

## Термодинамика

**Внутренняя энергия** – это суммарная энергия хаотического движения и взаимодействия микрочастиц системы (молекул).  $U = \sum E_{\text{кин } i} + \sum E_{\text{пот } i}$

$$U = \frac{3}{2} \frac{m}{M} RT = \frac{3}{2} \nu RT = \frac{3}{2} pV \text{ – для идеального или одноатомного газа}$$

$$U = \frac{5}{2} \frac{m}{M} RT = \frac{5}{2} \nu RT = \frac{5}{2} pV \text{ – для двухатомного газа.}$$

$\Delta U$  – изменение внутренней энергии тела, сопровождается изменением температуры или агрегатного состояния тела.

$$\Delta U = \frac{3}{2} \frac{m}{M} R \Delta T = \frac{3}{2} \nu R \Delta T, \quad \Delta U = \frac{3}{2} \Delta pV \text{ при } V = \text{const} \text{ или } \Delta U = \frac{3}{2} p \Delta V \text{ при } p = \text{const}$$

### Два способа изменения U

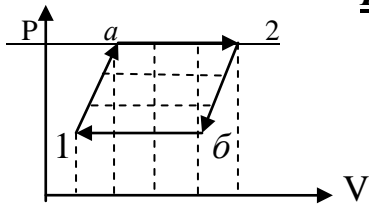
#### Для газа

1. **A** – работа газа или над газом.

$$A = p \Delta V = p(V_2 - V_1) \text{ при } p = \text{const}, \quad A = \frac{m}{\nu} R \Delta T = \nu R \Delta T$$

Работа газа (расширение)  $U \downarrow, T \downarrow$  на графике переход  $1 \rightarrow a \rightarrow 2$

Работа над газом (сжатие)  $U \uparrow, T \uparrow$  на графике переход  $2 \rightarrow b \rightarrow 1$



#### Геометрический способ нахождения работы

$A = S$  площади фигуры между графиком и осью V (процесс не замкнут)

Для циклического процесса

$1 \rightarrow a \rightarrow 2 \rightarrow b \rightarrow 1$

$A = S_{\text{цикл}}$  площади фигуры внутри графика

2. **Q** – теплопередача.

$$\Delta U = -A_{\text{газа}} \pm Q$$

#### Для любого тела

1. Теплопередача

→ 1. Теплопроводность (от молекулы к молекуле)

→ 2. Конвекция (потоками вещества)

→ 3. Излучение (инфракрасные лучи)

1)  $Q = c m \Delta T$  – нагрев, охлаждение, где  $c$  – удельная теплоемкость тела ( $\frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{C}}$ )

2)  $Q = \lambda m$  – плавление, кристаллизация, где  $\lambda$  – удельная теплота плавления ( $\frac{\text{Дж}}{\text{К}}$ )

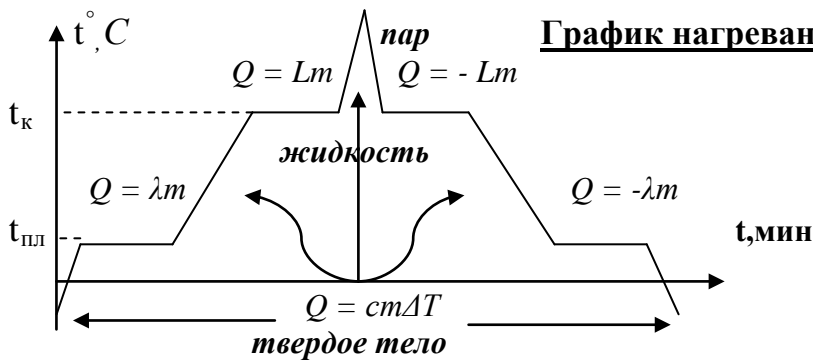
3)  $Q = L m$  – парообразование, конденсация, где  $L$  – удельная теплота парообразования ( $\frac{\text{Дж}}{\text{К}}$ )

4)  $Q = q m$  – сгорание топлива, где  $q$  – удельная теплота сгорания топлива ( $\frac{\text{Дж}}{\text{К}}$ )

2. Совершение работы внешних сил

$$\Delta U = A_{\text{внешн.с}} \pm Q$$

**График нагревания, плавления и кипения твердого тела**

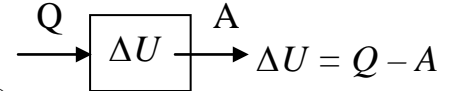


**Первый закон термодинамики** - изменение внутренней энергии системы происходит за счет совершения работы (газом или над газом) и теплопередачи.

**Другая формулировка закона:** количество теплоты, переданное системе, идет на увеличение его внутренней энергии и совершение газом работы.

$$Q = \Delta U + A$$

**Пример:**



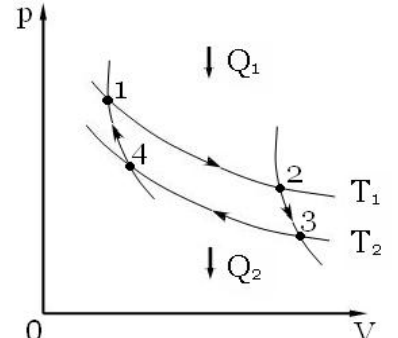
**Второй закон термодинамики** - невозможен процесс, единственным результатом которого была бы передача энергии от холодного тела к горячему (сформулировал этот закон Р. Клаузиус).

**I закон термодинамики для изопроцессов.  
(Термодинамика изопроцессов).**

Процесс	Работа газа при расширении	Закон сохранения энергии
Изотермический, $T = \text{const}, \Delta T = 0$		$\Delta U = 0$ $Q = A$
Изохорный $V = \text{const}, \Delta V = 0$		$A = 0$ $Q = \Delta U$
Изобарный, $P = \text{const}$		$\Delta U = Q + A$ $Q = \Delta U + A_{\text{газа}}$
Адиабатный, $Q = 0$		$Q = 0$ $\Delta U = -A_{\text{газа}}$

**Тепловым двигателем** называется устройство, в котором внутренняя энергия топлива превращается в механическую.

## Тепловые двигатели

<b>Принцип работы.</b>	
<p>I. Идея: превращение внутренней энергии топлива в работу.</p>	<p>III. Основные части двигателя и их работа:</p> <div style="text-align: center; margin-bottom: 10px;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: 0 auto;">Нагреватель</div> <div style="text-align: center; margin: 5px 0;">↓</div> <div style="text-align: center; margin: 5px 0;"><math>Q_H</math> – получение энергии</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: 0 auto;">Рабочее тело</div> <div style="text-align: center; margin: 5px 0;">→</div> <div style="text-align: center; margin: 5px 0;"><math>A</math> – совершение работы (рабочий ход)</div> <div style="text-align: center; margin: 5px 0;">↓</div> <div style="text-align: center; margin: 5px 0;"><math>Q_x</math> – передача «остатка» энергии</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: 0 auto;">Холодильник</div> </div>
<p>II. Идеальный цикл Карно:</p> 	

### КПД тепловых двигателей.

#### **КПД реальной тепловой машины**

$$A = Q_H - Q_x \quad \eta = \frac{A_{\text{полезн.}}}{Q_H} \cdot 100\% \quad \eta = \frac{Q_H - Q_x}{Q_H} \cdot 100\% \quad \eta = 1 - \frac{Q_x}{Q_H} \cdot 100\%$$

$A_{\text{полезн.}}$  – работа, совершаемая рабочим телом,

$Q_H$  – количество теплоты, полученное рабочим телом от нагревателя,

$Q_x$  – количество теплоты, отданное рабочим телом холодильнику.

#### **КПД идеальной тепловой машины** (рабочее тело – идеальный газ)

$$\eta_{\text{max}} = \frac{T_H - T_x}{T_H} \cdot 100\%$$