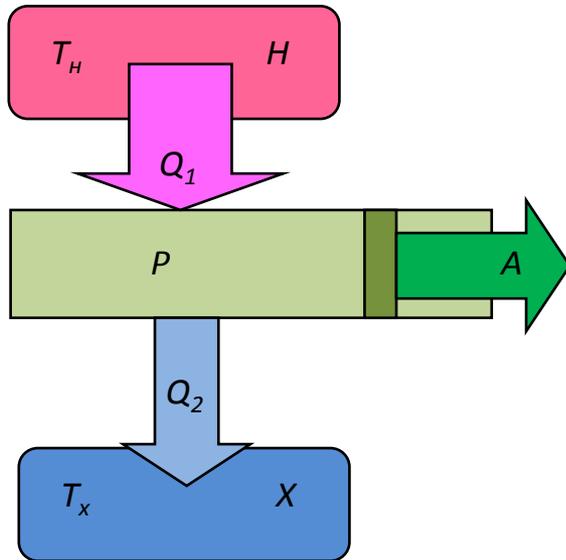


# Лекция 17

***Тепловые двигатели и  
холодильные машины.  
Цикл Карно.***

# Тепловая машина

Тепловая машина – циклически действующее устройство, преобразующее внутреннюю энергию в механическую работу.



*H*: нагреватель  
*P*: рабочее тело  
*X*: холодильник  
 $T_H > T_X$

Теплоемкости нагревателя и холодильника бесконечны.

$$T_H = \text{const}$$

$$T_X = \text{const}$$

# Идеальная машина. Обратимый цикл.

Изменение энтропии нагревателя

$$\Delta S_H = -Q_1/T_H$$

Изменение энтропии холодильника

$$\Delta S_x = Q_2/T_x$$

Энтропия в обратимом процессе не меняется

$$\Delta S = \Delta S_H + \Delta S_x = 0$$



$$Q_1/Q_2 = T_H/T_x$$



$$\eta = 1 - \frac{Q_2}{Q_1} = 1 - \frac{T_x}{T_H}$$

# Реальная машина. Необратимый цикл.

Энтропия в необратимом процессе увеличивается

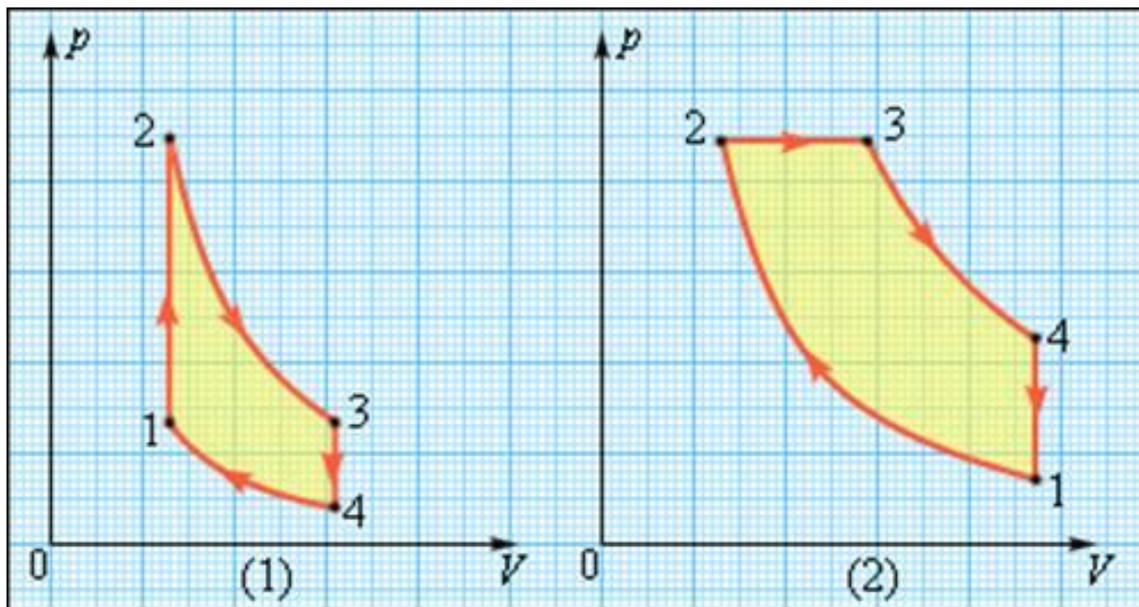
$$\Delta S = -Q_1/T_H + Q_2/T_x > 0 \quad \longrightarrow \quad Q_2/Q_1 > T_x/T_H$$

$$\eta_{\text{необр}} = 1 - \frac{Q_2}{Q_1}$$

$$\eta_{\text{обр}} = 1 - \frac{T_x}{T_H}$$

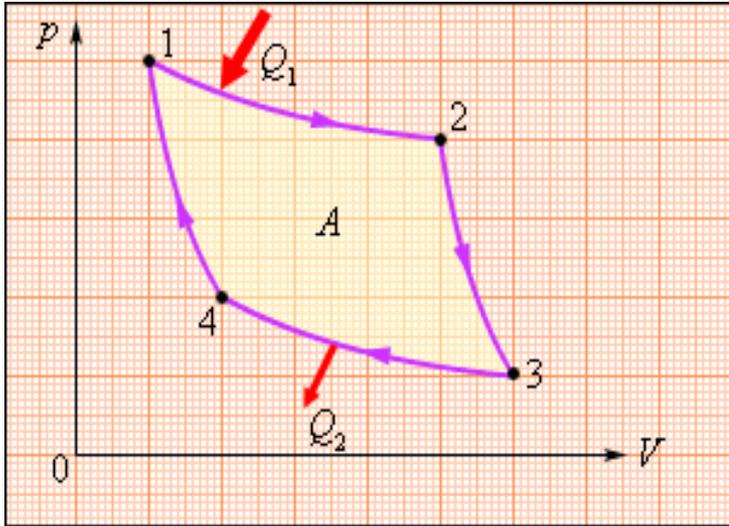
$$\eta_{\text{необр}} < \eta_{\text{обр}}$$

# Какой цикл обратим?



На некоторых участках цикла есть теплообмен, некоторые адиабатичны. Теплообмен обратим только для изотермического процесса. Если температура резервуара неизменна, то единственным обратимым круговым процессом может быть процесс, состоящий из изотерм и адиабат.

# Цикл Карно



Цикл Карно состоит из двух изотерм и двух адиабат.

Цикл Карно исключает теплообмен при конечной разности температур рабочего тела и окружающей среды (термостатов), когда тепло может передаваться без совершения работы.

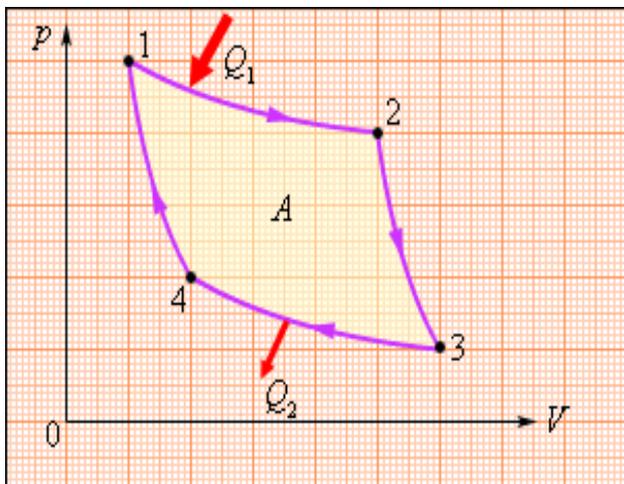
# Теорема Карно

- ✓ Коэффициент полезного действия идеальной тепловой машины, работающей по циклу Карно, не зависит от устройства машины и вида рабочего тела, а определяется только температурой нагревателя и холодильника.
- ✓ КПД реальной тепловой машины всегда меньше КПД машины Карно, работающей в том же температурном диапазоне.

$$\eta = 1 - \frac{T_x}{T_H}$$

$$\eta_{\text{необр}} < \eta_{\text{обр}}$$

# Цикл Карно для идеального газа



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

$$Q_1 = A_{12} = \nu RT_H \ln V_2/V_1 > 0$$

$$Q_2 = A_{34} = \nu RT_x \ln V_4/V_3 < 0$$

$$A_{41} = -\Delta U = -\nu C_V (T_x - T_H)$$

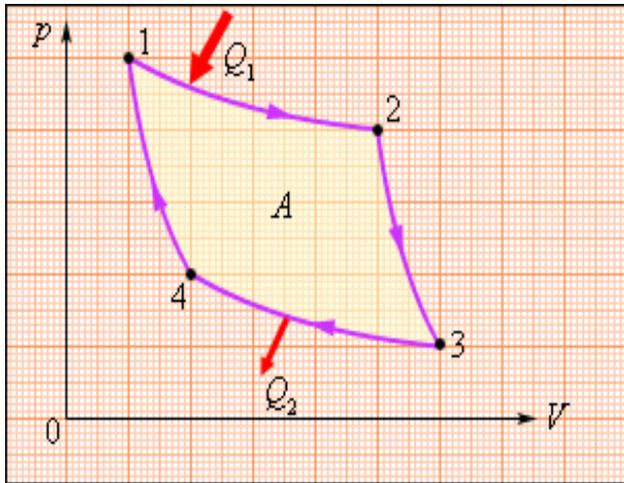


$$A_{23} = -A_{41}$$

$$A_{23} = -\Delta U = -\nu C_V (T_H - T_x)$$

$$A = A_{12} + A_{23} + A_{34} + A_{41} = A_{12} + A_{34}$$

# Цикл Карно для идеального газа



$$T_H V_2^{\gamma-1} = T_x V_3^{\gamma-1}$$



$$V_2/V_1 = V_3/V_4$$

$$T_x V_4^{\gamma-1} = T_H V_1^{\gamma-1}$$

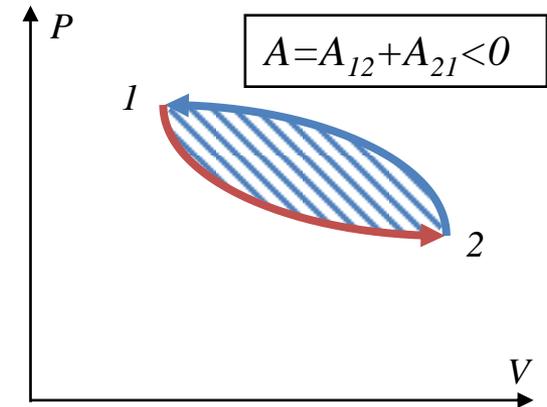
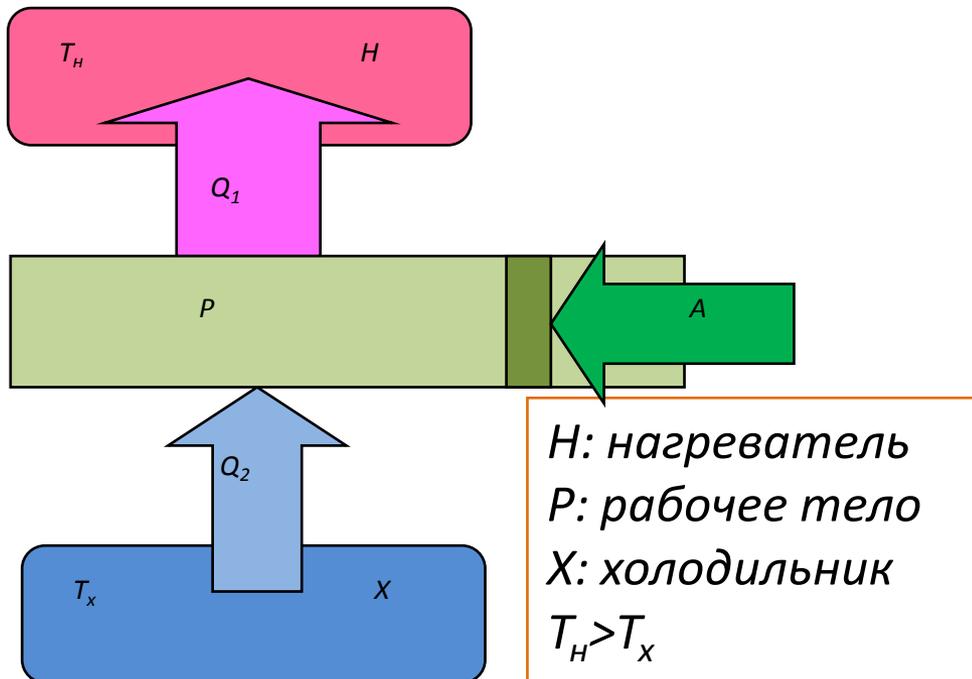
$$A = \nu R T_H \ln V_2/V_1 - \nu R T_x \ln V_3/V_4 = \nu R (T_H - T_x) \ln V_2/V_1$$

$$\frac{A}{Q_1} = \frac{\nu R (T_H - T_x) \ln V_2/V_1}{\nu R T_H \ln V_2/V_1} = \frac{T_H - T_x}{T_H}$$

$$\eta = \frac{T_H - T_x}{T_H}$$

# ХОЛОДИЛЬНАЯ МАШИНА

Холодильная машина – циклически действующая установка, в которой теплота от менее нагретого тела переносится к более нагретому, за счет работы внешних сил.

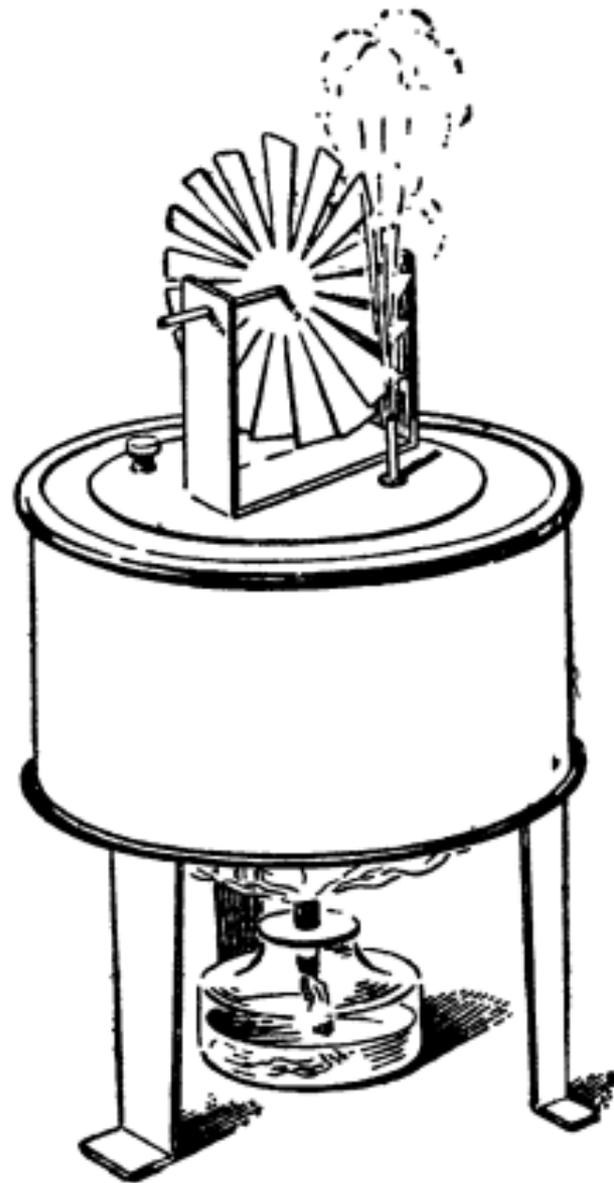


$$\eta = \frac{Q_2}{A}$$

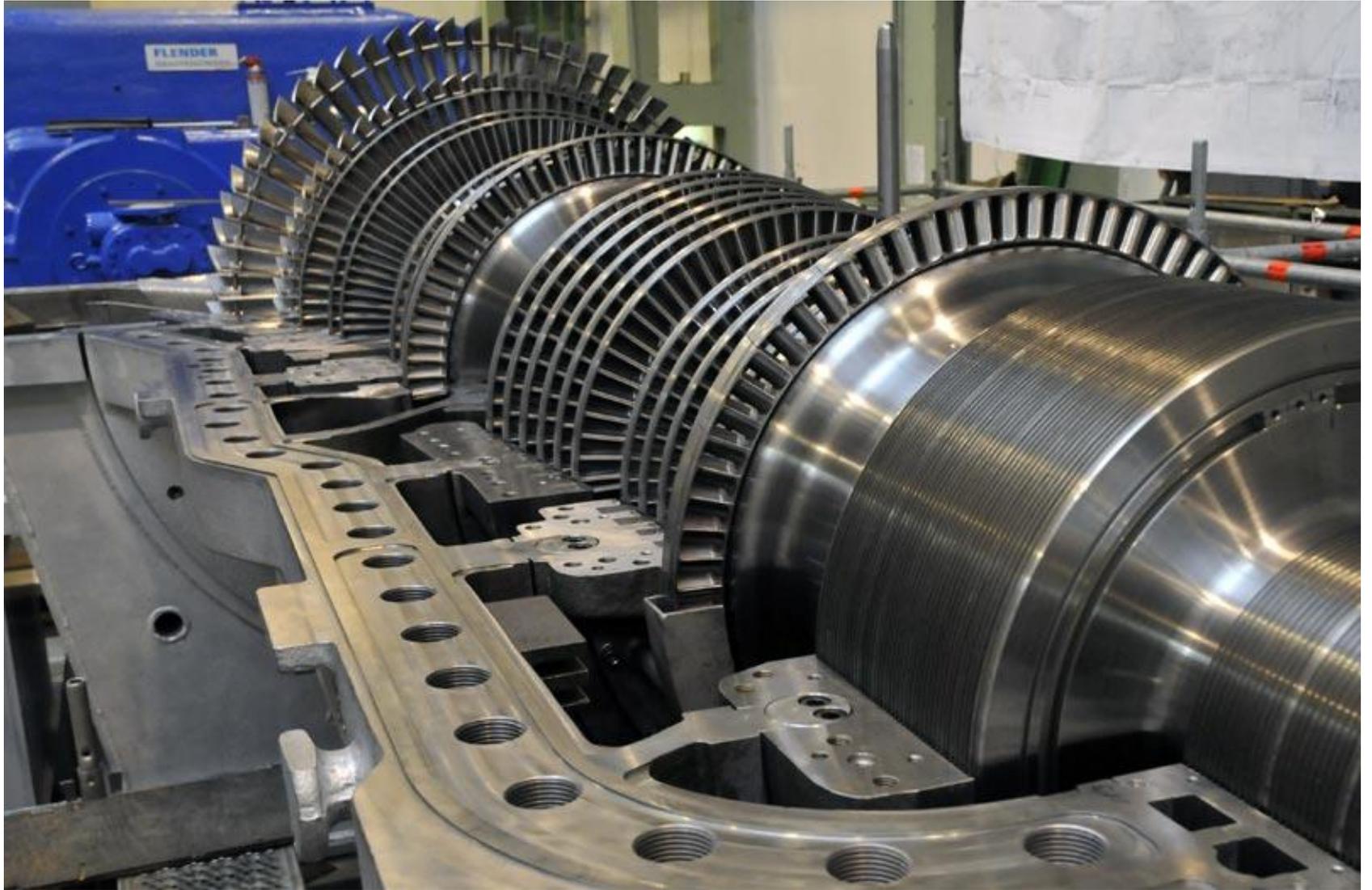
# ХОЛОДИЛЬНАЯ МАШИНА



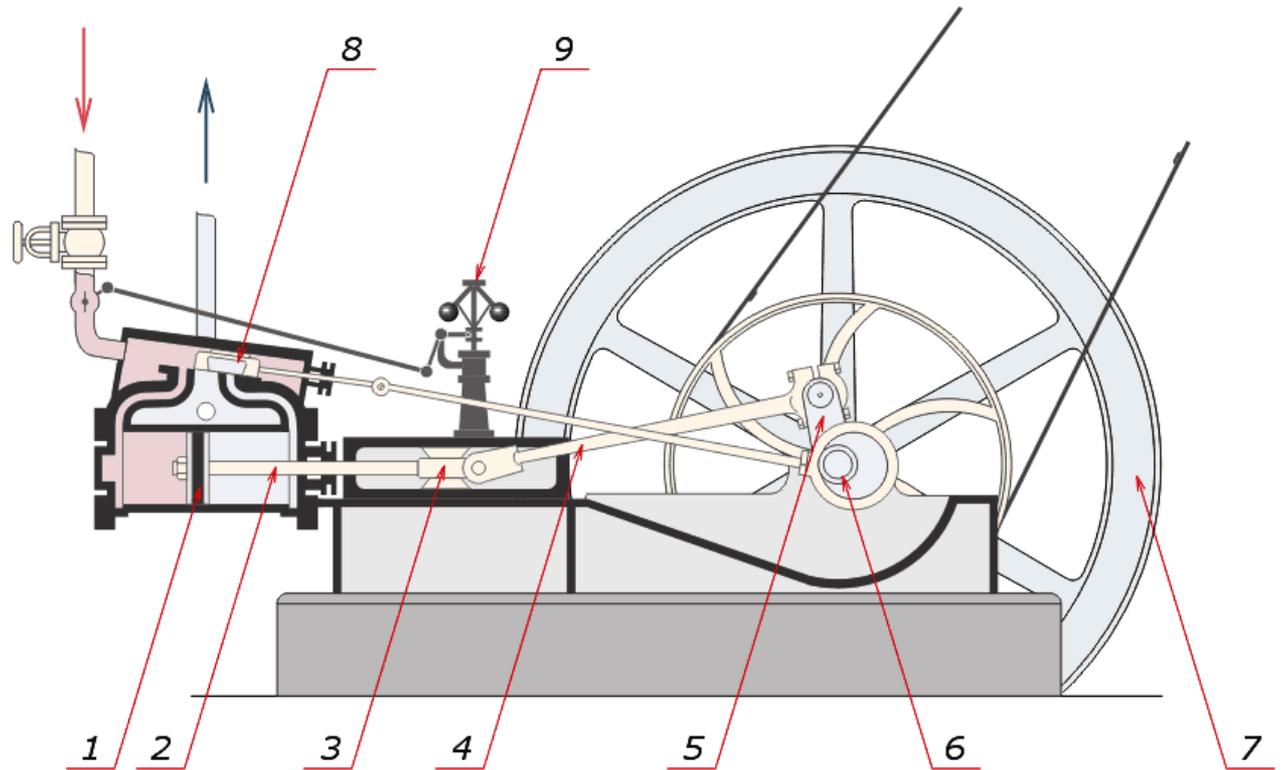
# Принцип действия паровой машины



# Современная паровая турбина



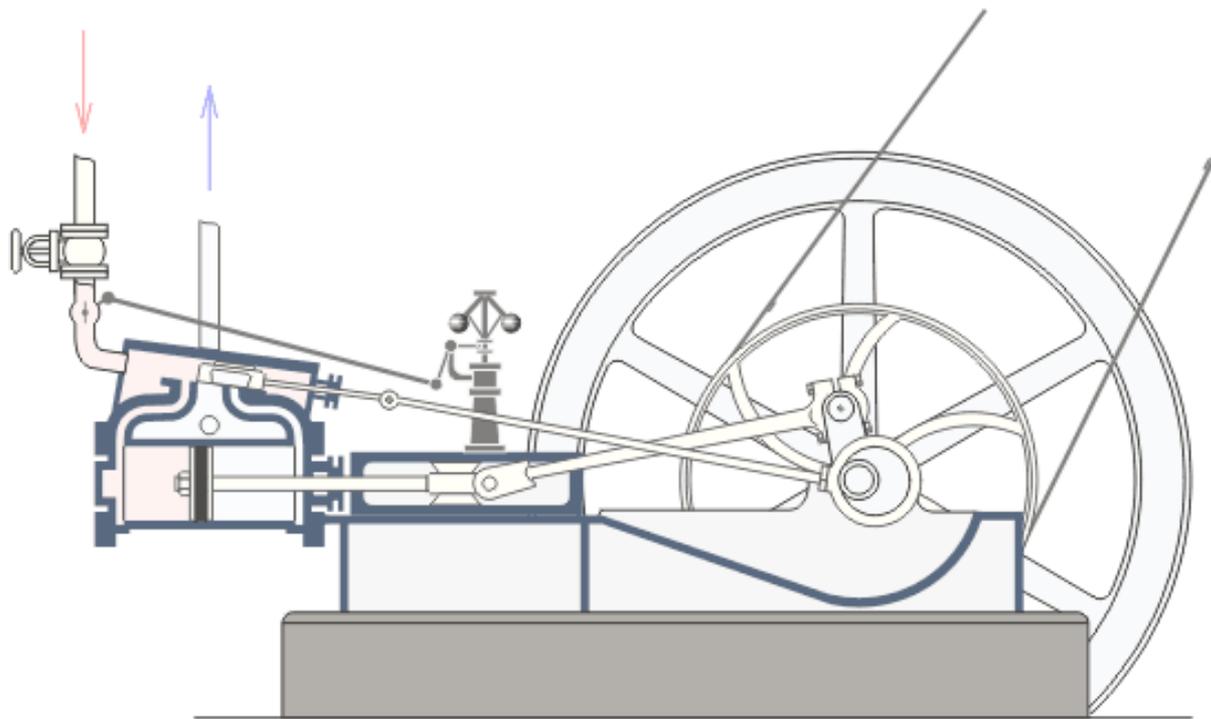
# Паровая машина — тепловой двигатель внешнего сгорания



- 1 — Поршень
- 2 — Шток поршня
- 3 — Ползун
- 4 — Шатун
- 5 — Коленчатый вал
- 6 — Эксцентрик для привода клапана
- 7 — Маховик
- 8 — Золотник
- 9 — Центробежный регулятор.

# Схема действия паровой машины

Энергию водяного пара преобразуется в механическую работу возвратно-поступательного движения поршня, а затем во вращательное движение вала.



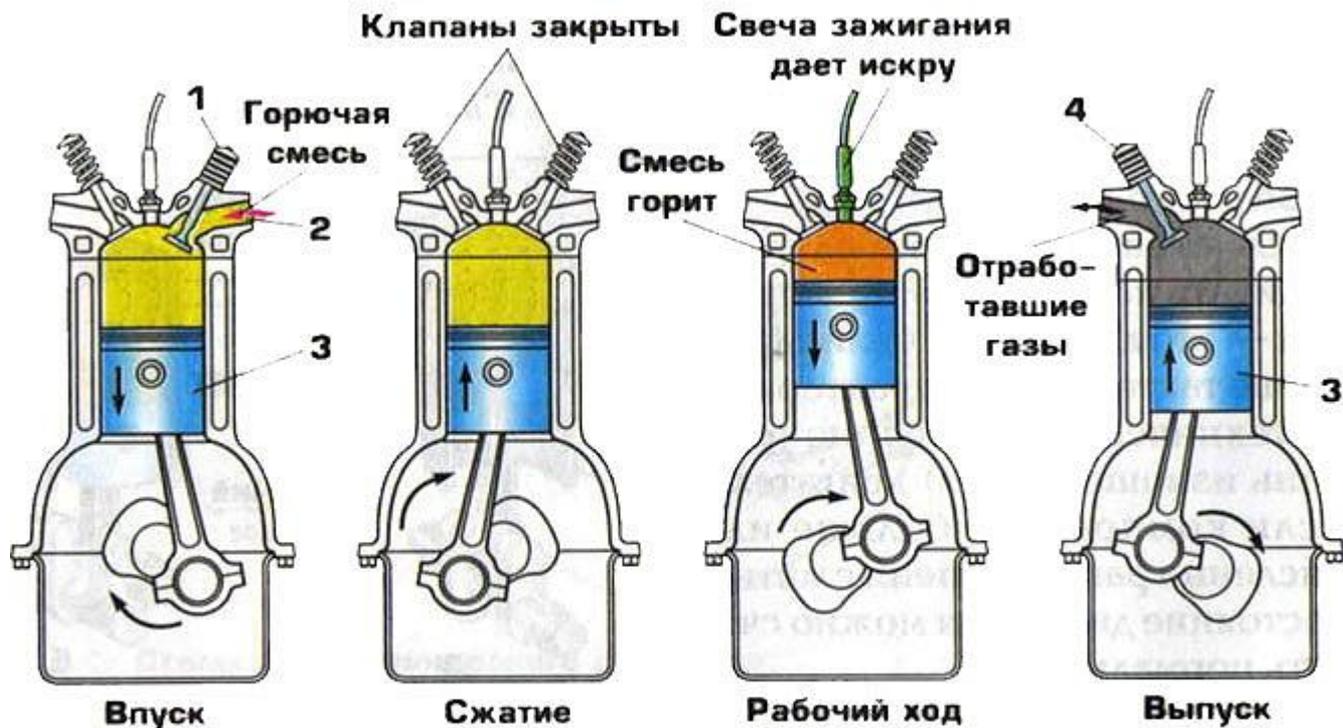
*Картинка кликабельна*

# Самоходный насос Amoskeag works, 1865 г.



# Двигатель внутреннего сгорания (ДВС)



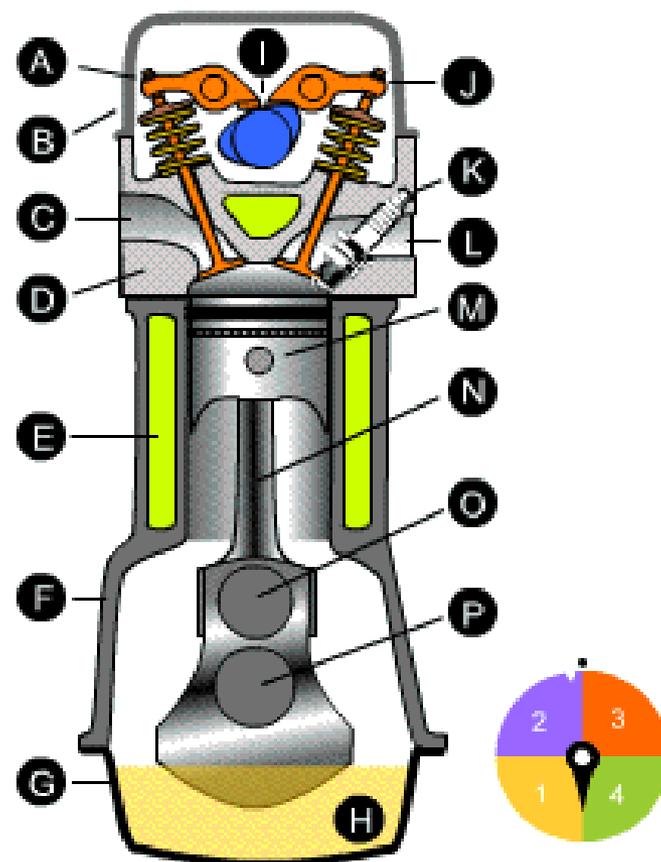


**Рабочий цикл четырехтактного двигателя:**

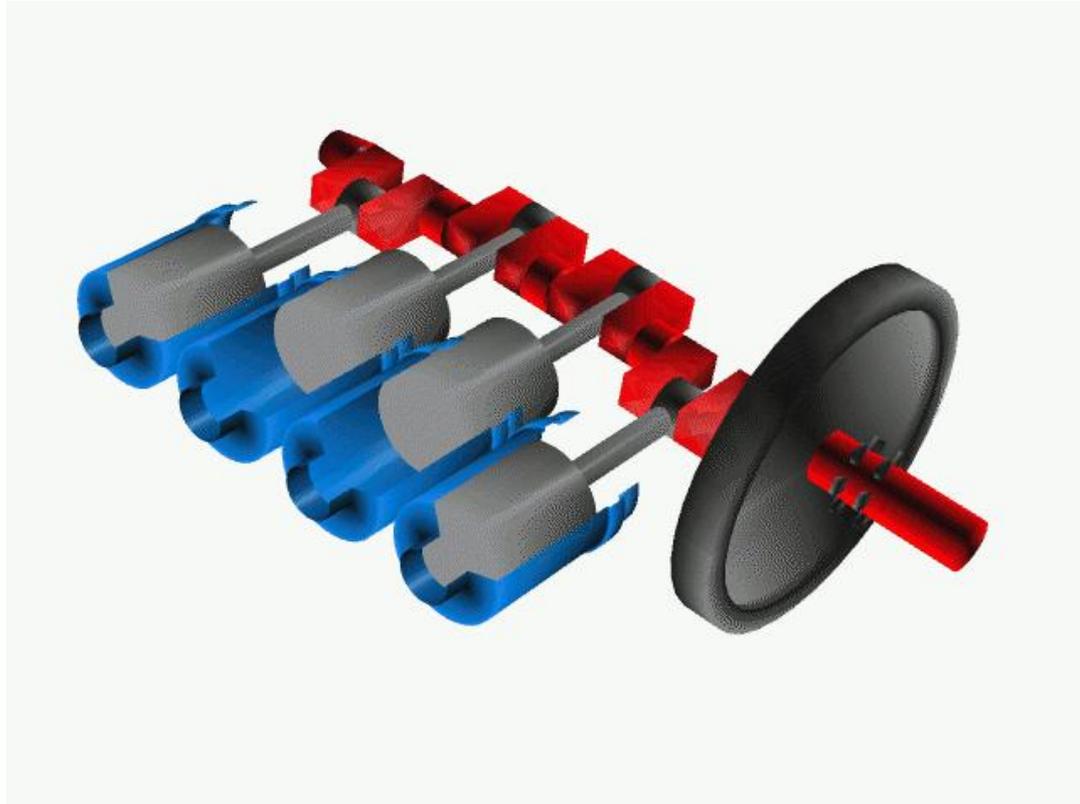
1 — впускной клапан, 2 — впускной канал, 3 — поршень, 4 — выпускной клапан. — — — — —  
 движение деталей

- |   |  |
|---|--|
| <b>A</b> Впускной клапан, рычаг и пружина | <b>I</b> Распредвал                        |
| <b>B</b> Крышка                           | <b>J</b> Выпускной клапан, рычаг и пружина |
| <b>C</b> Впускной канал                   | <b>K</b> Свеча                             |
| <b>D</b> Головка блока                    | <b>L</b> Выпускной канал                   |
| <b>E</b> Охлаждающая жидкость             | <b>M</b> Поршень                           |
| <b>F</b> Корпус двигателя                 | <b>N</b> Шатун                             |
| <b>G</b> Поддон картера                   | <b>O</b> Подшипник                         |
| <b>H</b> Маслосборник                     | <b>P</b> Коленчатый вал                    |

- 
- 1** Впуск
  - 2** Сжатие
  - 3** Рабочий ход
  - 4** Выпуск
  - ▼ искра
  - Верхняя мертвая точка

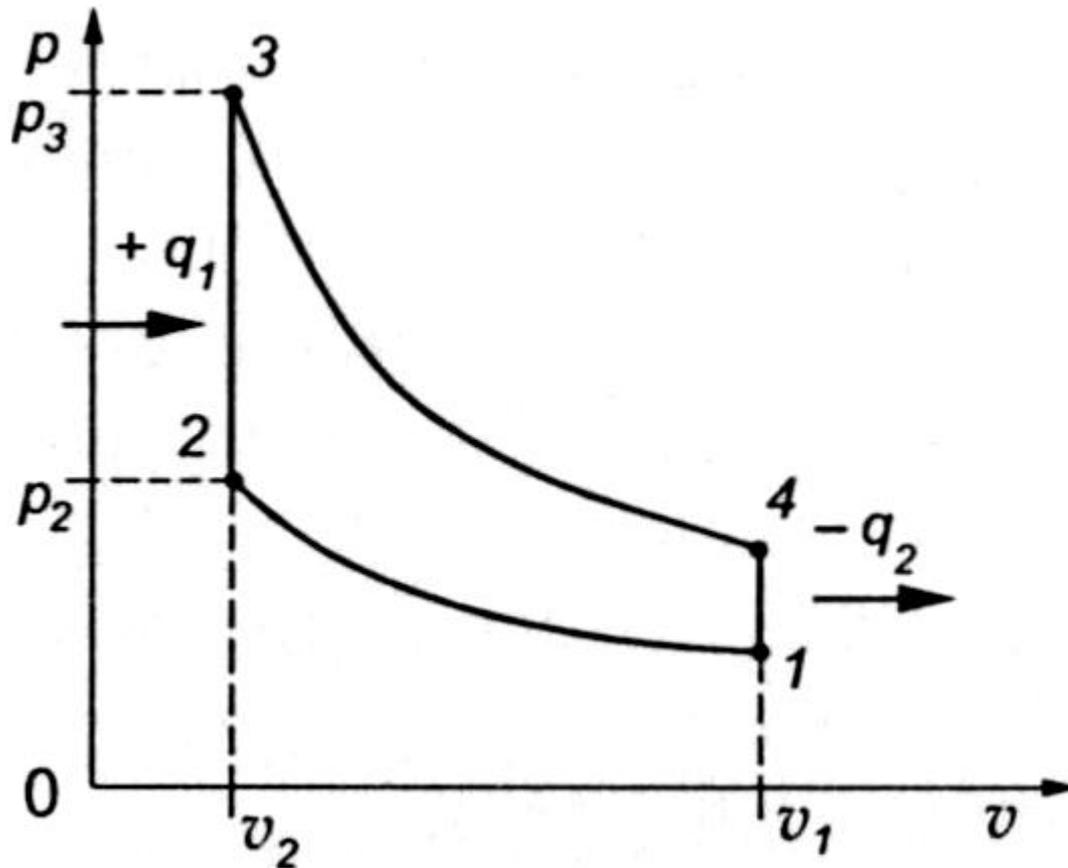


# Кривошипно-шатунный механизм



*Картинка кликабельна*

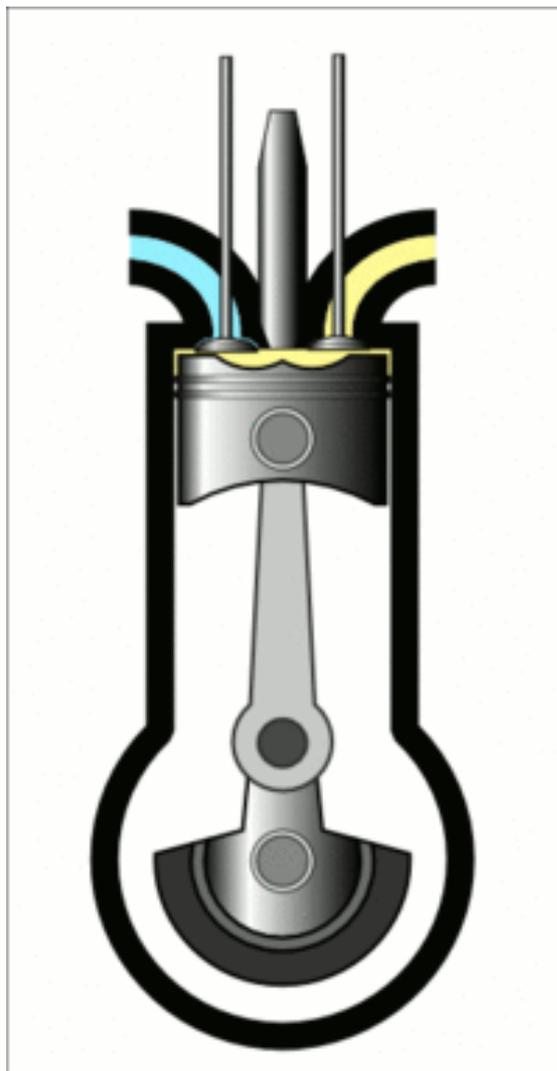
# Цикл с подводом теплоты при постоянном объеме



$$\eta = 1 - \left( \frac{V_2}{V_1} \right)^{\gamma-1}$$

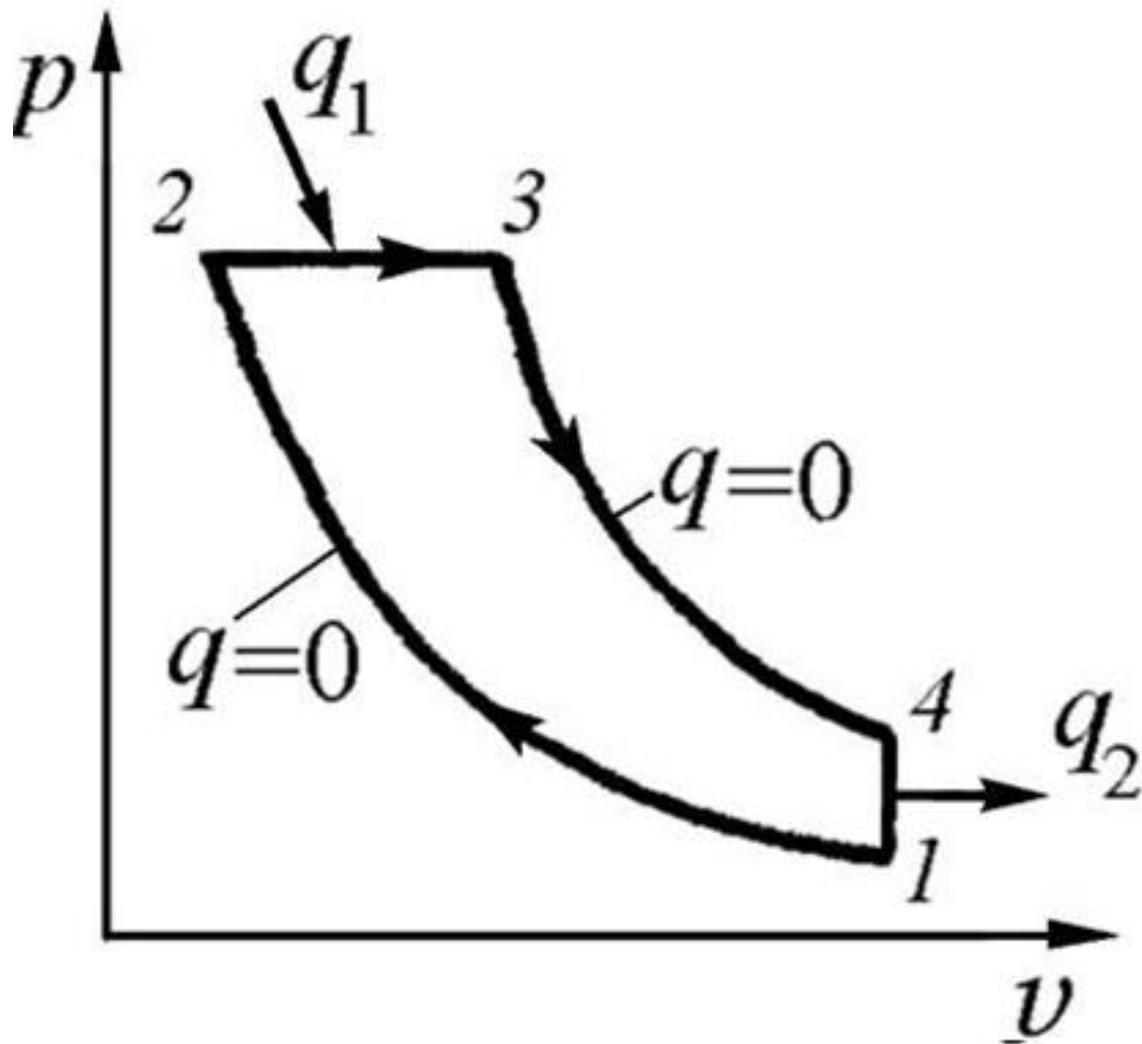
карбюраторные ДВС

# Компрессорный дизель



*Картинка кликабельна*

# Цикл с подводом теплоты при постоянном давлении



Компрессорный дизель