

динамических понятий. Так, например, в книге Бриллюэна «Квантовая статистика» (русский перевод 1934 г., стр. 92) читаем: «Количество теплоты со статистической точки зрения есть энергия неупорядоченного движения составных элементов тела (атомов, молекул)». Это отождествление теплоты и молекулярно-кинетической энергии основано на совершенно ошибочной мысли, что наибольшее количество тепла, которое может быть отдано телом при охлаждении, якобы равно энергии хаотического движения частиц тела. В действительности количество тепла, которое тело отдает при охлаждении, как известно, зависит в высокой мере от условий, в которых происходит охлаждение. Известно, что в зависимости от обстоятельств, в которые поставлено охлаждающееся тело, количество отданного телом тепла может быть больше или меньше содержащегося в теле запаса молекулярно-кинетической энергии. Например, при конденсации газа отдача тепла происходит главным образом за счет убыли молекулярно-потенциальной энергии тела, а не за счет уменьшения молекулярно-кинетической энергии.

Ясно, что в случае идеального газа (когда наибольшая теплота, которая может быть отдана газом, охлаждаемым при неизменном объеме, равна энергии движения частиц) отождествление тепла и молекулярно-кинетической энергии может при осторожном отношении к выкладкам не привести к каким-либо ошибкам; тем не менее и здесь такое отождествление остается принципиально не чем иным, как путаницей в понятиях. Книге Бриллюэна эта путаница в понятиях мало вредит, так как отмеченное отождествление тепла и молекулярно-кинетической энергии там использовано только в отношении идеальных газов, а случаи, где подобное отождествление неизбежно привело бы к абсурду, Бриллюэн не рассматривает.

2.6. Теплота и работа

На примере механики мы знаем, что уточнение основных понятий играет немаловажную роль в развитии наук. Уточнение понятия тепла насущно необходимо. Мы видели, что если о тепле говорят как о чем-то, что содержится в теле, то в этом сказывается все еще не изжитое в терминологии влияние теории теплорода. Мы видели, что длительное время словом «теплота» пользовались для обозначения теплового движения, внутренней энергии, а также и для обозначения молекулярно-кинетической энергии. Мы видели, что в статистике особые свойства изотермической («скрытой») теплоты, или так называемой «связанной энергии», нередко приписывают теплу вообще. От всех этих ошибочных представлений нужно отказаться и принять единственно правильное понимание тепла («теплового действия») как особой формы передачи энергии и количества тепла как энергии, передаваемой в этой особой форме. Я твердо убежден, что никакая другая точка зрения на тепло не может быть строго согласована с термодинамикой.

Надо прежде всего провести грань раздела между понятием «виды энергии», с одной стороны, и более родственными друг другу понятиями «теплота» и «работа» — с другой. Любой вид энергии является однозначной функцией состояния тела. *Энергия не зависит от пути перехода тела из одного состояния в другое.* Говорить о каких-то таких видах энергии, для которых существует зависимость от пути перехода («тепловая энергия»), — это бессмыслица и с физической и с математической точек зрения. Известно, что работа и теплота в высокой мере зависят от пути процесса. Зависимость от пути процесса не есть второстепенное свойство работы и тепла; напротив, это их основное неотъемлемое свойство. Благодаря ему *мысль о работе и тепле должна быть ассоциирована с представлением о процессе, сущность которого заключается в передаче энергии.* Работа и теплота представляют собой две, с точки зрения термодинамики, единственно возможные формы передачи энергии от одного тела к другому.

Всегда, когда выполняется работа, имеются по меньшей мере *два тела*: одно, которое развивает силы, совершающие работу, и другое, к которому эти силы приложены. Работа всегда производится за счет каких-либо запасов энергии одного тела и всегда *на что-либо затрачивается, т. е. вызывает какие-либо изменения*, в некотором другом теле. Первое тело, производящее работу, *отдает* энергию; второе тело, на которое работа направлена, *получает* энергию. Самый процесс работы есть, таким образом, процесс перехода энергии от одного тела к другому. Точно так же всегда, когда проявляется теплота, имеется тоже по меньшей мере два тела: одно, которое отдает энергию, и другое, которое получает энергию. Если мы говорим о теплоте, имея в виду всего лишь одно тело, помещенное в пустоте, то в этом случае роль второго тела, получающего энергию, играет вакуум.

Мы уже отмечали (см. стр. 40) качественное и принципиально важное различие понятий тепла и работы. Там же говорилось о несущественной для решения термодинамических задач механической классификации форм передачи энергии. Здесь отметим лишь, что в тяге трение может служить причиной передачи энергии частично в форме тепла. В случае удара макрофизических тел аналогичную роль играет несовершенная упругость тел. Передача энергии при хаотическом соударении молекул, конечно, целиком попадает под понятие тепла. Под конвекцией, в широком смысле этого слова, подразумевают перенос веществом любого вида энергии. Если конвекция каких-либо видов энергии (но только не внутренней энергии) производится перемещением тел, достаточно крупных, чтобы имелась возможность регулировать их движение, то этот процесс попадает под понятие работы. Например, перемещение наэлектризованного тела из одной системы наэлектризованных тел в другую, аналогичное перемещение намагниченного тела и т. д. Но если конвекция при отсутствии внешних сил протекает стихийно, как, например, в случае диффузии заряженных или намагниченных коллоидных частиц, то это есть перенос тепла. Внутренняя энергия тела является единственным видом энергии, имеющим статистическую основу, поэтому конвекция внутренней энергии всегда должна рассматриваться как перенос тепла. Радиоволны представляют собой пример передачи энергии в форме работы, производимой отправительной станцией и направленной на возбуждение электрических токов в антенне приемной станции. Кванты света представляют собой пример передачи энергии в форме тепла.

Теплота и работа являются неравноценными формами передачи энергии. Они неравноценны прежде всего потому, что работа может быть непосредственно направлена на пополнение запаса любого вида энергии (например, потенциальной энергии тяжести, электрической, магнитной энергии и т. д.), теплота же непосредственно, т. е. без промежуточного преобразования в работу, может быть направлена на пополнение запаса только внутренней энергии тел. Неравноценность теплоты и работы в указанном смысле является следствием самого определения этих понятий. Конечно, эта неравноценность тепла и работы была бы несущественна, если бы можно было без каких бы то ни было осложнений превращать теплоту в работу. Но по второму началу термодинамики некомпенсированный переход тепла в работу невозможен. Таким образом, принципиальная важность разграничения передачи энергии на две неравноценные друг другу формы — тепло и работу — и истинная роль этих понятий в термодинамике становятся ясными только на базе второго начала.

Известно, что в педагогическом отношении строгое изложение сущности второго начала термодинамики и ближайших следствий его — дело, далеко не легкое. Этих трудностей в изложении второго начала не существовало бы, если бы второе начало определяло, как это иногда думают, превращаемость одного вида энергии в другой. В действительности второе начало определенным образом ограничивает превращение одной формы передачи энергии — тепла — в другую форму передачи энергии — в работу. Вследствие этого

для разъяснения сущности второго начала всегда необходимо совокупно рассматривать по меньшей мере три тела: первое, которое второму отдает энергию в форме тепла, и третье, которое от второго получает энергию в форме работы. Если же требуется, чтобы в конце процесса одно из этих тел (а именно второе, так называемое «рабочее тело») было возвращено к начальному состоянию, то, как известно, необходимо ввести в рассмотрение еще четвертое тело — холодильник. Что же касается того, на пополнение каких видов энергии пошла теплота (молекулярно-кинетической, молекулярно-потенциальной, энергии излучения), а также на пополнение каких видов энергии пошла работа, то для изложения второго начала и его ближайших следствий это не имеет значения.

При крайне поверхностном и легкомысленном отношении к вопросу может показаться, что определение тепла как формы передачи энергии противоречит взгляду, который на основе работ Энгельса принят в системе диалектического материализма. Конечно, это не так. Напротив, никакое другое понимание тепла не соответствует ближе диалектической точке зрения. При этом, конечно, должно учитываться все то, что было сказано выше о грамотном цитировании высказываний Энгельса о тепле в связи с тем, что Энгельс еще не пользовался термином «внутренняя энергия», который ныне общепринят. Что касается понятия работы, то понимание работы как формы передачи энергии прямо вытекает из статьи Энгельса о работе в «Диалектике природы» (Политиздат, 1969). В частности, в этой статье Энгельс говорит: «...работа — это изменение формы движения, рассматриваемое с его количественной стороны» (стр. 78).

Поскольку в те годы статистическая интерпретация термодинамических величин еще не была доведена до такой полноты и ясности, как сейчас, то естественно, что мы немного находим у Энгельса в пояснение тепла как такой формы передачи энергии, которая, в отличие от работы, слагается из статистической совокупности микрофизических процессов. И тем не менее достаточно вдуматься в содержание первых двух абзацев статьи Энгельса о теплоте в «Диалектике природы», чтобы заметить, как близко уже подходит Энгельс к этой точке зрения на тепло. Там, между прочим, сказано:

«Как мы видели, существуют две формы, в которых исчезает механическое движение, живая сила. Первая — это его превращение в механическую, потенциальную энергию путем, например, поднятия какого-нибудь груза...»

Вторая форма исчезновения механического движения имеет место при трении и ударе, отличающихся друг от друга только по степени... Трение — это хронический удар, удар — мгновенное трение. Исчезающее здесь механическое движение исчезает *как таковое*. Оно непосредственно невосстановимо из самого себя. Процесс непосредственно не обратим» (стр. 87). Мы имеем здесь ясное сопоставление работы с теплотой трения и неупругого удара и подчеркивание того, что особенностью «второй формы исчезновения механического движения» является необратимость, что и указывает на выделение этой «второй формы» по признаку, что здесь, в отличие от работы, важна совокупность микрофизических процессов. Конечно, не случайно Энгельс во главу заметки о тепле поставил эту мысль. Можно думать поэтому, что будь в те годы статистические основы термодинамики достаточно развиты, Энгельс сам сформулировал бы то определение тепла, которое я защищаю.

Кстати сказать, те, кто пожелал бы серьезно возражать против понимания тепла как особой формы передачи энергии, слагающейся из микрофизических процессов, наверно, не смогут предложить никакого другого определения тепла, согласуемого с основами термодинамики.

По-видимому, некоторых смущает то обстоятельство, что словом «работа» мы привыкли обозначать и процесс работы, и количество работы, тогда как под словом «теплота» мы привыкли подразумевать только количество

тепла, а самый процесс передачи энергии в форме тепла привыкли именовать другим словом — «теплообмен». В этом обстоятельстве мы опять сталкиваемся с досадным пережитком некогда господствовавшей теории теплорода. Уступая этой привычке, которую, впрочем, нет основания особо культивировать, вышеприведенное определение тепла можно перефразировать, например, так: процесс работы и «теплообмен» (лучше бы говорить «тепло-процесс») являются двумя единственно возможными, с точки зрения термодинамики, формами передачи энергии, а количество работы и количество тепла являются мерами энергии, передаваемой в указанных формах.

Обратимся теперь к вопросу о различии понятий *формы движения* и *виды энергии*. Вид энергии — это термин физики, понятие о формах движения — понятие более широкое, философское. Физика изучает наиболее простые, низшие формы движения; в физиологии, в биологии мы имеем дело с более сложными, «высшими» формами движения, в социальных науках — с еще более сложными формами движения. Но и в пределах физики понятие о различных физических формах движения является, мне кажется, вообще говоря, более широким, чем представление о видах энергии, что не исключает того, что в некоторых частных случаях эти понятия могут почти совпадать. Например, у Энгельса мы нередко встречаем почти как синонимы: «механическое молярное движение» и «механическая энергия».

Как правило, той или иной форме движения соответствует особый вид энергии, но тем не менее эти понятия неравнозначны. Возьмем хотя бы неупорядоченное молекулярное движение (тепловое движение). Ему соответствует особый вид энергии — внутренняя энергия. Однако нельзя ограничить характеристику теплового движения в каком-либо теле указанием величины одной лишь внутренней энергии этого тела. Во-первых, если рассматриваемое тело не является идеальным газом, то нужно указать отдельно величины составляющих внутренней энергии — молекулярно-кинетической и молекулярно-потенциальной энергии; во-вторых, что в особенности важно, нужно указать значение энтропии тела.

2.7. Классификация видов энергии

В любом курсе физики можно встретить множество рассуждений и пояснений, касающихся превращения одних видов энергии в другие. Тем не менее в нашей учебной и научной литературе далеко не всегда встретишь правильно построенную классификацию видов энергии. Дело в том, что когда строят одну классификацию видов энергии для всех наук, то такая классификация неизбежно оказывается сбивчивой и методически неверной. Вряд ли можно оспаривать, что в различных науках, вследствие неодинаковых целей и вследствие различных методов, следует по-разному классифицировать виды энергии.

Например, в *механике* важно различать следующие виды энергии: 1) энергию движения тел (сюда относятся: энергия поступательного движения, энергия вращательного движения, энергия колебательного движения); 2) энергию положения тел в поле сил (сюда относятся: потенциальная энергия в поле тяготения, в поле электрических сил, в поле магнитных сил); 3) энергию упругой деформации тел (деформация растяжения, сжатия, сдвига).

Иначе мы должны классифицировать энергию в *термодинамике*. Здесь мы различаем: 1) внешнюю энергию тел и 2) внутреннюю энергию тел. В понятие внешней энергии входят: а) энергия движения тела как целого, б) энергия положения тела в поле сил с той оговоркой, что термодинамическое состояние тела при перемещении в поле сил не изменяется. Если же термодинамическое состояние тела при перемещении тела в поле сил изменяется, то определенная часть энергии положения уже будет входить в состав внутренней энергии тела.