

# 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.)

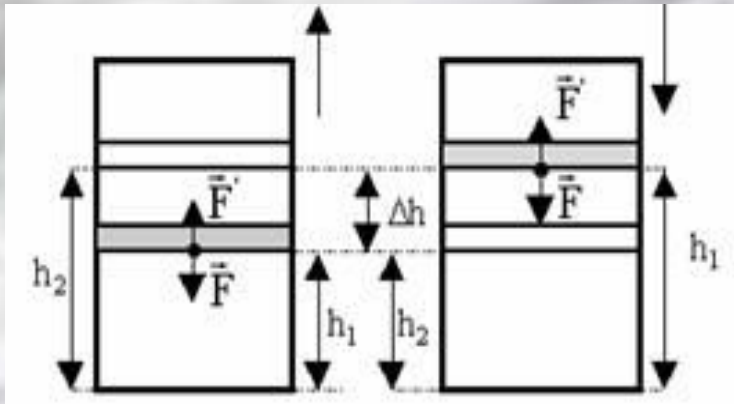
## Теплопередача

$Q$

Виды теплопередачи:

- теплопроводность
- конвекция
- излучение

# Работа в термодинамике



Работа газа:

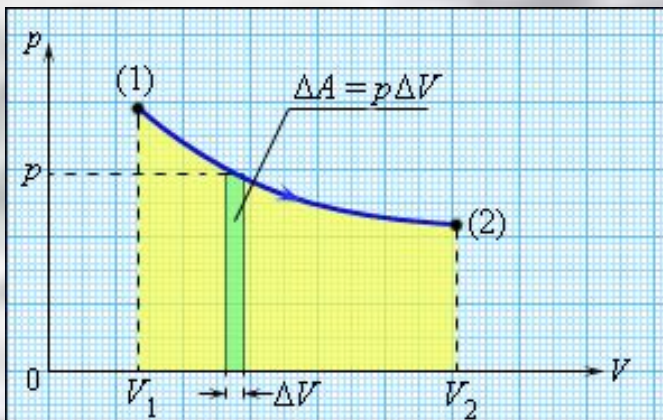
$$\begin{aligned} A' &= F' \cdot s \cdot \cos(\vec{F}, d) = \\ &= p \cdot s \cdot \Delta h = p \cdot \Delta V \end{aligned}$$

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

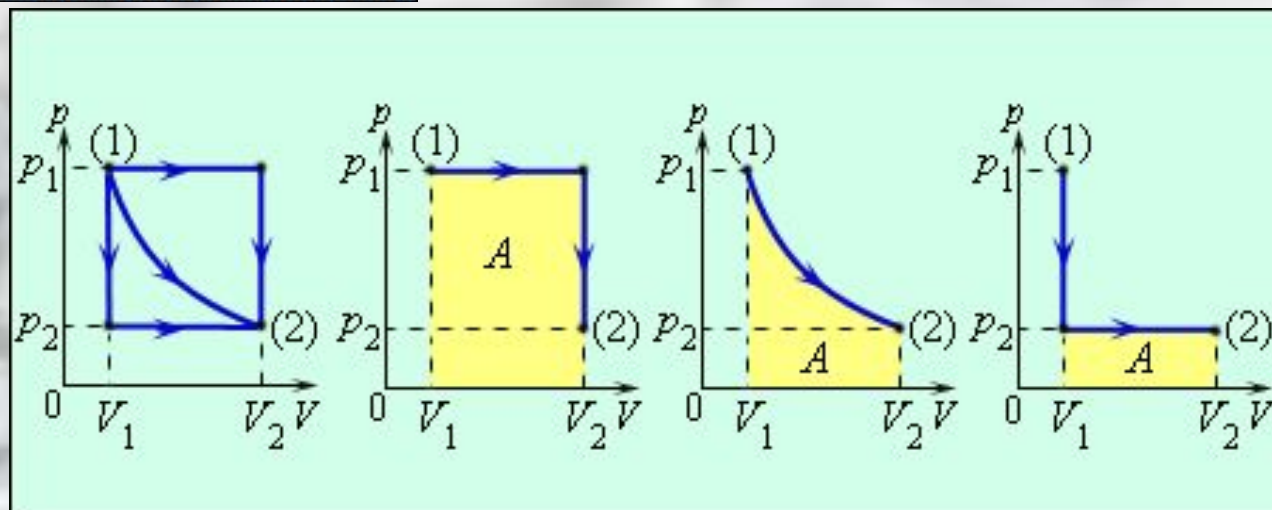
Работа внешних сил над газом:

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

# Геометрический смысл работы



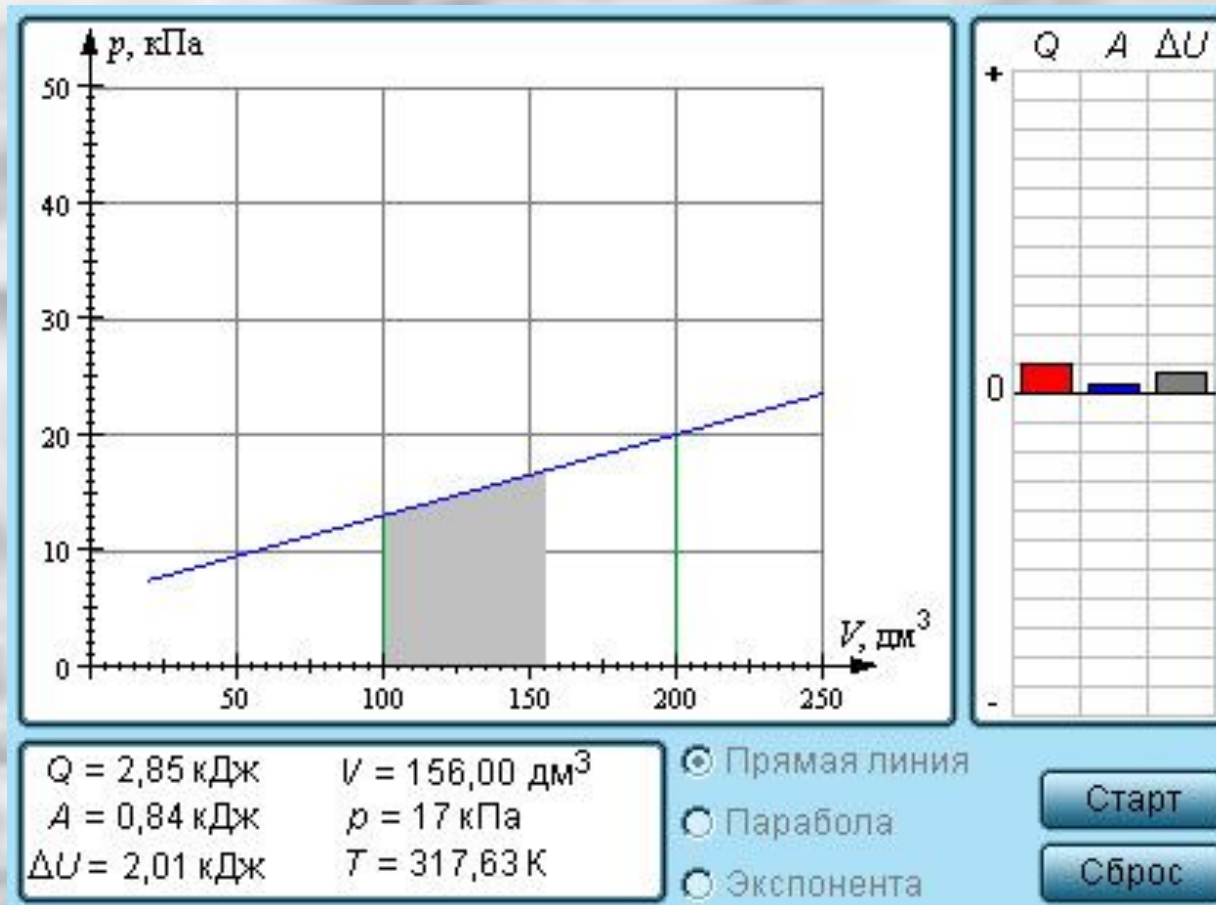
- Работа численно равна площади под графиком процесса на диаграмме ( $p, V$ ).



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



# Модель. Работа газа



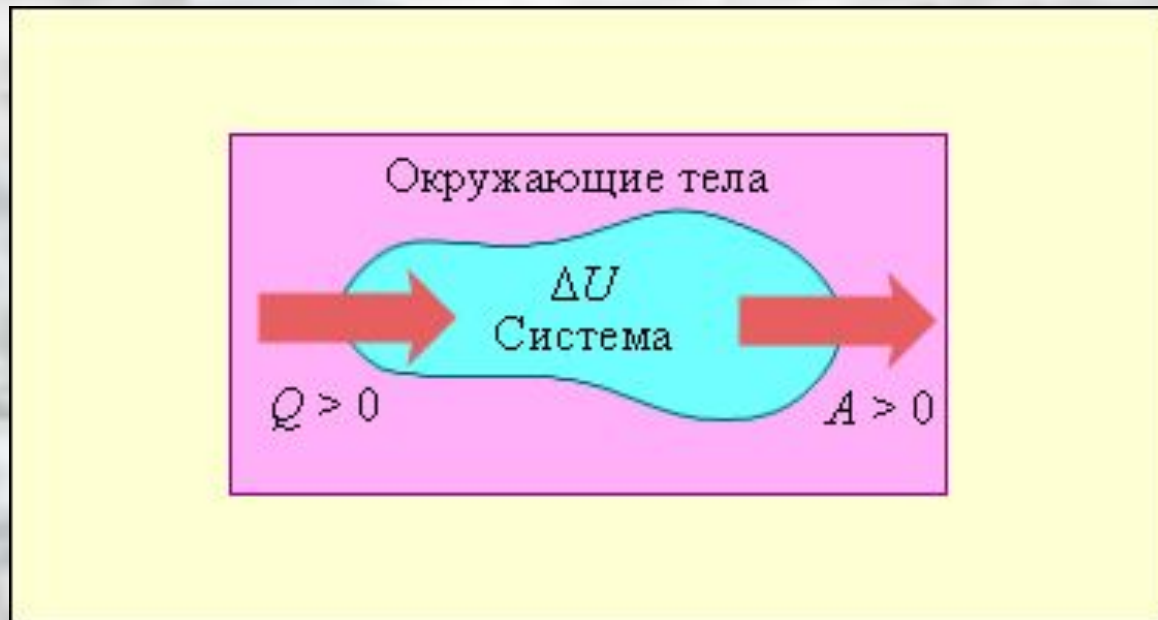
# Количество теплоты

- $Q = cm(t_2^0 - t_1^0)$  – 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:

$$\Delta U = Q + A$$

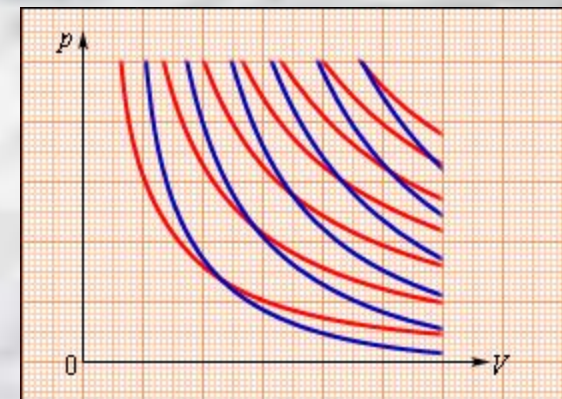
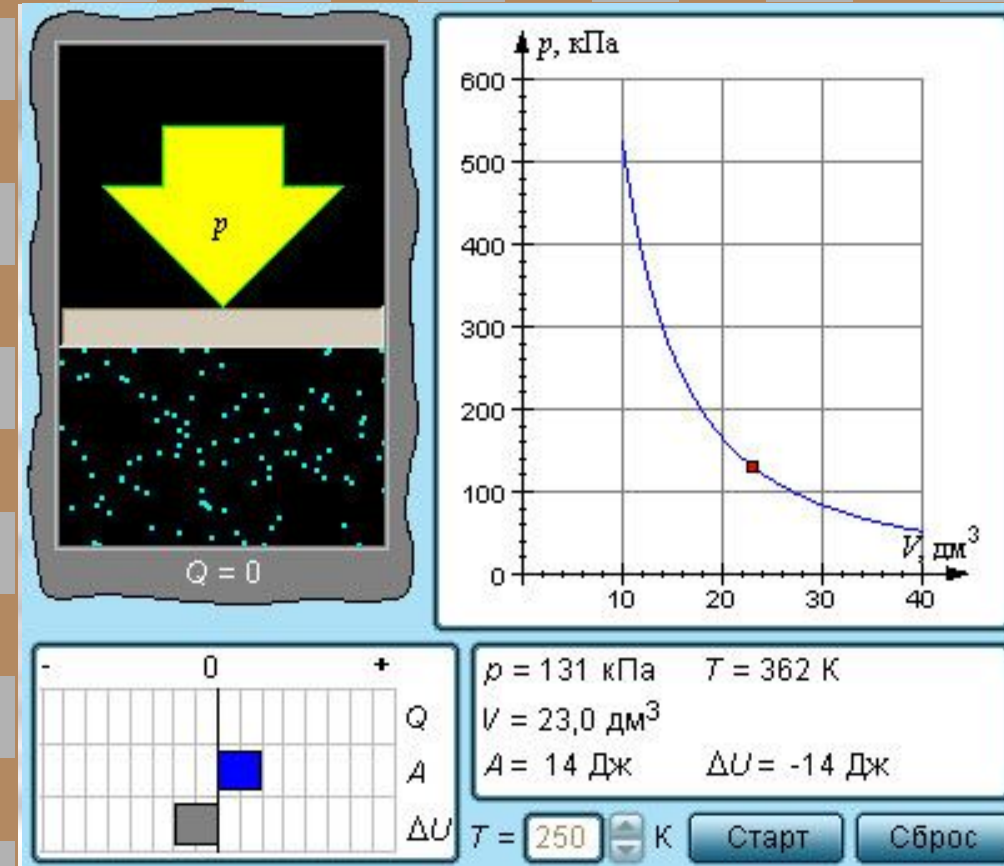
Если  $A$  - работа внешних сил, а  $A'$  - работа газа, то  $A = -A'$  (в соответствии с 3-м законом Ньютона).

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

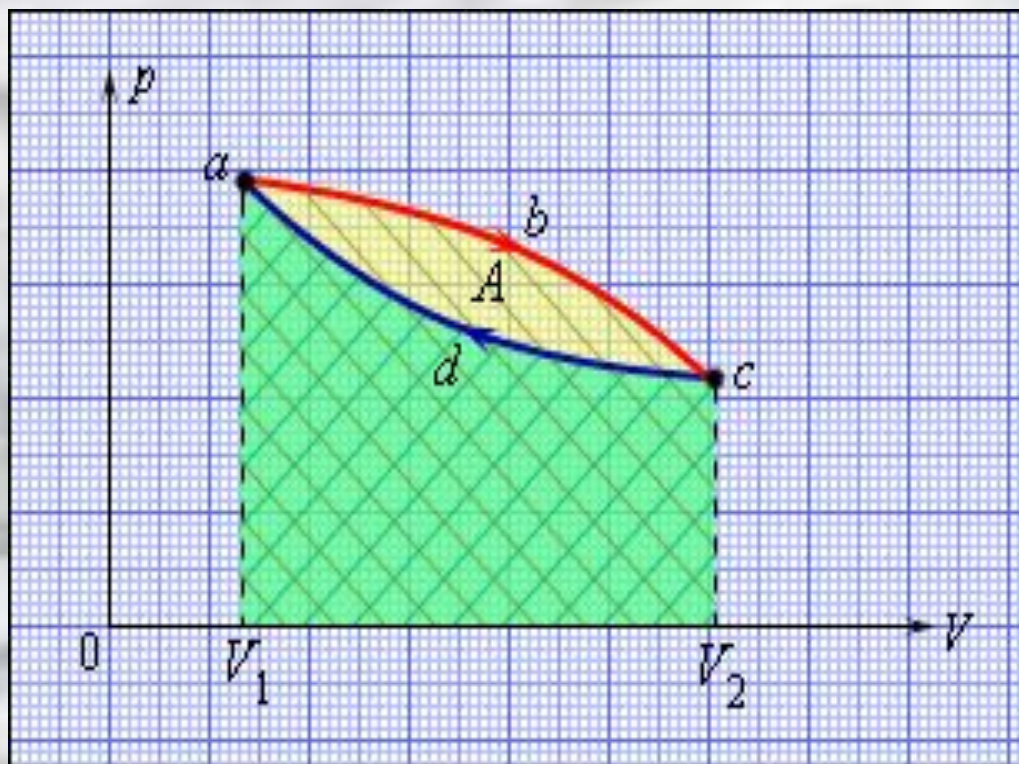
*Машины, преобразующие внутреннюю энергию в механическую работу, называют тепловыми двигателями*





# Термодинамический цикл

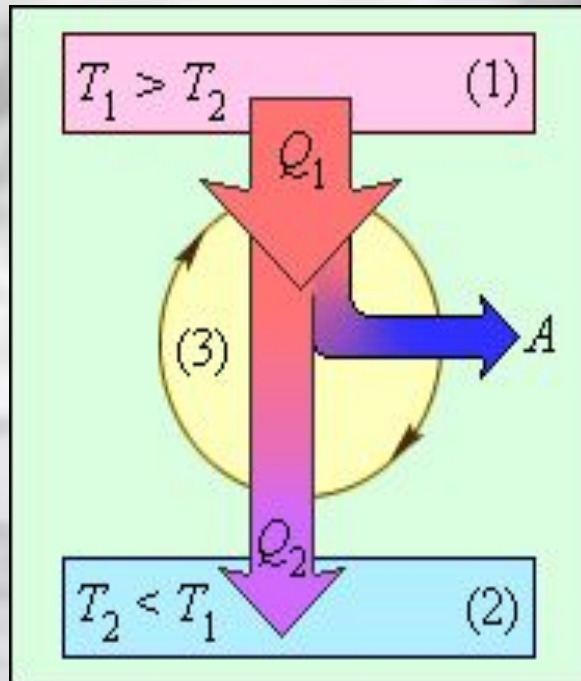
Круговой процесс на диаграмме ( $p$ ,  $V$ ).







# Тепловой двигатель



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

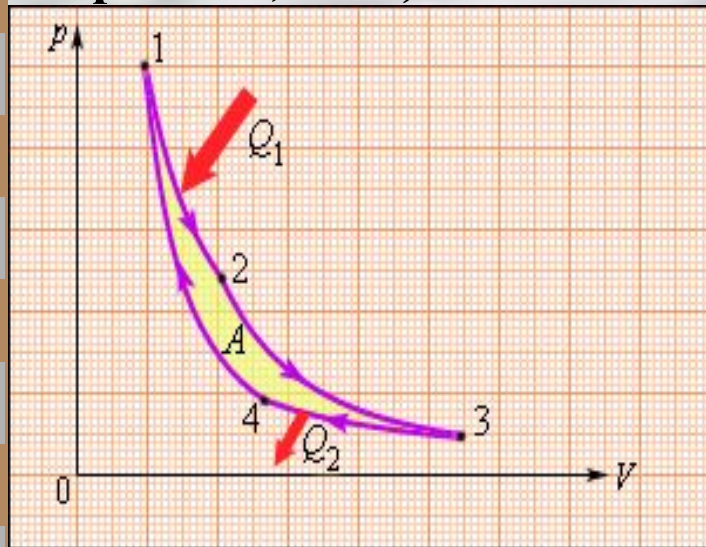
**КПД теплового двигателя**

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

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

# Идеальная тепловая машина

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



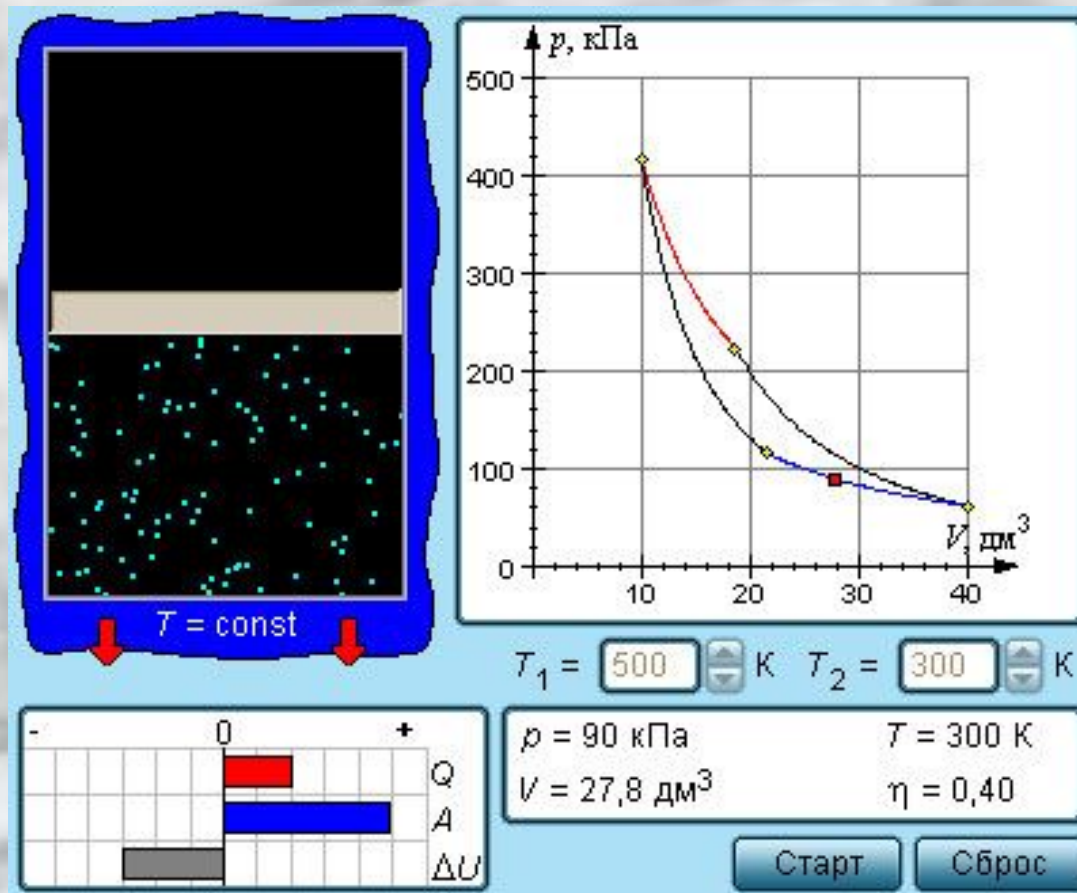
**Теорема Карно:** КПД реальной тепловой машины не может быть больше КПД идеальной машины, работающей в том же интервале температур.

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.

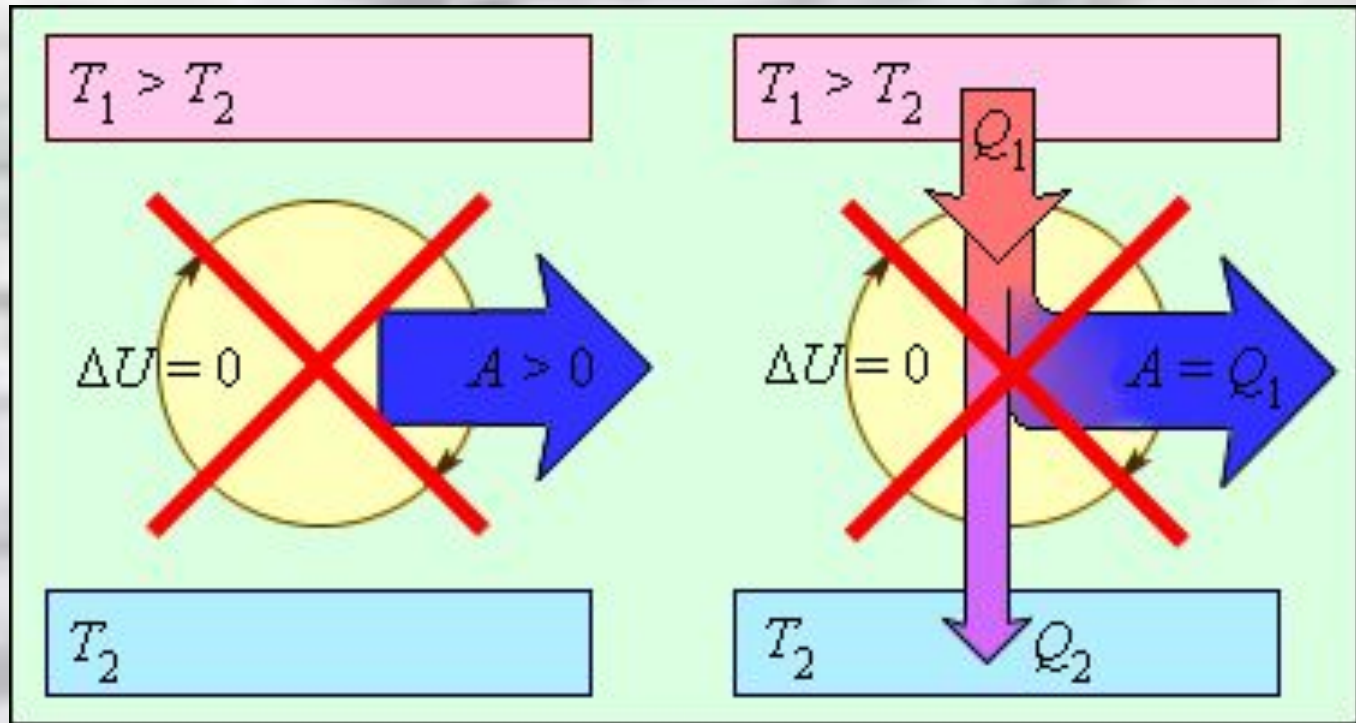
***Формулировка Р. Клаузиуса:*** невозможно перевести тепло от более холодной системы к более горячей при отсутствии одновременных изменений в обеих системах или окружающих телах.

***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.**



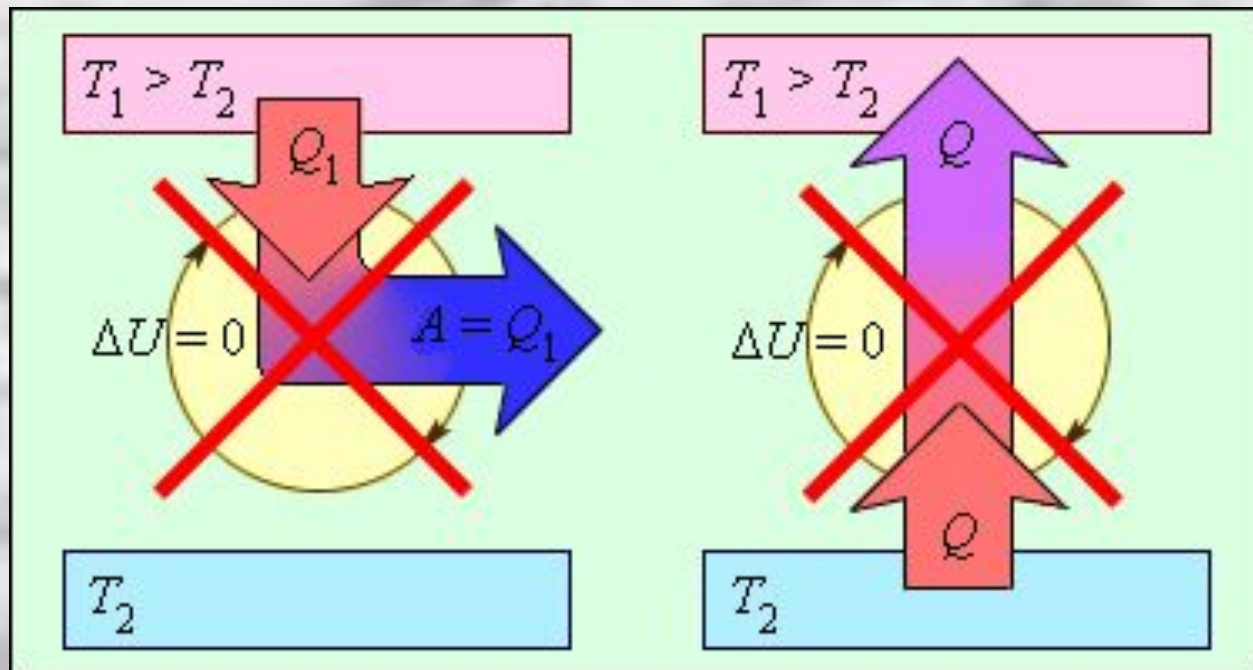
# Процессы, запрещаемые 1 законом термодинамики



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 теплomu (идеальная холодильная машина)