

## Теплота и работа

Температуру тела можно, изменить не только, нагревая его в пламени, но и совершая над ним работу. Это знали уже древние люди, добывая огонь трением.

Военный инженер Бенджамин Томпсон (граф Румфорд (1753 – 1814)) заинтересовался вопросом о получении тепла с помощью трения. Он писал: "...заведуя сверлением пушечных стволов в мастерских военного арсенала в Мюнхене, я был сильно поражён тем значительным количеством тепла, которое за короткое время получает медный ствол при сверлении, и еще большим количеством тепла (гораздо большим, как я выяснил из эксперимента, чем тепло требуемое для закипания воды), которое получают металлические стружки, отделяемые от ствола сверлом".

С помощью теории теплорода было трудно объяснить, откуда берётся такое большое количество тепла. Запас тепла при сверлении казался неистощимым. Румфорд приходит к выводу, что теплота, выделявшаяся при сверлении, есть результат работы силы трения между сверлом и металлом. Кроме того, он выдвигает гипотезу об одинаковой природе теплоты и энергии: "... мне кажется чрезвычайно трудно, если не совершенно невозможным, выдвинуть хоть какую-нибудь разумную идею, объясняющую то, что

возбуждалось и передавалось в этих экспериментах, чем-либо отличным от движения".

Среди тех, кто одним из первых понял важность рассмотрения теплоты как энергии, был доктор Юлиус Роберт фон Майер (1814–1878). Он выдвинул предположение, ставшее почти банальным к началу двадцатого века: "... имеющаяся однажды налицо энергия не может превратиться в нуль, а только перейти в другую форму, и, следовательно, спрашивается: какую дальнейшую форму способна принять энергия?"

Развивая свои идеи о связи между энергией и теплом, Майер высказывает своё наиболее пронизательное заключение. Если теплота есть форма кинетической и потенциальной энергий, а полная энергия сохраняется, то для получения определённого количества тепла необходимо затратить определённое количество механической энергии. Иными словами, заданная работа приводит к выделению заданного количества тепла. Из экспериментов, проведённых ранее для газов, Майеру удалось получить количественное соотношение между механической работой и теплотой, которое находится в хорошем согласии с результатами современных измерений.

Непосредственное измерение механического эквивалента теплоты осуществил Джеймс Прескотт Джоуль (1818–1889). В течение всей своей жизни Джоуль провел длинную серию экспериментов, в которых различные формы энергии превращались в тепло.

Из результатов опытов Джоуля следовало также, что при уменьшении механической энергии системы тел происходит соответствующее увеличение их внутренней энергии, а уменьшение внутренней энергии связано с увеличением механической энергии. Таким образом, опыты Джоуля дают подтверждение закона сохранения энергии в расширенном смысле. При всех движениях, как происходящих без трения, так и сопровождающихся трением, сумма кинетической, потенциальной и внутренней энергий всех участвующих тел не изменяется.

### **Количество теплоты. Теплоёмкость**

Внутренняя энергия тела зависит от его температуры и внешних условий – объёма и т.д.. Если внешние условия остаются неизменными, т. е. объём и другие параметры постоянны, то внутренняя энергия тела зависит только от его температуры.

Допустим, что внешние силы не совершают механической работы над телом. Тогда изменить внутреннюю энергию тела можно приводя его в контакт с другим телом, имеющим температуру, отличную от температуры данного тела, т.е. посредством теплопередачи.

Количество внутренней энергии, которое тело приобретает или теряет в процессе теплопередачи и называется "количеством теплоты". Количество теплоты принято обозначать буквой  $Q$ . Если внутренняя энергия тела в процессе теплопередачи увеличивается, то теплоте приписывают знак плюс и говорят, что телу сообщили количество теплоты  $Q$ . При уменьшении внутренней энергии в процессе теплопередачи теплота считается отрицательной и говорят, что от тела отняли количество теплоты  $Q$ .

Количество теплоты можно измерять в тех же единицах, в которых измеряется и механическая энергия. В системе СИ – это 1 Джоуль. Существует и другая единица теплоты – калория. Калория – это количество теплоты, необходимое для нагревания 1 г воды на  $1^\circ\text{C}$ . Соотношение между этими единицами было установлено Джоулем:  $1 \text{ кал} = 4,18 \text{ Дж}$ . Это означает, что за счёт работы в 1 кДж температура 1 килограмма воды повысится на 1 градус.

Количество теплоты, необходимое для нагревания тела на  $1^\circ\text{C}$ , называется теплоёмкостью тела. Теплоёмкость тела обозначается буквой  $C$ . Если телу сообщили небольшое количество теплоты  $\Delta Q$ , а температура тела изменилась на  $\Delta t$  градусов, то

$$C = \frac{\Delta Q}{\Delta t}. \quad (1.1)$$

Опыт показывает, что при обычных температурах ( $200 \div 500 \text{ K}$ ) теплоёмкость большинства твёрдых и жидких тел почти не зависит от температуры. Для большинства расчётов будем принимать, что теплоёмкость какого-нибудь вещества есть величина постоянная.

Кроме теплоёмкости тела  $C$ , вводят ещё удельную теплоёмкость  $c$ , теплоёмкость единицы массы вещества. Именно эта величина обычно приводится в справочниках физических величин. Удельная теплоёмкость  $c$  связана с теплоёмкостью  $C$  тела массой  $m$  соотношением:

$$C = c \cdot m. \quad (1.2)$$

Приведённые формулы позволяют рассчитать, какое количество теплоты  $Q$  надо передать телу массы  $m$ , чтобы повысить его температуру от  $t_1$  до  $t_2$ :

$$Q = C \cdot \Delta t = C \cdot (t_2 - t_1) = c \cdot m \cdot (t_2 - t_1). \quad (1.3)$$

Если тело окружить оболочкой, плохо проводящей тепло, то температура тела, если оно предоставлено самому себе, будет оставаться в течение длительного времени практически постоянной. Таких идеальных оболочек в природе, конечно, не существует, но можно создать оболочки, которые по своим свойствам приближаются к таковым.

Примерами могут служить обшивка космических кораблей, сосуды Дьюара, применяемые в физике и технике. Сосуд Дьюара представляет из себя стеклянный или металлический баллон с двойными стенками, между которыми создан высокий вакуум. Стеклянная колба домашнего термоса тоже является сосудом Дьюара.

Теплоизолирующей является оболочка *калориметра* – прибора, позволяющего измерять количество теплоты. Калориметр представляет собой большой тонкостенный стакан, поставленный на кусочки пробки внутрь другого большого стакана так, чтобы между стенками оставался слой воздуха, и закрытый сверху теплопроводящей крышкой.

Если в калориметре привести в тепловой контакт два или несколько тел, имеющих различные температуры, и подождать, то через некоторое время внутри калориметра установится тепловое равновесие. В процессе перехода в тепловое равновесие одни тела будут отдавать тепло (суммарное количество теплоты  $Q_{\text{отд}}$ , другие будут получать тепло (суммарное количество теплоты  $Q_{\text{пол}}$ ). А так как калориметр и содержащиеся в нём тела не обмениваются теплом с окружающим пространством, а только между собой, то можно записать соотношение, называемое также уравнением теплового баланса:

$$Q_{\text{пол}} = Q_{\text{отд}}. \quad (1.4)$$

В ряде тепловых процессов тепло может поглощаться или выделяться телом без изменения его температуры. Такие тепловые процессы имеют место при изменении агрегатного состояния вещества – плавлении, кристаллизации, испарении, конденсации и кипении. Коротко остановимся на основных характеристиках этих процессов.

Плавление – процесс превращения кристаллического твёрдого тела в жидкость. Процесс плавления происходит при постоянной температуре, тепло при этом поглощается.

Удельная теплота плавления  $\lambda$  равна количеству теплоты, необходимому для того, чтобы расплавить 1 кг кристаллического вещества, взятого при температуре плавления. Количество тепло-

ты  $Q_{\text{пл}}$ , которое потребуется для перевода твёрдого тела массы  $m$  при температуре плавления в жидкое состояние, равно

$$Q_{\text{пл}} = \lambda \cdot m. \quad (1.5)$$

Поскольку температура плавления остаётся постоянной, то количество теплоты, сообщаемое телу, идёт на увеличение потенциальной энергии взаимодействия молекул, при этом происходит разрушение кристаллической решётки.

Процесс *кристаллизации* – это процесс, обратный процессу плавления. При кристаллизации жидкость превращается в твёрдое тело и выделяется количество теплоты, также определяемое формулой (1.5).

*Испарение* – это процесс превращения жидкости в пар. Испарение происходит с открытой поверхности жидкости. В процессе испарения жидкость покидают самые быстрые молекулы, т.е. молекулы, способные преодолеть силы притяжения со стороны молекул жидкости. Вследствие этого, если жидкость теплоизолирована, то в процессе испарения она охлаждается.

Удельная теплота испарения  $L$  равна количеству теплоты, необходимому для того, чтобы превратить в пар 1 кг жидкости. Количество теплоты  $Q_{\text{исп}}$ , которое потребуется для перевода в парообразное состояние жидкость массой  $m$  равно

$$Q_{\text{исп}} = L \cdot m. \quad (1.6)$$

*Конденсация* – процесс обратный процессу испарения. При конденсации пар переходит в жидкость. При этом выделяется тепло. Количество теплоты, выделяющейся при конденсации пара, определяется по формуле (1.6).

*Кипение* – процесс, при котором давление насыщенных паров жидкости равно атмосферному давлению, поэтому испарение происходит не только с поверхности, но и по всему объёму (в жидкости всегда имеются пузырьки воздуха, при кипении давление паров в них достигает атмосферного, и пузырьки поднимаются вверх).