

УДК 536.63:165.412.3

НЕКОТОРЫЕ ПРОБЛЕМЫ ПАРАМЕТРА ТЕПЛОЕМКОСТЬ*

В науке иногда возникают так называемые «проблемные задачи», над решением которых длительное время бьются несколько поколений ученых. Иногда эти проблемы не поддаются решению в течение многих десятилетий, как, например, теорема Ферма, гипотеза Пуанкаре или парадоксы энтропии. И чем дольше проблема не поддается решению, тем неожиданней оказывается ее преодоление для развития не только в той отрасли знаний, в которой она была сформулирована, но и для всей науки. Есть более мелкие несуразности, которые стараются не замечать. Иногда нахождение решений задач, которые кажутся мелкими, открывает пути к преодолению глобальных проблем.

Ключевые слова: теплоемкость, энтропия, парадокс, удельный расход энергии, подвижность системы.

СМЫСЛ ПАРАДОКСАЛЬНОСТИ ТЕПЛОЕМКОСТИ

Этот параметр давно и успешно применяется в науке и технике. Его физический смысл трактуется как количество теплоты, необходимой для подъема температуры на 1 градус единицы вещества (массы или моля).

Рассмотрим в качестве простейшего примера удельную теплоемкость одноатомных газов. Под теплоемкостью понимается следующее соотношение, имеющее размерность термодинамической энтропии:

$$\frac{dQ}{dT} = c, \quad (1)$$

где dQ — количество теплоты, ккал; dT — температура, К; c — теплоемкость.

В начале XIX века Дилонт и Пти нашли эмпирическую закономерность, согласно которой удельная молярная теплоемкость атомарных газов при температуре 100–200 К не зависит от температуры системы и приобретает постоянное значение. В качестве примеров таких атомарных газов можно упомянуть водород Н с атомным весом, принятым за единицу, азот N с атомным весом 14 единиц, аргон Ar — 40 единиц, йод I — 126 единиц, актиний Ac — 227 единиц и некоторые другие [1]. Их теплоемкость (т. е., как считается, количество теплоты, необходимой для повышения температуры на 1 град) составляет

$$c_p \approx 21 \text{ Дж}\cdot\text{моль}/\text{К}, \quad (2)$$

где c_p — теплоемкость при постоянном давлении.

Согласно (2) удельная теплоемкость на единицу массы выразится зависимостью

$$c'_p = \frac{21}{m}, \quad (3)$$

где m — масса 1 моля соответствующего газа.

Здесь явный парадокс в том, что для повышения температуры легких газов на 1 градус требуется больше удельных затрат тепла, чем для тяжелых. Чем тяжелее частицы газа, тем меньше этих затрат.

Такой результат показывает, что с этим параметром не все благополучно. С позиции физики картина должна быть с точностью до наоборот, если учесть, что температура газа пропорциональна скорости движения его атомов. Очевидно, что для повышения скорости единицы массы легких частиц необходимо меньше энергии, чем тяжелых, или в крайнем случае одинаковое количество. Фактически имеет место разница в десятки и сотни раз, причем чем тяжелее газ, тем меньше энергии необходимо для повышения его температуры. Этот результат свидетельствует о парадоксальности параметра теплоемкость в том смысле, как его принято понимать.

РЕШЕНИЕ ПАРАДОКСА ТЕПЛОЕМКОСТИ

Объяснить этот парадокс не так просто, как может показаться с первого взгляда. Более внимательно проанализируем зависимость (1). В ее числителе dQ — энергия, в знаменателе dT — параметр, в котором закамуфлирована также энергия.

Достаточно вспомнить закон Гей-Люссака о том, что энергия идеального газа зависит только от температуры и не зависит от давления и объе-



Евгений Барский
E-mail: barskym@bgu.ac.il

ма. Или вспомним явления, возникающие при расширении твердых тел; они определяются только температурой и развивают колоссальные силы.

Удельная теплоемкость в соотношении (1) с этих позиций является относительно энергии безразмерной величиной и характеризует какой-то другой параметр рассматриваемой материальной системы. Смысл этого параметра выявить непросто, так как в понимании калории используется анахронизм. Он связан с тем, что в начале XIX века под теплом понимали некоторую жидкость — флогистон. И хотя понятие «флогистон» давно опровергнуто, некоторые параметры, связанные с ним, сохранились и успешно применяются. К их числу можно отнести, например, количество тепла, тепловой баланс, тепловой поток и т. д. С позиций современных представлений их физический смысл неочевиден. Чтобы прояснить ситуацию, рассмотрим простейший аналогичный пример с понятными параметрами. Аналогия часто позволяет понять проблему.

Предположим, что есть расстояние, равное N км, по этому пути равномерно движется тело со скоростью V км/ч. Если следовать логике, принятой при определении понятия теплоемкости, то соотношение этих параметров:

$$N/V = t \quad (4)$$

можно трактовать как величину пути, приходящуюся на единицу скорости. Фактически это не так, потому что в числителе и знаменателе расстояние (км) сокращается. Становится ясным, что это соотношение порождает другой физический параметр — время t .

Аналогичная ситуация с параметром теплоемкость в соотношении (1), в котором размерность энергии в числителе и знаменателе сокращается — значит, теплоемкость выражает не затраты энергии, а другой параметр. Анализ примера с одноатомными газами позволяет логически сформулировать теплоемкость как новую характеристику системы — ее подвижность. Это несколько неожиданное заключение, но оно соответствует физическому смыслу явления. Действительно, удельная теплоемкость легких газов соответствует их большей подвижности, а для тяжелых газов — меньшей. Причем чем тяжелее газ, тем меньше его подвижность.

Выяснение этого обстоятельства имеет принципиальное значение для углубленного понимания физической сущности параметра энтропия в двух аспектах. Энтропия, как известно, записывается в виде соотношения

$$S = \frac{\Delta Q}{T}, \quad (5)$$

где ΔQ — расход тепла; T — абсолютная температура, при которой осуществляется этот расход.

* *Prigogine, I. Modern Thermodynamics / I. Prigogine, D. Kondepudi. — Moskau : Mir, 2002.*

Во-первых, следует отметить, что энтропия имеет ту же размерность, что и теплоемкость. Отношение количества тепла к температуре приводит, как показано, к нулевой размерности относительно энергии. Отсюда следует принципиальный вывод о том, что энтропия никаким образом не связана с энергией. Это утверждение, естественно, может вызвать бурю возражений, так как до сего времени во всех учебниках по термодинамике утверждается, что энтропия есть некоторая энергия. Однако это не соответствует истине, и с этим придется смириться. Имея ту же размерность, что и теплоемкость, энтропия является также параметром, характеризующим подвижность системы. Это значит, что чем больших значений достигает энтропия, тем больше ее подвижность, или хаотичность. А это уже совпадает с общепринятыми представлениями об этом параметре.

Во-вторых, признание того факта, что энтропия никаким образом не связана с энергией, позволяет логически четко объяснить все недоразумения и парадоксы, приписываемые ей:

- парадокс Гиббса;
- несоответствие биологических систем второму закону термодинамики;
- наличие высоковероятностной устойчивости неравновесных явлений в биологии;
- наличие статической составляющей энтропии наряду с динамической.

Справедливость сформулированных идей можно подкрепить следующими соображениями.

Нернст в начале XX века показал, что при абсолютном нуле температур ($T = 0$) теплоемкости c_v и c_p также равны нулю. В то время это утверждение вызвало резкое возражение среди специалистов. Из классических представлений следовало, что при постоянном объеме и абсолютном нуле теплоемкость должна иметь конечные, отличные от нуля значения.

Несколько позже А. Эйнштейн опубликовал статью о квантовой теплоемкости твердых тел, в которой подтвердил с других позиций нулевое значение теплоемкости при абсолютном нуле. Затем появилась публикация Планка, посвященная абсолютному нулю температур, в которой он показал, что в области абсолютного нуля процессы протекают без изменения энтропии.

Все это соответствует изложенным представлениям, означающим, что при абсолютном нуле температур подвижность системы, а следовательно, теплоемкость и энтропия имеют нулевые значения.

Работа над статьей, в которой будет представлено преодоление этих парадоксов, заканчивается, и она скоробудет представлена в редакцию журнала «Новые огнеупоры» для опубликования. ■