое только к середине второй половины XIX столетия. Потребовался труд десятков выдающихся ученых, чтобы соединить разрозненные исследования в одну стройную теорию. На этом фоне, как нечто совершенно исключительное, вырисовывается фигура великого деятеля русской науки М. В. Ломоносова, создавшего в середине XVIII столетия единую теорию теплоты и строения вещества, содержащую в себе все основные положения той теории, которая сложилась на Западе только лишь в конце XIX столетия.

При этом Ломоносов ломал неправильные представления, имевшиеся в то время в науке, опровергая не только ложные гипотезы, но и ошибочно проведенные эксперименты даже таких выдающихся ученых, как Роберт Бойль. Неверной теории Ломоносов противопоставлял ясное и логическое изложение своих взглядов, ошибочному опыту — оригинально задуманный, тщательно проведенный и наглядный собственный опыт.

Закон сохранения массы был установлен Ломоносовым теоретически в 1748 г. [Л. 112] и доказан экспериментально в 1756 г. путем опытов с накаливанием металлов в «заплавленных накрепко стеклянных сосудах, дабы исследовать, прибывает ли вес металлов от чистого жару. Оными опытами нашлось, что славного Роберта Бициа (Бойля) мнение ложно, ибо без пропущения внешнего воздуха вес сожженного металла остается в одной мере» (из доклада Ломоносова в Академии наук) [Л. 112].

Только через 17 лет эти опыты были повторены во Франции Лавуазье (1773 г.).

История этого первостепенного по значимости открытия представляет собой начало качественно нового взаимодействия между материалистическим мировоззрением ученого и его практической деятельностью как естествоиспытателя. Вечность и количественная неизменяемость материи философски утверждались материалистами и до Ломоносова. Так, материалист древности и один из основоположников атомистического учения Лукреций Кар писал: «Знай же: материя вся безусловно не сплочена тесно, ибо все вещи, как мы замечаем, становятся меньше и как бы тают они в течение долгого века, и похищает их ветхость из наших очей незаметно; в целом, однако, стоит нерушимо вещей совокупность в силу того, что тела, уходящие

прочь, уменьшают вещи, откуда ушли, а другие собой приращают» [Л. 120]. Но потребовалось около двух тысячелетий для того, чтобы естествоиспытатель сознательно поставил эксперимент с целью опытного подтверждения этого важнейшего вывода материалистической философии. Это величайшее научное деяние совершил Ломоносов. Оно принадлежит русской науке и обусловлено тем стремлением к сочетанию теории и практики, которое является одной из замечательнейших черт русского национального характера и было столь ярко выражено и глубоко осознано в деятельности Ломоносова.

Принципиальной основой всех физических и химических исследований Ломоносова является его кинетическая теория материи.

Атомистическая теория со времен Демокрита (IV столетие до нашей эры) неоднократно выдвигалась различными учеными. Было не мало ее сторонников и среди современников Ломоносова. Но Ломоносов был первым, приложившим строгое атомистическое представление к исследованию целого ряда конкретных законов природы. Этим он перенес исследование в качественно новую область. Атомистическая теория стала действенным оружием в руках естествоиспытателя.

По представлению Ломоносова, первоначальные частички сложного тела «корпускулы» (современная молекула) сложены из «элементов» (современный атом). Различие сложных тел обусловлено различием их частичек. Тела, которые не могут быть подвергнуты никакому химическому разложению, суть «начала» (современные элементы). Каждая частичка сложного тела содержит в себе «начала» в том же отношении, как и все это тело в целом.

Частички тела находятся в непрерывном движе-

нии и, обладая конечной массой и размером (хотя и нечувствительно малым), подчиняются всем законам механики. Частички могут обладать поступательным, колебательным и вращательным движением. Так, например, поступательные движения частичек вызывают быстрое и равномерное распределение растворенной соли во всем объеме жидкости.

Такая четкая кинетическая теория материи, естественно, приводит к обобщению известных случаев получения тепла путем трения отдельных предметов друг о друга и к утверждению того, что теплота является видом движения.

В § I диссертации «Размышления о причине теплоты и холода» [Л. 112] Ломоносов пишет: «Весьма известно, что тепло¹ возбуждается движением: руки от взаимного потирания согреваются, дерево загорается, искры вылетают при ударе кремнем о сталь, железо накаливается при ковании его частыми сильными ударами; при прекращении их тепло уменьшается и полученный огонь потухает. Затем тела при нагревании или расплываются по воздуху в виде нечувствительных частей, или превращаются в пепел, или плавятся по нарушению сцепления частей. Далее тепло содействует рождению тел, жизни, произрастанию, брожению, гниению, холод же их задерживает. *Из всего этого совершенно очевидно, что имеется достаточное основание теплоты в движении. А так как никакое движение без материи происходить не может, то необходимо, чтобы достаточное основание теплоты состояло в движении какой-либо материи*» (подчеркнуто нами, *изт.*).

¹ Под этим названием мы понимаем и большую его силу, обычно именуемую огнем (*примечание М. В. Ломоносова*).

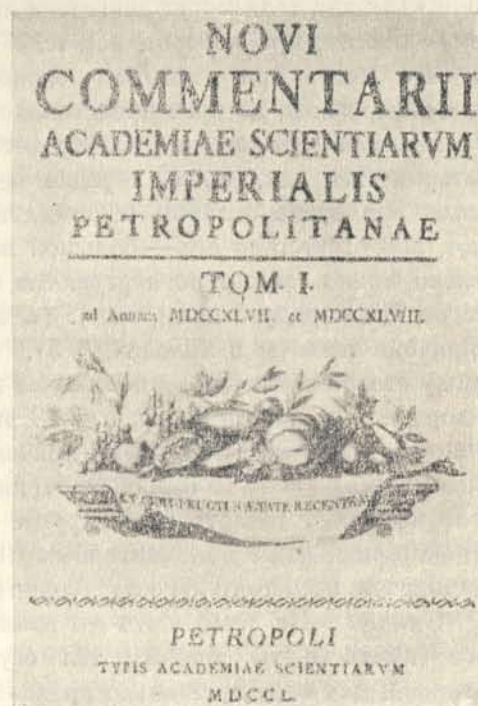
И далее: «Так как тела могут двигаться двояким движением — общим, при котором все тело меняет постоянно свое место при взаимном спокойствии частиц, или внутренним, которое представляется состоящим в изменении положения нечувствительных частей материи; так как, далее, нередко не замечается тепла при очень сильном общем движении и, наоборот, при отсутствии его — большой жар, то, следовательно, *тепло состоит во внутреннем движении вещества* (подчеркнуто нами, *авт.*). («Размышления о причине теплоты и холода», § 3).

По поводу сторонников теории невесомых жидкостей (теплорода и др.) Ломоносов в § 28 этой же диссертации замечает: «В наше время причина теплоты приписывается какой-то особой материи, которую многие называют теплотворной, другие — эфиром, а некоторые даже элементарным огнем». И далее, доказав несостоятельность теории теплорода, в § 34 пишет: «Из всего этого мы заключаем, что нечего приписывать теплоту тел сгущению какой-то тонкой, для сего специально предназначенной материи». И это было написано в первой половине XVIII столетия!

Насколько велик этот научный подвиг Ломоносова, можно судить по следующим словам Ф. Энгельса, написанным им по поводу теории теплоты:

«Итак, практика по-своему решила вопрос об отношениях между механическим движением и теплотой: она сперва превратила первое во вторую, а затем вторую в первое. А как обстояло дело с теорией?»

Довольно печально. Хотя именно в XVII и XVIII веках бесчисленные описания путешествий кишели рассказами о диких народах, не знавших другого способа получения огня, кроме трения, но физики этим почти совершенно не интересовались;

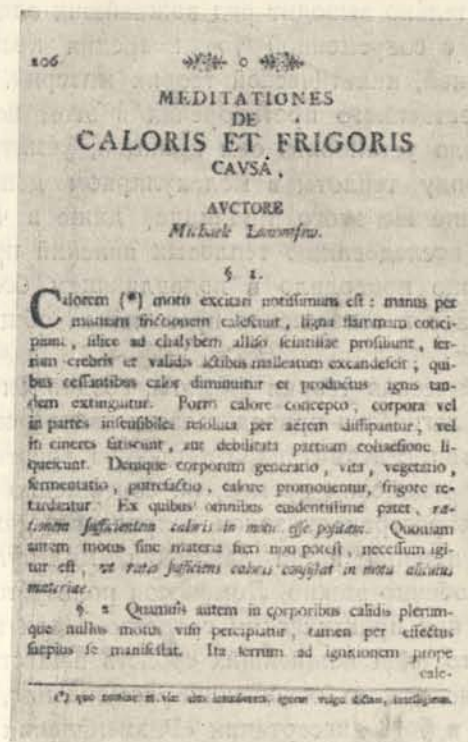


Первый том „Новых комментариев Петербургской Академии наук“, в котором напечатана диссертация М. В. Ломоносова „Размышления о причине теплоты и холода“.

с таким же равнодушием относились они в течение всего XVIII и первых десятилетий XIX века к паровой машине.»¹ И далее, несколько ниже, идет уже цитированная нами фраза о С. Карно.

Мы видим, что Ломоносов шел в разработке учения о теплоте именно по тому единственно правиль-

¹ Ф. Энгельс, «Диалектика природы». ОГИЗ, Госполитиздат, 1948, стр. 83—84.



Первая страница диссертации М. В. Ломоносова „Размышления о причине теплоты и холода“.

ному пути, которого так долго не видели западно-европейские ученые.

Рассматривая все возможные движения частиц, Ломоносов приходит к выводу, что тепловые явления связаны только с их вращательным движением. Как ни оригинальны рассуждения Ломоносова по этому поводу, однако мы теперь знаем, что вращение является только частью движений молекул, определяющих количество внутренней тепловой энергии тела. Несмотря на это, Ломоносов весьма

последовательно выводит ряд важнейших следствий из своей, с современной точки зрения несколько ограниченной, кинетической теории материи. Никакого существенного противоречия в этом нет, ибо важно было установить сам принцип, усматривающий природу теплоты в молекулярном движении. Приложение же этого принципа, даже в частной форме, к исследованию тепловых явлений природы закономерно приводило в подавляющем большинстве случаев к совершенно правильным общим выводам.

Механическая теория теплоты, созданная Ломоносовым, логически приводит его к закону сохранения энергии. Рассматривая тепловую энергию как результат движения атомов, он совершенно естественно распространяет закон сохранения механического движения и на движения молекулярные. И, что особенно важно, Ломоносов пользуется этим законом, как практическим средством для выяснения целого ряда важнейших свойств вещества. Замечательно в этом отношении рассуждение, содержащееся в § 18 диссертации «Размышления о причине теплоты и холода». «Если более горячее тело *A* находится в соприкосновении с другим, менее нагретым телом *B*, то частички *A*, расположенные в месте касания, как вращающиеся скорее частичек соседнего тела *B* (§ 13), ускоряют вращательное движение последних, т. е. сообщают им часть своего движения; но сколько движения уйдет от одних, столько прибавится у других, так что, когда частички тела *A* ускоряют вращательное движение частичек тела *B*, то тем самым замедляют свое собственное. Поэтому тело *A*, соприкосновением нагревающего тело *B*, само охлаждается».

Здесь, исходя из кинетической теории материи и закона сохранения энергии, Ломоносов впервые в

истории науки дает в общем совершенно правильное объяснение механизма теплопроводности.

Нет возможности исчерпать в кратком очерке всё богатство мыслей, содержащихся в механической теории теплоты Ломоносова. Вскрыв действительную природу тепловых процессов, он дал анализ ряда их конкретных проявлений. Выше мы видели созданную Ломоносовым теорию механизма теплопроводности. Ниже мы остановимся еще на двух важнейших его положениях.

Рассматривая теплоту как результат молекулярного движения, Ломоносов фактически приходит к представлению о степени нагретости тел (температуре) как мере кинетической энергии частиц. Столь же естественным путем он открывает существование абсолютного нуля температурной шкалы — высшей ступени холода, как такого состояния, при котором прекращается движение молекул. В § 26 «Размышлений о причине теплоты и холода» он пишет: «Итак, высшая и последняя степень холода состоит в абсолютном прекращении вращательного движения и по необходимости может существовать».

Лишь спустя более 100 лет Томсон в Англии вновь «открыл» абсолютный нуль температуры.

В § 25, исследуя взаимодействие двух различных нагретых тел и устанавливая, аналогично ходу мыслей в § 18, что частички более нагретого тела *A* не могут сообщить частичкам тела *B* скорость большую той, которой они обладают, Ломоносов приходит к выводу, что тело *B* не может получить количество тепла больше того, которое отдано телом *A*.

Кроме этого количественного вывода, научная теория Ломоносова о механизме теплообмена приводит его и к качественному выводу, подтверждаемому практикой: если частицы тела *B* не могут получить от частиц тела *A* скорость движения боль-

ше той, которой обладают частицы тела *A*, то и степень нагрева тела *B* не может стать больше, чем степень нагрева тела *A*.

Эти выводы Ломоносова содержат в себе основы дальнейшего развития учения о теплоте.

Первый вывод включает тепловые явления в высказанные Ломоносовым и подтвержденные опытом общие положения о сохранении энергии и материи. Таким образом, этот вывод является достаточной предпосылкой для появившихся только в середине XIX века формулировок *первого* закона термодинамики, устанавливающего эквивалентность теплоты и работы.

Второй вывод является достаточной предпосылкой для последующих формулировок *второго* закона термодинамики. Этот вывод Ломоносова объяснял на основе кинетической теории тепла физическую сущность второго закона, сформулированного Клаузиусом во второй половине XIX века в следующем виде: «Теплота никогда не может переходить сама собой от более низкой температуры к более высокой».

Резюмируя изложенное, можно сказать, что Ломоносов впервые в истории науки создал основы кинетической теории теплоты как одного из видов движения, являющегося «формой бытия материи»¹.

Кинетическая теория теплоты М. В. Ломоносова содержала в себе все основные элементы современной теории, а именно: закон сохранения массы и энергии; представление о теплоте как результате движения элементарных частиц тела; о степени нагрева как мере интенсивности движения этих частиц; о механизме теплопроводности как обмена энергией

¹ Ф. Энгельс, «Анти-Дюринг».

движения между отдельными частицами; об абсолютном нуле температуры и др.

Ломоносов самым убедительным образом разоблачил ненаучность господствовавших в то время «теорий» теплорода и флогистона.

Таким образом, этим великим русским ученым были созданы все необходимые предпосылки для мощного движения вперед всего естествознания того времени. Практическая, т. е. объективная необходимость в таком движении уже существовала, однако этот революционный переворот во всей физике произошел лишь более чем через сто лет после появления работ Ломоносова. Мы думаем, что в этом общечеловеческом несчастье, случившемся с естествознанием в середине XVIII века, повинно, главным образом, то идеалистическое мировоззрение, которое господствовало в западноевропейской науке. К этому вопросу мы еще вернемся в конце этой книги.

В заключение данной главы надлежит еще отметить, что теория теплоты разрабатывалась Ломоносовым не отвлеченно, а в сочетании с опытными исследованиями.

Такой метод является характернейшей особенностью всей научной деятельности М. В. Ломоносова, являвшегося одним из немногих ученых домарксистского периода развития философии, достаточно отчетливо понимавших необходимость непосредственного сочетания теории и практики. По этому поводу в «Рассуждениях о большой точности морского пути» М. В. Ломоносов пишет: «Из наблюдений устанавливать теорию, через теорию исправлять наблюдения — есть лучший способ к изысканию правды».

К непосредственно интересующему нас в этой работе вопросу относятся опытные исследования

Ломоносова по определению коэффициента расширения воздуха.

Как известно, знание этого коэффициента позволяет легко составить абсолютную шкалу температур, а именно, если коэффициент расширения идеального газа есть α , то температура абсолютного нуля, выраженная в градусах данного термометра, будет равна

$$t_0 = \frac{1}{\alpha}. \quad (1)$$

Обработка опытов М. В. Ломоносова в современных единицах измерений дает значение $\alpha = 0,0027$, что примерно на 25% ниже принятого в настоящее время. Результаты этих опытов были им использованы при сооружении воздушного термометра, предназначенного для измерений очень низких температур. Этот термометр Ломоносова является прообразом современных газовых (водородных и др.) термометров.

Шкала ломоносовского термометра имела 0° при температуре замерзания воды и 150° при температуре кипения воды под нормальным атмосферным давлением.

Таким образом, современный $1^\circ \text{C} = \frac{2^\circ}{3}$ Ломоносова.

Вместе с М. В. Ломоносовым вопросами термометрии подробно занимался академик Г. В. Рихман, которому принадлежит также ряд первых экспериментальных исследований в области теплопередачи и испарения¹.

¹ О работах Г. В. Рихмана см. гл. IV.

Глава вторая

ТЕОРИЯ ТЕПЛОТЫ В ПРОЕКТЕ ОГНЕДЕЙСТВУЮЩЕЙ МАШИНЫ И. И. ПОЛЗУНОВА

НЕПОНЯТЫЕ и встреченные враждебно ученым миром Западной Европы¹ материалистические научные взгляды М. В. Ломоносова получили блестящее техническое применение в деятельности выдающегося русского инженера и ученого — Ивана Ивановича Ползунова, создавшего первый в мире универсальный паровой двигатель². Ползунов первый понял и четко выразил [Л. 60] особое значение паровой машины, как универсального двигателя, не связывающего предприятия с географическим местонахождением источника энергии и поэтому способ-

¹ Так, например, в 1754 г. некий И. Арнольд защищал в Эрлангенском университете диссертацию, направленную против механической теории теплоты М. В. Ломоносова. Диссертант доказывал невозможность объяснить теплоту движением частичек тела. Одновременно он выступал и против закона сохранения энергии, заявляя, что утверждение Ломоносова о том, что «всякое тело может сообщить другому не большее движение, но какое оно само имеет» есть результат неосторожности. Диссертация была «защищена» Арнольдом при всеобщем одобрении ученого собрания.

² Ныне, по решению Совета Министров Союза ССР, имя И. И. Ползунова присвоено одному из крупнейших теплотехнических центров — Центральному научно-исследовательскому котлотурбинному институту (ЦКТИ) в Ленинграде.