

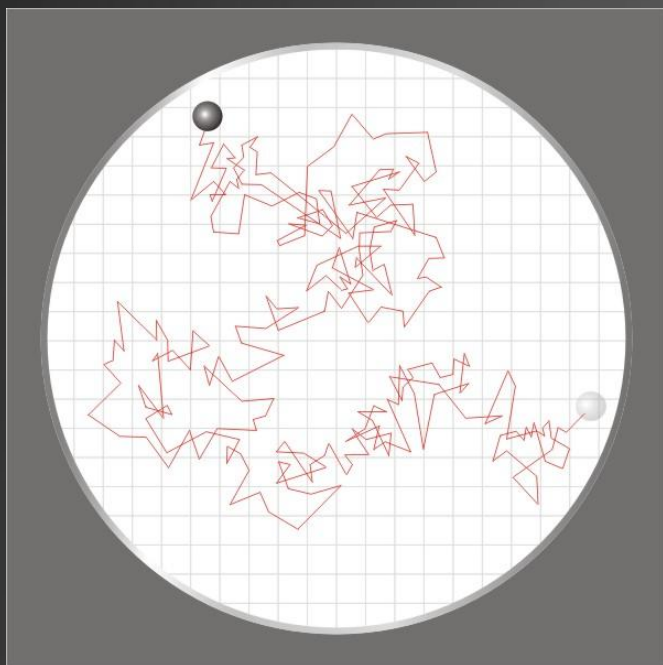
# ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ МКТ

1. Все тела состоят из молекул
  2. Молекулы движутся
  3. Молекулы взаимодействуют
-

## ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ МКТ



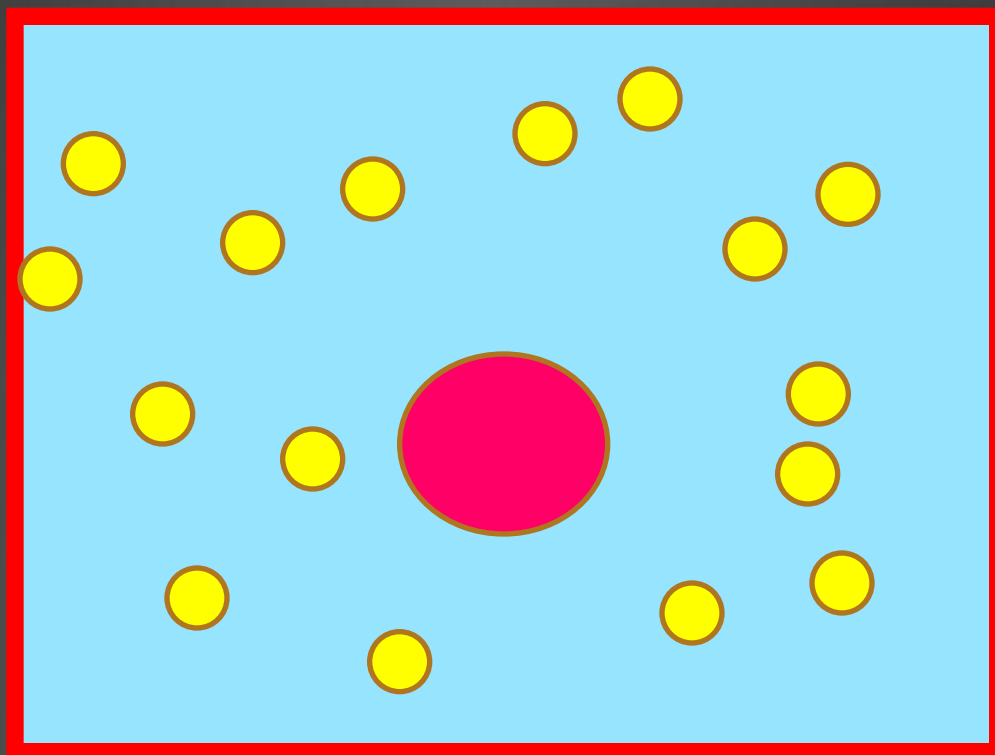
# ДОКАЗАТЕЛЬСТВО СУЩЕСТВОВАНИЯ МОЛЕКУЛ: 1. БРОУНОВСКОЕ ДВИЖЕНИЕ



## ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ МКТ



# ДОКАЗАТЕЛЬСТВО СУЩЕСТВОВАНИЯ МОЛЕКУЛ: 1. БРОУНОВСКОЕ ДВИЖЕНИЕ



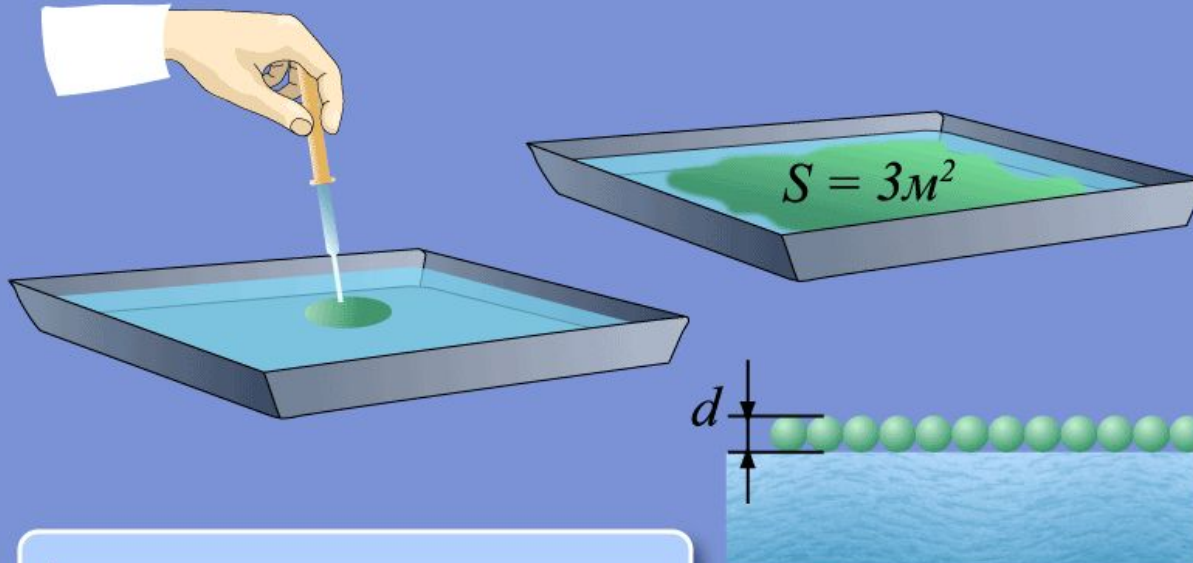
# ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ МКТ


## ДОКАЗАТЕЛЬСТВО СУЩЕСТВОВАНИЯ МОЛЕКУЛ: 2. ЭЛЕКТРОННЫЙ МИКРОСКОП



## ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ МКТ

## РАЗМЕРЫ МОЛЕКУЛ

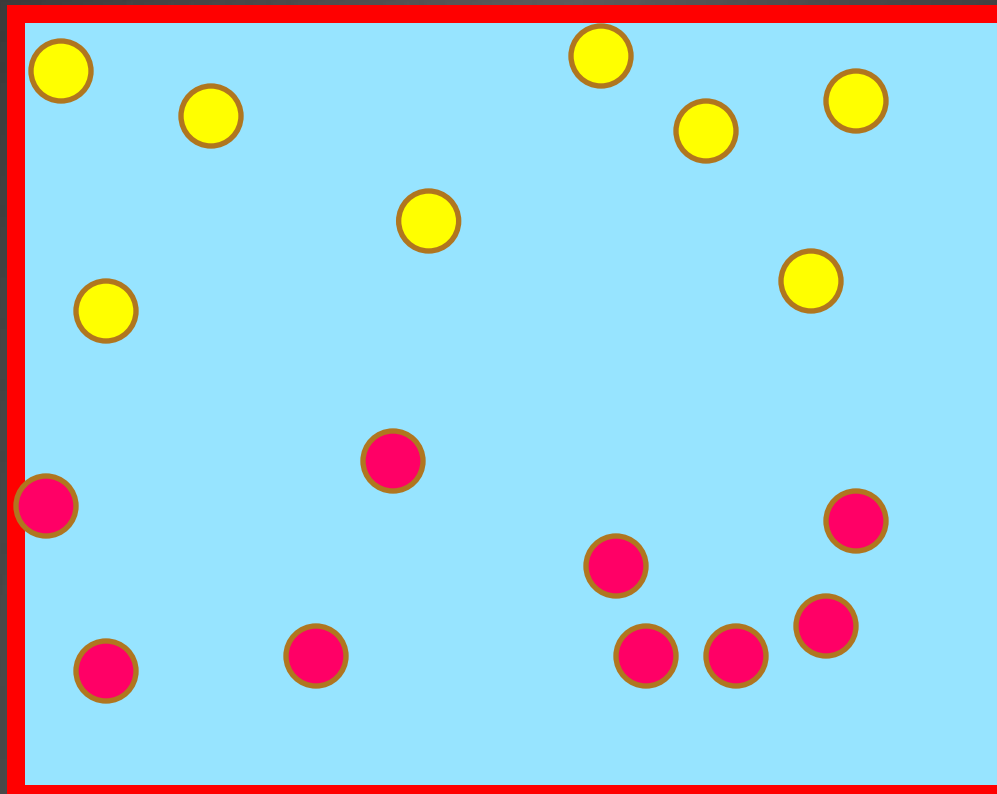


  $\rightarrow V = 1 \text{ мм}^3 = 1 \cdot 10^{-9} \text{ м}^3$

$$d = \frac{V}{S} = \frac{10^{-9} \text{ м}^3}{3 \text{ м}^2} \approx 3 \cdot 10^{-10} \text{ м}$$

# ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ МКТ

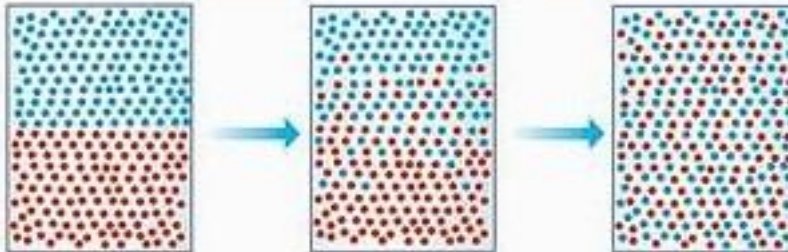
## ДОКАЗАТЕЛЬСТВО ДВИЖЕНИЯ МОЛЕКУЛ: 1. ДИФФУЗИЯ



# ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ МКТ

## 3. ДИФФУЗИЯ

Диффузия - явление, при котором происходит взаимное проникновение одного вещества между молекулами другого



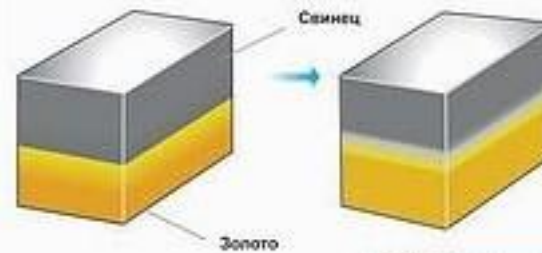
ДИФФУЗИЯ В ГАЗАХ



ДИФФУЗИЯ В ЖИДКОСТЯХ



ДИФФУЗИЯ В ТВЕРДЫХ ТЕЛАХ



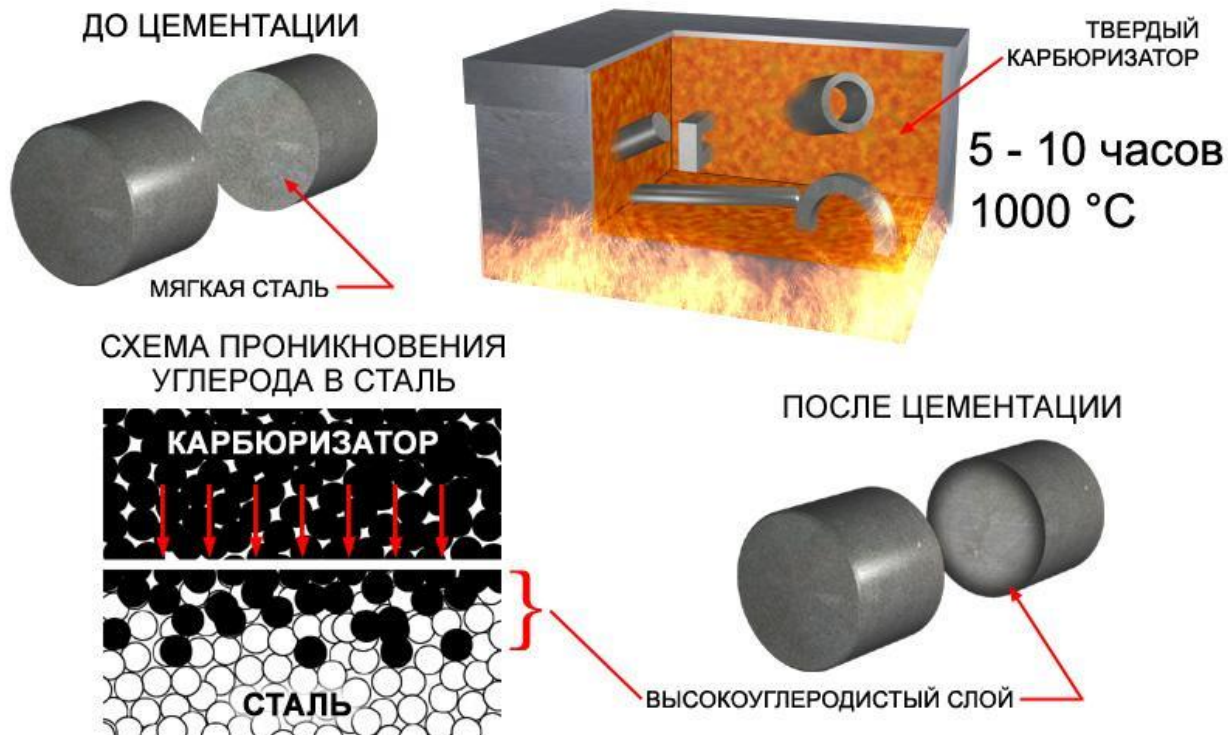
ЦЕНТР



# ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ МКТ

## ДОКАЗАТЕЛЬСТВО ДВИЖЕНИЯ МОЛЕКУЛ: 1. ДИФфуЗИЯ

### ДИФфуЗИЯ В ТЕХНИКЕ. ЦЕМЕНТАЦИЯ

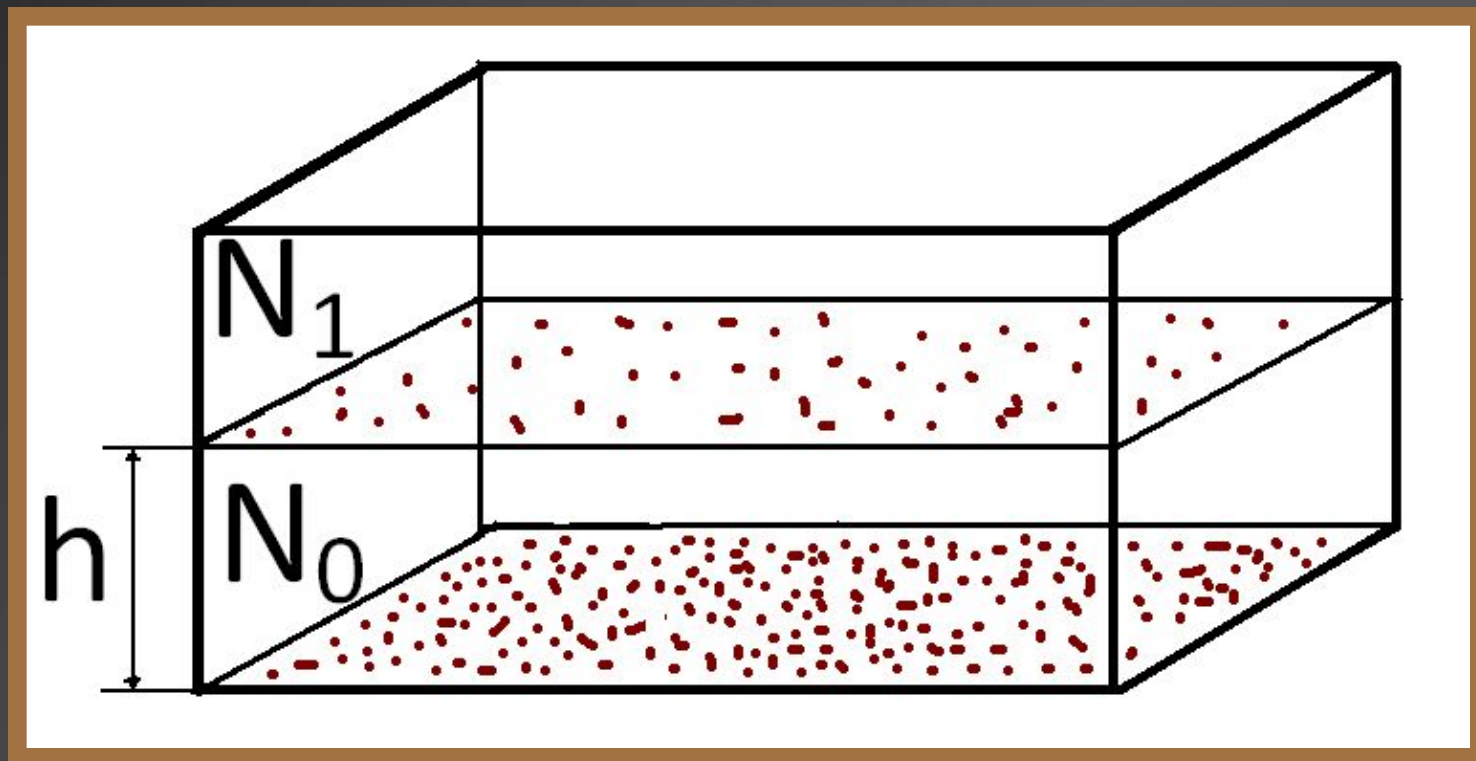


ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ СВЕДЕНИЯ





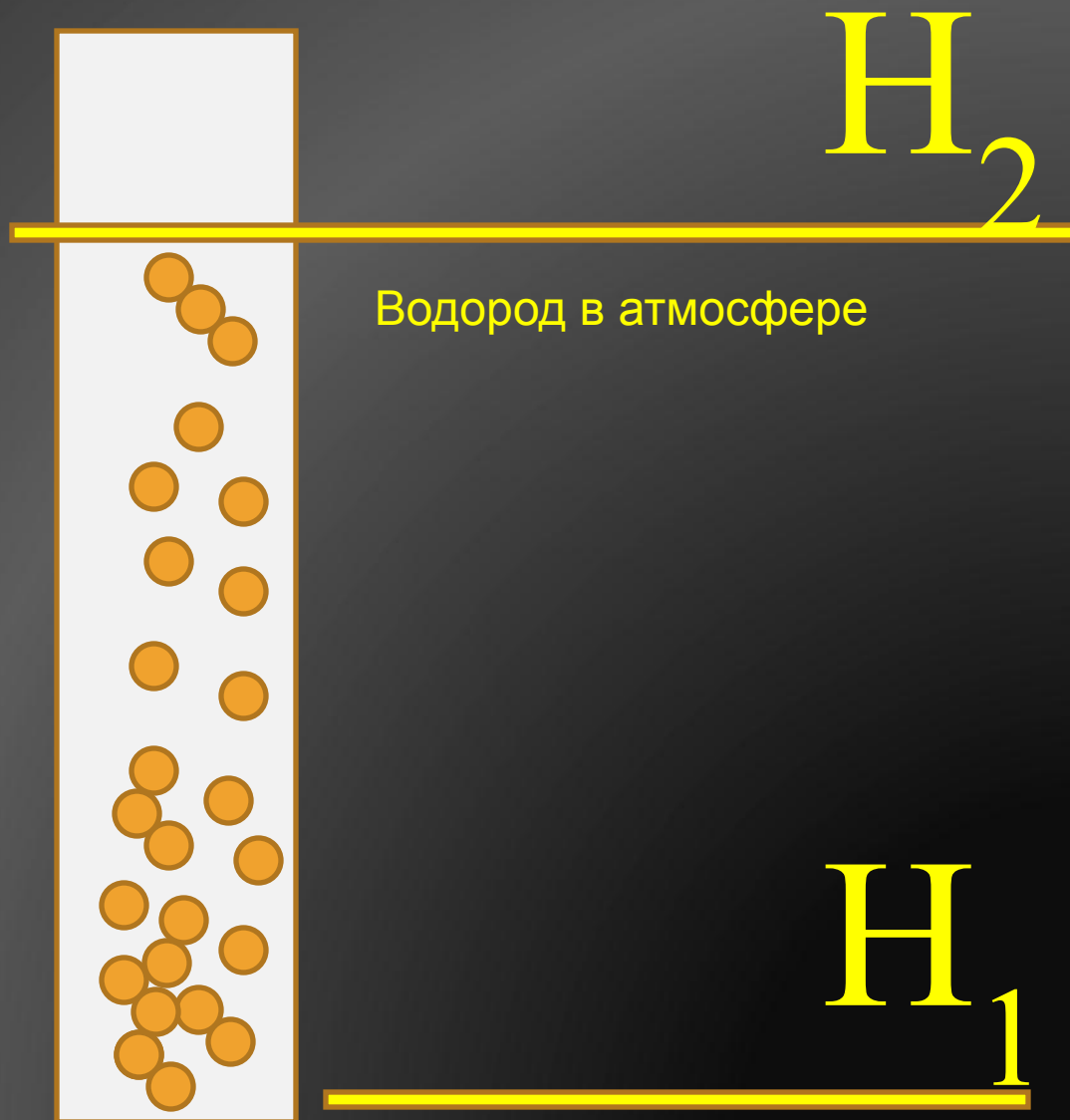
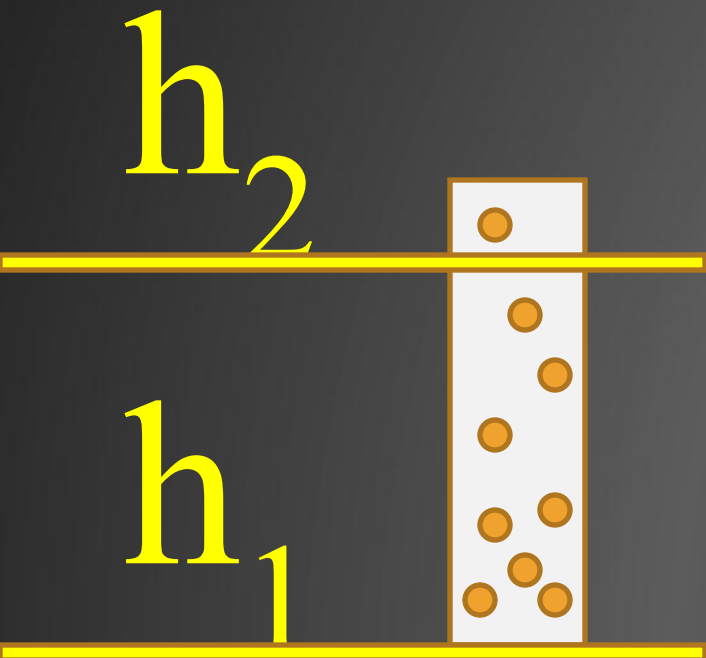
# МАССА МОЛЕКУЛ





# ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ МКТ

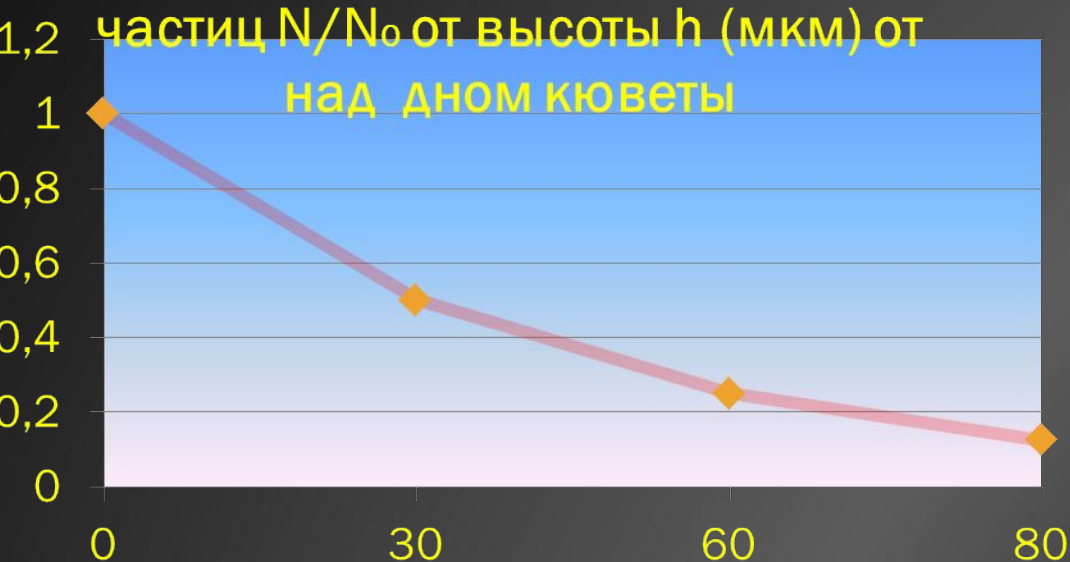
Броуновские частицы



# МАССА МОЛЕКУЛ

Зависимость относительной  
концентрации броуновских

частиц  $N/N_0$  от высоты  $h$  (мкм) от  
над дном кюветы



Зависимость относительной  
концентрации молекул водорода  $n/n_0$   
от высоты  $H$  (км)



# МАССА МОЛЕКУЛ

---

Графики подтверждают идентичность процессов, происходящих в вертикальном столбе атмосферы и в вертикальном столбе броуновских частиц, взвешенных в воде.

$$n = n_0 e^{\frac{m_M g (H - H_0)}{RT}}$$

$$n = n_0 e^{\frac{m_{\text{ч}} g (h - h_0)}{RT}}$$

$$\frac{n}{n_0} = e^{\frac{m_M g (H - H_0)}{RT}}$$

$$\frac{n}{n_0} = e^{\frac{m_{\text{ч}} g (h - h_0)}{RT}}$$



$$2 = e^{\frac{m_M g (H - H_0)}{RT}}$$

$$2 = e^{\frac{m_{\text{ч}} g (h - h_0)}{RT}}$$

$$e^{-\frac{m_{\text{ч}} g (h - h_0)}{RT}} = e^{-\frac{m_{\text{м}} g (H - H_0)}{RT}}$$

$$\frac{RT}{m_{\text{ч}}gh} = \frac{RT}{m_{\text{м}}gH}$$

$$\frac{1}{m_{\text{ч}}gh} = \frac{1}{m_{\text{м}}gH}$$

$$\frac{m_M}{m_{\text{ч}}} = \frac{h}{H}$$

Изменение концентрации частиц в атмосфере вдвое при изменении высоты на 5000м, а изменение концентрации броуновских частиц вдвое при изменении высоты на 30мкм

$$\frac{H}{h} = \frac{5000\text{м}}{3 \times 10^{-5}\text{м}} = 1,67 \times 10^8$$

Перрен проводил опыты с  
частицами различных размеров и  
масс и пришёл к выводу

$$\frac{m_M}{m_{\text{ч}}} = \frac{h}{H}$$

Отсюда, зная массу броуновской  
частицы находим массу атома  
водорода

$$m_H = \frac{2,84 \times 10^{-18}}{1,67 \times 10^8} = 1,7 \times 10^{-24} \text{ грамм}$$

Более точное  $m_H = 1,67 \times 10^{-24}$  грамм



Найдём отношение 1 грамма  
атомарного водорода к  
произведению относительной  
массы водорода на массу атома  
водорода в граммах

$$N = \frac{1}{1 \times 1,67 \times 10^{-24}} = 6 \times 10^{23}$$

## Умножим числитель и знаменатель на 4

$$N_A = \frac{1 \times 4}{4 \times 1,67 \times 10^{-24}} = 6 \times 10^{23}$$

Но 4 а.е.м. это масса гелия, получается, что в веществе массой, численно равной относительной молекулярной (атомной) массе всегда одно и тоже число молекул. Это число называется числом Авогадро, а количество вещества - молем

1 МОЛЬ

$H_2O$



$NaCl$



$H_2SO_4$



сахар



$$N_A \approx 6 \cdot 10^{23} \frac{1}{\text{моль}}$$

$N_A$  – число Авогадро

Итак масса одной молекулы  
равна

$$m_0 = \frac{M}{N_A}$$

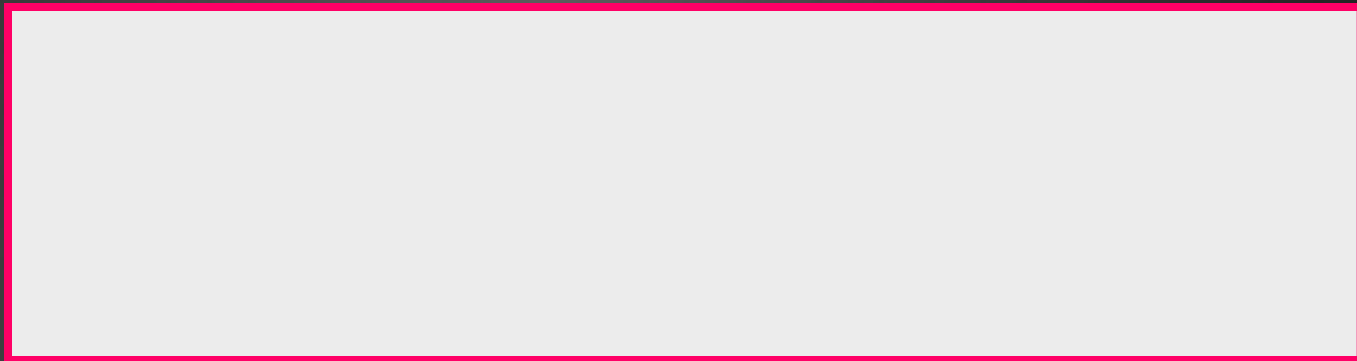
Число молекул в некоторой массе  
вещества

$$N = \frac{m}{M} N_A$$

**Молекулы движутся т.е.  
имеют энергию движения  
Молекулы взаимодействуют  
т.е. имеют энергию  
взаимодействия**

---

**Сумма кинетических энергий хаотического движения молекул и потенциальных энергий их взаимодействия называется внутренней энергией тела**





# Агрегатные состояние вещества

$W_K \gg W_{II}$  – газообразное состояние

$W_K \approx W_{II}$  – жидкое состояние

$W_K \ll W_{II}$  – твёрдое состояние

Плазма – ионизированный газ

# Идеальный газ

1. Молекулы – материальные точки
2. Молекулы не взаимодействуют
3. Столкновение молекул абсолютно упругое

---

Внутренняя энергия идеального  
газа равна сумме кинетических  
энергий молекул

Кинетическая энергия молекул  
равна

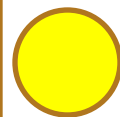


$S$ 

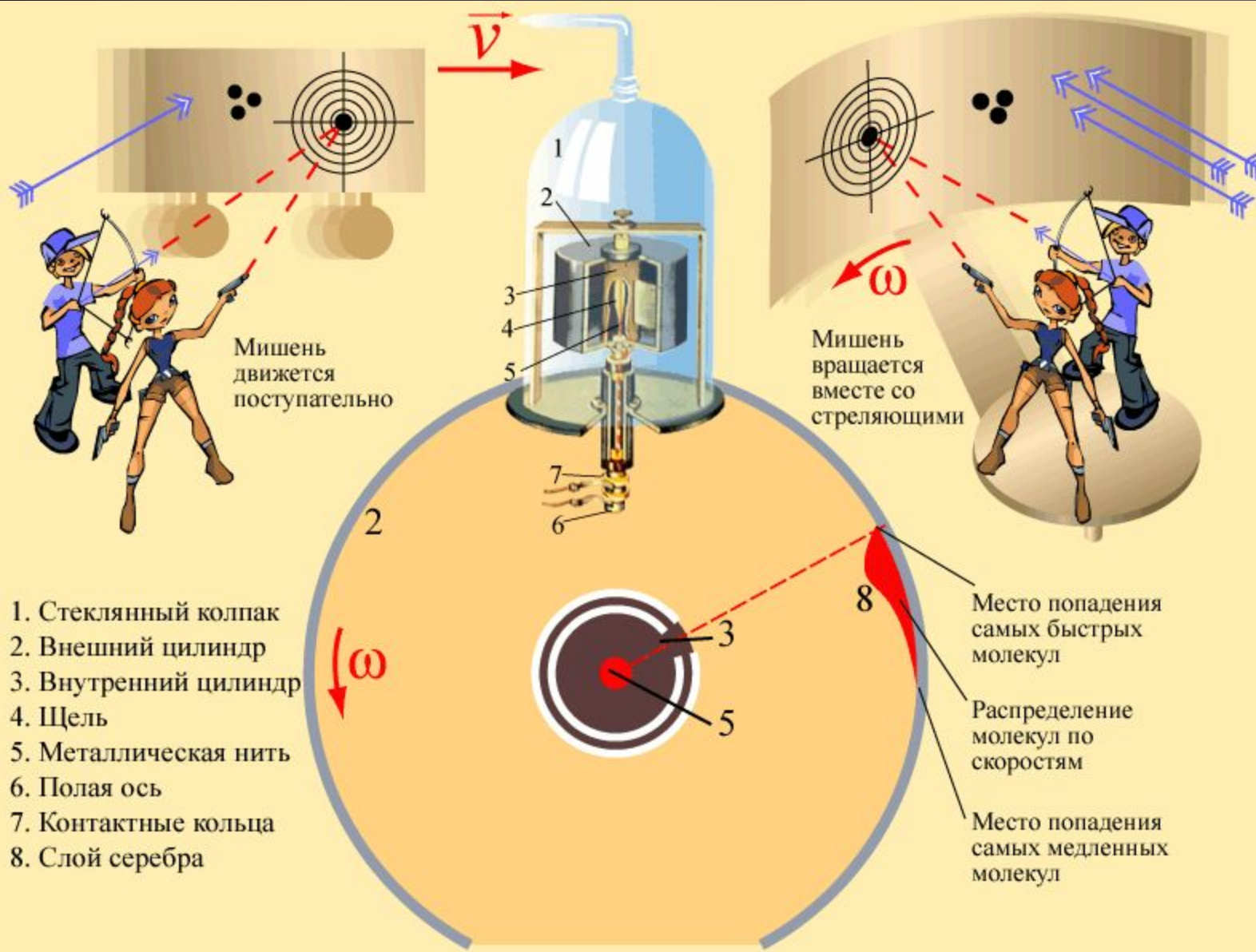
$$S = v_{\text{ЭК}} t$$

$$L = v_{\text{пули}} t$$

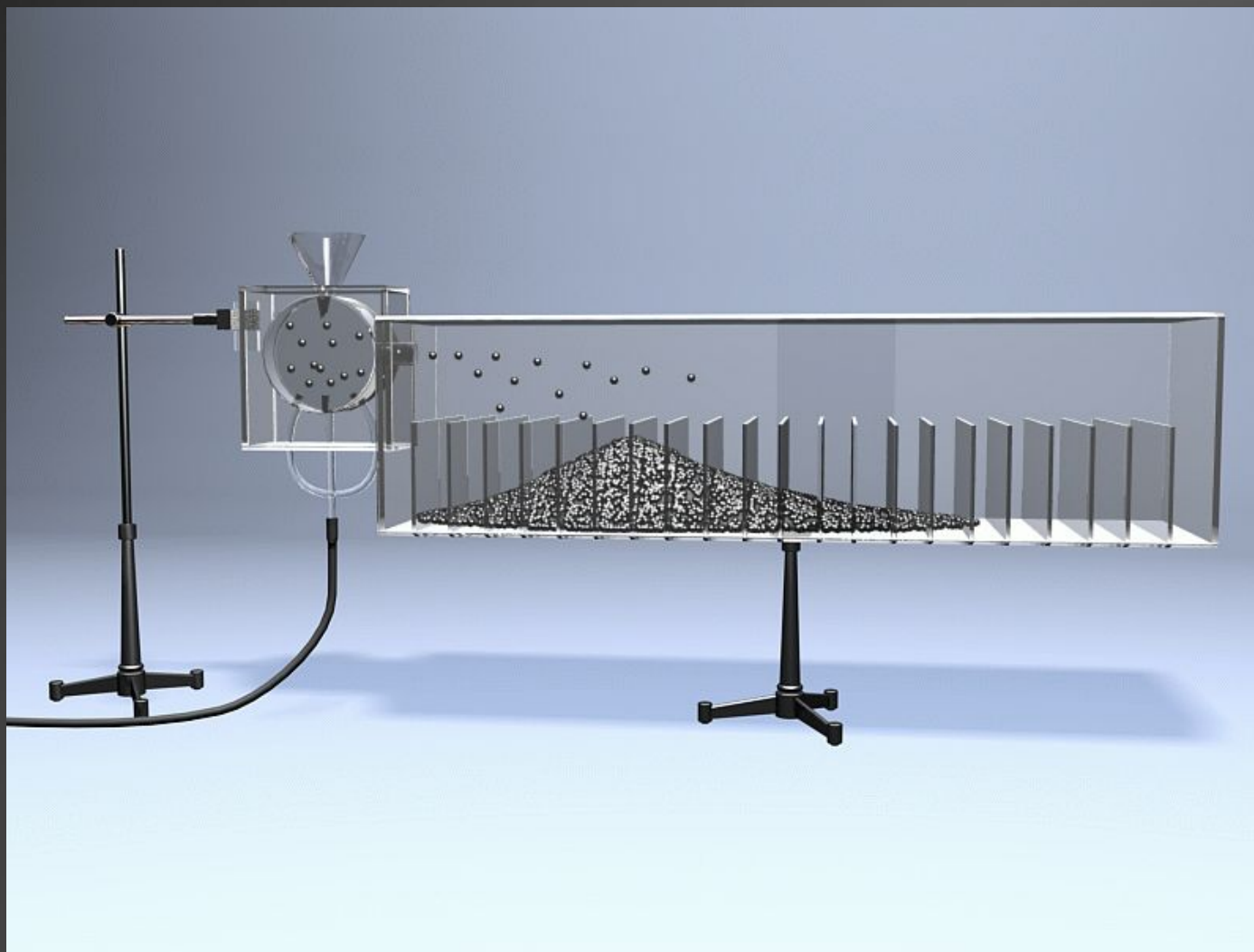
$$v_{\text{пули}} = \frac{L v_{\text{ЭК}}}{S}$$

 $L$ 

# Опыт Штерна



# Распределение Максвелла



# Скорости молекул в м/с при различных температурах

Бибиков Д.Н.

Вещество	Масса кг	0 °С	100 °С	200 °С	300 °С
H <sub>2</sub> O	$3 \times 10^{-28}$	615	700	810	890
O <sub>2</sub>	$5,3 \times 10^{-26}$	460	520	605	665
Ag	$1,8 \times 10^{-25}$	250	285	330	360



# Выводы из опыта Штерна

- 1. Скорости молекул одного и того же вещества при одной и той же температуре различны**
- 2. Скорости молекул при повышении температуры возрастают**
- 3. С увеличением массы молекул скорости уменьшаются**

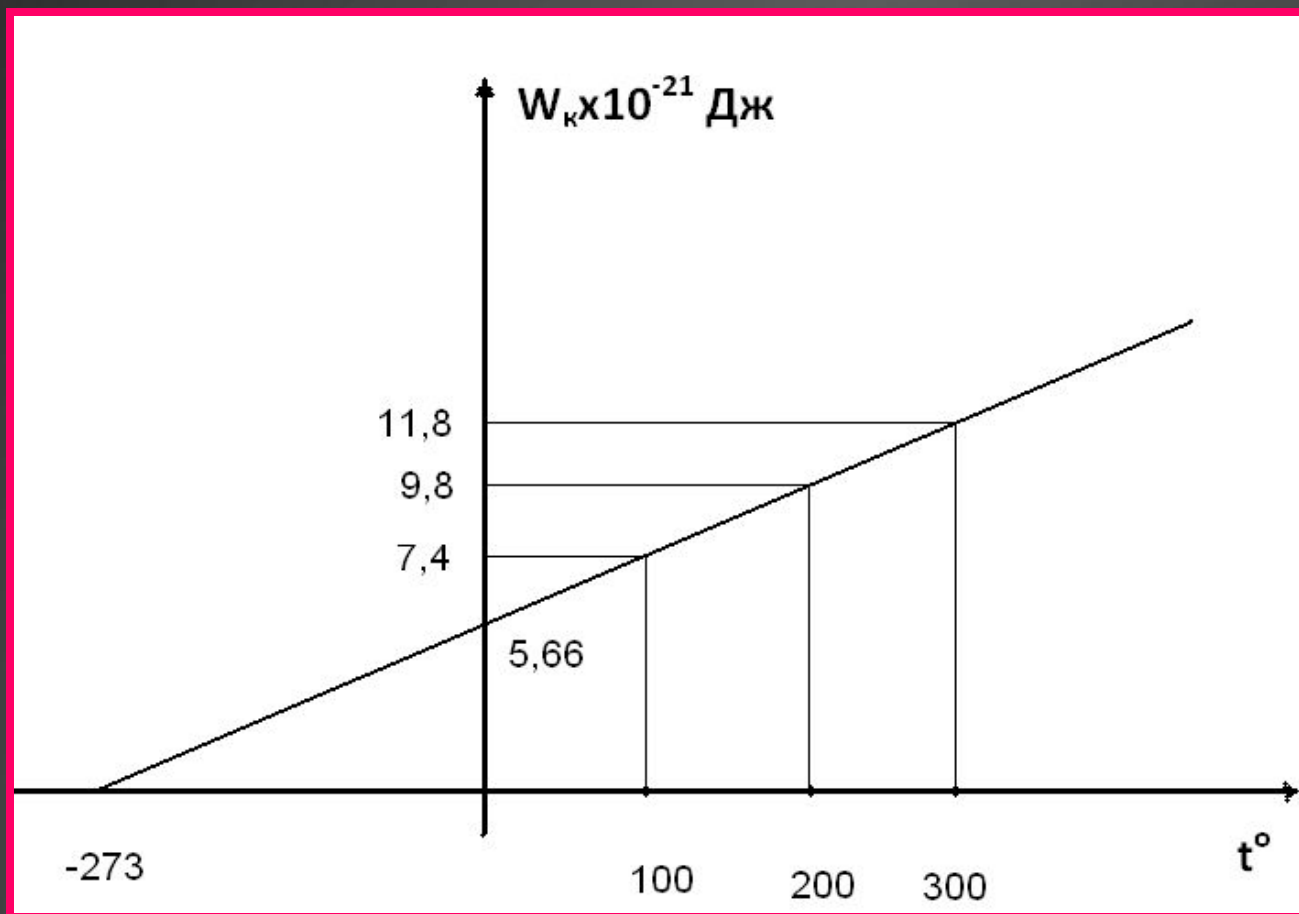
# Энергии молекул при различных температурах (Дж)

Бибииков Д.Н.

Вещество	Масса кг	0 °С	100 °С	200 °С	300 °С
H <sub>2</sub> O	$3 \times 10^{-26}$	$5,66 \times 10^{-21}$	$7,3 \times 10^{-21}$	$9,8 \times 10^{-21}$	$11,8 \times 10^{-21}$
O <sub>2</sub>	$5,3 \times 10^{-26}$	$5,6 \times 10^{-21}$	$7,4 \times 10^{-21}$	$9,7 \times 10^{-21}$	$11,7 \times 10^{-21}$
Ag	$1,8 \times 10^{-26}$	$5,6 \times 10^{-21}$	$7,3 \times 10^{-21}$	$9,8 \times 10^{-21}$	$11,8 \times 10^{-21}$

# Зависимость средней кинетической энергии молекул от температуры

## Термодинамическая температура



# Уравнение прямой

$$W_k = bt + W_0$$

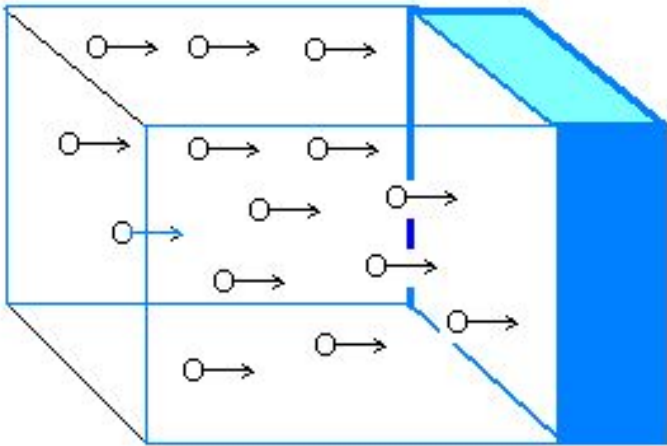
$$W_k = 2,07 \times 10^{-23} t + 5,66 \times 10^{-21}$$

Приведём к виду

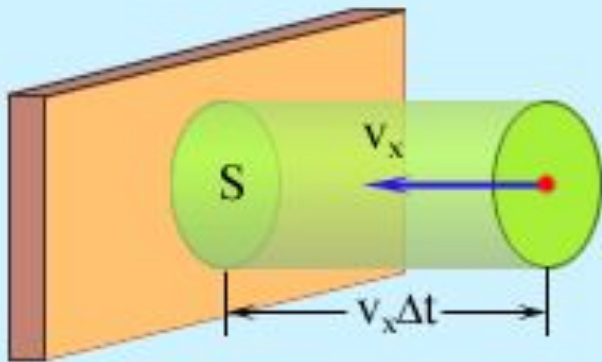
$$W = \frac{3}{2} kT$$

где  $k$ - постоянная Больцмана  $1,38 \times 10^{-23}$  Дж/К

# Основное уравнение МКТ



$$p = \frac{1}{3} n m_0 v^2$$



# Структурно-логический блок «Внутренняя энергия идеального газа»

$$U = N W$$

$$U = \frac{m v^2}{2}$$

$$N = \frac{m}{m_0}$$

$$W = \frac{m_0 v^2}{2}$$

$$U = \frac{3 m}{2 M} R T$$

$$N = \frac{m}{M} N_A$$

$$W = \frac{3}{2} k T$$

$$U = \frac{3}{2} P V$$

$$W = \frac{3 p}{2 n}$$

# Уравнение состояния

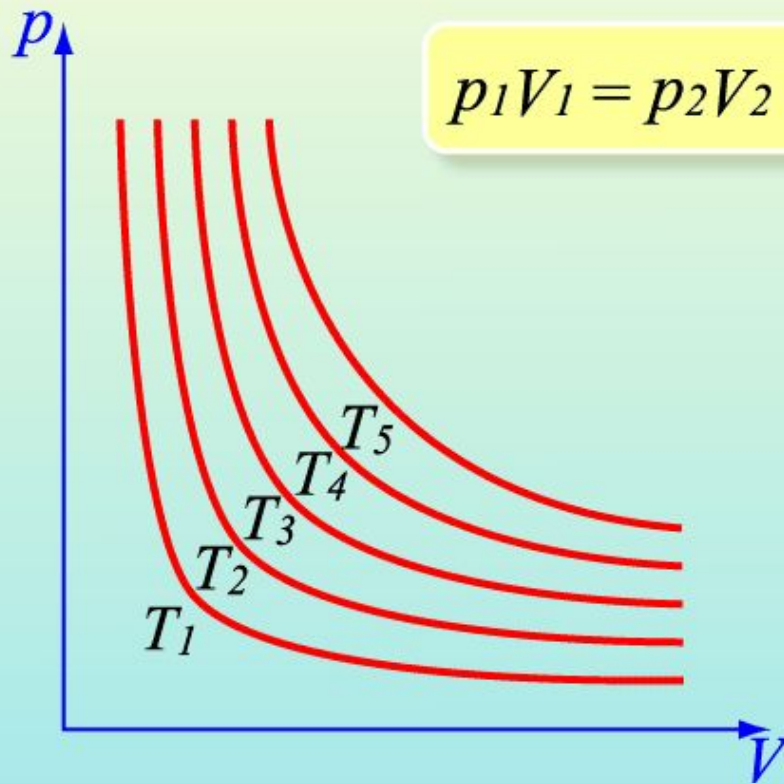
---



$$\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2}$$

# Газовые законы

## Закон Бойля – Мариотта (изотермический процесс)



$$p_1V_1 = p_2V_2 = p_3V_3$$

$$pV = \text{const},$$
$$npu T = \text{const},$$
$$m = \text{const}$$

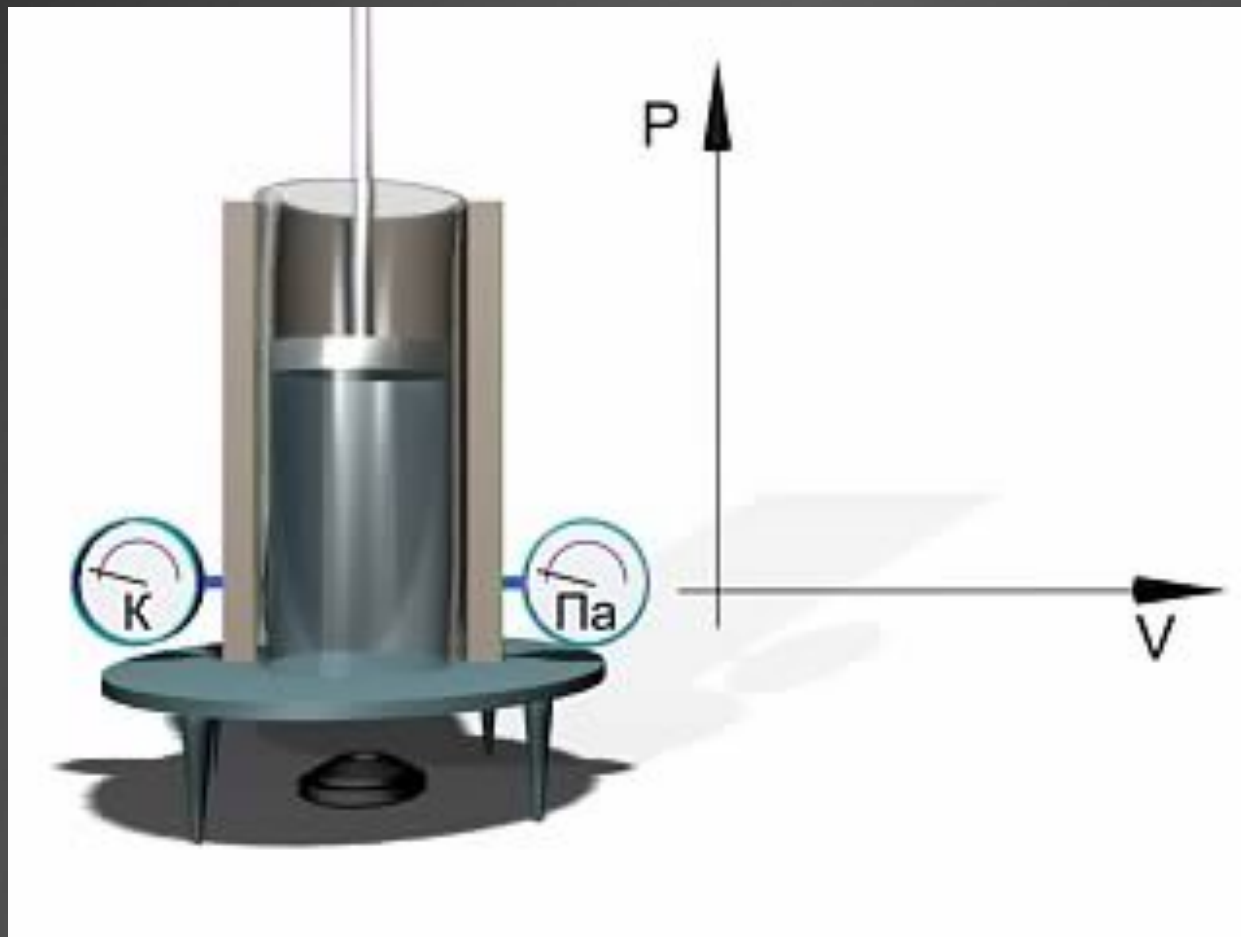
$$T_5 > T_4 > T_3 > T_2 > T_1$$



# Газовые законы

Бибиков Д.Н.

## Закон Бойля-Мариотта



# Газовые законы

## Закон Шарля (изохорный процесс)

$$\frac{p_1}{T_1} = \frac{p_2}{T_2} = \frac{p_3}{T_3}$$

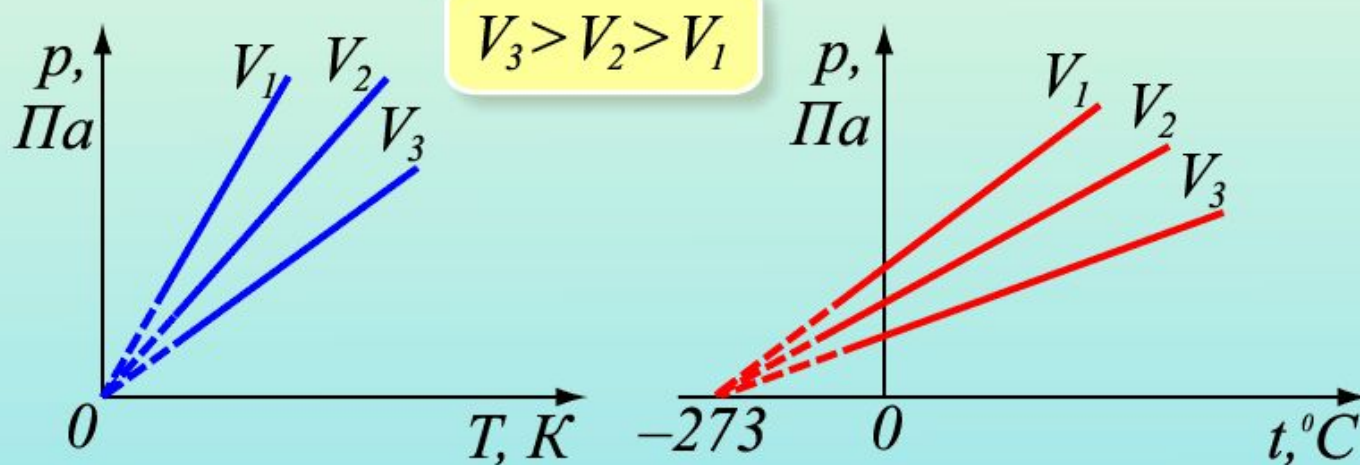
$$m = \text{const}$$

$$p = p_0(1 + \alpha t)$$

$$\alpha \approx \frac{1}{273} \text{ K}^{-1}$$

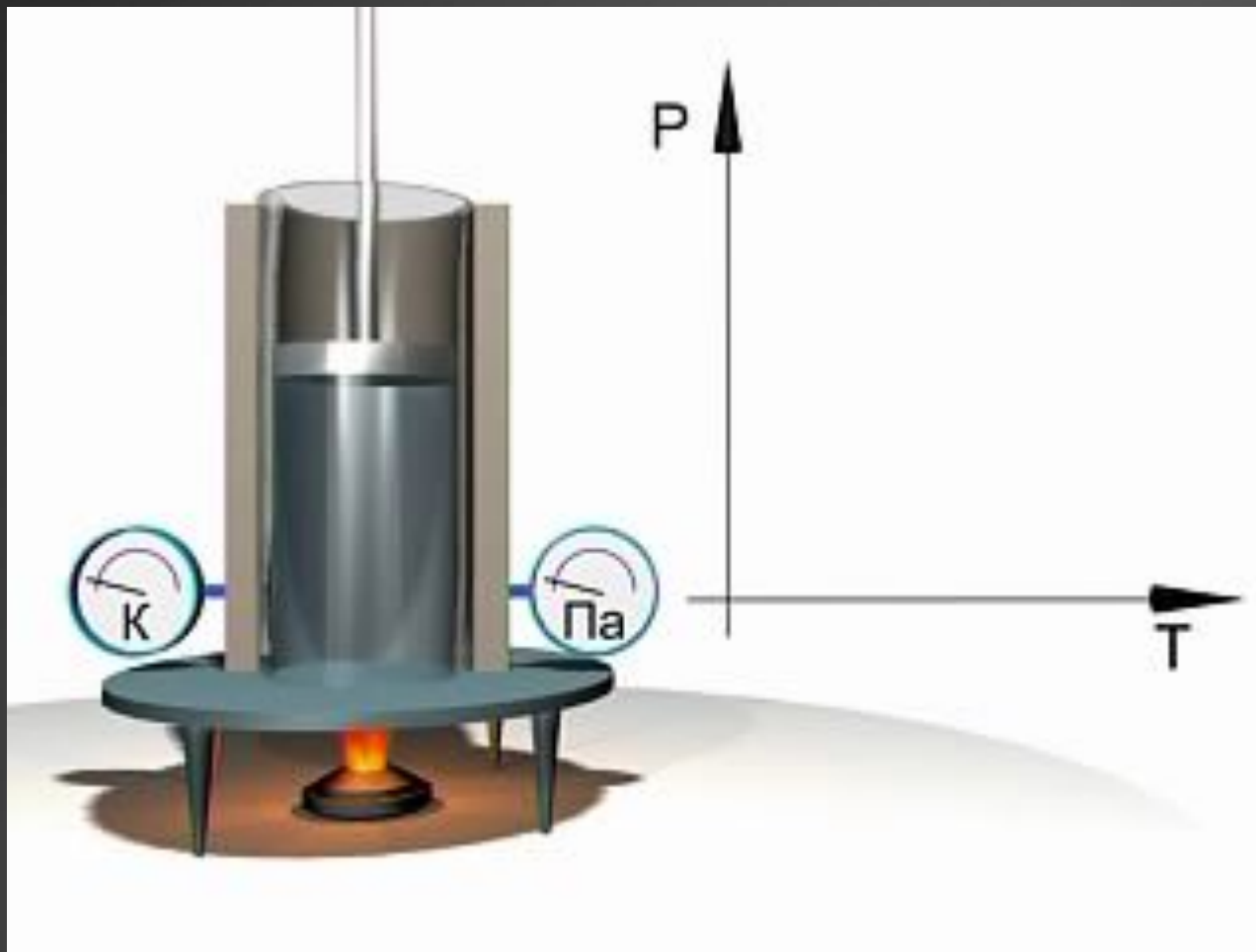
$$\frac{p}{T} = \text{const} \text{ при } V = \text{const}$$

$p_0$  – давление газа  $0^\circ\text{C}$



# Газовые законы

## Закон Шарля



# Газовые законы

## Закон Гей-Люссака (изобарный процесс)

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2} = \frac{V_3}{T_3}$$

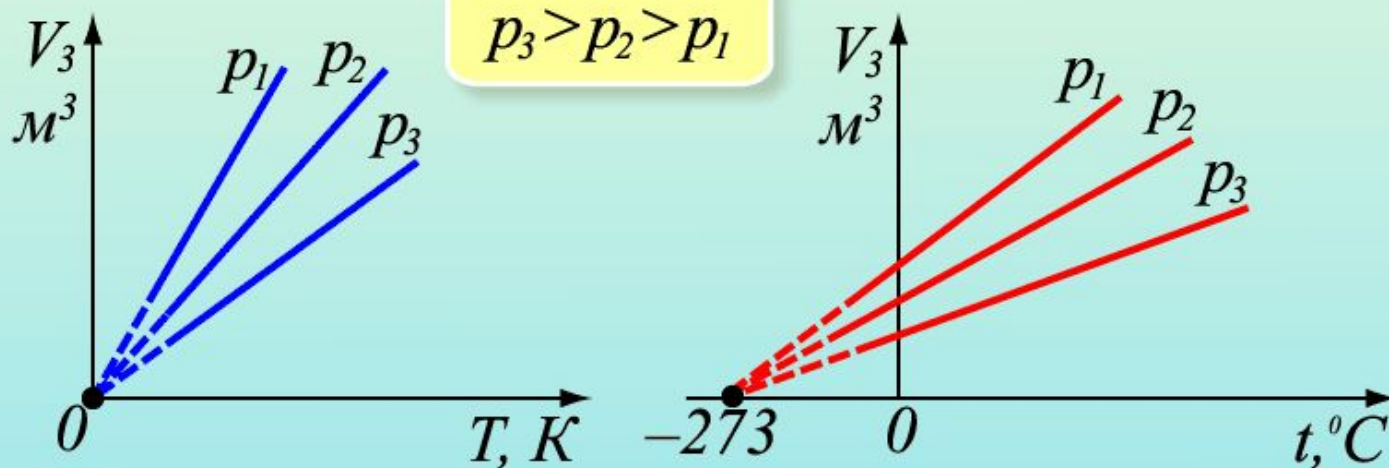
$$m = \text{const}$$

$$V = V_0(1 + \alpha t)$$

$$\alpha \approx \frac{1}{273} \text{ K}^{-1}$$

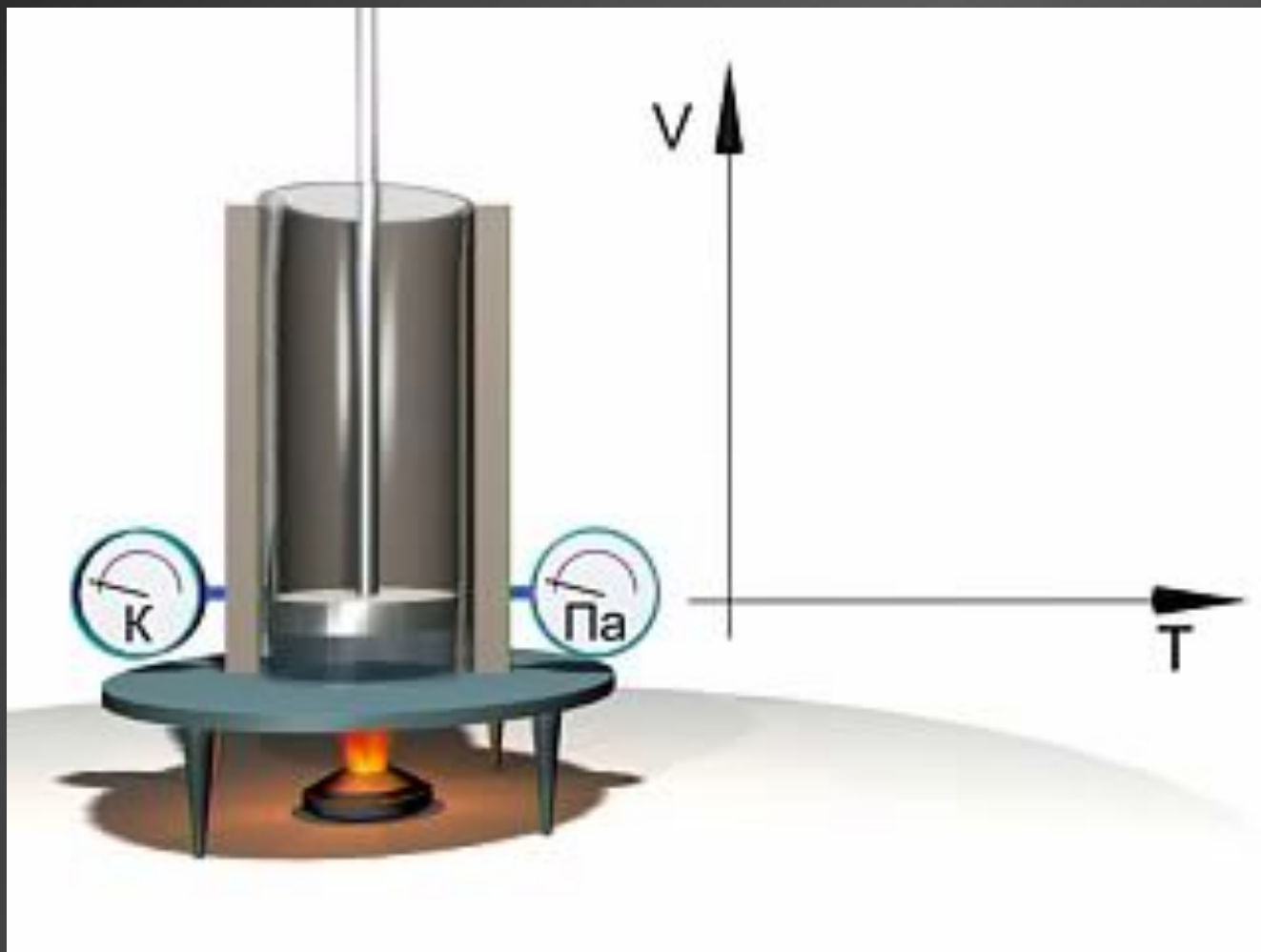
$V_0$  – объем газа при  $0^\circ\text{C}$

$$\frac{V}{T} = \text{const} \text{ при } p = \text{const}$$



# Газовые законы

## Закон Гей-Люссака



# ИЗМЕНЕНИЕ ВНУТРЕННЕЙ ЭНЕРГИИ

$$\Delta U = A + Q$$

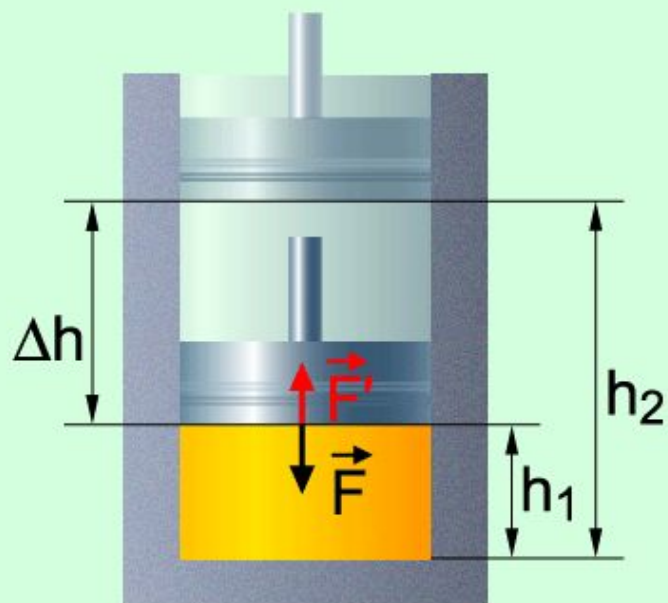
# Изменение внутренней энергии

$$\Delta U = \Delta \frac{mv^2}{2}$$

$$\Delta U = \Delta \left( \frac{3}{2} PV \right)$$

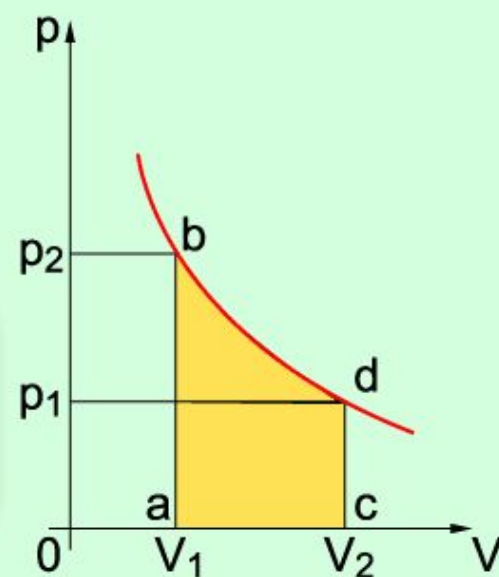
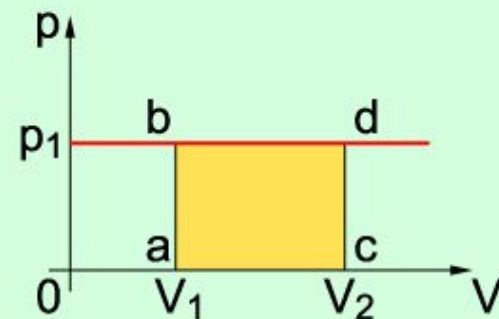
$$\Delta U = \Delta \left( \frac{3m}{2M} RT \right)$$

# Работа газа



$$A' = F'\Delta h = pS(h_2 - h_1) = p(S h_2 - S h_1)$$

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





# КОЛИЧЕСТВО ТЕПЛОТЫ

---

$$Q = cm\Delta t$$

$$Q = rm$$

$$Q = \lambda m$$

$$Q = qm$$

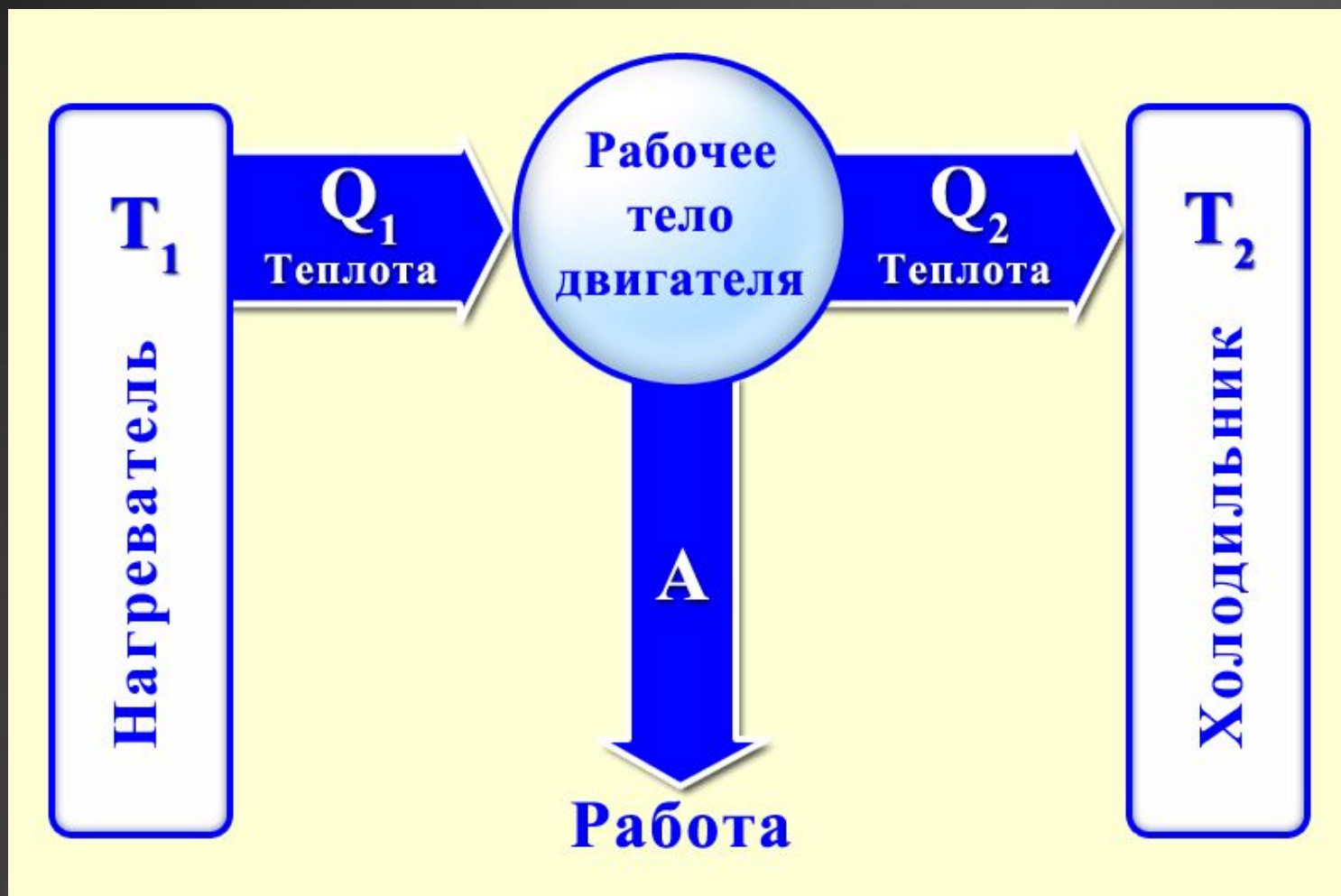
$$Q = c_p m \Delta t$$

$$Q = c_v m \Delta t$$

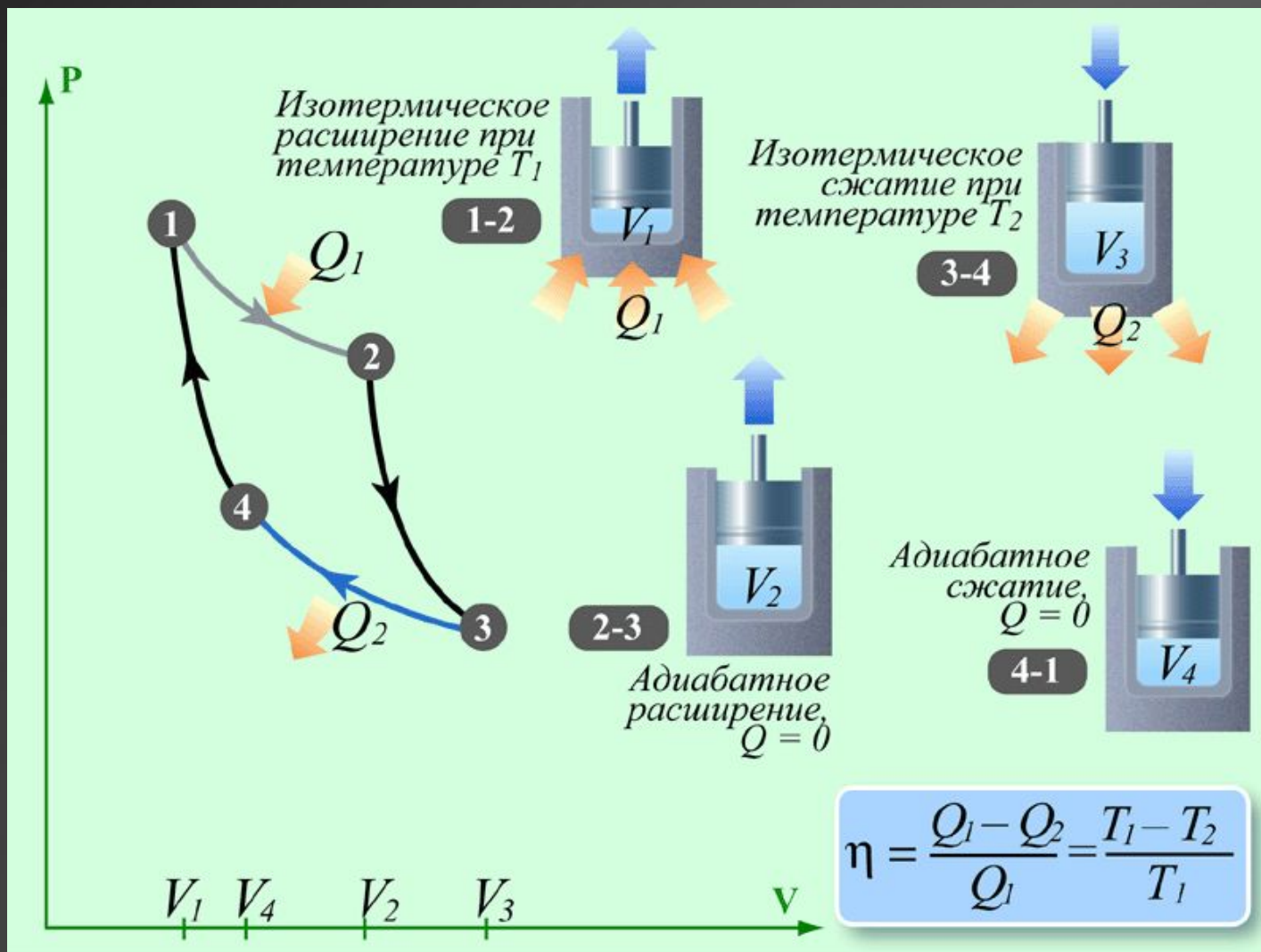
# ПРИМЕНЕНИЕ ПЕРВОГО ЗАКОНА ТЕРМОДИНАМИКИ К РАЗЛИЧНЫМ ПРОЦЕССАМ

1. Изохорный процесс  $A=0$   $\Delta U=Q$
2. Изотермический процесс  $\Delta U=0$   $Q=A_{\Gamma}$
3. Изобарный процесс  $\Delta U=A+Q$
4. Адиабатный процесс  $Q=0$   $\Delta U=A$

# Тепловой двигатель



# Цикл Карно



# КПД теплового двигателя

$$\text{КПД}_{\text{max}} = \frac{T_1 - T_2}{T_1} 100\%$$

$\text{КПД}_{\text{max}}$  – максимальное значение  
коэффициента полезного действия  
 $T_1$  – температура нагревателя  
 $T_2$  – температура холодильника

$$\text{КПД} = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} 100\%$$

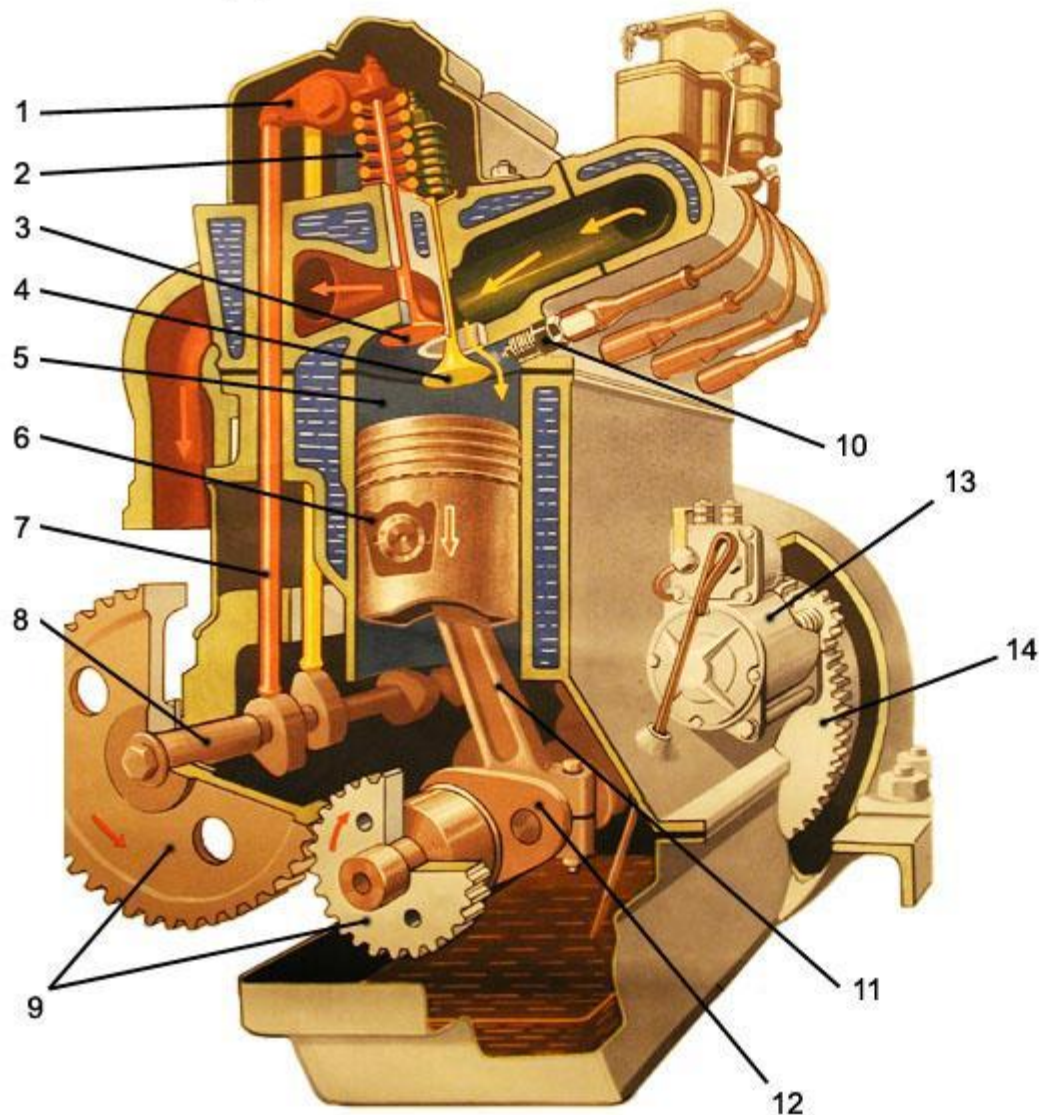
$\text{КПД}$  – коэффициент полезного действия  
теплового двигателя  
 $Q_1$  – количество теплоты, полученное  
рабочим телом от нагревателя  
 $Q_2$  – количество теплоты, отданное рабочим  
телом холодильнику



# КПД теплового двигателя

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

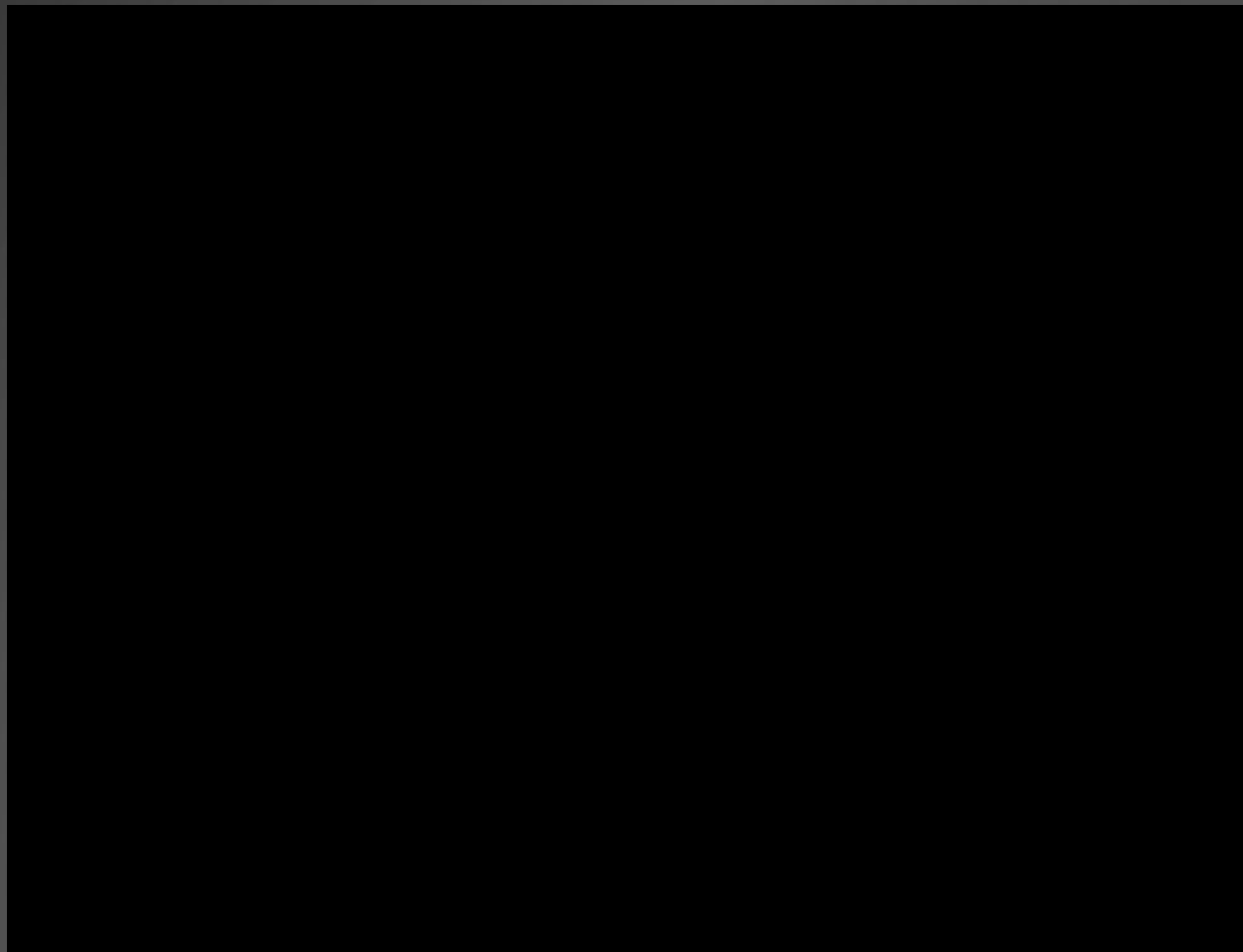
## ДВИГАТЕЛЬ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ



1. Коромысло
2. Пружина клапана
3. Выпускной клапан
4. Впускной клапан
5. Цилиндр
6. Поршень
7. Штанга
8. Распределительный вал
9. Распределительные шестерни
10. Свеча
11. Шатун
12. Коленчатый вал
13. Стартер
14. Маховик

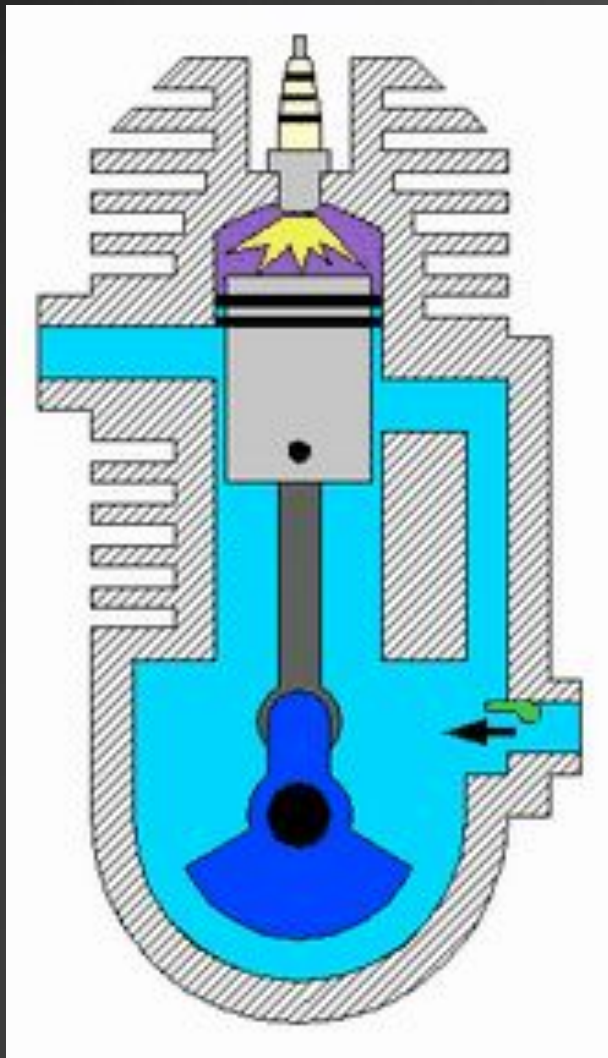
# ЧЕТЫРЁХТАКТНЫЙ ДВИГАТЕЛЬ

---

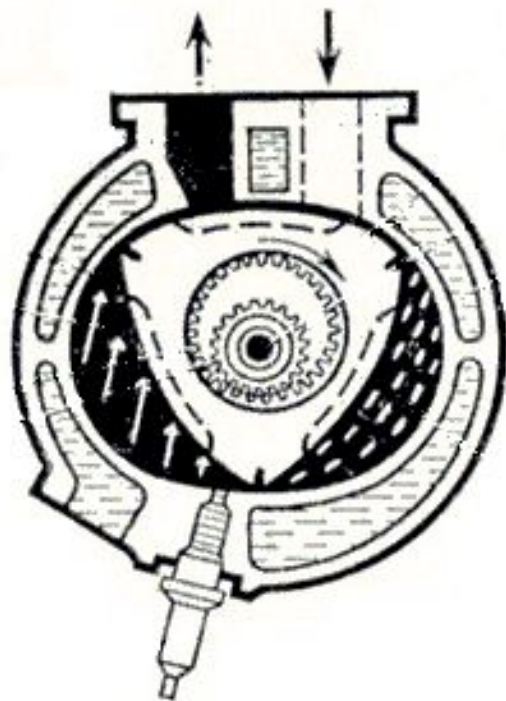
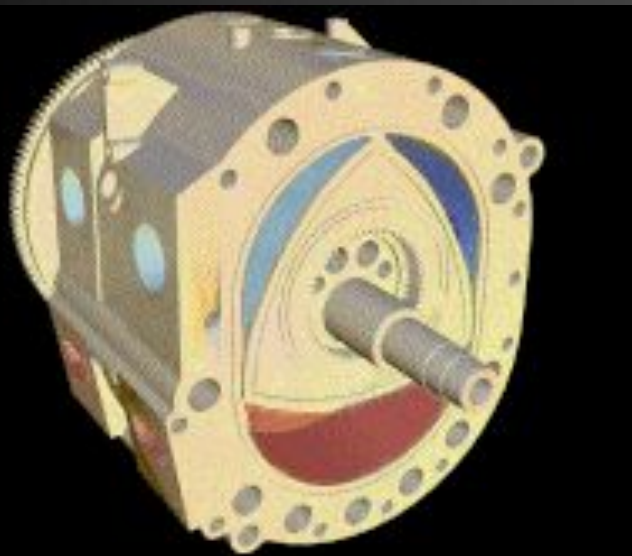




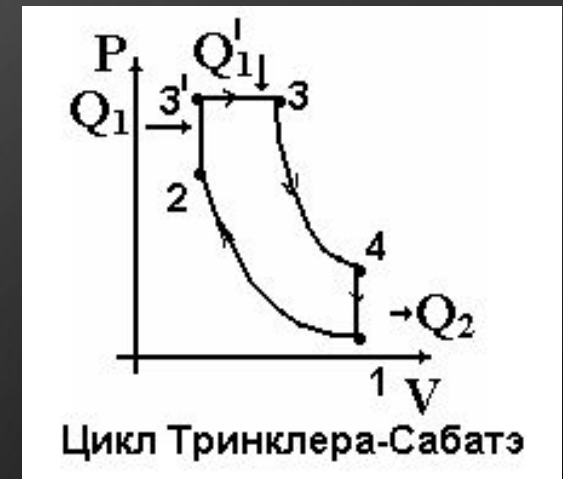
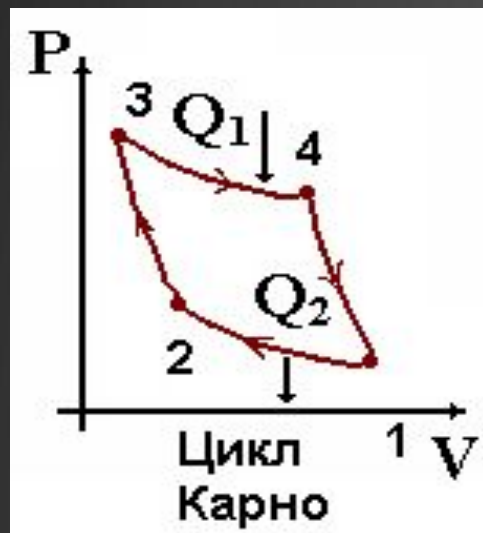
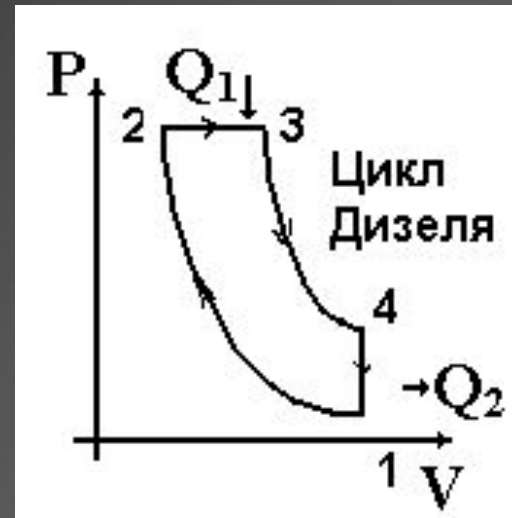
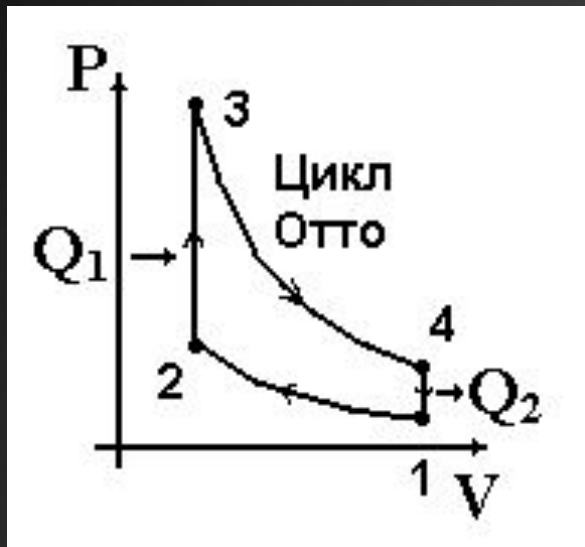
# ПОРШНЕВОЙ ДВУХТАКТНЫЙ ДВИГАТЕЛЬ



# ДВИГАТЕЛЬ ВАНКЕЛЯ (РПД)

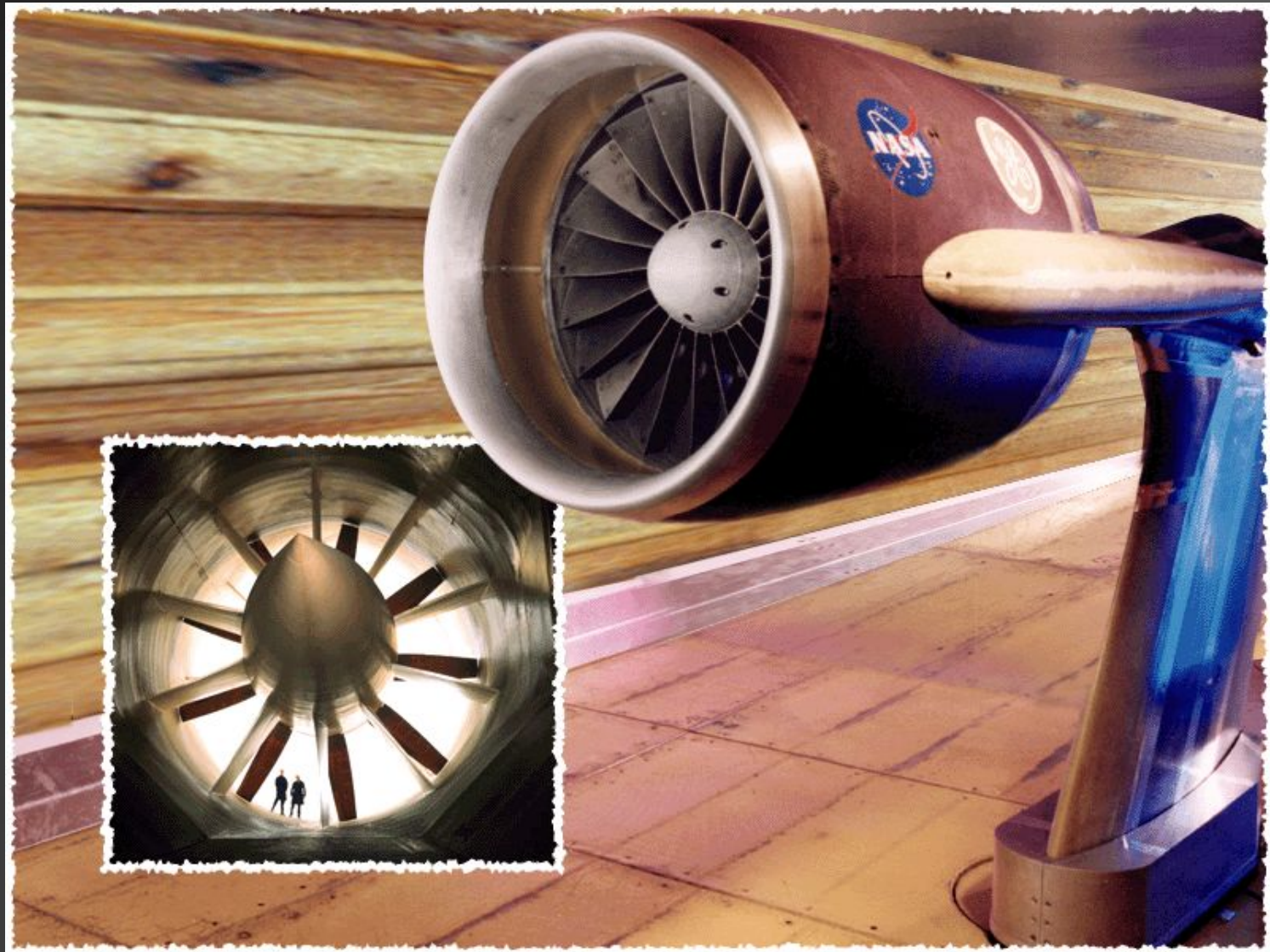


# Теоретические циклы тепловых двигателей





# Турбины



# Экология

