

словии к нему (стр. 7) читаем: «В предлагаемый список терминов не включены термины — теплота и работа. По решению Комиссии определению этих терминов должна быть посвящена специальная работа, рассматривающая их в связи с другими фундаментальными научно-техническими терминами (энергия, масса, сила и т. д.)».

2.4. Историческая справка

Но почему же в учебной и специальной литературе существует такая путаница с понятием тепла? Какие причины породили путаницу? Чтобы правильно ответить на этот вопрос, нужно хотя бы бегло проследить историю возникновения этой путаницы.

Вплоть до середины прошлого столетия господствовала теория теплорода. Эта теория рассматривала теплоту как особое «весьма тонкое» вещество (флюид), которое обычными телами впитывается в большей или меньшей мере — в зависимости от температурных условий, подобно тому как вода впитывается губкой.

Во многих книгах можно встретить упоминание о теории теплорода как о теории, якобы столь недальновидной и немощной, что у читателя невольно возникает недоумение, как эта теория могла столь долго и упорно владеть умами ученых. В действительности, однако, теория теплорода для своего времени вовсе не была столь наивной, как она представляется нам теперь, когда мы привыкли рассматривать тепловые явления как род движения. Многие факты теория теплорода объясняла, казалось, столь просто и наглядно, что физикам трудно было нацело отказаться от этих объяснений и забыть их даже тогда, когда со всей очевидностью обнаружилось, что эти объяснения в корне ошибочны. В результате теория теплорода, уже будучи ниспровергнутой, продолжала влиять на умы физиков и в некоторой мере влияет и поныне, что сказывается в искаженной трактовке некоторых понятий, в которые после крушения теории теплорода надлежало влить совершенно новое содержание, но для обозначения которых сохранились термины, установленные еще теорией теплорода.

Можно привести немало примеров этого влияния некогда господствовавшей теории теплорода на принятую сейчас научную терминологию. Для обозначения теплового флюида, содержащегося в теле, служили два термина — «запас тепла» и «калорик». От второго из этих терминов произошли современные термины: калория, калориметры, калорические величины. Живучесть термина «запас тепла», утратившего какой бы то ни было смысл, была показана в вышеприведенных цитатах.

Тот факт, что различным по химической природе телам, взятым в одинаковой массе, надо, вообще говоря, сообщить различные количества тепла, чтобы нагреть их до одинаковой температуры, теория теплорода объясняла их неодинаковой восприимчивостью к теплороду. Здесь устанавливалась аналогия с неодинаковой способностью различных тел впитывать внутрь себя воду. Представлению о гигроскопичности тел в теории теплорода соответствовало понятие о их *теплоемкости*. Каждому преподавателю физики известно, что этот термин своей мнимой наглядностью только затрудняет понимание того факта, что всякое тело имеет множество разных по величине теплоемкостей: теплоемкость при неизменном объеме, при неизменном давлении, при неизменности любого параметра. Особенно же плохо то, что термин «теплоемкость» невольно влечет мысль на путь ложного представления о тепле, как о чем-то, что содержится в теле.

Факт нагревания тел при трении теория теплорода объясняла тем, что трение перемещает теплород из окружающей среды в трущиеся тела, причем предполагалось, что работа, затрачиваемая на трение, идет на перемещение теплорода с низкого температурного уровня на высокий. Работа, развиваемая паровыми машинами, объяснялась падением теплорода с высокого тем-

пературного уровня на низкий, подобно тому, как мы сейчас трактуем работу водяных турбин. Таким образом, «теплоте» (теплороду), содержащейся в каком-либо теле, приписывался как бы некий запас скрытой работоспособности, запас тем более значительный, чем выше температура тела. Со времени крушения теории теплорода утрачена всякая возможность говорить о тепле как о чем-то, что содержится в теле, тем не менее поныне проявляет исключительную живучесть ложная идея о перемещениях тепла с одного температурного уровня на другой, как чего-то, что сначала содержалось в одном «теплоемком теле», а потом перешло в другое «теплоемкое тело». Понимая, что о перемещениях флюида говорить теперь было бы смешно, выход находят в том, что представление о флюиде пытаются подменить словами о какой-то «тепловой энергии».

Почему же на протяжении всей первой половины XIX в. большинство физиков не желало откататься от теории теплорода, несмотря на то, что еще в конце XVIII в. опыты Румфорда, а также и Деви с очевидностью обнаружили несостоятельность этой теории? Румфорд еще в 1798 г. доказал, что теплоемкость вещества, отнесенная к единице массы, не изменяется при измельчении тела. Таким образом, было установлено, что принятое в теории теплорода объяснение нагревания стружек при пилении и сверлении металла (основанное на предположении, что теплоемкость возрастает при измельчении тела) является неверным. Далее, Румфорд, наблюдая сверление пушечных жерл, пришел к выводу, что количество развивающегося при трении тепла неисчерпаемо, коль скоро неограниченно производится затрата работы, причем никакого охлаждения окружающей среды (воздуха) не происходит, так что мысль, будто теплород при трении переходит из окружающей среды в подвергнутые трению тела, заведомо ошибочна. Годом позже (в 1799 г.) Г. Деви, вызывая трение между двумя кусками льда в безвоздушном пространстве, защищенном от солнечных лучей, подтвердил выводы, сделанные Румфордом. Он показал, что лед, температура которого в начале опыта была ниже 0°C , вследствие трения плавится. Так как для плавления льда необходима значительная затрата тепла, а обстановкой опыта возможность притока теплорода извне исключалась, то оставалось предположить, в противоречие с теорией теплорода, что при трении теплота возникает за счет работы. В начале прошлого столетия опыты Румфорда и Деви уже пользовались достаточной известностью. Возражения, развитые Румфордом и Деви против теории теплорода, были поддержаны некоторыми учеными, например Т. Юнгом (в 1807 г.) и Ампером (в 1821 г.). Однако теория теплорода продолжала господствовать.

Основатель термодинамики С. Карно придерживался теории теплорода; только в последние годы своей жизни (он умер в 1832 г.) Карно убедился в ошибочности этой теории и первым дал отчетливую, ясную формулировку принципа эквивалентности тепла и работы. Но эти записки его были опубликованы лишь спустя несколько десятилетий после его смерти.

Клапейрон, впервые применивший в термодинамике графический метод, продолжал (1834 г.) придерживаться теории теплорода.

Попытки развить учение о тепловых явлениях как о роде движения делались отдельными исследователями уже давно: в начале XVII в. — Бэконом, в конце XVII в. — Гюйгенсом, Ньютоном, позже — Д. Бернулли, М. В. Ломоносовым и другими. И тем не менее даже в середине прошлого столетия опыты Джоуля и исследования Р. Майера были еще встречены с недоверием; только после исследований Гельмгольца и деятельной пропаганды Тиндаля теория теплорода была наконец оставлена.

Причина длительного господства теории теплорода заключалась отчасти в том, что эта теория была тесно связана с так называемой аксиомой о неуничтожаемости тепла, от которой трудно было отказаться, поскольку на ней зиждились все тепловые и термохимические расчеты, дававшие во многих случаях отличное совпадение с опытами. Только когда выросло и ок-

репло учение о неуничтожаемости энергии, обнаружилось, что калориметрическую аксиому можно и должно понимать не так, как ее понимали раньше.

В мемуаре С. Карно «Размышления о движущей силе огня и о машинах, способных развивать эту силу» (Париж, 1824 г.) имеется нижеследующая, важная для хода рассуждений Карно ссылка на калориметрическую аксиому (стр. 37). «В наших доказательствах мы полагали, что если тело, испытав любые изменения и ряд превращений, возвращается в прежнее состояние в отношении плотности и температуры, то оно будет обладать тем же количеством теплоты, какое имело первоначально, т. е. другими словами, что поглощаемые и отдаваемые при различных превращениях количества тепла взаимно компенсируются». Поэтому производимую телом работу Карно принужден был объяснить *падением тепла* (теплорода) с высшего температурного уровня на низший. Карно пишет далее: «Это положение никогда не подвергалось сомнению; оно было сперва принято без рассуждений и затем подтверждено многочисленными калориметрическими измерениями. Отрицать его, значит, разрушить всю теорию тепла, основывающуюся на этом положении. Впрочем, заметим мимоходом, основные положения, на которые опирается теория тепла, требуют внимательного исследования. Некоторые данные опыта представляются необъяснимыми при современном состоянии теории».

Мы знаем, что под напором опытных данных калориметрическую аксиому в её второй части (что поглощаемые и отдаваемые при различных превращениях количества тепла взаимно компенсируются, когда тело возвращается в исходное состояние) пришлось весьма сильно сузить, ограничив ее только такими процессами, при которых не производится и не потребляется работа. Что же касается первой части этой аксиомы, где говорится о «тепле» (теплороде), содержащемся в теле, как о величине неуничтожаемой, то в свете закона сохранения энергии стало ясно, что здесь мы имеем дело не с «теплом» (теплородом), а с *внутренней энергией* тела, т. е. в основном с энергией движения и взаимодействия частиц тела (в состав внутренней энергии входит также лучистая энергия, заполняющая объем, занятый телом). Здесь важно отметить, что термин «внутренняя энергия» сделался общепринятым далеко не сразу. Во второй половине XIX в. разными авторами для обозначения внутренней энергии были предложены следующие термины:

Клаузиус (1850 г.): «Сумма действительной теплоты тела и внутренней работы».

Клаузиус (1864 г.): «Энергия тела».

Томсон (1851 г.): «Механическая энергия тела в данном состоянии».

Цейнер (1860 г.): «Внутренняя теплота тела».

Цейнер (1866 г.): «Внутренняя работа тела».

Кирхгоф (1858 г.): «Функция действия».

Пока термин «внутренняя энергия» не сделался общепринятым, многие авторы для обозначения этой величины пользовались, следуя Цейнеру, термином «внутренняя теплота тела». Таким образом, одно время (в шестидесятых, семидесятых, даже восьмидесятых годах) было широко принято объединять в слове «теплота» три понятия: во-первых, понятие получаемого или отдаваемого телом тепла; во-вторых, понятие внутренней энергии и, в-третьих, понятие теплового движения. Вследствие этого, например, в сочинениях Энгельса мы еще не встречаем термина «внутренняя энергия» и находим применение слова «теплота» в указанном смысле — как обозначение трех понятий, позже дифференцированных.

В «Диалектике природы», в статье «Основные формы движения» (Политиздат, 1969) Энгельс говорит о теплоте, иногда подразумевая сообщаемое количество тепла, иногда внутреннюю энергию и наряду с этим нередко пользуясь словом «теплота» для обозначения неупорядоченного теплового движения молекул. Мы встречаем у Энгельса такую фразу: «Механическое движение масс переходит в теплоту...» (стр. 58). Перед этим Энгельс

говорит о формах движения, поэтому ясно, что здесь речь идет о переходе механического молярного движения в тепловое движение. В другом месте Энгельс говорит: «...теплота есть одна из форм так называемой «энергии» (стр. 57). Здесь словом «теплота» Энгельс пользуется для обозначения внутренней энергии. Когда Энгельс приступал к составлению записок, изданных под названием «Диалектика природы», термин «энергия» еще только завоевывал себе права гражданства. В это время многие авторы, имея в виду закон сохранения энергии, говорили о сохранении «силы». Таким образом, слово «сила», так же как и слово «теплота», имело тогда двойственный смысл. Вследствие этого мы встречаем у Энгельса, например, такую фразу: «...теплота есть отталкивательная сила» и, следовательно, действует в направлении, *обратном* направлению тяжести и химического притяжения» (стр. 64). Чтобы современный читатель правильно понял смысл этой фразы, он должен прочесть ее так: «Внутренняя энергия тел есть *отталкивательная энергия* и, следовательно, действует в направлении, обратном направлению энергии тяжести и химического сродства». Во избежание недоразумений Энгельс пишет: «Подчеркнем здесь: притяжение и отталкивание рассматриваются нами тут не как так называемые «силы», а как *простые формы движения*» (стр. 52).

В статье «Основные формы движения» Энгельс анализирует философский смысл закона сохранения энергии. Рассматривая энергию как меру изменения формы движения, он отмечает, что «...термин «энергия» отнюдь не дает правильного выражения всему отношению движения; ибо он охватывает, только одну сторону его — действие, но не противодействие» (стр. 60). Энгельс указывает, что механические (молярные) движения на земле вследствие необратимости (трения) замерли бы, если бы они не восстанавливались в итоге за счет солнечного излучения. На ряде аналогичных примеров Энгельс показывает, что существует определенная полярность (противоположность) в проявлении различных видов энергии. В связи с этим гельмгольцовское понятие «запаса рабочей силы» (энергию тяжести, химического сродства) Энгельс часто заменяет, расширяя его содержание понятием «притяжение», а кинетическую энергию и внутреннюю энергию тела — понятием отталкивания как основных форм движения. В этом смысле Энгельс пишет: «...процесс существования какой-нибудь солнечной системы представляется в виде взаимодействия притяжения и отталкивания, в котором притяжение получает постепенно все больший и больший перевес благодаря тому, что отталкивание излучается в форме теплоты в мировое пространство...» (стр. 54).

С указанной широкой точки зрения Энгельс и рассматривает внутреннюю энергию как особую форму отталкивания. «Теплота (внутренняя энергия — *К. П.*) представляет собой... некоторую форму отталкивания. Она приводит молекулы твердых тел в колебание и этим ослабляет связь отдельных молекул...; при продолжении притока теплоты она... увеличивает еще более... скорость (молекул — *К. П.*), отталкивая, таким образом, молекулы все дальше друг от друга» (стр. 56—57).

Хотя для пояснения широких понятий «притяжение» и «отталкивание» как простых форм движения Энгельс иногда как бы ставит знак равенства между терминами «отталкивание» и «энергия» и трактует «притяжение» как «силу», но современному читателю обязательно нужно помнить, что в сочинениях Энгельса термин «сила» (как и в первых работах Гельмгольца) еще сохраняет свою двойственность, служа нередко для обозначения энергии тяжести и химического сродства.

Мы ближе подойдем к точке зрения Энгельса на «притяжение» и «отталкивание», если свяжем эту проблему основных (простых) форм движения с вопросом о физическом смысле «абсолютных значений» энергии. Формально энергия есть величина разностная, т. е. величина, приобретающая определенное значение для какой-либо системы, когда указано начальное состоя-

ние этой системы. От выбора начального состояния, по отношению к которому вычисляется энергия, зависят и величина и знак энергии. Однако имеется немало оснований считать, что «нормальное» начальное состояние, с которым должны сопоставляться все остальные состояния, есть то состояние, по отношению к которому все без исключения остальные возможные состояния рассматриваемой системы имеют энергию одного знака. Например, для тяготеющих друг к другу тел нормальным начальным состоянием является с указанной точки зрения состояние расчлененности системы на отдельные, бесконечно удаленные друг от друга элементарные частицы. Переход к этому начальному состоянию из всех остальных возможных состояний системы тяготеющих тел связан с затратой работы, поэтому энергию тяготения с указанной точки зрения следует считать величиной существенно отрицательной. То же самое можно сказать и об энергии химического сродства (для веществ, способных самопроизвольно вступать в реакцию друг с другом). Для тепловых явлений нормальным начальным состоянием с указанной точки зрения следует считать состояние недеформированного кристалла при абсолютном нуле температуры. При переходе к нему из любого другого состояния может быть получена энергия; стало быть, внутренняя энергия, как и энергия сил отталкивания, есть величина существенно положительная.

Во всяком случае нет сомнения, что, говоря о простых формах движения — притяжении и отталкивании — и о полярности видов энергии, Энгельс обозначает словом «теплота» не получаемую или отдаваемую теплоту, но внутреннюю энергию тел. В некоторых случаях Энгельс сам отмечает непригодность существовавшей тогда терминологии в области тепловых процессов. Так, в «Анти-Дюринге» (Политиздат, 1969 г.) он пишет: «...камнем преткновения может служить разве лишь то, что физики продолжают называть теплоту, превращенную в другую форму молекулярной энергии, устарелым и уже не подходящим выражением «связанная» (скрытая — К. П.) теплота» (стр. 60).

Термин «скрытая теплота» поныне общепринят, хотя по поводу него, так же как и по поводу термина «полная теплота», уже Клаузиус писал: «Раньше, когда теплоту еще считали родом вещества и полагали, что она может существовать в двух состояниях, которые обозначали словами *свободное* и *скрытое*, было введено понятие, которое часто применялось в вычислениях и полносило имя полной теплоты тела.... Думали, что ...это количество теплоты ностью определяется состоянием тела... Но ...для этого количества теплоты справедливо то же, что и для ...работы, т. е. что она зависит не только от начального и конечного состояний тела, но и от того способа, с помощью которого тело этот переход совершило» («Механическая теория тепла», перевод в сборнике «Второе начало термодинамики», стр. 99—100). Основываясь на сказанном, Клаузиус отмечает, что в новой теории понятие полной теплоты неприемлемо, а вместо термина «скрытая теплота» предлагает термин «рабочая теплота» (*Werkwärme*).

Скрытой теплотой называют, как известно, теплоту, сообщаемую или отдаваемую изотермически. Так же как и изотермическая работа, скрытая теплота не зависит от пути процесса. Изотермическая работа равна изменению так называемой свободной энергии системы, скрытая теплота равна изменению связанной энергии. Внутреннюю энергию тела с точки зрения механики можно рассматривать в основном как сумму кинетической и потенциальной энергии частиц. Однако в термодинамике удобнее рассматривать внутреннюю энергию как сумму термодинамических составляющих энергии, т. е. как сумму свободной и связанной энергии (см. стр. 90).