

# *Основы термодинамики*

# Содержание

- Внутренняя энергия
- Работа в термодинамике
- Количество теплоты
- Первый закон термодинамики
- Принцип действия тепловых двигателей. КПД

---

*Термодинамика – теория тепловых процессов, в которой не учитывается молекулярное строение тел.*

# Внутренняя энергия

- Определение:

**Внутренняя энергия тела – это сумма кинетической энергии хаотического теплового движения частиц (атомов и молекул) тела и потенциальной энергии их взаимодействия**

- Обозначение:

**U**

- Единицы измерения:

**[Дж]**

# Внутренняя энергия идеального одноатомного газа

$$U = N\bar{E}_k,$$

$$N = \frac{m}{M} N_A \text{ — число молекул}$$

$$\bar{E}_k = \frac{3}{2} kT \text{ — кинетическая энергия одной молекулы}$$



$$U = \frac{3}{2} N_A kT$$

$$(N_A k = R)$$



**Внутренняя энергия  
идеального одноатомного газа**

$$U = \frac{3}{2} \frac{m}{M} RT$$

***Внутренняя энергия  
идеального двухатомного газа***

$$U = \frac{5}{2} \frac{m}{M} RT$$

Так как

$$pV = \frac{m}{M} RT$$

- уравнение Клапейрона – Менделеева,

то внутренняя энергия:

$$U = \frac{3}{2} pV$$

- для одноатомного газа

$$U = \frac{5}{2} pV$$

- для двухатомного газа.

# Изменение внутренней энергии тела $\Delta U$

Совершение  
работы  $A$

Теплообмен  $Q$

теплопроводность

излучение

конвекция

над

самим

телом

телом

$\Delta U \blacktriangle$

$\Delta U \blacktriangledown$





Задача Какова внутренняя энергия 5 моль кислорода при 10 0С?

• Дано: "СИ"

• Решение.

# Работа в термодинамике

- Работа газа:

$$A' = p(V_2 - V_1) = p\Delta V$$

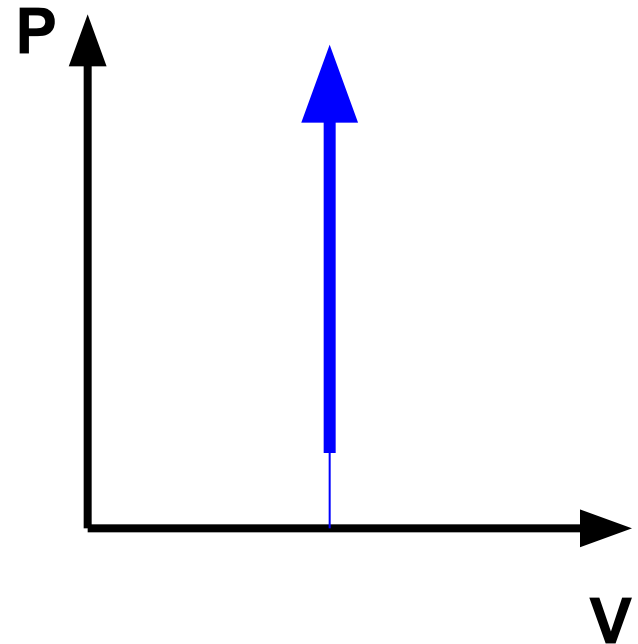
- Работа внешних сил:

$$A = -A'$$

# Работа газа при изопроцессах

- При изохорном процессе ( $V = \text{const}$ ):  
 $\Delta V = 0$  работа газом не совершается:

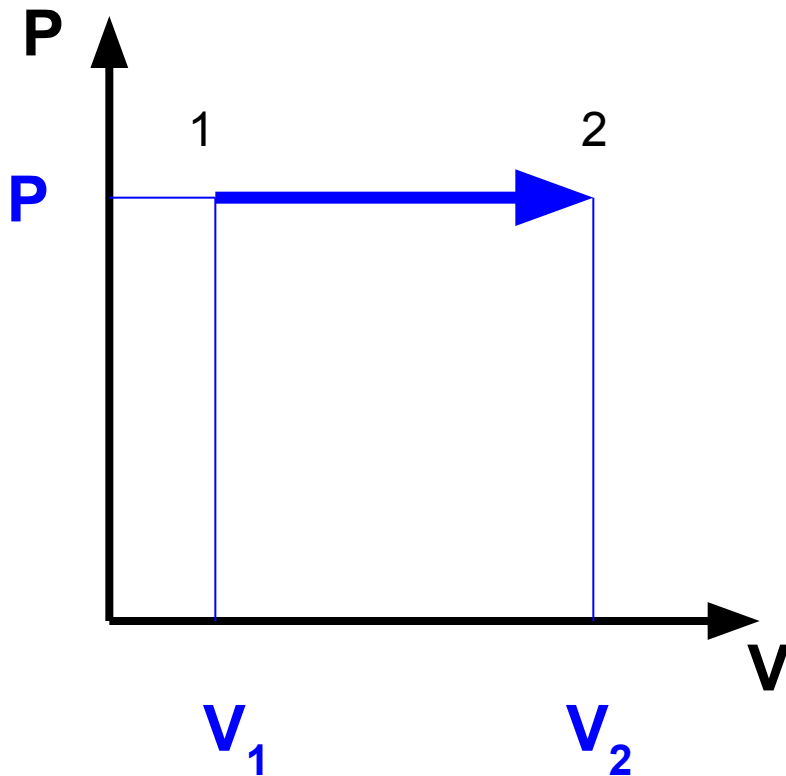
$$A' = 0$$



Изохорное нагревание

- При изобарном процессе ( $P = \text{const}$ ):

$$A' = p \Delta V$$

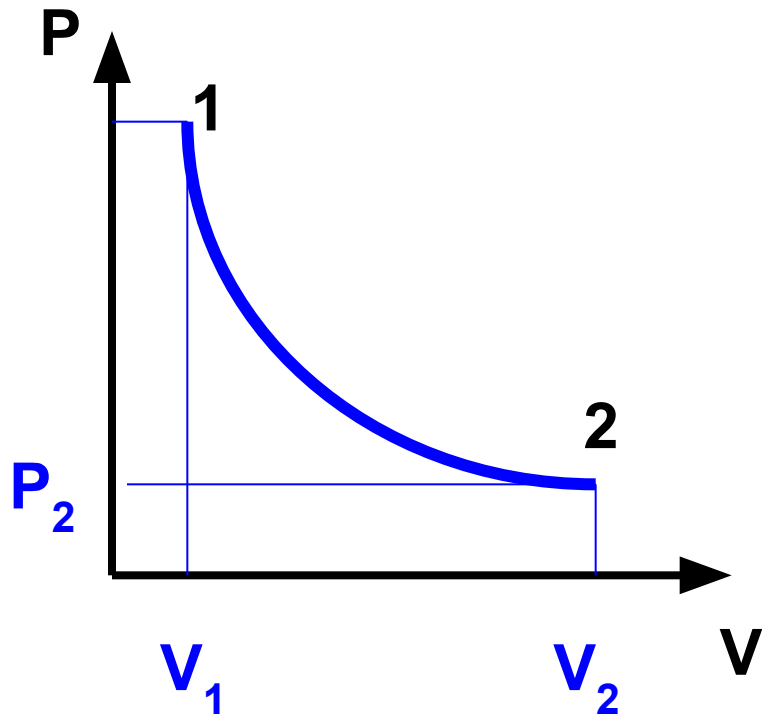


Изобарное расширение

$$A' > 0$$

- При изотермическом процессе ( $T = \text{const}$ ):

$$A' = \frac{m}{M} RT \ln \frac{V_2}{V_1}$$

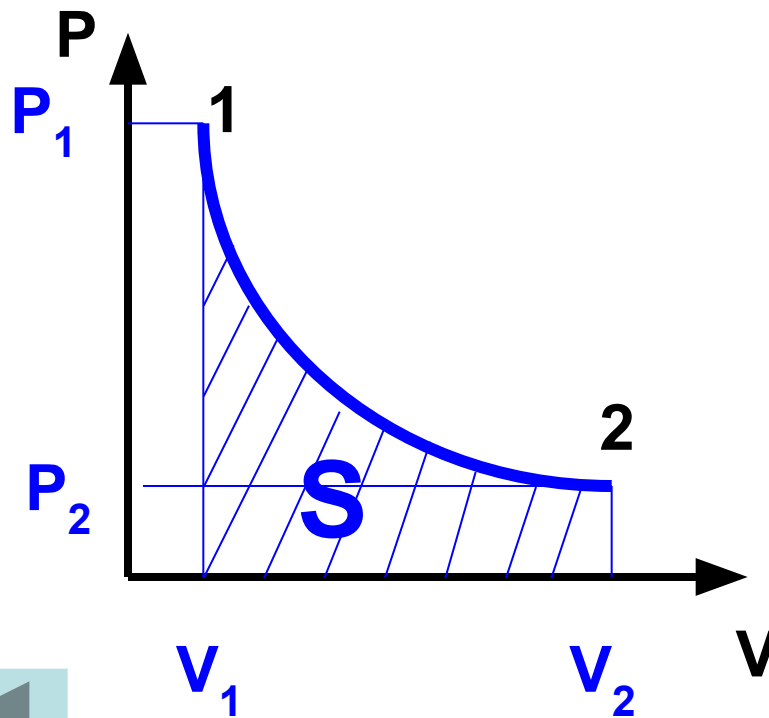
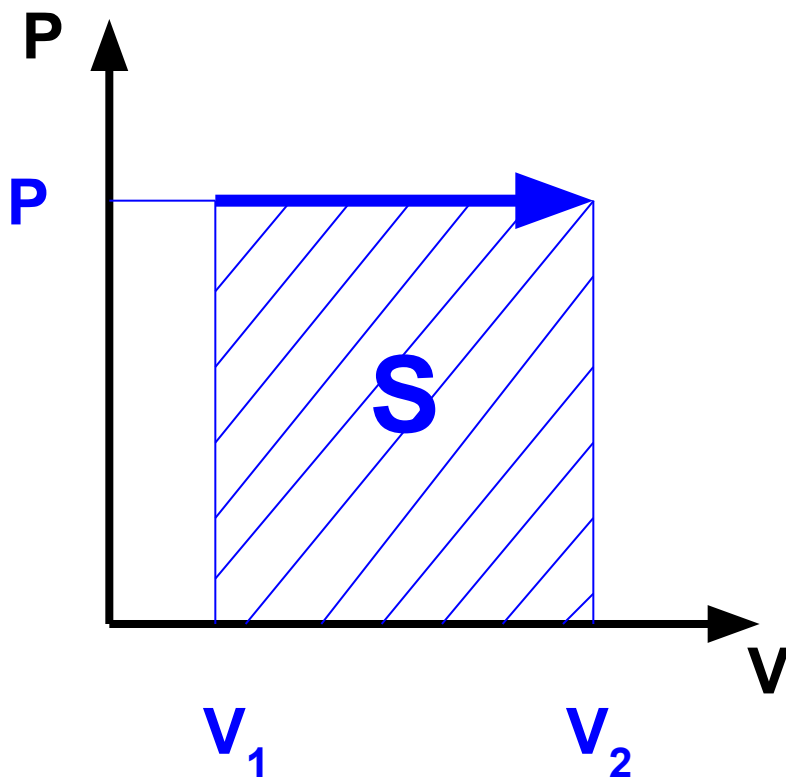


Изотермическое расширение

$$A' > 0$$

# Геометрическое истолкование работы:

Работа, совершаемая газом в процессе его расширения (или сжатия) при любом термодинамическом процессе, численно равна площади под кривой, изображающей изменение состояния газа на диаграмме  $(p, V)$ .



# **Количество теплоты** – часть внутренней энергии, которую тело получает или теряет при теплопередаче

Процесс	формула	
Нагревание или охлаждение	$Q = cm\Delta T$	$c$ – удельная теплоёмкость вещества [ Дж/кг $^{\circ}$ К], $m$ – масса [кг], $\Delta T$ – изменение температуры [ $^{\circ}$ К].
Кипение или конденсация	$Q = rm$	$r$ – удельная теплота парообразования [ Дж/кг ]
Плавление или кристаллизация	$Q = \lambda m$	$\lambda$ - удельная теплота плавления вещества [ Дж/кг ]
Сгорание топлива	$Q = qm$	$q$ – удельная теплота сгорания топлива [ Дж/кг ]



# *Первый закон термодинамики*

*Изменение внутренней энергии системы при переходе её из одного состояния в другое равно сумме работы внешних сил и количества теплоты, переданного системе*

*Количество теплоты, переданное системе, идёт на изменение её внутренней энергии и на совершение системой работы над внешними телами*

$$\Delta U = A + Q$$

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



# Применение первого закона термодинамики к различным процессам

Процесс	Постоянный параметр	Первый закон термодинамики
Изохорный	$V = \text{const}$	$\Delta U = Q$
Изотермический	$T = \text{const}$	$Q = A'$
Изобарный	$P = \text{const}$	$Q = \Delta U + A'$
Адиабатный	$Q = \text{const}$	$\Delta U = -A'$



**Тепловые двигатели –  
устройства, превращающие  
внутреннюю энергию топлива в  
механическую.**

**Виды тепловых двигателей**



# Принцип действия тепловых двигателей



$T_1$  – температура нагревателя

$T_2$  – температура холодильника

$Q_1$  – количество теплоты, полученное от нагревателя

$Q_2$  – количество теплоты, отданное холодильнику

# *Коэффициент полезного действия (КПД) теплового двигателя –*

**отношение работы  $A'$ , совершаемой двигателем, к количеству теплоты, полученному от нагревателя:**

$$\eta = \frac{A'}{Q_1}$$

где  $A' = Q_1 - |Q_2|$  - работа, совершаемая двигателем

тогда 
$$\eta = \frac{Q_1 - |Q_2|}{Q_1} = 1 - \frac{|Q_2|}{Q_1}$$

$$\eta < 1$$

КПД всегда меньше единицы, так как у всех двигателей некоторое количество теплоты передаётся холодильнику

При  $T_1 - T_2 = 0$  двигатель не может работать

**Максимальное значение КПД  
тепловых двигателей (цикл Карно):**

$$\eta_{\max} = \frac{T_1 - T_2}{T_1}$$

Отрицательные последствия использования тепловых двигателей:

- Потепление климата
- Загрязнение атмосферы
- Уменьшение кислорода в атмосфере

Решение проблемы:

- Вместо горючего использовать сжиженный газ.
- Бензин заменить водородом.
- Электромобили.
- Дизели.
- На тепловых электростанциях использовать скрубберы, в которых сера связывается с известью.
- Сжигание угля в кипящем слое.



**КПД тепловых двигателей**

<b>Двигатель</b>	<b>КПД, %</b>
Паровая машина	<b>1</b>
Паровоз	<b>8</b>
Карбюраторный двигатель	<b>20 - 30</b>
Газовая турбина	<b>36</b>
Паровая турбина	<b>35 - 46</b>
Ракетный двигатель на жидком топливе	<b>47</b>