

Лекция "Первый закон термодинамики"

При изучении механики мы с вами говорили о том, что полная механическая энергия замкнутой системы тел остаётся неизменной лишь в том случае, если между телами действуют только консервативные силы. Однако, если в такой системе будут действовать ещё и диссипативные силы (например, силы трения), то её механическая энергия не сохраняется. Но уменьшение механической энергии не означает, что она бесследно исчезла. Она лишь переходит из механической формы в другие и, в частности, во внутреннюю энергию. Чтобы в этом убедиться возьмите бутылку с водой и с помощью термометра измерьте её начальную температуру. Затем потрясите бутылку в течение нескольких минут и вновь измерьте температуру воды.



Как не удивительно, но она нагреется примерно на один — два градуса. Примерно то же самое происходит в морях и океанах во время сильных штормов.

В начале 30-х годов XIX в. на это явление обратил внимание немецкий учёный, врач по образованию Роберт Майер, который услышал о ней от своего моряка. История моряка наряду с некоторыми наблюдениями самого учёного, побудили его взяться за определение отношения количеств работы и теплоты. В начале 40-х годов Майеру удалось рассмотреть с качественной стороны превращения всех форм энергии, которые были известны в то время, и впервые сформулировать закон превращения и сохранения энергии в общей форме.

Известный английский физик Джеймс Прескотт Джоуль, ничего не знавший о работах Майера, в 1841 году после серии опытов, показал, что совершённая при перемешивании воды механическая работа практически равна увеличению её внутренней энергии.

Опираясь на работы Джоуля и Майера, а также других известных на то время научных данных, немецкий физик Герман Гельмгольц в 1847 году сформулировал **закон превращения и сохранения энергии** как всеобщий закон природы. В современной формулировке он звучит так:

при любых взаимодействиях материальных объектов энергия не исчезает и не возникает из ничего, она только передаётся от одних объектов к другим или превращается из одной формы в другую. Для термодинамических систем (напомним, что в термодинамике обычно рассматривают макроскопические неподвижные системы) закон сохранения и превращения энергии называют **первым законом или первым началом термодинамики**. Согласно ему, **изменение внутренней энергии термодинамической системы при переходе из одного состояния в другое равно работе, совершённой внешними силами, и количеству теплоты, переданному термодинамической системе в процессе теплообмена:**

$$\Delta U = A_{\text{вн}} + Q.$$

Для **изолированной системы** (то есть системы, которая не обменивается с внешней средой ни энергией, ни веществом) работа внешних сил равна нулю, как равно нулю и количество теплоты. В этом случае изменение внутренней энергии изолированной системы остаётся неизменной:

$$\Delta U = 0$$

Если в такой системе имеются тела с различной температурой, то между ними будет происходить теплообмен: тела, у которых температура выше, будут отдавать энергию и охлаждаться, а тела с меньшей температурой будут получать энергию и нагреваться. Это будет происходить до тех пор, пока температуры всех тел не станут одинаковыми. Но суммарное изменение внутренней энергии тел системы всё равно будет равно нулю:

$$\Delta U_1 + \Delta U_2 + \dots + \Delta U_n = 0$$

или же равно нулю суммарное количество теплоты, полученное при теплообмене между телами такой системы:

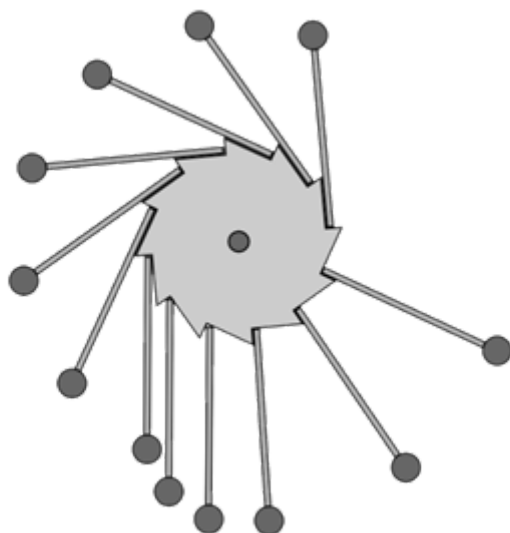
$$Q_1 + Q_2 + \dots + Q_n = 0$$

Таким образом, знакомое нам **уравнение теплового баланса** является математической записью первого начала термодинамики для теплоизолированной системы.

Поскольку работа внешних сил равна работе, совершаемой термодинамической системой, взятой с противоположным знаком ($A_{\text{вн}} = -A$), то первый закон термодинамики можно сформулировать и так: **количество теплоты, сообщённое термодинамической системе, идёт на изменение её внутренней энергии и на совершение работы системой против внешних сил:**

$$Q = \Delta U + A.$$

Из первого закона термодинамики следует невозможность создания **вечного двигателя первого рода, то есть устройства, способного бесконечно совершать работу без теплопередачи от внешних тел.**



И действительно, если к системе не подводится теплота, то работа может быть совершена только за счёт убыли внутренней энергии. Когда запас энергии окажется исчерпанным, двигатель перестанет работать.

$$-\Delta U = A$$

Для закрепления материала решим с вами несколько задач.

Задача 1. В теплоизолированном цилиндре компрессора сжимают 3 моля идеального одноатомного газа. Определите изменение температуры газа за один ход поршня, если при этом была совершена работа 600 Дж.

ДАНО

$$\nu = 3 \text{ моль}$$

$$A = 600 \text{ Дж}$$

$$\Delta T = ?$$

РЕШЕНИЕ

$$\text{Первое начало термодинамики: } \Delta U = Q + A_{\text{вн}} \Rightarrow \Delta U = A_{\text{вн}} \Rightarrow \frac{3}{2} \nu R \Delta T = A_{\text{вн}}.$$

$$\text{Количество теплоты, подведённое к системе: } Q = 0.$$

$$\text{Изменение внутренней энергии: } \Delta U = \frac{3}{2} \nu R \Delta T.$$

$$\text{Изменение температуры газа: } \Delta T = \frac{2A_{\text{вн}}}{3\nu R}.$$

$$\Delta T = \frac{2 \cdot 600 \text{ Дж}}{3 \cdot 3 \text{ моль} \cdot 8,31 \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}}} = \frac{1200 \text{ К}}{74,79} \cong 16 \text{ К}$$

ОТВЕТ: температура газа увеличилась на 16 К.



Задача 2. Определите изменение внутренней энергии 1 кг идеального одноатомного газа, охлаждающегося при постоянном объёме, если его начальная температура равна 420 К, а давление уменьшилось с 7 до 2 паскалей. Удельная теплоёмкость газа равна 700 Дж/(кг · К).

ДАНО

$$m = 1 \text{ кг}$$

$$V = \text{const}$$

$$T_0 = 420 \text{ К}$$

$$p_0 = 7 \text{ Па}$$

$$p = 2 \text{ Па}$$

$$c = 700 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$$

$$\Delta U = ?$$

РЕШЕНИЕ

Первое начало термодинамики: $Q = \Delta U + A \Rightarrow \Delta U = Q = cm \left(\frac{pT_0}{p_0} - T_0 \right).$

При изохорном процессе работа газа $A = p\Delta V = 0.$

Количество теплоты, переданное системе: $Q = cm(T - T_0) = cm \left(\frac{pT_0}{p_0} - T_0 \right).$

Закон Шарля: $\frac{p_0}{T_0} = \frac{p}{T} \Rightarrow T = \frac{pT_0}{p_0}.$

$$\Delta U = 700 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}} \cdot 1 \text{ кг} \cdot \left(\frac{2 \text{ Па} \cdot 420 \text{ К}}{7 \text{ Па}} - 420 \text{ К} \right) = 700 \frac{\text{Дж}}{\text{К}} \cdot (-300 \text{ К}) = -2,1 \cdot 10^5 \text{ Дж}$$

ОТВЕТ: внутренняя энергия газа уменьшилась на 210 кДж.

В заключении урока отметим, что в данном состоянии термодинамическая система всегда обладает внутренней энергией. Но это не означает, что в этой системе содержится определённое количество теплоты или работы, ведь эти величины являются характеристиками **изменения внутренней энергии системы** в результате какого-либо процесса. А измениться внутренняя энергия на одно и то же значение может как за счёт совершения системой работы без теплообмена с окружающими телами, так и за счёт передачи окружающим телам какого-либо количества теплоты.

