

# Термодинамика и теплопередача

---

## Лекция 2





# Внутренняя энергия:

- Кинетическая энергия
- Потенциальная энергия
- Энергия электронных оболочек атомов
- Внутроядерная энергия

*Две последние в большинстве теплоэнергетических процессах остаются неизменными.*

# Внутренняя энергия, $U$ [Дж]



энергия хаотического движения молекул и атомов, включающую энергию поступательного, вращательного и колебательного движений как молекулярного, так и внутримолекулярного, а так же потенциальную энергию сил взаимодействия между молекулами

# Удельная внутренняя энергия, $u$



$$u = U / M \quad [\text{Дж/кг}]$$

Внутренняя энергия функция состояния тела и может быть представлена в виде функции двух любых независимых параметров:

$$u = \varphi_1(p, V)$$

$$u = \varphi_2(p, T)$$

$$u = \varphi_3(T, V)$$

Изменение внутренней энергии:

$$\Delta u = \int_1^2 du = u_2 - u_1$$



# Теплота

- Теплота,  $Q$  – представляет собой переданное от одного тела к другому определенное количество энергии хаотического молекулярного и внутримолекулярного движения
- $+ Q$  – подводимая теплота
- $- Q$  – отводимая теплота



# Работа

- Работа,  $L$  [Дж] – в термодинамике называется процесс превращения одного вида энергии в другой, при котором энергия одного вида уменьшается, а энергия другого вида увеличивается.

# Работа расширения



- Масса  $M$
- Объем  $V$
- Площадь поверхности  $F$
- Элементарный элемент оболочки  $dF$
- Сила  $p dF$
- Элементарная работа  $p dF dn$

# Работа расширения



- Общая работа:

$$\delta L = p \int_F dF dn$$

- Изменение объема:

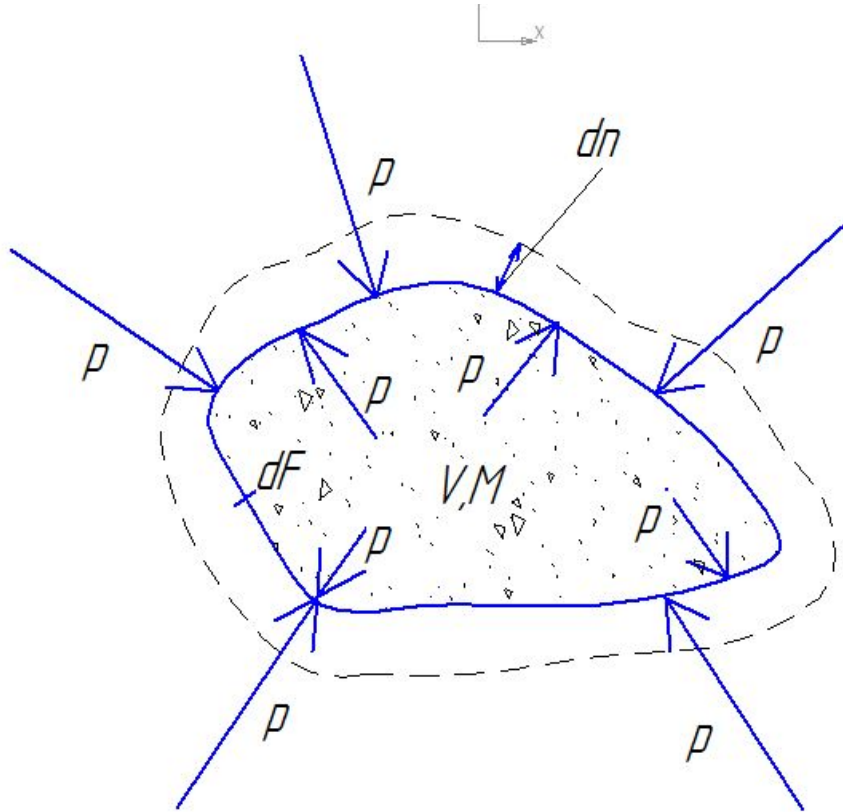
$$\delta V = \int_F dF dn$$

- Следовательно:

$$\delta L = p dV$$

- Работа расширения:  $L = \int_{V1}^{V2} p dV$

$$l = \int_{v1}^{v2} p dv$$

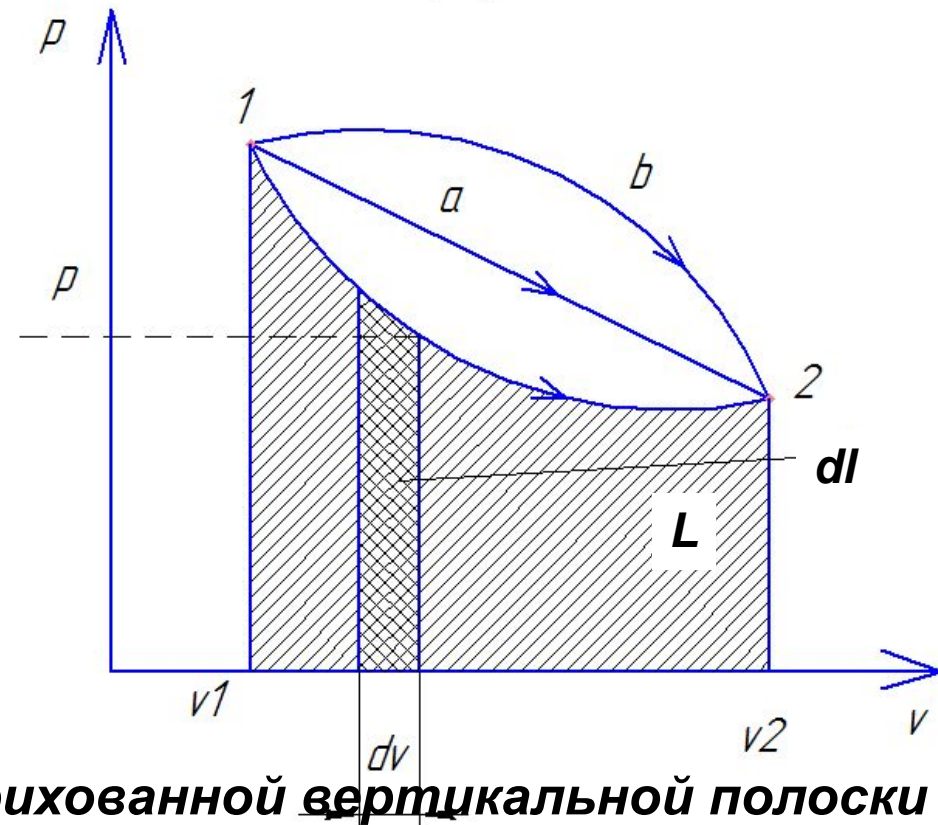




# Работа в координатах P, V



- 1 2 - процесс расширения
- 1a2 – процесс расширения
- 1b2 – процесс расширения



**$Pdv = \delta l$**  - площадь заштрихованной вертикальной полоски

# Энтальпия



$$H = U + pV$$

- Энтальпия,  $H$  [Дж] - термодинамический потенциал, характеризующий состояние термодинамической системы. Энергия, которая доступна для преобразования в теплоту при постоянном давлении.
- Энтальпия – функция состояния:

$$h = \psi_1(p, v)$$

$$h = \psi_2(v, T)$$

$$h = \psi_3(p, T)$$

# Энтальпия



- Удельная энтальпия – энтальпия системы содержащий 1 кг вещества  $h$  [Дж/кг]:

$$h = u + pv$$

***Изменение энтальпии в любом процессе определяется только начальным и конечным состояниями тела и не зависит от характера процесса***

# Уравнение первого начала термодинамики:



$$\delta q = du - p dv$$

С учетом очевидного соотношения:

$$p dv = d(pv) - v dp$$

Может быть записано в виде:

$$\delta q = d(u + pv) - v dp \quad \text{или} \quad \delta q = dh - v dp$$

Если давление системы сохраняется неизменным:

$$\delta q_p = dh \quad \text{или} \quad q_p = h_2 - h_1$$

$$\Delta h = h_2 - h_1 = \int_{t1}^{t2} c_p \cdot dT$$



# Теплоемкость

- Теплоемкость, с [*Дж/кг\*град*] – количество тепла, которое нужно повести единице тела для повышения его температуры на 1<sup>0</sup>С в данном процессе.

$$C = \delta Q / dT$$

$$q = \int_{T_1}^{T_2} cdT$$

# Теплоемкость в зависимости от единицы количества вещества:



- Удельная массовая теплоемкость,  $c$   
[Дж/кг\*К];
- Удельная объемная теплоемкость,  $c'$   
[Дж/м<sup>3</sup>\*К];
- Удельная мольная теплоемкость,  $c_M$ ,  
[Дж/кмоль\*К]

$$c = \frac{c'}{\rho_H} = \frac{c_M}{\mu}$$

$$c' = \frac{c_M}{V_\mu}$$



# Массовая теплоемкость

- Изобарная теплоемкость:  $c_p = \delta q_p / dT$

- Изохорная теплоемкость:  $c_v = \delta q_v / dT$

- Отношение теплоемкостей:  $\frac{c_p}{c_v} = k$

$$\left. \begin{aligned} c_p &= k \cdot c_v \\ c_v &= \frac{c_p}{k} \end{aligned} \right\}$$

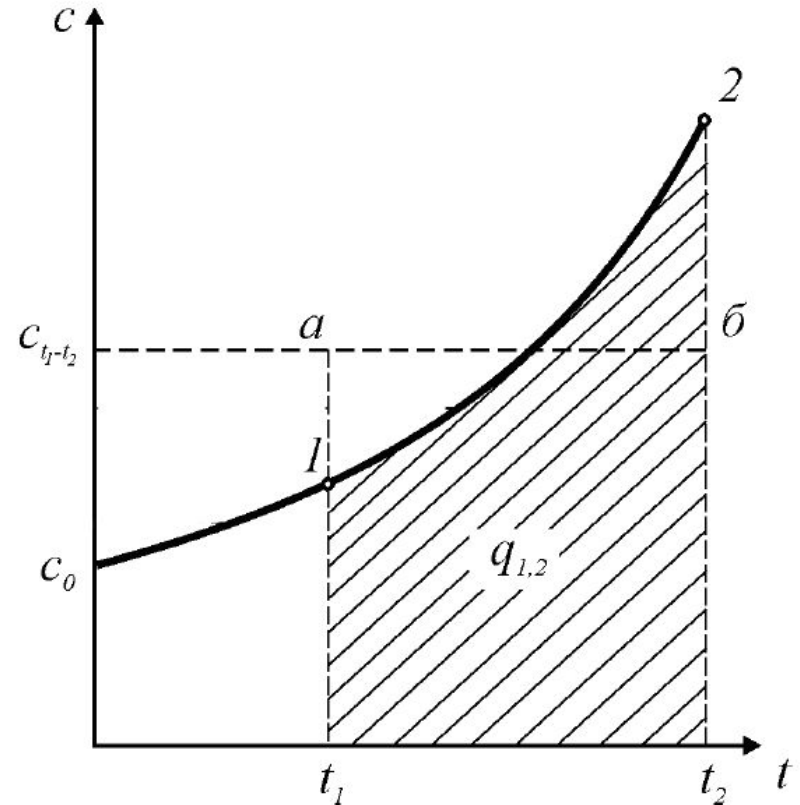
- Уравнение Майера:  $c_p = c_v + R$

# Средняя теплоемкость, $c_m$



- данного процесса в интервале температур от  $t_1$  до  $t_2$  называется отношением количества теплоты, сообщаемой газу, к разности конечной и начальной температур:

$$c_m = q_{1,2} / (t_2 - t_1)$$







# Истинная теплоемкость

- Истинная теплоемкость соответствует бесконечно малому интервалу температур.

$$c = \delta q / dT$$