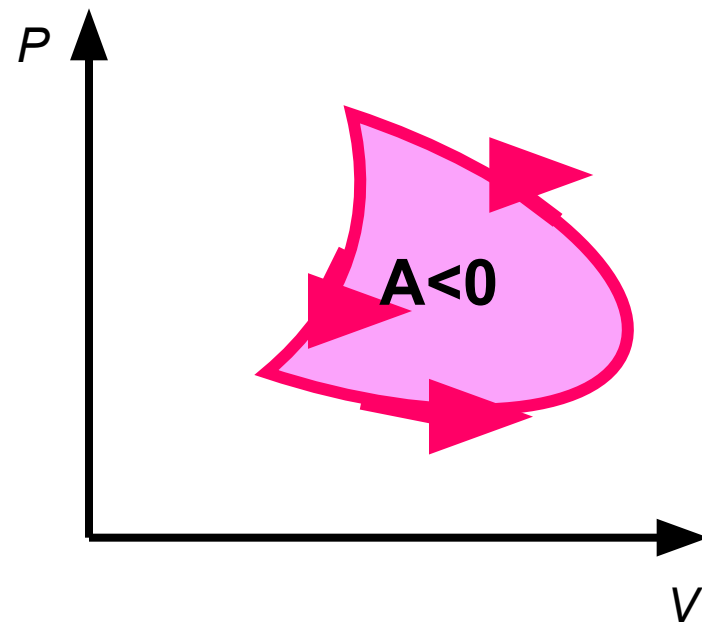
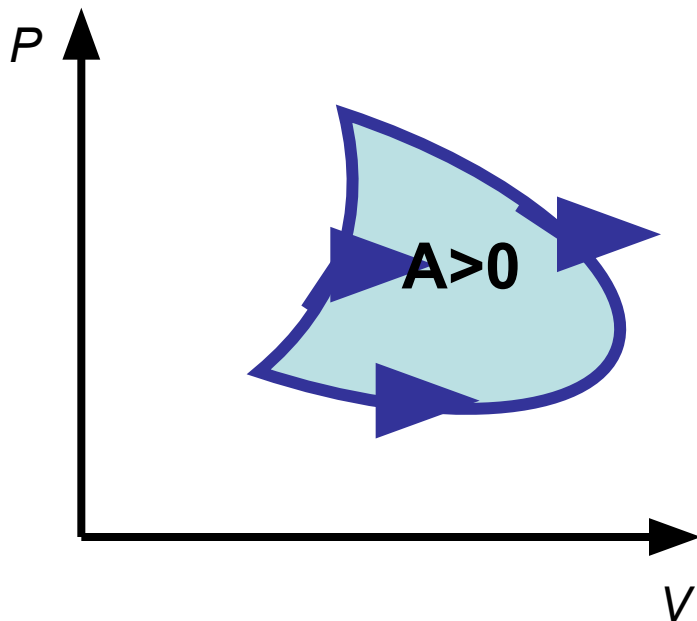


ЦИКЛЫ

- Циклом наз процесс, при котором система, пройдя ряд состояний, возвращается в исходное
- На диаграмме цикл изображается замкнутой кривой



- Цикл наз **прямым**, если работа, совершенная за цикл **положительная**
- Цикл наз **обратным**, если работа, совершенная за цикл **отрицательная**

- Цикл невозможно совершить, если рабочее тело только получает тепло
- рабочее тело должно и отдавать тепло
- То, от чего рабочее тело получает тепло - **нагреватель**
- Чему рабочее тело отдает тепло - **холодильник**

$$\Delta U = 0$$

$$Q = A$$

$$Q = Q_1 - Q_2$$

- $Q_1$  - полученное тепло
- $Q_2$  - отданное тепло

- Термический к.п.д. для циклов

$$\eta = \frac{A}{Q_1} = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = 1 - \frac{Q_2}{Q_1}$$

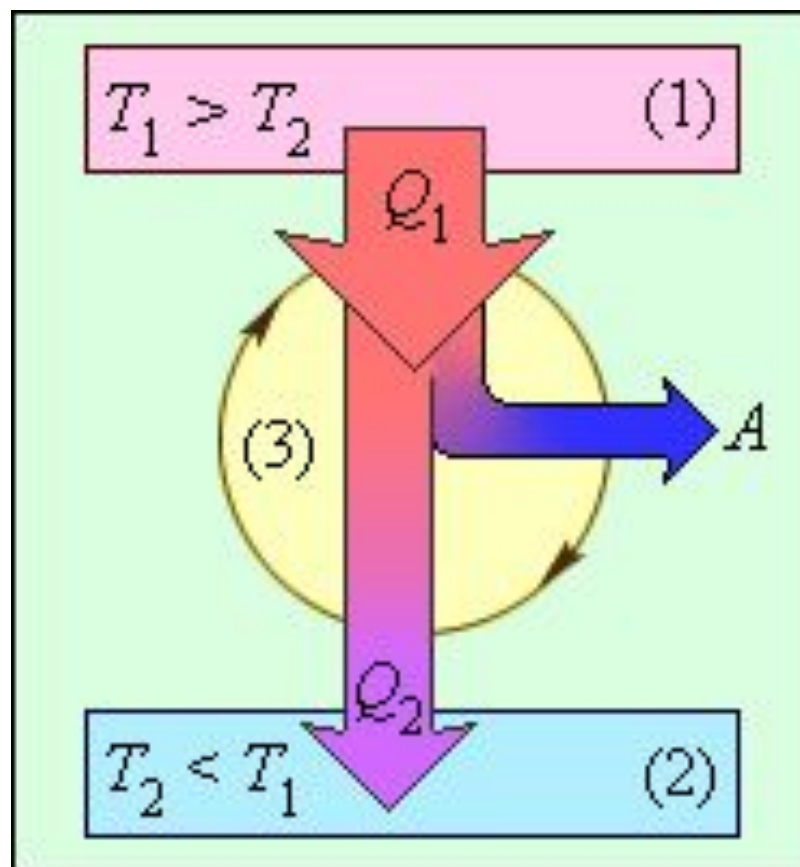
- Показывает какая часть тепловой энергии, полученная от нагревателя превратилась в работу

# Тепловые двигатели

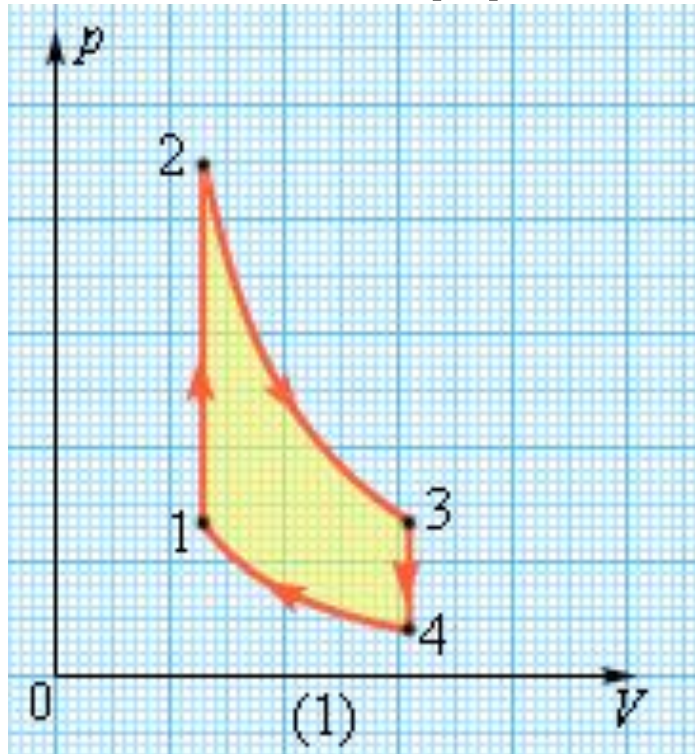
- Тепловой двигатель- устройство способное превращать полученное тепло в механическую работу
- Работа совершается за счет расширения вещества (пары бензина, водяной пар), **рабочее тело**
- Тепло полностью переходит в работу, когда
$$\Delta U = 0$$
- Поэтому рабочее тело должно вернуться в исходное состояние – совершить **термодинамический цикл**



# Тепловой двигатель



# Бензиновый карбюраторный двигатель



- 2-3, 4-1 - адиабата
- 3-4, 1-2 - изохора

• 2-3 адиабата  $\Delta Q = 0$

• 3-4 изохорическое охлаждение

$$\Delta Q_{34} < 0 \quad Q_2$$

$$|Q_2| = \frac{m}{\mu} C_V (T_3 - T_4) < 0$$

• 4-1 адиабата  $\Delta Q = 0$

- 1 -2 изохорическое нагревание

$$\Delta Q_{12} > 0 \quad Q_1$$

$$Q_1 = \frac{m}{\mu} C_V (T_2 - T_1) > 0$$

$$\eta = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} =$$

$$= \frac{\frac{m}{\mu} C_V (T_2 - T_1) - \frac{m}{\mu} C_V (T_3 - T_4)}{\frac{m}{\mu} C_V (T_2 - T_1)} =$$

$$= \frac{T_2 - T_1 - T_3 + T_4}{T_2 - T_1}$$

- Пусть объем газа изменился в  $n$  раз

$$V_4 = nV_1$$

$$V_3 = nV_2$$

$$T_2 V^{\gamma-1} = T_3 (nV)^{\gamma-1}$$

$$T_2 = T_3 n^{\gamma-1}$$

$$T_1 V^{\gamma-1} = T_4 (nV)^{\gamma-1}$$

$$T_1 = T_4 n^{\gamma-1}$$

$$\begin{aligned}
\eta &= \frac{T_2 - T_1 - T_3 + T_4}{T_2 - T_1} = \\
&= \frac{T_3 n^{\gamma-1} - T_4 n^{\gamma-1} - T_3 + T_4}{T_3 n^{\gamma-1} - T_4 n^{\gamma-1}} = \\
&= \frac{(T_3 - T_4) n^{\gamma-1} - (T_3 - T_4)}{(T_3 - T_4) n^{\gamma-1}} = \frac{n^{\gamma-1} - 1}{n^{\gamma-1}} = \\
&= 1 - n^{1-\gamma} = \eta
\end{aligned}$$



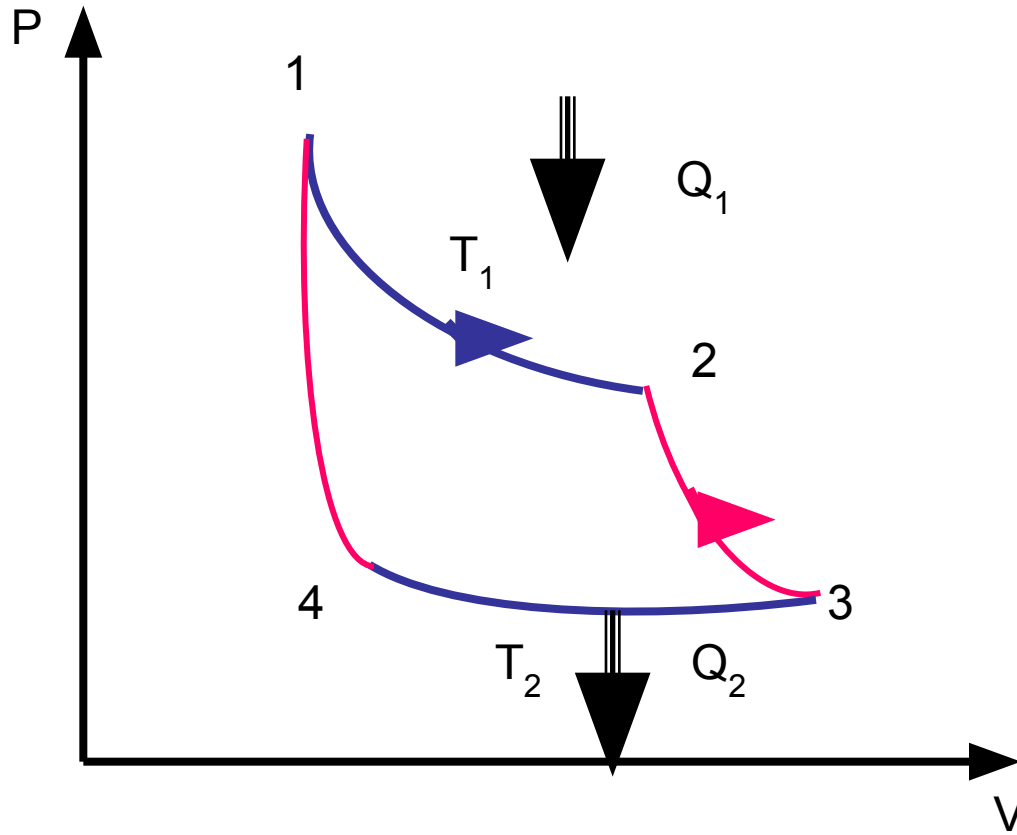
- Пусть  $n=3$        $\gamma = 1,33$

$$\eta = 1 - n^{\frac{1}{\gamma}} = 1 - 3^{\frac{1}{1.33}} = 1 - 3^{0.33} = 0.31$$

$$\eta = 31\%$$

# ЦИКЛ КАРНО

- Наиболее экономичный цикл теплового двигателя (1924)
- Состоит из 2 изотерм и двух адиабат



- 12-изотермическое расширение
- 23-адиабатическое расширение
- 34-изотермическое сжатие
- 41-адиабатическое сжатие

$$\eta = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1}$$

$$Q_1 = \frac{m}{\mu} RT_1 \ln \frac{V_2}{V_1}$$

$$Q_2 = \frac{m}{\mu} RT_2 \ln \frac{V_4}{V_3}$$

$$T_1 V_2^{\gamma-1} = T_2 V_3^{\gamma-1}$$

$$T_1 V_1^{\gamma-1} = T_2 V_4^{\gamma-1}$$

$$\frac{V_2^{\gamma-1}}{V_1^{\gamma-1}} = \frac{V_3^{\gamma-1}}{V_4^{\gamma-1}}$$

$$\frac{V_2}{V_1} = \frac{V_3}{V_4}$$

$$\eta = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = \frac{\frac{m}{\mu} RT_1 \ln \frac{V_2}{V_1} - \frac{m}{\mu} RT_2 \ln \frac{V_4}{V_3}}{\frac{m}{\mu} RT_1 \ln \frac{V_2}{V_1}} = \frac{T_1 - T_2}{T_1}$$

К.п.д. цикла Карно определяется только температурами нагревателя и холодильника

$$\eta = \frac{T_1 - T_2}{T_1}$$