

**ВТОРОЕ НАЧАЛО**

**ТЕРМОДИНАМИКИ**

# НЕОБРАТИМОСТЬ ТЕПЛОВЫХ ПРОЦЕССОВ

ЗАКОН СОХРАНЕНИЯ ЭНЕРГИИ УТВЕРЖДАЕТ, ЧТО КОЛИЧЕСТВО ЭНЕРГИИ ПРИ ЛЮБЫХ ЕЕ ПРЕВРАЩЕНИЯХ ОСТАЕТСЯ НЕИЗМЕННЫМ.

**НО!** ЗАКОН СОХРАНЕНИЯ ЭНЕРГИИ НИЧЕГО НЕ ГОВОРИТ О ТОМ, КАКИЕ ПРЕВРАЩЕНИЯ ВОЗМОЖНЫ.

*Заметьте, многие процессы, которые возможны с точки зрения закона сохранения энергии, никогда не протекают в действительности.*

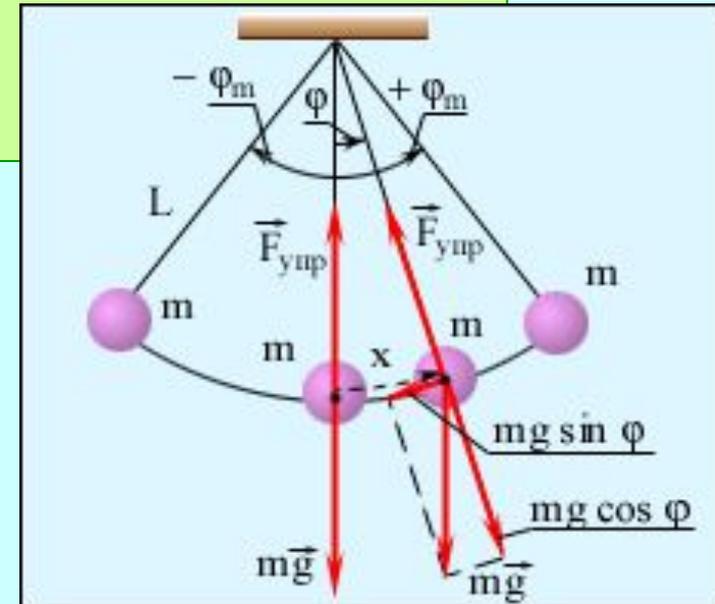
## Примеры:

### ▶ Нагретые тела остывают

Энергетически допустим процесс передачи теплоты от холодного тела к горячему.

### ▶ Колебания маятника

Энергетически допустимо: увеличение амплитуды колебаний маятника за счет охлаждения самого маятника и окружающей среды.



**НЕОБРАТИМЫМ** называется процесс, обратный которому может протекать только как одно из звеньев более сложного процесса.

Увеличение амплитуды маятника в результате более сложного процесса, включающего толчок рукой

Передача тепла от холодного тела к горячему используя холодильную установку, потребляющую энергию.

## ИЛЛЮСТРАЦИЯ НЕОБРАТИМОСТИ ЯВЛЕНИЙ В ПРИРОДЕ

Соединение лежащих на полу осколков  
и восстановление вазы

ПРОЦЕСС ВОССТАНОВЛЕНИЯ ВАЗЫ ИЗ ОСКОЛКОВ  
НЕ ПРОТИВОРЕЧИТ ЗАКОНАМ СОХРАНЕНИЯ  
ЭНЕРГИИ, ЗАКОНАМ МЕХАНИКИ, НИ ВООБЩЕ КАКИМ  
ЛИБО ЗАКОНАМ, **КРОМЕ**

# ВТОРОЙ ЗАКОН ТЕРМОДИНАМИКИ

Указывает направление возможных энергетических превращений, выражая необратимость процессов в природе

Установлен путем обобщения опытных фактов

## ФОРМУЛИРОВКА КЛАУЗИУСА

**Невозможен процесс, единственным результатом которого была бы передача энергии путем теплообмена от тела с низкой температурой к телу с более высокой температурой.**



## ФОРМУЛИРОВКА КЕЛЬВИНА 1851 г

**В циклически действующей тепловой машине невозможен процесс, единственным результатом которого было бы преобразование в механическую работу всего количества теплоты, полученного от единственного теплового резервуара.**



**Самопроизвольные  
процессы в изолированной  
системе всегда происходят  
направлении перехода от  
маловероятного состояния  
в более вероятное**



**КЛАУЗИУС** (Clausius) **Рудольф Юлиус Эмануэль** ( 1822 - 1888), немецкий физик, один из основателей термодинамики и молекулярно-кинетической теории теплоты. Окончил в Берлинский университет. Первым понял и проанализировал идеи С. Карно и оценил их значение для теории теплоты и тепловых машин. Развивая эти идеи, Клаузиус в 1850 (одновременно с У. Кельвином) дал первую формулировку второго начала термодинамики, в которой содержалось утверждение о необратимости процесса передачи теплоты: "Теплота не может сама собою перейти от более холодного тела к более тёплому". Ввёл понятие энтропии, длины свободного пробега молекул. Количественно объяснил явления в газах, как внутреннее трение, теплопроводность и диффузия.



Иностраный член Лондонского королевского общества (1868), член-корреспондент Парижской АН (1865).

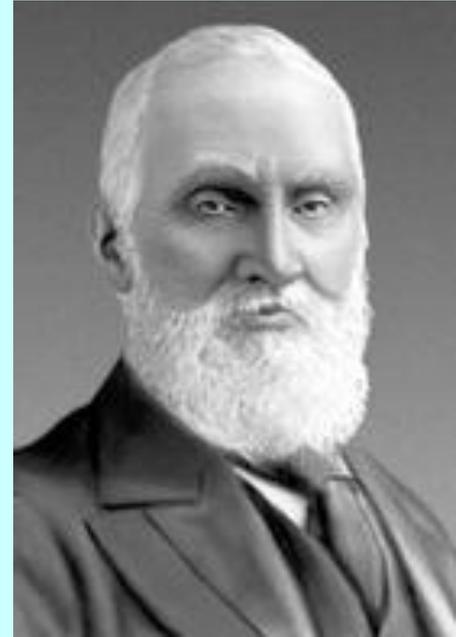




## **ТОМСОН** Уильям (1824-1907)

(с 1892 за научные заслуги получил титул лорда **КЕЛЬВИНа** - Kelvin) английский физик, один из основоположников термодинамики президент Лондонского королевского общества, иностранный член-корреспондент (1877) и иностранный почетный член (1896) Петербургской АН. Труды по многим разделам физики (термодинамика, теория электрических и магнитных явлений и др.).

Ввел абсолютную шкалу температур (шкала Кельвина), дал одну из формулировок второго начала термодинамики, Активный участник осуществления телеграфной связи по трансатлантическому кабелю, установил зависимость периода колебаний контура от его емкости и индуктивности. Изобрел многие электроизмерительные приборы, усовершенствовал ряд мореходных инструментов.



На основании любой из формулировок второго закона термодинамики могут быть доказаны следующие утверждения, которые называются **теоремами Карно**:

- ▶ 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.
- ▶ Коэффициент полезного действия тепловой машины, работающей по циклу Карно, не зависит от рода рабочего тела, а только от температур нагревателя и холодильника.

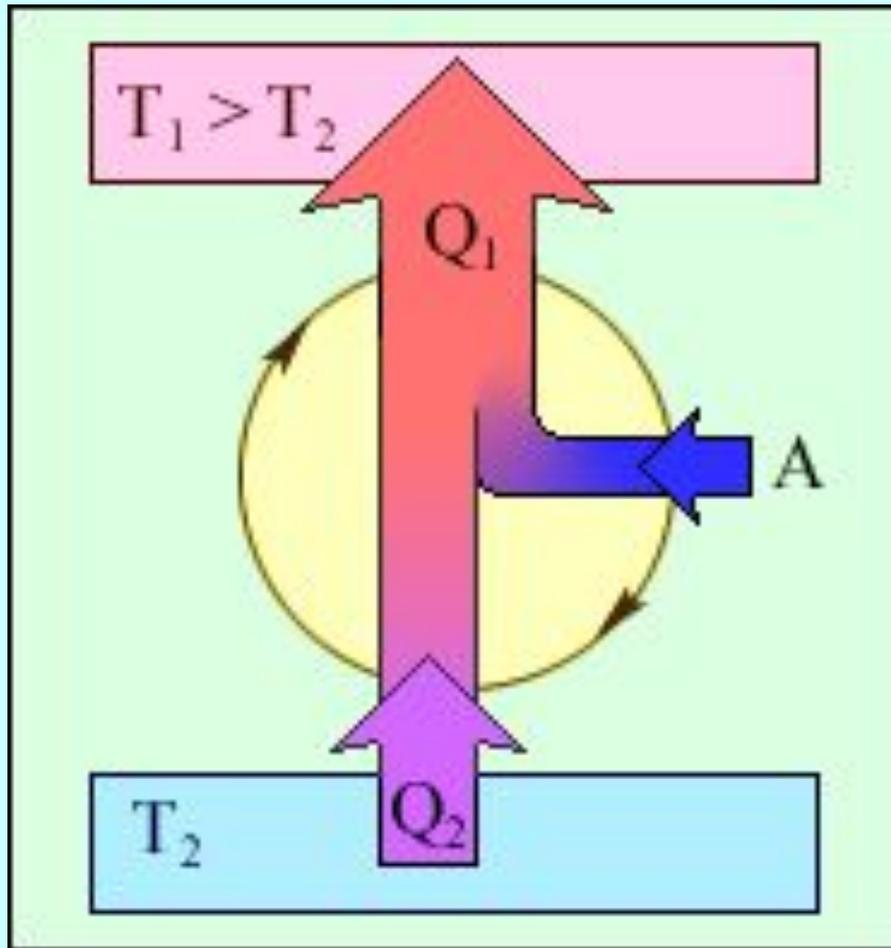
$$\eta = 1 - \frac{Q_2}{Q_1} \leq \eta_{\max} = \eta_{\text{Карно}} = 1 - \frac{T_2}{T_1}.$$

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**.



Работа  $A$  совершается при приведении машины в действие. Количество теплоты  $Q_1$  передается рабочим телом нагревателю более высокой температуры, а количество теплоты  $Q_2$  поступает от рабочего тела к холодильнику.

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

**внимание** **холодильника**

← уменьшению

к величине теплоты

Теплота передается от

Если полезным эффектом является отбор некоторого количества тепла  $|Q_2|$  от охлаждаемых тел (например, от продуктов в камере холодильника), то такое устройство является ***обычным холодильником***.

Эффективность работы холодильника  $\beta_x$  можно охарактеризовать отношением

$$\beta_x = \frac{|Q_2|}{|A|},$$

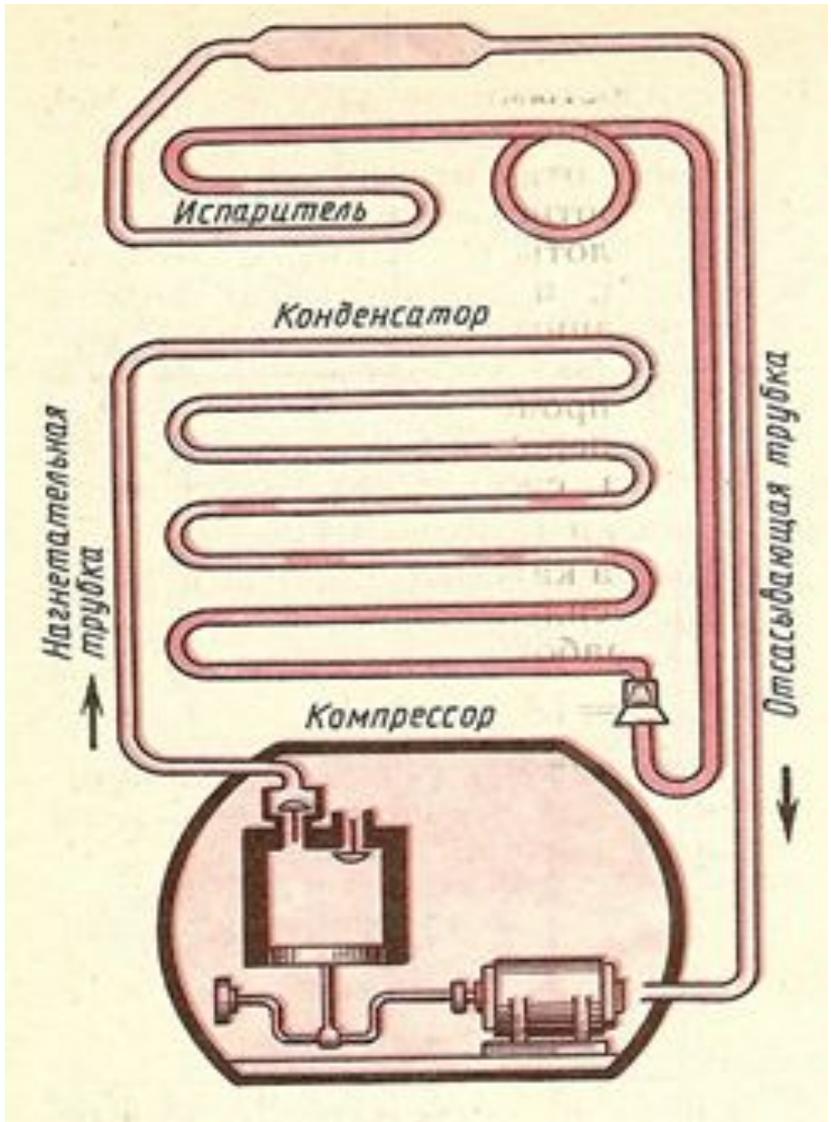
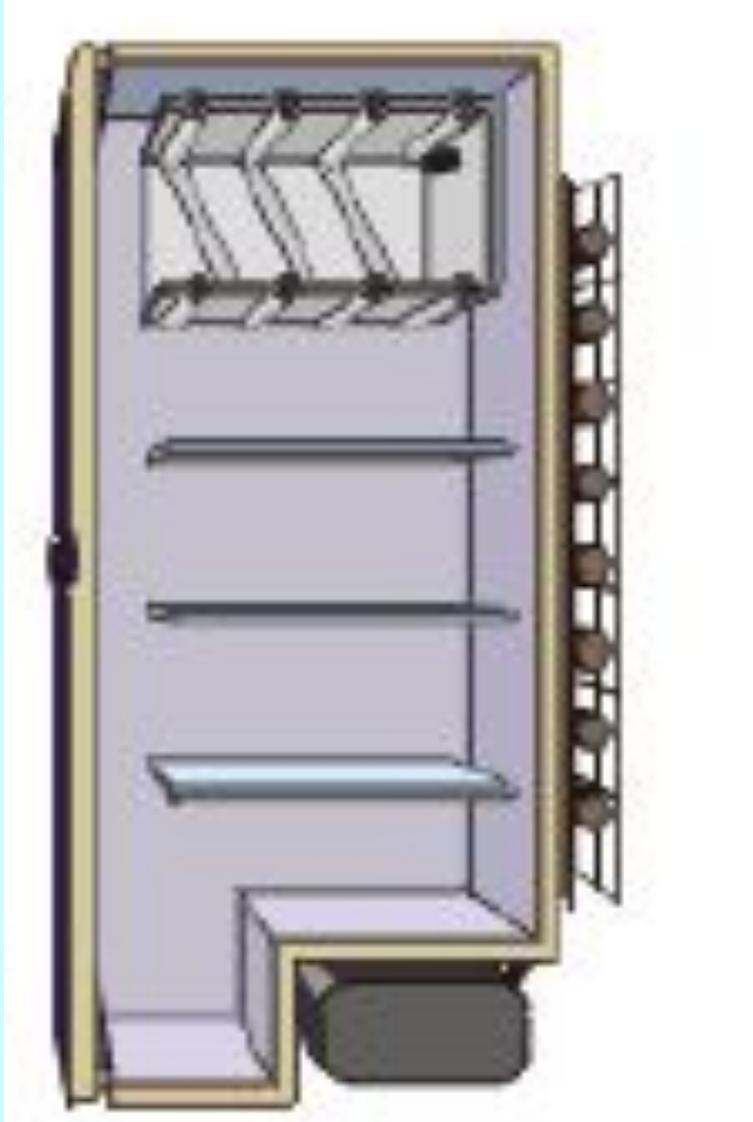
Эффективность работы холодильника – это количество тепла, отбираемого от охлаждаемых тел на 1 джоуль затраченной работы.

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

$$\beta_T = \frac{|Q_1|}{|A|},$$

Эффективность работы теплового насоса – это количеством теплоты, передаваемое более теплым телам на 1 джоуль затраченной работы.



*Радиатор* – черная решетка позади холодильника, *испаритель* – морозильная камера внутри него и *компрессор* – насос с электродвигателем. Радиатор и испаритель сделаны из металлической трубки, заполненной легко сжижающимся газом – *хладоном*.

«Науку все глубже постигнуть стремись,  
Познанием вечного жаждой тьянись.  
Лишь первых познаний блеснет тебе  
Свет,  
Узнаешь: предела для знания нет.»  
Фирдоуси  
( Персидский и таджикский поэт 940–1030 г.г )