

# Основы термодинамики

Гимназия №399

Бурцева Н.М.

# Внутренняя энергия

**Сумма кинетических энергий хаотического движения всех частиц тела относительно центра масс тела (молекул, атомов) и потенциальных энергий их взаимодействия друг с другом называется внутренней энергией.**

$$U = \sum W_k + \sum W_p$$

Кинетическая энергия частиц определяется скоростью, а значит - температурой тела.

Потенциальная - расстоянием между частицами, а значит - объемом.

Следовательно:  $U=U(T,V)$  - внутренняя энергия зависит от объема и температуры.

# Внутренняя энергия одноатомного идеального газа

Для идеального газа:  $U=U(T)$ , т.к. взаимодействием на расстоянии пренебрегаем

$$U = N\bar{E} = N \frac{3}{2} kT = \frac{3m}{2M} N_A kT = \frac{3m}{2M} RT = \frac{3}{2} \nu RT = \frac{3}{2} pV$$

**Внутренняя энергия одноатомного идеального газа:**

$$U = \frac{3}{2} \nu RT \quad \text{или} \quad U = \frac{3}{2} pV$$

# Способы изменения внутренней энергии

## Совершение работы

$A$

- над телом  
( $U$  увелич.)
- самим телом  
( $U$  уменьш.)

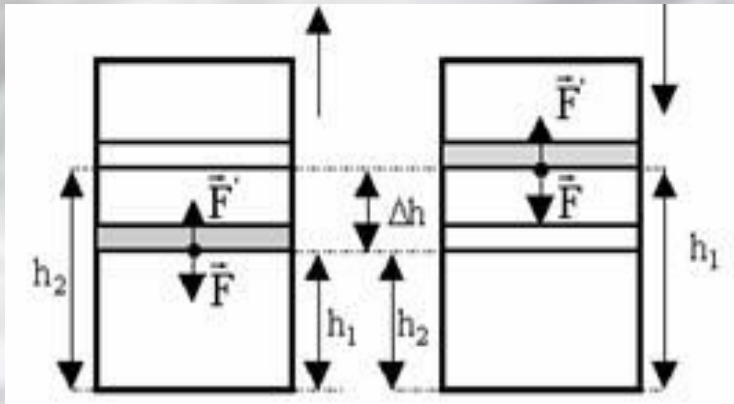
## Теплопередача

$Q$

Виды теплопередачи:

- теплопроводность
- конвекция
- излучение

# Работа в термодинамике



Работа газа:

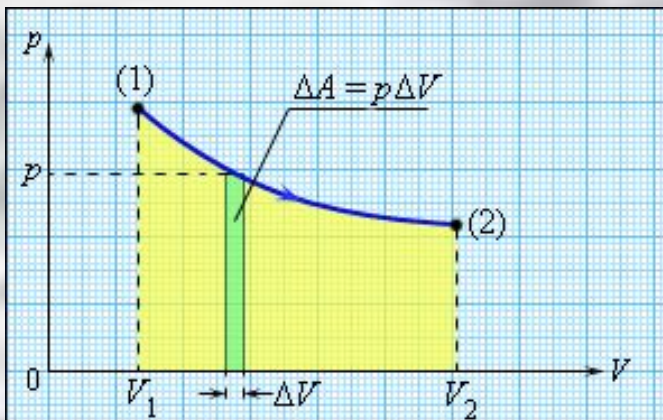
$$\begin{aligned} A' &= F' \cdot s \cdot \cos(\vec{F}', d) = \\ &= p \cdot s \cdot \Delta h = p \cdot \Delta V \end{aligned}$$

По третьему закону Ньютона:  $\vec{F} = -\vec{F}'$

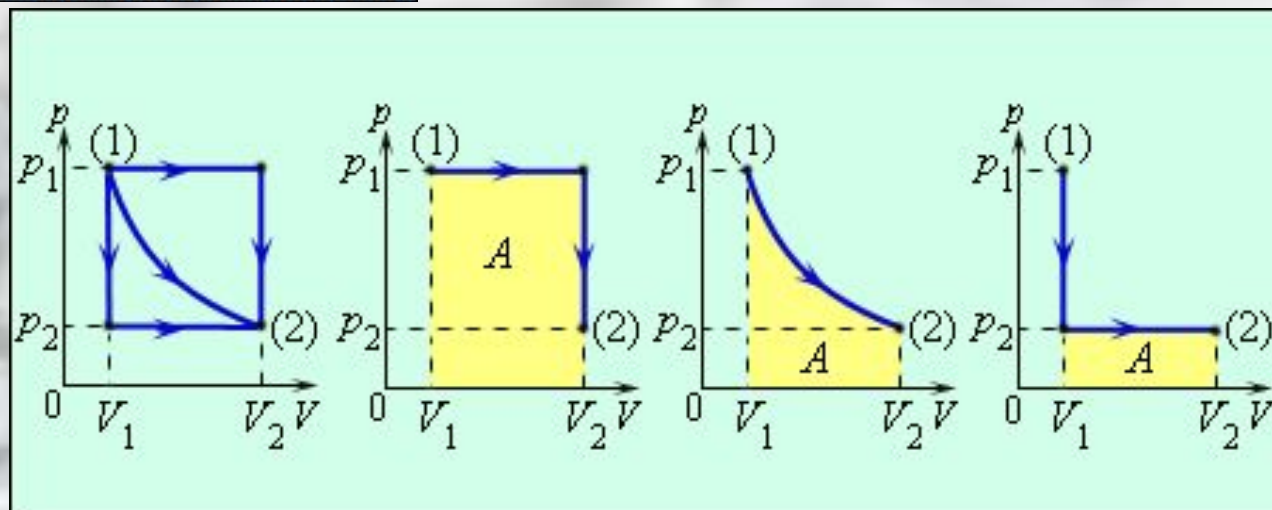
Работа внешних сил над газом:

$$A = -A' = -p\Delta V$$

# Геометрический смысл работы

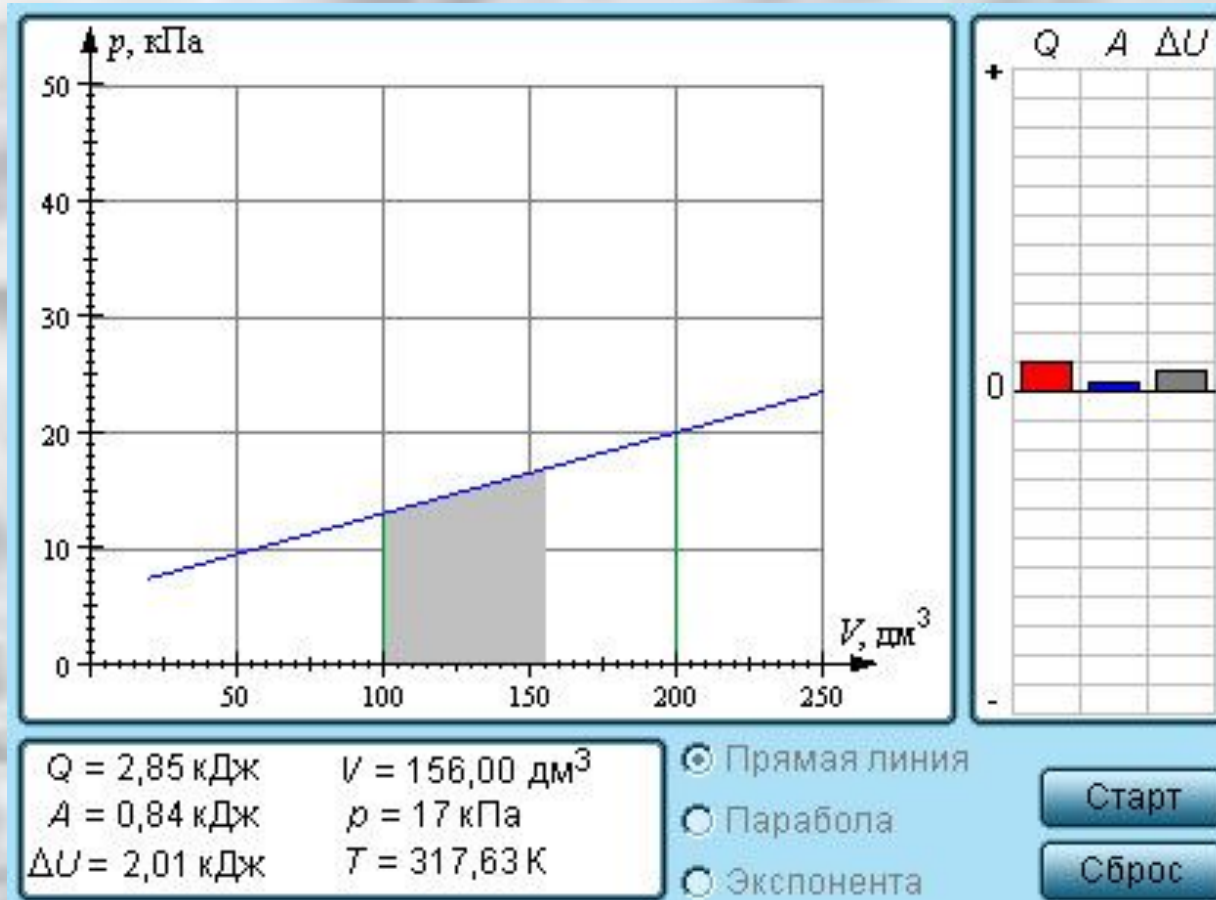


- Работа численно равна площади под графиком процесса на диаграмме ( $p, V$ ).



Величина работы зависит от того, каким путем совершался переход из начального состояния в конечное.

# Модель. Работа газа



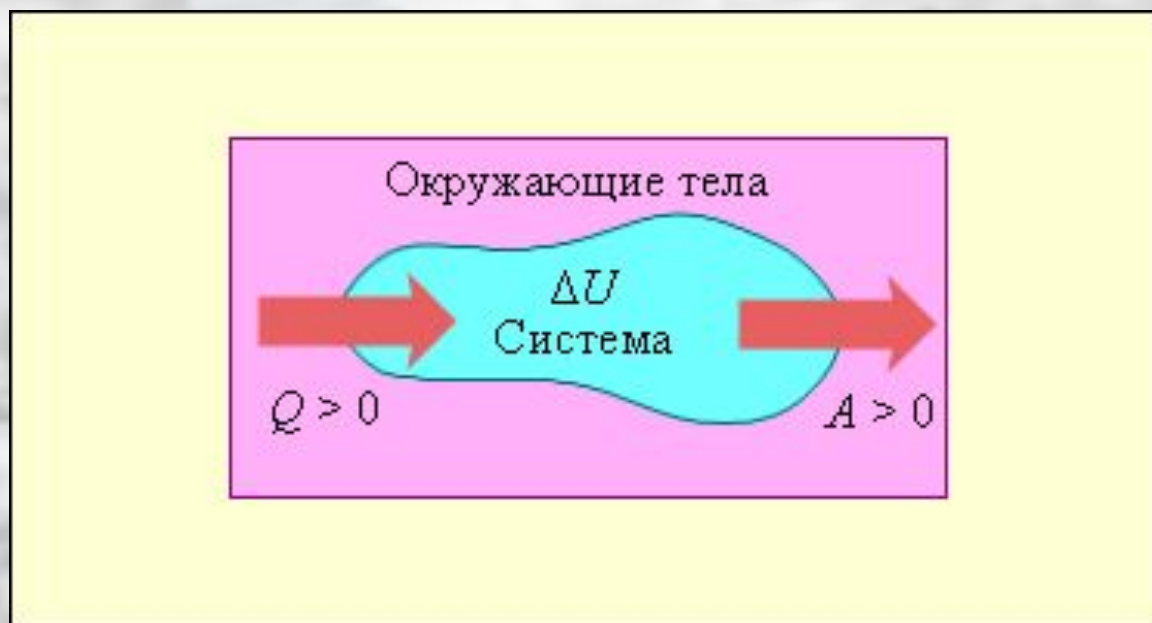
# Количество теплоты

- $Q = cm(t_2^0 - t_1^0)$  – нагревание (охлаждение)
- $Q = \pm \lambda m$  - плавление (отвердевание)
- $Q = \pm Lm$  - парообразование (конденсация)
- $Q = qm$  – сгорание топлива



# Первый закон термодинамики

**Обмен энергией между термодинамической системой и окружающими телами в результате теплообмена и совершаемой работы**



# Первый закон термодинамики

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

$$\Delta U = Q + A$$

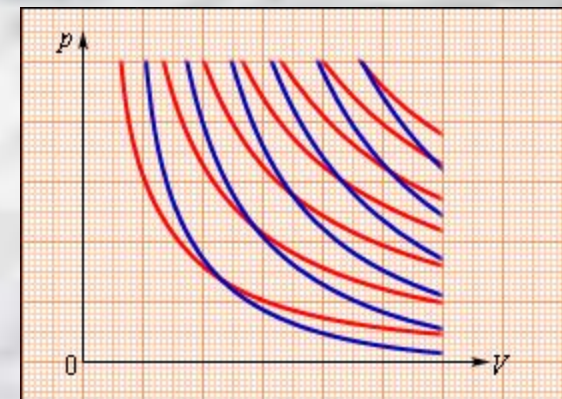
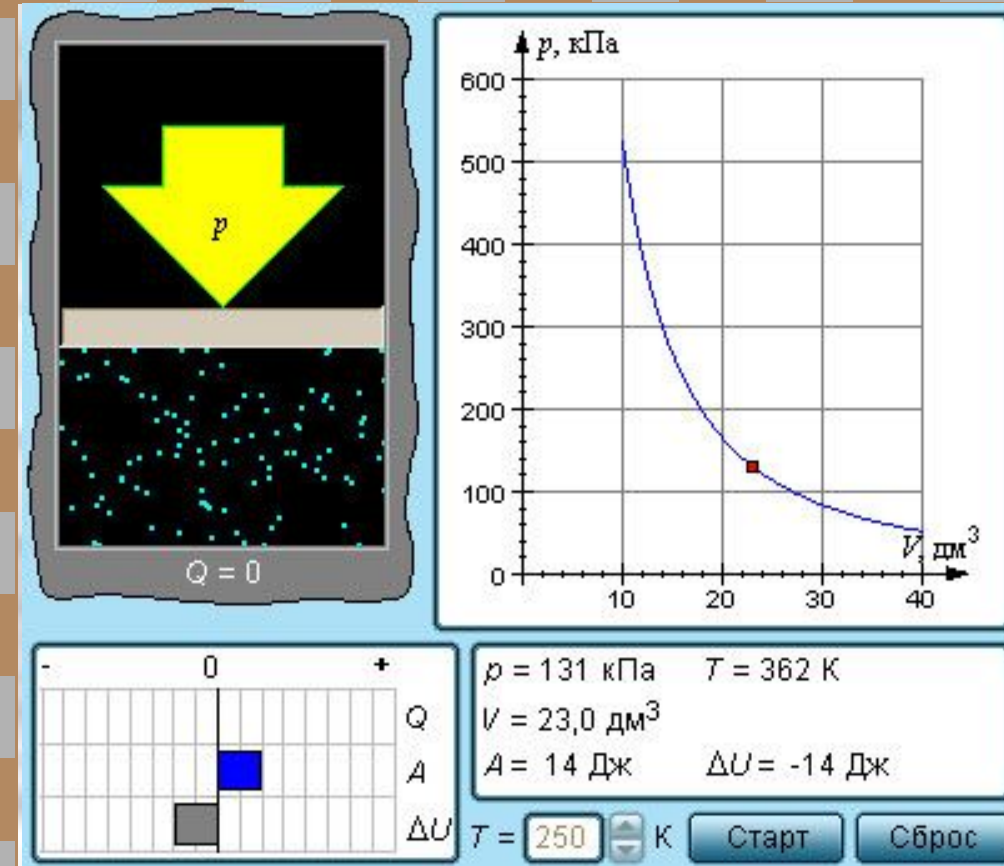
Если  $A$  - работа внешних сил, а  $A'$  - работа газа, то  $A = -A'$  (в соответствии с 3-м законом Ньютона).

Тогда:

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

другая форма записи первого закона термодинамики

# Адиабатический процесс



Семейства изотерм (красные кривые) и адиабат (синие кривые) идеального газа.

Модель. Адиабатический процесс

# Применение 1 закона термодинамики к изопроцессам

Все работают с таблицей ( таблицы на  
столах)

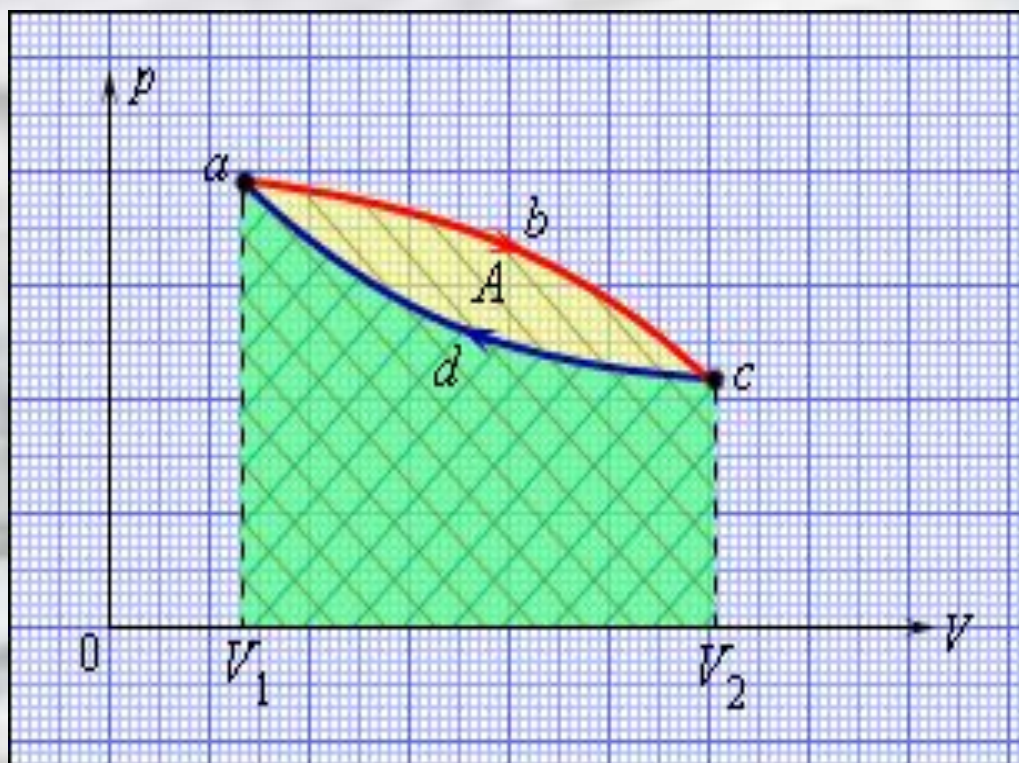
# Тепловые двигатели

*Машины, преобразующие внутреннюю энергию в механическую работу, называют тепловыми двигателями*



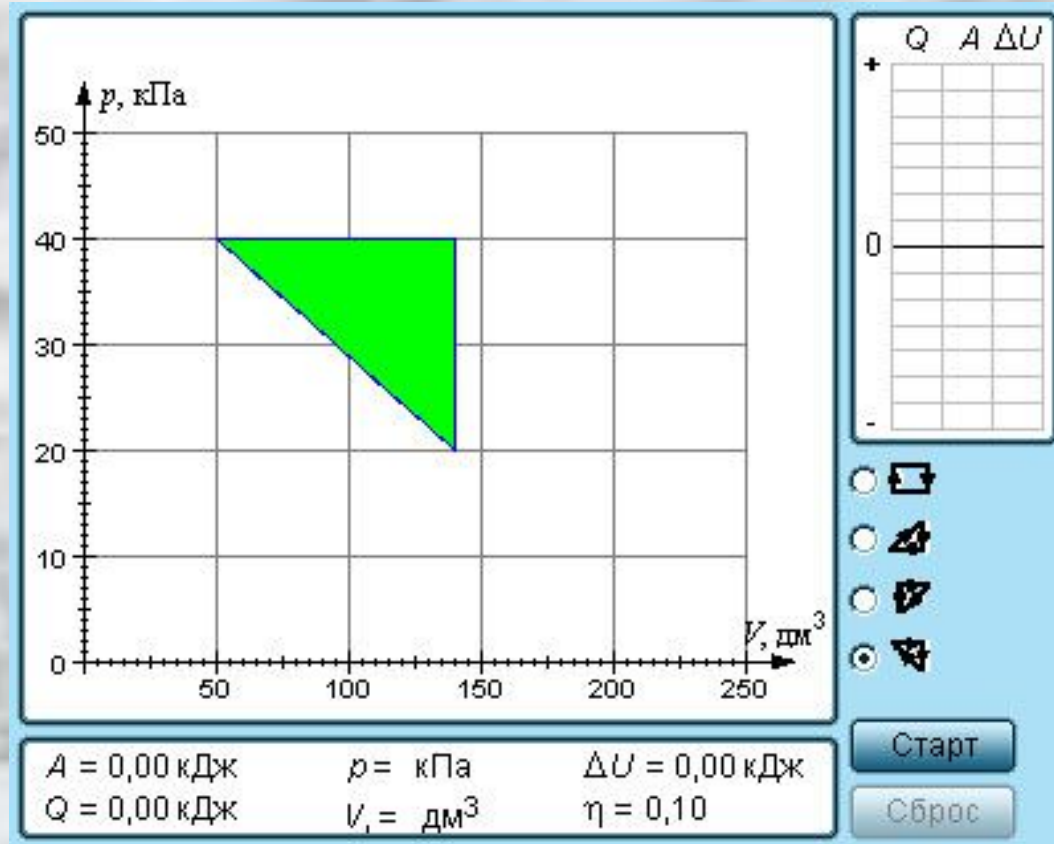
# Термодинамический цикл

Круговой процесс на диаграмме ( $p$ ,  $V$ ).



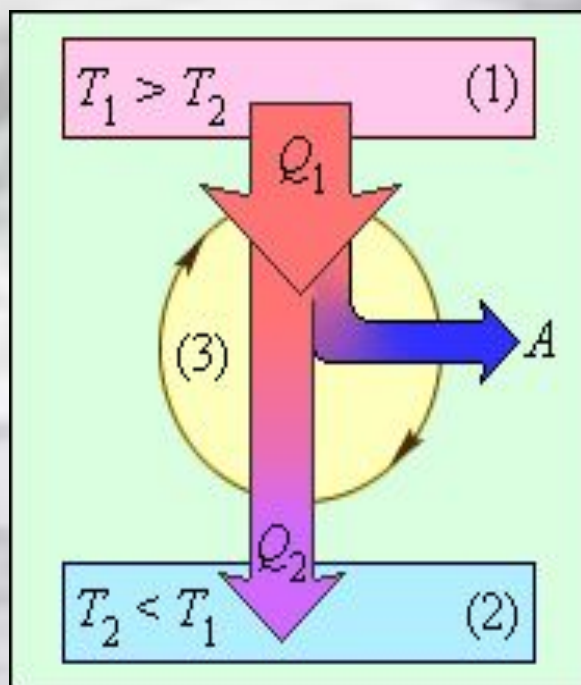
# Модель.

## Термодинамические циклы



Модель. Термодинамические циклы

# Тепловой двигатель



Энергетическая схема тепловой машины: 1 – нагреватель; 2 – холодильник; 3 – рабочее тело, совершающее круговой процесс.

**КПД теплового двигателя**

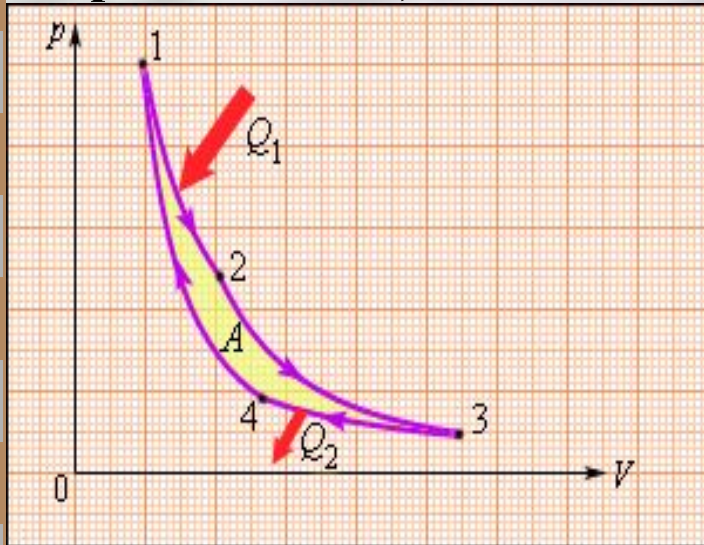
$$\eta = \frac{A}{Q_1} = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = 1 - \frac{Q_2}{Q_1} < 1$$

**Кпд реальных двигателей:**  
турбореактивный - 20 -30%;  
карбюраторный - 25 -30%,  
дизельный - 35-45%.



# Идеальная тепловая машина

## Идеальная тепловая машина - машина Карно (Сади Карно, Франция, 1815)



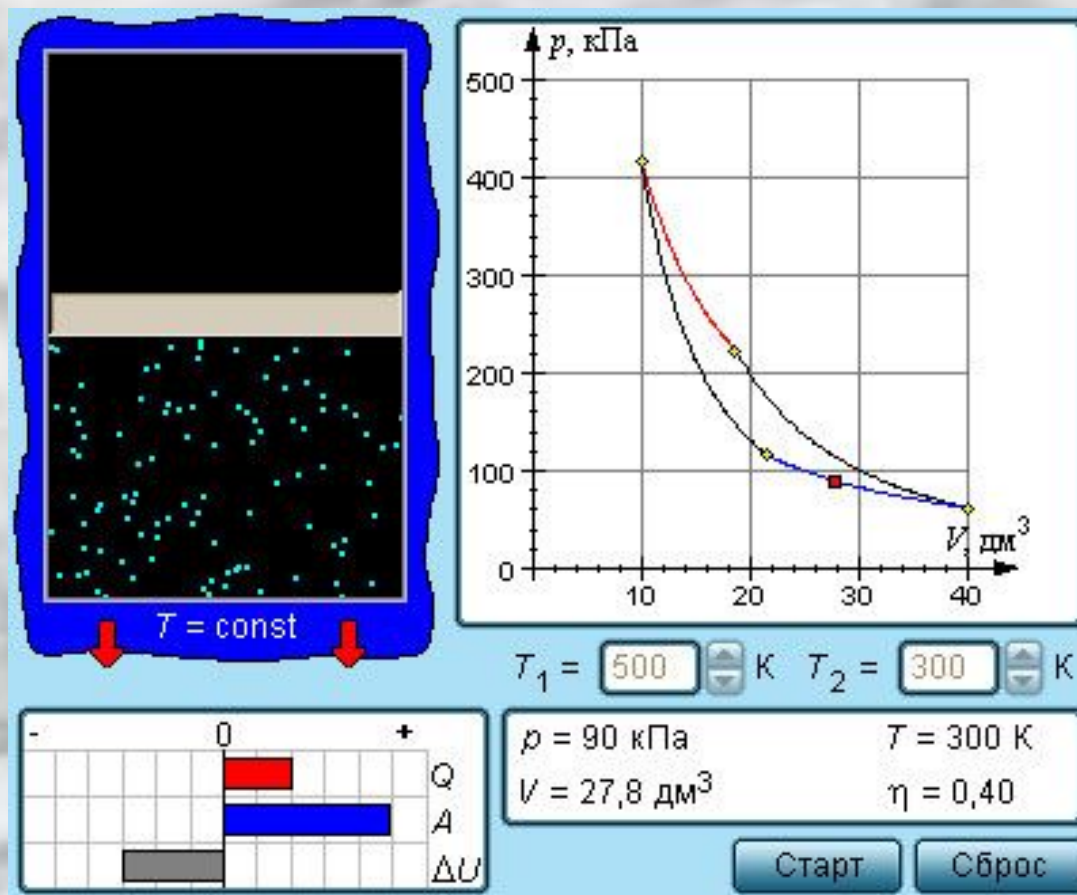
**Теорема Карно:** КПД реальной тепловой машины не может быть больше КПД идеальной машины, работающей в том же интервале температур.

Машина работает на идеальном газе.  
1 - 2 - при тепловом контакте с нагревателем газ расширяется изотермически.  
2 - 3 - газ расширяется адиабатно.  
После контакта с холодильником:  
3 - 4 - изотермическое сжатие.  
4 - 1 - адиабатное сжатие.

### КПД идеальной машины:

$$\eta = \frac{T_1 - T_2}{T_1} = 1 - \frac{T_2}{T_1}$$

# Модель. Цикл Карно



Модель. Цикл Карно

# Второй закон термодинамики

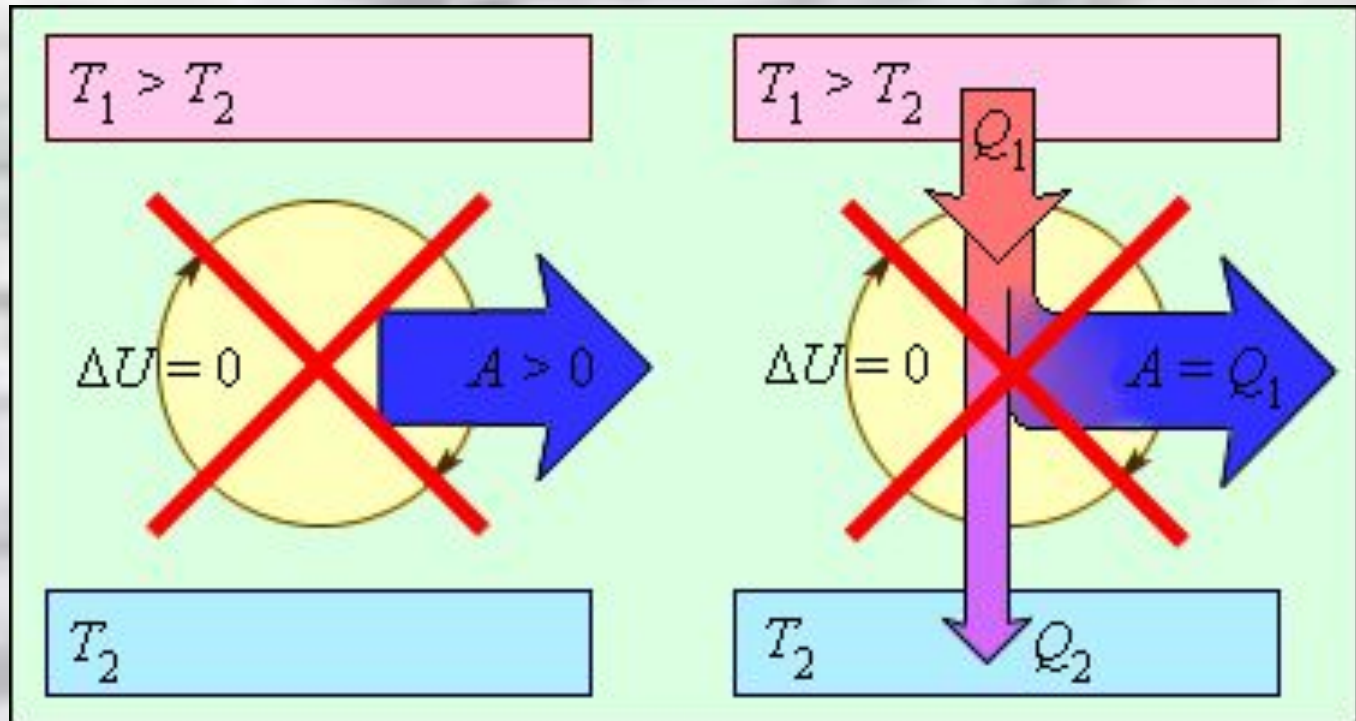
Второй закон термодинамики указывает направление возможных энергетических превращений и тем самым выражает необратимость процессов в природе.

**Формулировка Р. Клаузиуса:** невозможно перевести тепло от более холодной системы к более горячей при отсутствии одновременных изменений в обеих системах или окружающих телах.

**Формулировка У. Кельвина:** невозможно осуществить такой периодический процесс, единственным результатом которого было бы получение работы за счет теплоты, взятой от одного источника.

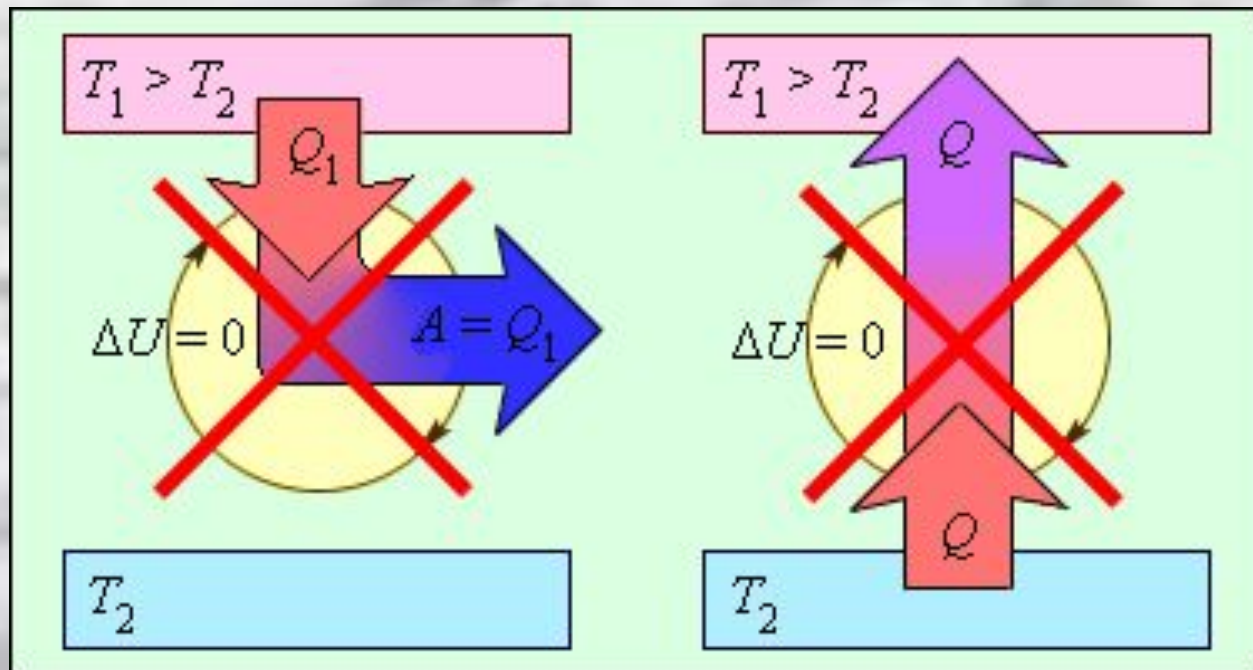
Невозможен тепловой вечный двигатель второго рода, т.е. двигатель, совершающий механическую работу за счет охлаждения какого-либо одного тела.

# Процессы, запрещаемые 1 законом термодинамики



Циклически работающие тепловые машины, запрещаемые первым законом термодинамики: 1 – вечный двигатель 1 рода, совершающий работу без потребления энергии извне; 2 – тепловая машина с коэффициентом полезного действия  $\eta > 1$

# Процессы, запрещаемые 2 законом термодинамики



Процессы, не противоречащие первому закону термодинамики, но запрещаемые вторым законом: 1 – вечный двигатель второго рода; 2 – самопроизвольный переход тепла от холодного тела к более теплему (идеальная холодильная машина)