

## Тема 2.2.2.

### Работа в термодинамике. Количество теплоты. Первый закон термодинамики.

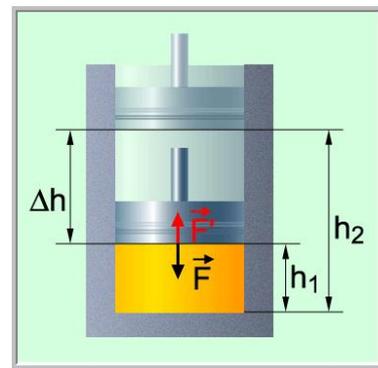
#### Работа в термодинамике.

В термодинамике под работой понимают изменение внутренней энергии системы, связанное с перемещением ее частей относительно друг друга, а не системы в целом.

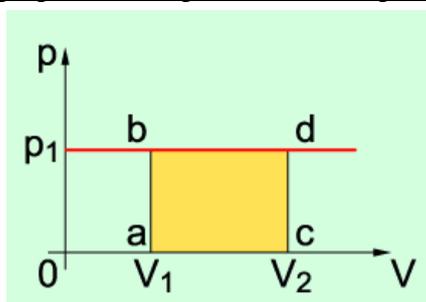
При этом работу всегда совершает газ (или пар).

$$\left. \begin{aligned} A &= F \Delta h \cdot \cos 0^\circ; \\ p &= \frac{F}{S} \Rightarrow F = pS; \\ A &= pS(h_2 - h_1) = pS \Delta h \end{aligned} \right\} A = p \Delta V \quad \text{Только при } p = \text{const.}$$

При расширении газ совершает положительную работу, а внешние силы отрицательную. При сжатии наоборот, т.е.  $A_{\text{внешн}} = -A_{\text{газа}}$



#### Графическое представление работы.



$$S = p \Delta V = A$$

Работа газа равна площади под графиком изменения состояния газа в осях  $p, V$

#### Количество теплоты.

Количеством теплоты называется энергия, передаваемая путем теплообмена.

1. Количество теплоты, полученное телом при нагревании и отданное при охлаждении  
 $c$  – удельная теплоемкость ( $\frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$ ), табл.

$$Q = cm \Delta T;$$

$m$  – масса (кг);

$\Delta T$  – изменение температуры

2. Количество теплоты, полученное телом при испарении и отданное при конденсации

$$Q = gm; \quad g \text{ – удельная теплота парообразования } \left( \frac{\text{Дж}}{\text{кг}} \right), \text{ табл.}$$

$m$  – масса (кг).

3. Количество теплоты, полученное телом при плавлении и отданное при кристаллизации

$$Q = \lambda m; \quad \lambda \text{ – удельная теплота парообразования } \left( \frac{\text{Дж}}{\text{кг}} \right), \text{ табл.}$$

$m$  – масса (кг).

#### Первый закон термодинамики

Первый закон термодинамики является обобщением закона сохранения и превращения энергии для термодинамической системы.

Пусть  $A$  – работа термодинамической системы.  $A = -A_{\text{внешн.сил}}$

$$\Delta U = A_{\text{внешн.сил}} + Q \Rightarrow Q = \Delta U - A_{\text{внешн.сил}} = \Delta U + A \quad \boxed{Q = \Delta U + A}$$

Количество теплоты, полученное системой, идет на изменение ее внутренней энергии и совершение работы над внешними телами.

# Применение первого закона термодинамики к различным процессам.

1. Для замкнутой системы

$$\left. \begin{matrix} Q = 0 \\ A = 0 \end{matrix} \right\} \Rightarrow \Delta U = 0 \Rightarrow U = \text{const}$$

Внутренняя энергия замкнутой системы не меняется.

2. Адиабатный процесс – процесс протекающий без теплопередачи.

Пусть система не получает энергии извне.

$Q = 0 \Rightarrow A = -\Delta U$  - система совершает работу за счет своей внутренней энергии.

Следствие: невозможно создать машину, способную совершать полезную работу без потребления энергии извне и без каких-либо изменений внутри самой машины. Такая гипотетическая машина получила название **вечного двигателя (perpetuum mobile) первого рода**.

3. В **изохорном процессе** ( $V = \text{const}$ ) газ работы не совершает,  $A = 0$ . Следовательно,  $Q = \Delta U$

Внутренняя энергия идеального газа зависит только от температуры (закон Джоуля). При изохорном нагревании тепло поглощается газом ( $Q > 0$ ), и его внутренняя энергия увеличивается. При охлаждении тепло отдается внешним телам ( $Q < 0$ ).

4. В **изобарном процессе**  $p = \text{const}$ .  $Q = \Delta U + A$

При изобарном расширении  $Q > 0$  – тепло поглощается газом, и газ совершает положительную работу. При изобарном сжатии  $Q < 0$  – тепло отдается внешним телам. В этом случае  $A < 0$ . Температура газа при изобарном сжатии уменьшается,  $T_2 < T_1$ ; внутренняя энергия убывает,  $\Delta U < 0$ .

5. В **изотермическом процессе** температура газа не изменяется, следовательно, не изменяется и внутренняя энергия газа,  $\Delta U = 0$ .  $Q = A$

Количество теплоты  $Q$ , полученной газом в процессе изотермического расширения, превращается в работу над внешними телами. При изотермическом сжатии работа внешних сил, произведенная над газом, превращается в тепло, которое передается окружающим телам.

**Применение первого закона термодинамики к изопроцессам**

Адиабатный процесс					
Процесс	Условие процесса	p, V-диаграмма	Первый закон термодинамики применительно к изопроцессу	Изменение внутренней энергии, $\Delta U$	Работа газа, A
Адиабатное расширение	$\Delta Q = 0$		$A = -\Delta U$	$\Delta U < 0$	$A > 0$
Адиабатное сжатие	$\Delta Q = 0$		$A = -\Delta U$	$\Delta U > 0$	$A < 0$

**Применение первого закона термодинамики к изопроцессам**

Изохорный процесс					
Процесс	Условие процесса	p, V-диаграмма	Первый закон термодинамики применительно к изопроцессу	Изменение внутренней энергии, $\Delta U$	Работа газа, A
Изохорное нагревание	$V = \text{const}$		$Q = \Delta U$ ( $Q > 0$ )	$\Delta U = Q$ ( $\Delta U > 0$ )	0
Изохорное охлаждение	$V = \text{const}$		$Q = \Delta U$ ( $Q < 0$ )	$\Delta U = Q$ ( $\Delta U < 0$ )	0

**Применение первого закона термодинамики к изопроцессам**

Изобарный процесс					
Процесс	Условие процесса	p, V-диаграмма	Первый закон термодинамики применительно к изопроцессу	Изменение внутренней энергии, $\Delta U$	Работа газа, A
Изобарное расширение	$p = \text{const}$		$Q = \Delta U + A$ ( $Q > 0$ )	$\Delta U = Q - A$ ( $\Delta U > 0$ )	$p(V_2 - V_1) = \frac{p}{M} R(T_2 - T_1)$ ( $A > 0$ )
Изобарное сжатие	$p = \text{const}$		$Q = \Delta U + A$ ( $Q < 0$ )	$\Delta U = Q - A$ ( $\Delta U < 0$ )	$p(V_2 - V_1) = \frac{p}{M} R(T_2 - T_1)$ ( $A < 0$ )

**Применение первого закона термодинамики к изопроцессам**

Изотермический процесс					
Процесс	Условие процесса	p, V-диаграмма	Первый закон термодинамики применительно к изопроцессу	Изменение внутренней энергии, $\Delta U$	Работа газа, A
Изотермическое расширение	$T = \text{const}$		$Q = A$ ( $Q > 0$ )	0	( $A > 0$ )
Изотермическое сжатие	$T = \text{const}$		$Q = A$ ( $Q < 0$ )	0	( $A < 0$ )

### ***Уравнение теплового баланса.***

Пусть система содержит несколько тел, имеющих разную температуру. Тогда в системе будет происходить теплообмен.

Если в системе не происходит работа, то для каждого тела можно записать первый закон термодинамики

$$\Delta U_1 = Q_1$$

$$\Delta U_2 = Q_2$$

$$\Delta U_3 = Q_3$$

.....

$$\Delta U_N = Q_N$$

Складывая эти уравнения получаем

$\Delta U_1 + \Delta U_2 + \Delta U_3 + \dots + \Delta U_N = Q_1 + Q_2 + Q_3 + \dots + Q_N$ , но в замкнутой системе суммарная внутренняя энергия не меняется, следовательно

$$\boxed{Q_1 + Q_2 + Q_3 + \dots + Q_N = 0} \text{ - уравнение теплового баланса.}$$