

Тепловые двигатели.  
Термодинамические циклы.  
Холодильная машина.

Подготовила  
учащаяся I курса  
политехнического лицея  
УВК г. Курахово  
Луцик Инна

Учитель Антикуз Елена Владимировна

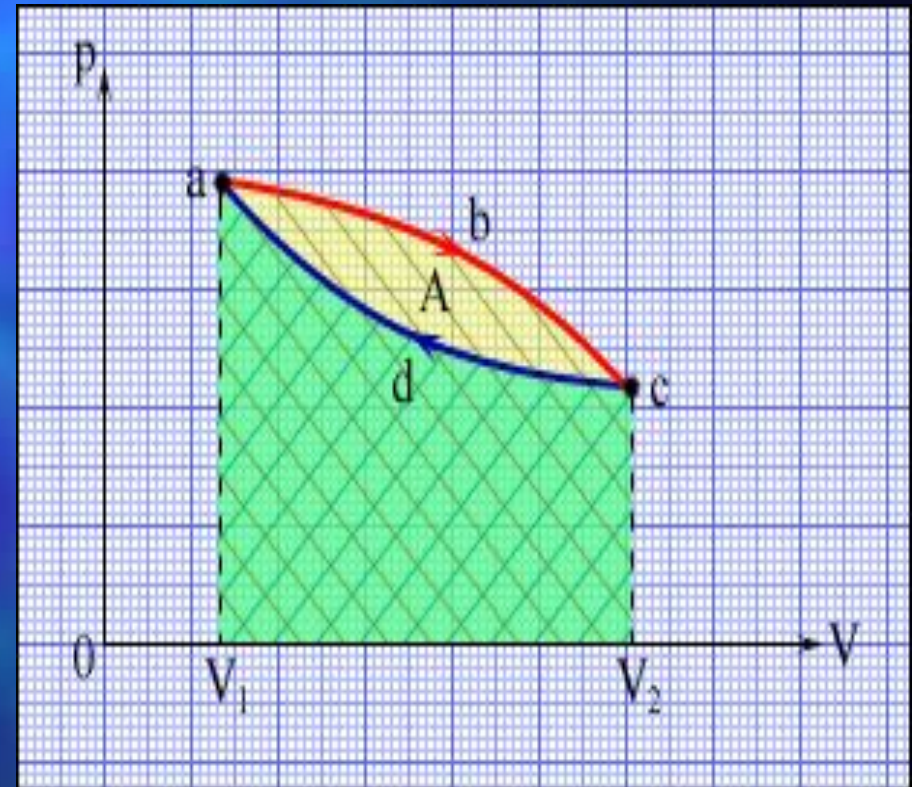
# Общее понятие теплового двигателя

- **Тепловым двигателем** называется устройство, способное превращать полученное количество теплоты в механическую работу.
- Механическая работа в тепловых двигателях производится в процессе расширения некоторого вещества, которое называется **рабочим телом**. В качестве рабочего тела обычно используются газообразные вещества (пары бензина, воздух, водяной пар). Рабочее тело получает (или отдает) тепловую энергию в процессе теплообмена с телами, имеющими большой запас внутренней энергии. Эти тела называются **тепловыми резервуарами**.
- Как следует из первого закона термодинамики, полученное газом количество теплоты  $Q$  полностью превращается в работу  $A$  при изотермическом процессе, при котором внутренняя энергия остается неизменной ( $\Delta U = 0$ ):

$$A = Q.$$

# Принцип действия

- Но такой **однократный акт** преобразования теплоты в работу не представляет интереса для техники. Реально существующие тепловые двигатели (паровые машины, двигатели внутреннего сгорания и т. д.) работают **циклически**
- Процесс теплопередачи и преобразования полученного количества теплоты в работу периодически повторяется. Для этого рабочее тело должно совершать **круговой процесс** или **термодинамический цикл**, при котором периодически восстанавливается исходное состояние.



# Свойства тепловых двигателей

- Общее свойство всех круговых процессов состоит в том, что их невозможно провести, приводя рабочее тело в тепловой контакт только с одним тепловым резервуаром. Их нужно, по крайней мере, два. Тепловым резервуаром с более высокой температурой называют **нагревателем**, а с более низкой – **холодильником**.
- Совершая круговой процесс, рабочее тело получает от нагревателя некоторое количество теплоты  $Q_1 > 0$  и отдает холодильнику количество теплоты  $Q_2 < 0$ . Полное количество теплоты  $Q$ , полученное рабочим телом за цикл, равно
$$Q = Q_1 + Q_2 = Q_1 - |Q_2|.$$

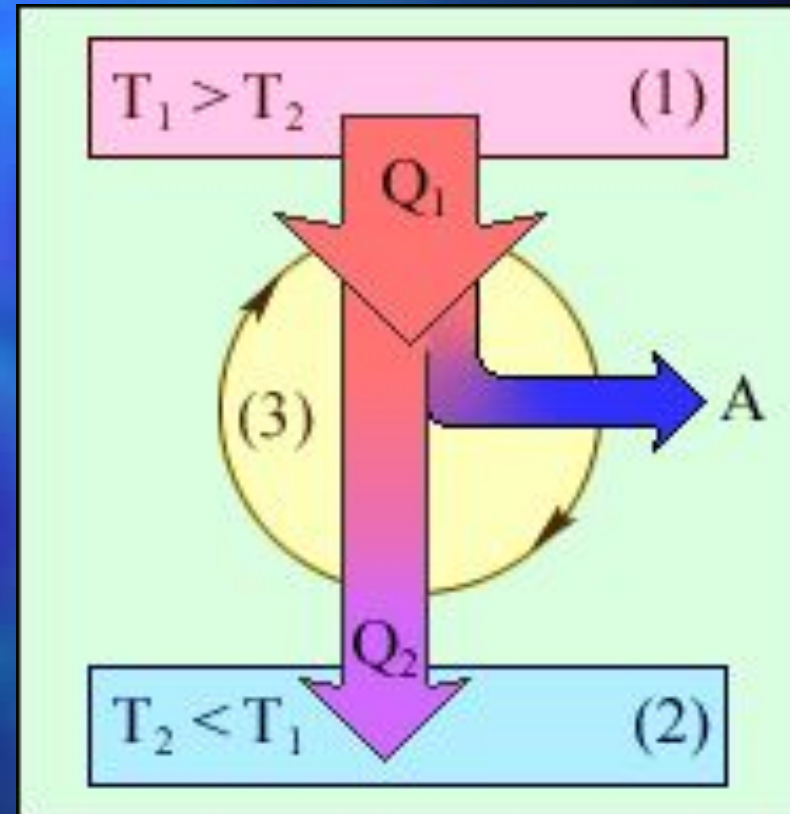
# Понятие КПД

- При обходе цикла рабочее тело возвращается в первоначальное состояние, следовательно, изменение его внутренней энергии равно нулю ( $\Delta U = 0$ ). Согласно первому закону термодинамики,  
 $\Delta U = Q - A = 0$ .
- Отсюда следует:  
 $A = Q = Q_1 - |Q_2|$ .
- Работа  $A$ , совершаемая рабочим телом за цикл, равна полученному за цикл количеству теплоты  $Q$ . Отношение работы  $A$  к количеству теплоты  $Q_1$ , полученному рабочим телом за цикл от нагревателя, называется **коэффициентом полезного действия**  $\eta$  тепловой машины:

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

# Схема тепловой машины

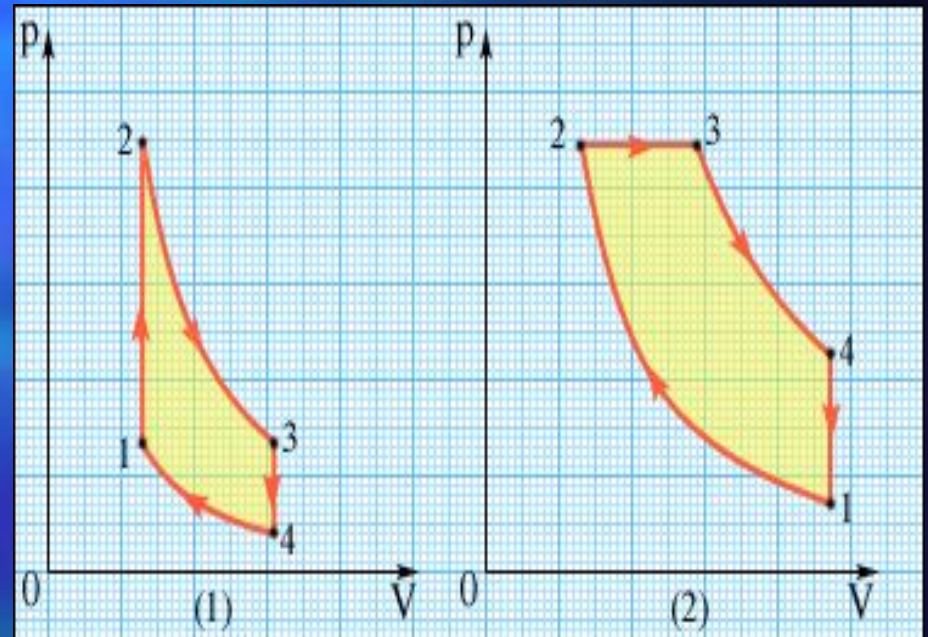
- Коэффициент полезного действия указывает, какая часть тепловой энергии, полученной рабочим телом от «горячего» теплового резервуара, превратилась в полезную работу. Остальная часть  $(1 - \eta)$  была «бесполезно» передана холодильнику. Коэффициент полезного действия тепловой машины всегда меньше единицы ( $\eta < 1$ ). Энергетическая схема тепловой машины изображена на рис.



- Энергетическая схема тепловой машины: 1 – нагреватель;
- 2 – холодильник;
- 3 – рабочее тело, совершающее круговой процесс.  $Q_1 > 0$ ,  $A > 0$ ,  $Q_2 < 0$ ;  $T_1 > T_2$ .

# Примеры двигателей

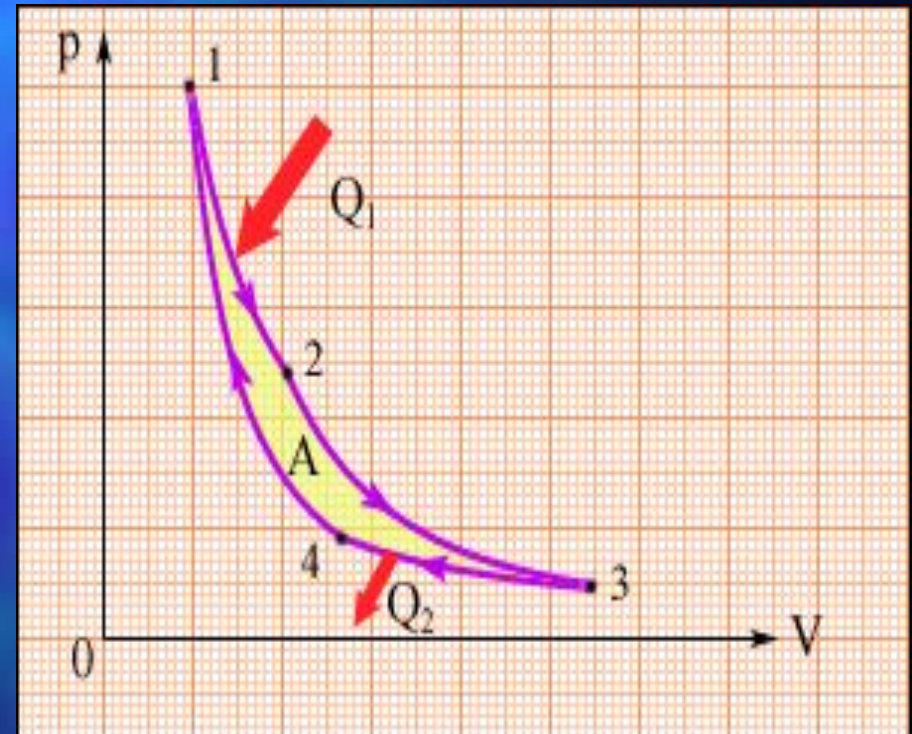
- В применяемых в технике двигателях используются различные круговые процессы. На рис. изображены циклы, используемые в бензиновом карбюраторном двигателе и в дизельном двигателе. В обоих случаях рабочим телом является смесь паров бензина или дизельного топлива с воздухом.
- Реальный коэффициент полезного действия у карбюраторного двигателя порядка 30%, у дизельного двигателя – порядка 40 %.



Циклы карбюраторного двигателя внутреннего сгорания (1) и дизельного двигателя (2).

# Цикл Карно

- В 1824 году французский инженер С. Карно рассмотрел круговой процесс, состоящий из двух изотерм и двух адиабат. Этот круговой процесс сыграл важную роль в развитии учения о тепловых процессах. Он называется **циклом Карно**.
- На диаграмме ( $p, V$ ) работа равна площади цикла.





# Принцип действия

- Цикл Карно совершает газ, находящийся в цилиндре под поршнем. На изотермическом участке (1–2) газ приводится в тепловой контакт с горячим тепловым резервуаром (нагревателем), имеющим температуру  $T_1$ . Газ изотермически расширяется, совершая работу  $A_{12}$ , при этом к газу подводится некоторое количество теплоты  $Q_1 = A_{12}$ . Далее на адиабатическом участке (2–3) газ помещается в адиабатическую оболочку и продолжает расширяться в отсутствие теплообмена. На этом участке газ совершает работу  $A_{23} > 0$ . Температура газа при адиабатическом расширении падает до значения  $T_2$ . На следующем изотермическом участке (3–4) газ приводится в тепловой контакт с холодным тепловым резервуаром (холодильником) при температуре  $T_2 < T_1$ . Происходит процесс изотермического сжатия. Газ совершает работу  $A_{34} < 0$  и отдает тепло  $Q_2 < 0$ , равное произведенной работе  $A_{34}$ . Внутренняя энергия газа не изменяется. Наконец, на последнем участке адиабатического сжатия газ вновь помещается в адиабатическую оболочку. При сжатии температура газа повышается до значения  $T_1$ , газ совершает работу  $A_{41} < 0$ . Полная работа  $A$ , совершаемая газом за цикл, равна сумме работ на отдельных участках:

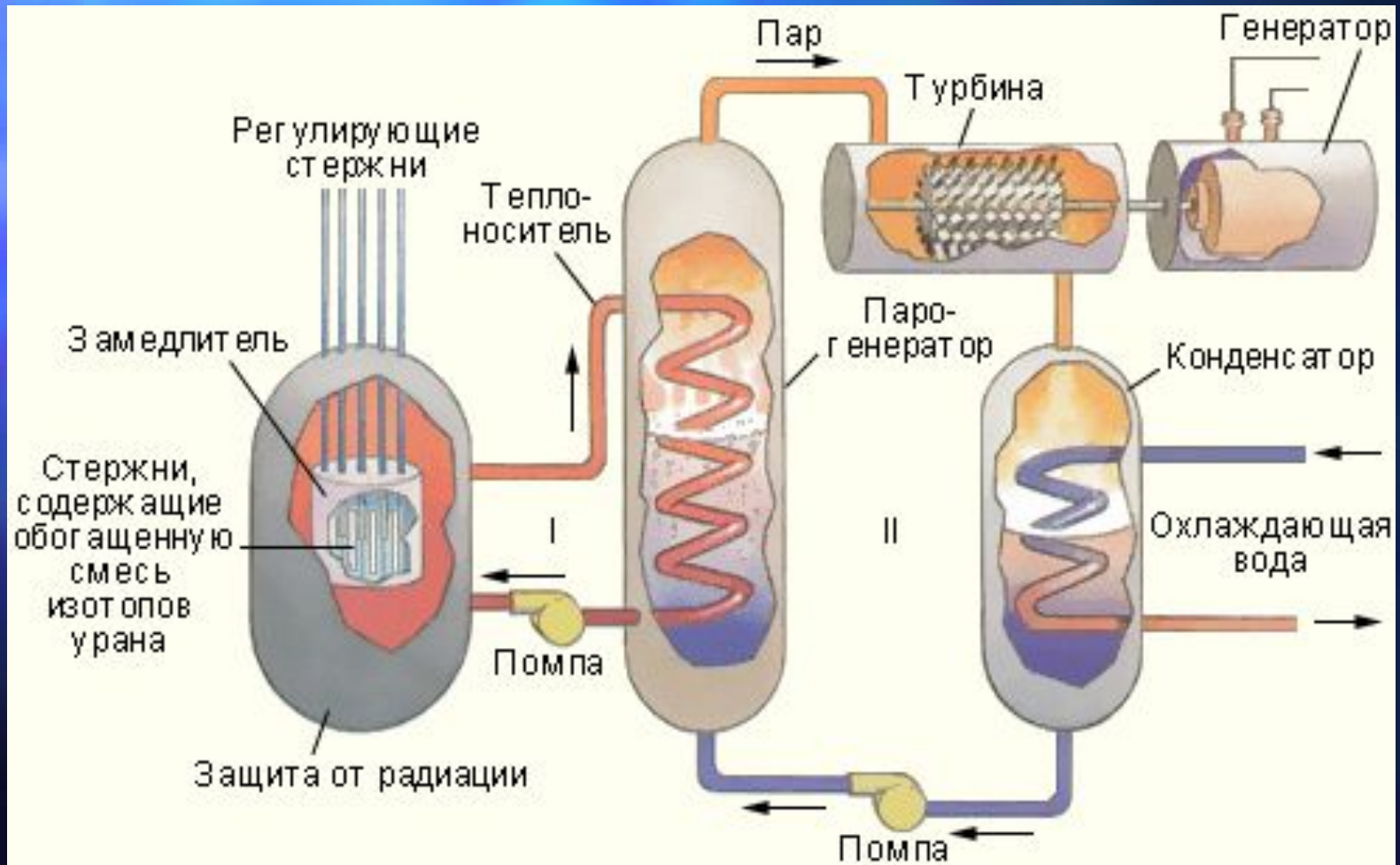
$$A = A_{12} + A_{23} + A_{34} + A_{41}.$$

# Цикл Карно

- С. Карно выразил **коэффициент полезного действия цикла** через температуры нагревателя  $T_1$  и холодильника  $T_2$ :  
$$\text{КПД} = \frac{T_1 - T_2}{T_1}$$
- Цикл Карно замечателен тем, что на всех его участках отсутствует соприкосновение тел с различными температурами. Любое состояние рабочего тела (газа) на цикле является **квазиравновесным**, т. е. бесконечно близким к состоянию теплового равновесия с окружающими телами (тепловыми резервуарами или **термостатами**). Цикл Карно исключает теплообмен при конечной разности температур рабочего тела и окружающей среды (термостатов), когда тепло может передаваться без совершения работы. Поэтому цикл Карно – наиболее эффективный круговой процесс из всех возможных при заданных температурах нагревателя и холодильника:

$$\eta_{\text{Карно}} = \eta_{\text{max}}.$$

# Реактивный двигатель



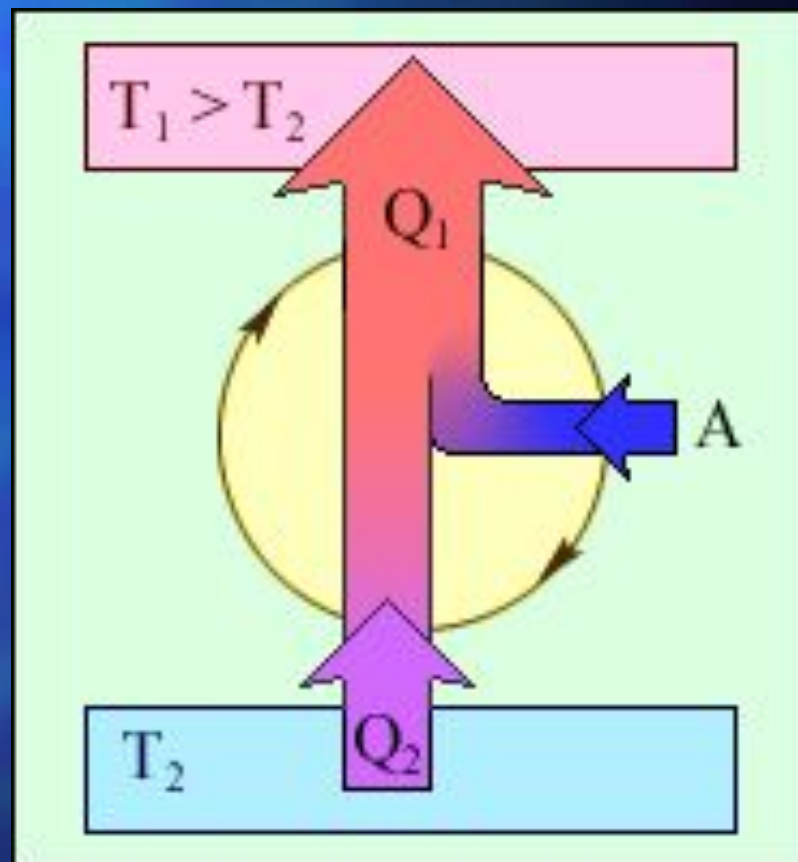
# АЭС

- Турбина атомной электростанции является тепловой машиной, определяющей в соответствии со вторым законом термодинамики общую эффективность станции. У современных атомных электростанций коэффициент полезного действия приблизительно равен  $1/3$ . Следовательно, для производства 1000 МВт электрической мощности тепловая мощность реактора должна достигать 3000 МВт. 2000 МВт должны уноситься водой, охлаждающей конденсатор. Это приводит к локальному перегреву естественных водоемов и последующему возникновению экологических проблем.

# Холодильная машина

Любой участок цикла Карно и весь цикл в целом может быть пройден в обоих направлениях. Обход цикла по часовой стрелке соответствует тепловому двигателю, когда полученное рабочим телом тепло частично превращается в полезную работу. Обход против часовой стрелки соответствует **холодильной машине**, когда некоторое количество теплоты отбирается от холодного резервуара и передается горячему резервуару **за счет совершения внешней работы**. Поэтому идеальное устройство, работающее по циклу Карно, называют **обратимой тепловой машиной**.

В реальных холодильных машинах используются различные циклические процессы. Все холодильные циклы на диаграмме ( $p, V$ ) обходятся против часовой стрелки.



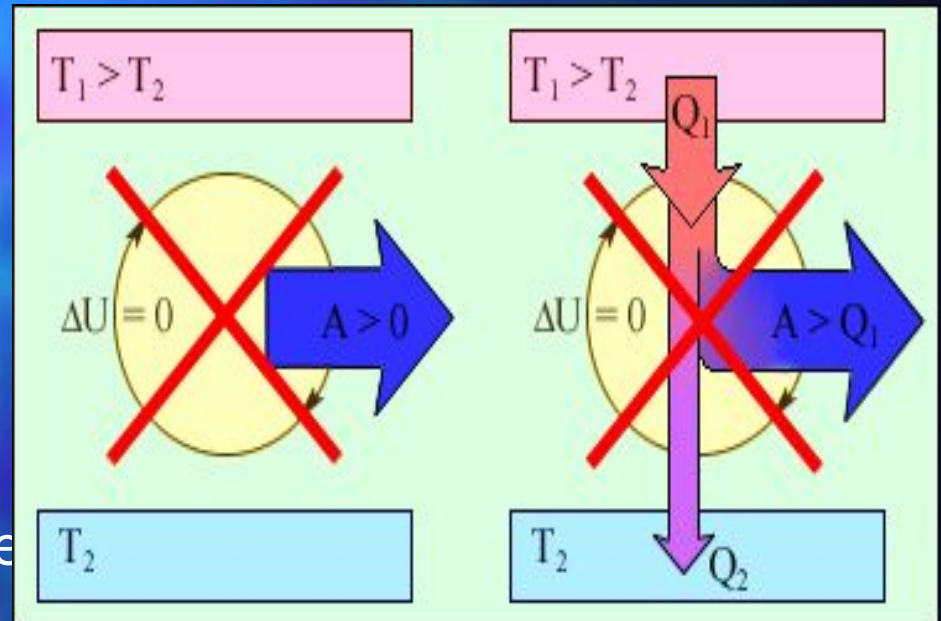
Энергетическая схема холодильной машины.  $Q_1 < 0$ ,  
 $A < 0$ ,  $Q_2 > 0$ ,  $T_1 > T_2$ .

# Тепловой насос

- Если полезным эффектом является передача некоторого количества тепла  $|Q_1|$  нагреваемым телам (например, воздуху в помещении), то такое устройство называется **тепловым насосом**. Эффективность  $\beta_T$  теплового насоса может быть определена как отношение  $\beta_T = |Q_1| / |A|$ ,
- т. е. количеством теплоты, передаваемым более теплым телам на 1 джоуль затраченной работы. Из первого закона термодинамики следует:  
 $|Q_1| > |A|$ ,
- следовательно,  $\beta_T$  всегда больше единицы.

# Необратимость процессов

- Согласно первому закону, энергия не может быть создана или уничтожена; она передается от одной системы к другой и превращается из одной формы в другую. Процессы, нарушающие первый закон термодинамики, никогда не наблюдались. На рис. изображены устройства, запрещенные первым 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  $\eta > 1$ .

# Законы тепловой машины

- В циклически действующей тепловой машине невозможен процесс, единственным результатом которого было бы преобразование в механическую работу всего количества теплоты, полученного от единственного теплового резервуара.
- Невозможен процесс, единственным результатом которого была бы передача энергии путем теплообмена от тела с низкой температурой к телу с более высокой температурой.



# Теорема Карно

- Общим свойством всех необратимых процессов является то, что они протекают в термодинамически неравновесной системе и в результате этих процессов **замкнутая система приближается к состоянию термодинамического равновесия**
- На основании любой из формулировок второго закона термодинамики могут быть доказаны следующие утверждения, которые называются **теоремами Карно**:
  1. Коэффициент полезного действия тепловой машины, работающей при данных значениях температур нагревателя и холодильника, не может быть больше, чем коэффициент полезного действия машины, работающей по обратимому циклу Карно при тех же значениях температур нагревателя и холодильника.
  2. Коэффициент полезного действия тепловой машины, работающей по циклу Карно, не зависит от рода рабочего тела, а только от температур нагревателя и холодильника.

# Гипотезы...

- Гипотетическую тепловую машину, в которой мог бы происходить такой процесс, называют «**вечным двигателем второго рода**». В земных условиях такая машина могла бы отбирать тепловую энергию, например, у Мирового океана и полностью превращать ее в работу. Масса воды в Мировом океане составляет примерно  $10^{21}$  кг, и при ее охлаждении на один градус выделилось бы огромное количество энергии ( $\approx 10^{24}$  Дж), эквивалентное полному сжиганию  $10^{17}$  кг угля. Ежегодно вырабатываемая на Земле энергия приблизительно в  $10^4$  раз меньше. Поэтому «вечный двигатель второго рода» был бы для человечества не менее привлекателен, чем «вечный двигатель первого рода», запрещенный первым законом термодинамики.

# Использование реактивных двигателей



Ракета



АЭС

# Примеры ДВС

