

# Первый закон термодинамики

1. Два принципа (начала) первого закона термодинамики.
2. Внутренняя энергия и работа расширения газа.
4. Энтальпия и энтропия газа.

# 1. Два принципа первого закона термодинамики

Первый закон термодинамики является частным случаем всеобщего закона о превращении и сохранении энергии применительно к тепловым процессам.

Первый закон термодинамики состоит из двух принципов (начал). Первый закон называется **принципом эквивалентности теплоты и работы**.

Теплота  $Q$  и работа  $L$  преобразовываются друг в друга в строго эквивалентном соотношении:

$$Q \longleftrightarrow L, \text{ Дж.}$$

**Второй принцип** гласит – теплота, сообщенная телу (системе) расходуется на изменение его внутренней энергии и на совершение работы этим телом (системой).

$$q = (U_2 - U_1) + l = \Delta U + l, \text{ Дж.}$$

**Примечание.** В данном уравнении и в дальнейшем удобнее расчет вести на единицу вещества – кг, м<sup>3</sup>, моль. Поэтому расчетные величины обозначаются прописными буквами, а не заглавными, при этом необходимо помнить, что для удобства и сокращения термин «удельная» опускается, но подразумевается. Например, в предыдущем уравнении

$Q$  – теплота, подведенная к 1 кг вещества, Дж/кг;

$U_1, U_2$  – начальная и конечная внутренняя энергия тела, отнесенная к 1 кг вещества, Дж/кг;

$\Delta U$  – изменение внутренней энергии 1 кг вещества, Дж/кг;

$l$  – работа, совершенная 1 кг вещества (в данном случае газа), Дж/кг.

## 2. Внутренняя энергия газа

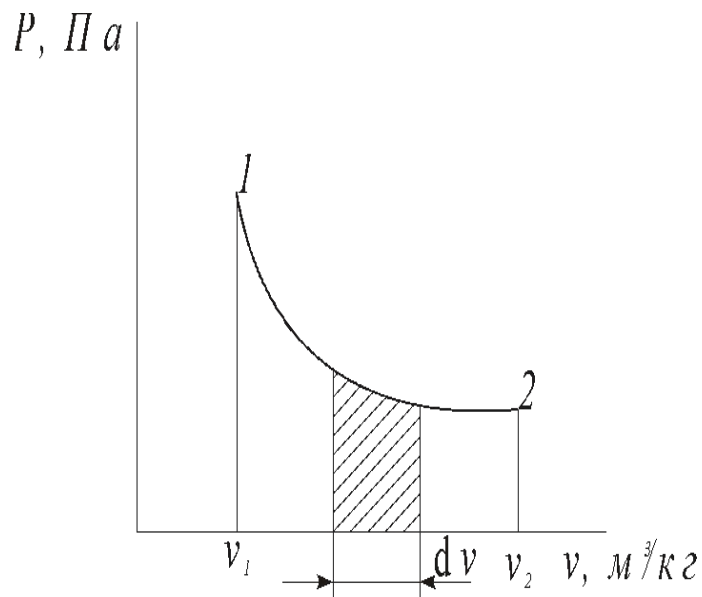
**Внутренняя энергия** – это сумма кинетических энергий частиц (молекул, атомов) газа и зависит она только от температуры – т.е. интенсивности движения частиц газа, что и определяет их тепловое состояние.

$$U = c_v T, \text{ Дж.}$$

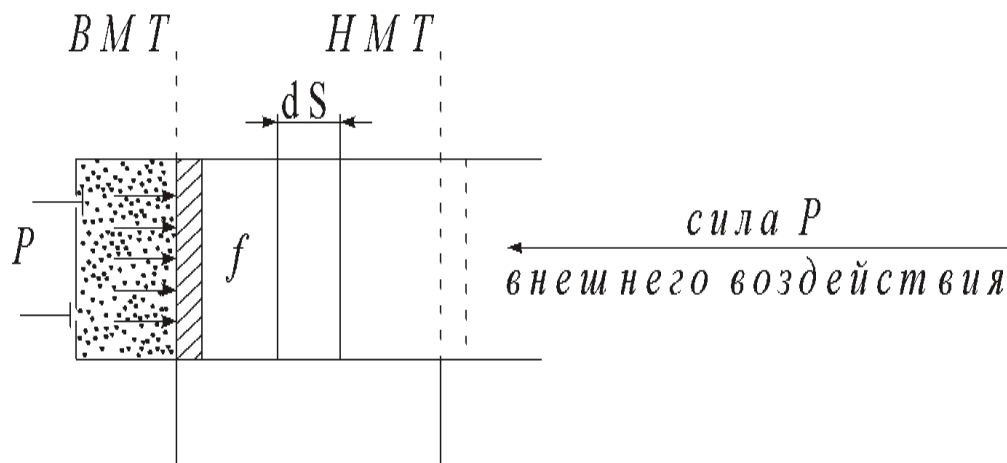
Для расчетов не столь важно знать, какова внутренняя энергия газа, а важно знать, на сколько она изменяется.

$$\Delta U = U_2 - U_1 = c_v (T_2 - T_1), \text{ Дж.}$$

# Работа расширения газа.



Работа совершается только тогда, когда имеется движение. В термодинамическом процессе работа совершается только при изменении объема газа. Если газ расширяется – работа положительна, сжимается – работа отрицательна.



Изобразим работу, совершаемую 1 кг газа на диаграмме в координатах  $p - v$ .

Пусть в процессе  $1-2$  поршень перемещается из положения  $1$  – верхней мертвой точки (ВМТ) в положение  $2$  – нижней мертвой точки и преодолевает силу  $P$  внешнего воздействия под давлением  $p$  рабочего тела. При этом газ расширяется от  $v_1$  до  $v_2$ , оказывая давление  $p$  на днище поршня площадью  $f$ . Работа всегда определяется произведением силы  $P$  на перемещение  $S$ .

Тогда элементарная работа  $dl$  при перемещении на элементарном отрезке  $dS$  будет равна:

$$dl = pfdS$$

Учитывая, что  $fdS=dv$ , работа расширения газа на всем участке от  $v_1$  до  $v_2$  будет равна:

$$l = \int_{v_1}^{v_2} p dv.$$

При  $p = \text{const}$   $l=p(v_2-v_1)$ ;

При  $v=\text{const}$   $l=0$ .

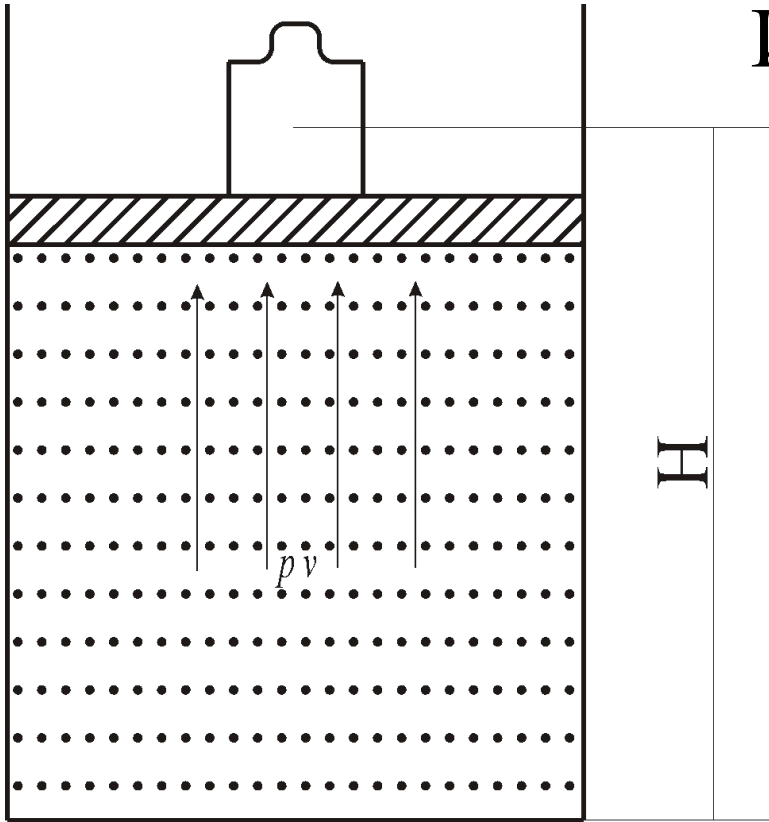
### 3. Энтальпия газа

Энтальпия газа  $h$ , Дж/кг равна сумме внутренней энергии газа и произведения давления на объем.

$$h = U + p\nu$$

Физический смысл величины  $p\nu$  понятен из рисунка – это потенциальная энергия сжатого газа. Она уравновешивает воздействие потенциальной энергии гири и поршня, поднятых на высоту  $H$  по отношению к днищу поршня.





Изменение энтальпии равно:

$$dh = dU + d(pv)$$

Учитывая, что  $pv = RdT$

получим:

$$dh = c_v dT + RdT$$

$$dh = (c_v + R)dT = c_p dT$$

После интегрирования в пределах от  $T_1$  до  $T_2$  получим:

$$h = c_p (T_2 - T_1).$$

# Энтропия газа

Не всегда количество подведенной можно определить через изменение температуры тела. Например, вода кипит, а ее температура остается постоянной. В выражении первого закона термодинамики:

$$\partial q = dU + p dv \quad (1)$$

выражение  $\partial q$  не является полным дифференциалом, поскольку неизвестна зависимость изменения  $p$  от температуры  $T$ .

Если количество подведённой теплоты не характеризуется соответствующим изменением температуры, то выражение (1) можно превратить в полный дифференциал, если его левую и правую часть разделить на температуру тела  $T$ .

$$\frac{\partial q}{T} = \frac{dU}{T} + \frac{pdv}{T}.$$

$$\frac{\partial q}{T} = \frac{c_v dT}{T} + \frac{pdv}{T}.$$

Умножив и разделив второе слагаемое на  $v$ , получим:

$$\frac{\partial q}{T} = \frac{c_v dT}{T} + \frac{pv dv}{Tv} = \frac{c_v dT}{T} + \frac{RT dv}{Tv}.$$

Обозначив  $\frac{\partial q}{T} = dS$ , после сокращения на  $T$  получим:

$$dS = \frac{c_v dT}{T} + R \frac{dv}{v}.$$

**Энтропия – есть теплота, отнесенная к температуре тела.**

Изменение энтропии  $\Delta S$  будет равно:

$$\Delta S = S_2 - S_1,$$

Изменение энтропии равно подведенной теплоте, отнесенной к температуре тела.

$$\Delta q = \Delta S T$$