

# I закон термодинамики

# *Закон сохранения энергии*

Энергия в природе не возникает из ничего и не исчезает: количество энергии неизменно, она только переходит из одной формы в другую.

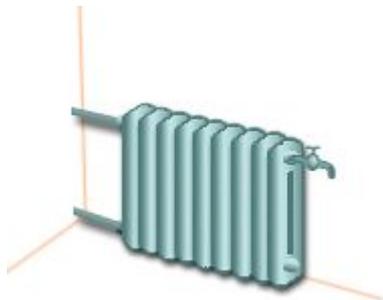
# Способы изменения внутренней энергии

## Теплопередача

Теплопроводность



Конвекция



Излучение

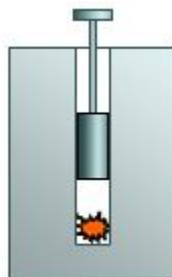


## Механическая работа (деформация)

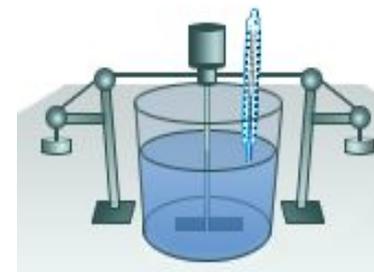
Изменение формы:  
сгибание подковы



Изменение объема:  
вспыхивание ваты при  
сжатии воздуха



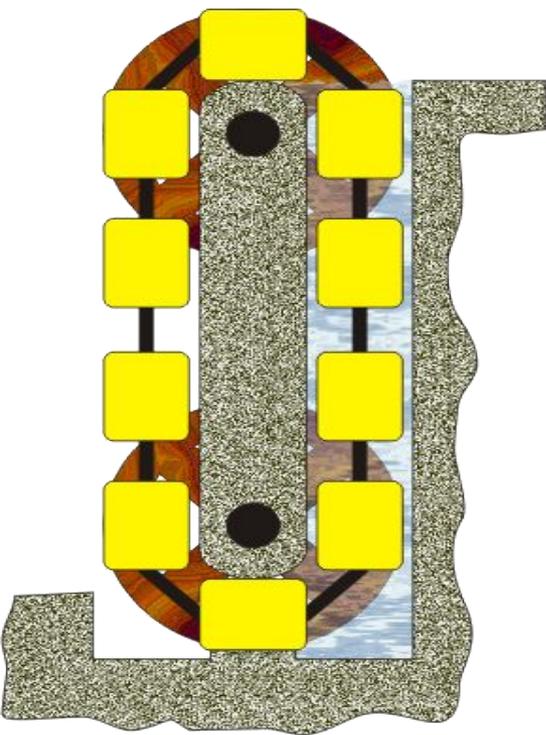
Трение: опыт Джоуля



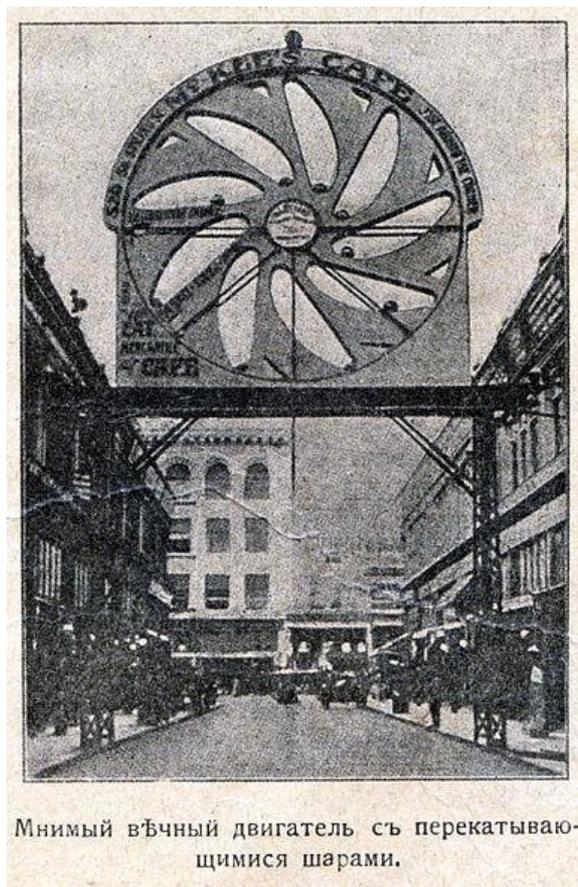
# **Первое начало термодинамики**



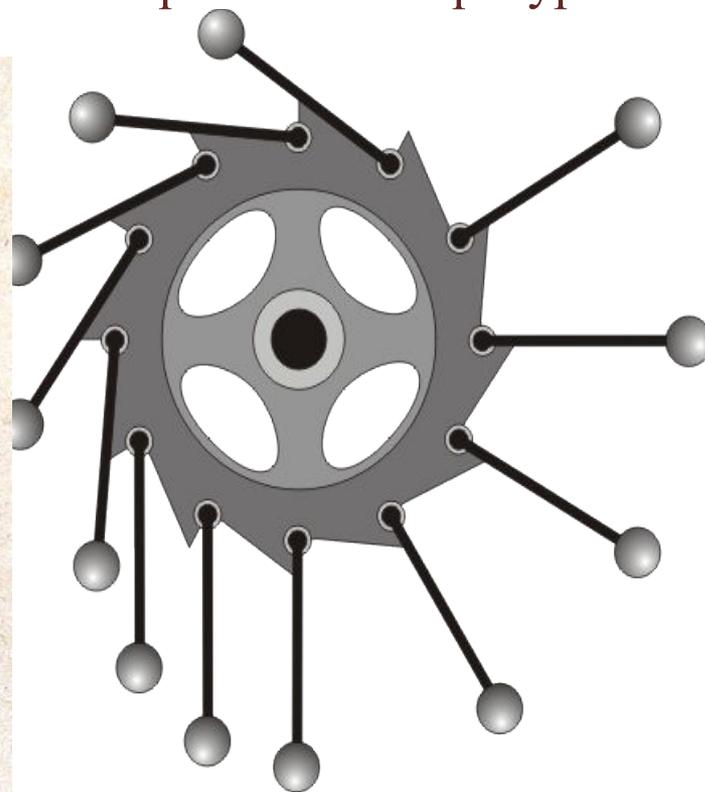
**Вечный двигатель** - воображаемое устройство, способное бесконечно совершать работу без затрат топлива или других энергетических ресурсов



Конструкция вечного двигателя, основанного на законе Архимеда



Мнимый вѣчный двигатель съ перекатывающимися шарами.



Одна из древнейших конструкций вечного двигателя



Проблема:

**Почему невозможно создать  
вечный двигатель?**



**Проблема:** Почему невозможно создать вечный двигатель?

**Ключевые понятия:**

- Внутренняя энергия системы
- Способы изменения внутренней энергии
- Работа системы
- Количество теплоты



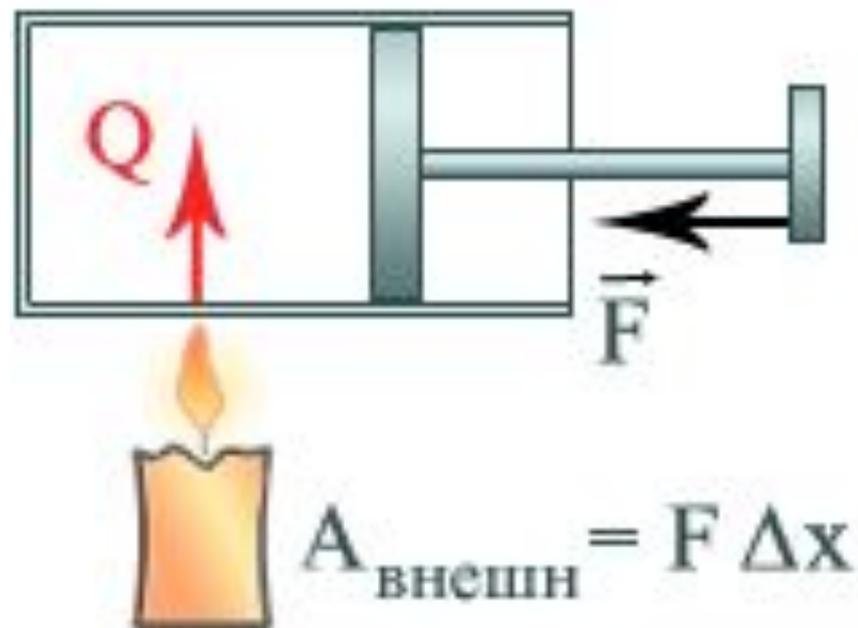
**Учебная задача:** установить связь между энергетическими характеристиками термодинамической системы - внутренней энергией, работой газа и количеством теплоты

**Первый закон термодинамики**

# I закон термодинамики

внутренняя энергия определяется только состоянием системы, причем изменение внутренней энергии системы при переходе ее из одного состояния в другое равно сумме работы внешних сил и количества теплоты, переданного системе:

$$\Delta U = A_{\text{внешн}} + Q$$



# Первый закон термодинамики

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

*Количество теплоты, переданное системе, идёт на изменение её внутренней энергии и на совершение системой работы над внешними телами*

$$\Delta U = A + Q$$

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

# Разрешение проблемы:

$$Q = \Delta U + A$$



$$A = Q - \Delta U$$

**Любая машина может совершать работу  $A$  над внешними телами только за счет изменения внутренней энергии  $\Delta U$  или получения извне некоторого количества теплоты  $Q$**

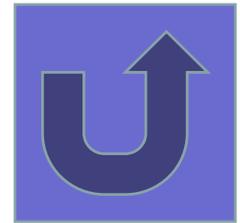
# Разрешение проблемы:

Если к системе не поступает тепло ( $Q = 0$ ), то работа над внешними телами согласно формуле  $A' = Q - \Delta U$

может быть совершена только за счет убыли внутренней энергии:  $A = -\Delta U$ .

**После того как запас энергии окажется исчерпанным, двигатель перестанет работать.** Поэтому из первого закона термодинамики вытекает невозможность создания вечного двигателя.

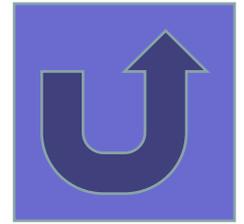
# Внутренняя энергия



**Внутренняя энергия  $\Delta U$ , основное понятие термодинамики, зависит от температуры и объема.**

**Внутренняя энергия идеального газа прямо пропорциональна его абсолютной температуре:**

$$\Delta U = \frac{3m}{2M} RT$$



# Работа системы

Работа внешней силы, изменяющей при постоянном давлении объем газа на  $\Delta V$ , равна  $A = -p(V_2 - V_1) = -p\Delta V$ .

Работа газа (силы давления газа)  $A = p(V_2 - V_1) = p\Delta V$

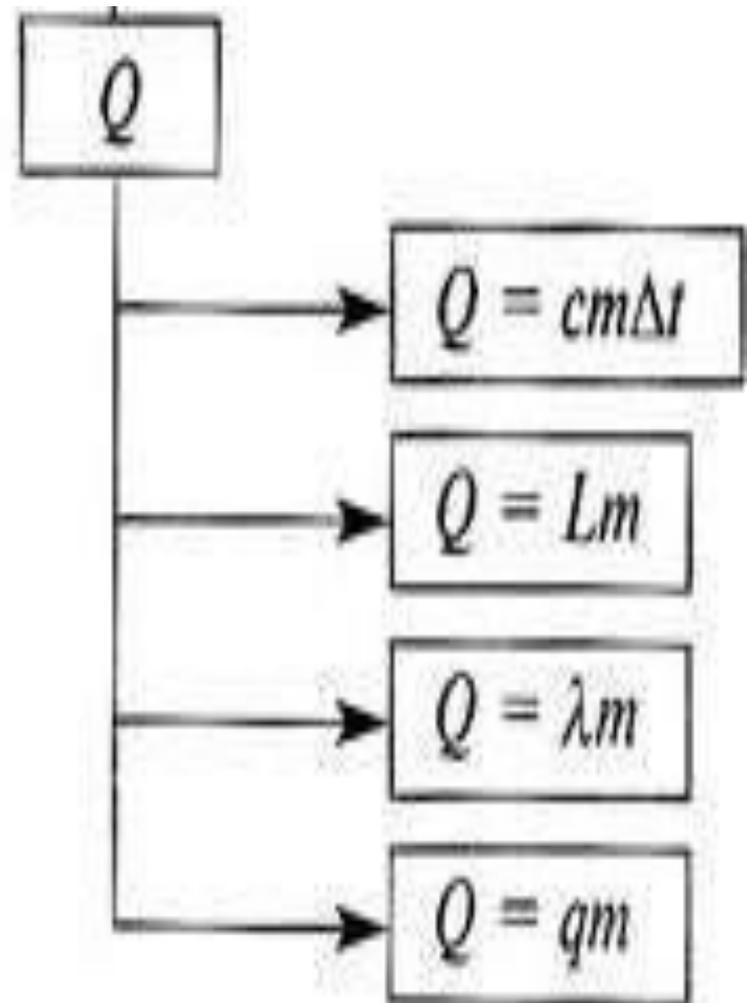
Где  $p$  – давление газа

# Количество теплоты



Количественная мера изменения внутренней энергии без совершения работы, при теплообмене (теплопроводность, конвекция, излучение)

Внутренняя энергия тела меняется при нагревании и охлаждении, при парообразовании и конденсации, при плавлении и кристаллизации. Во всех случаях телу передается или от него отнимается некоторое количество теплоты.



**Если при нагревании газ расширяется и при этом совершает работу  $A$ , то первый закон термодинамики можно сформулировать по-другому:**

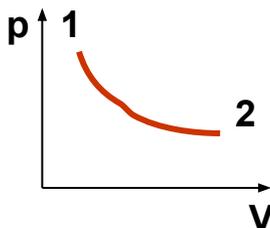
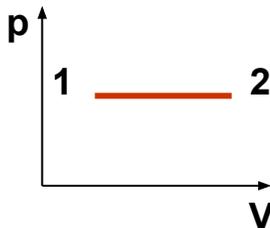
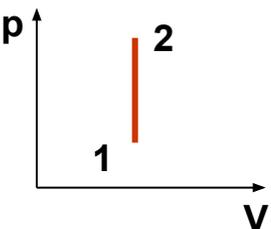
$$Q = \Delta U + A'$$

**Количество теплоты, переданное газу, равно сумме изменения его внутренней энергии и работы, совершенной газом.**

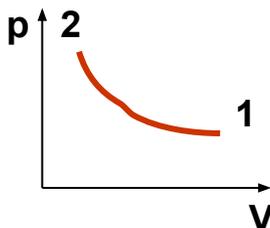
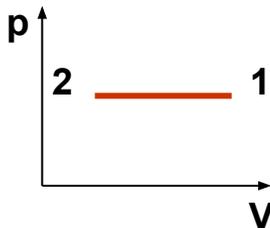
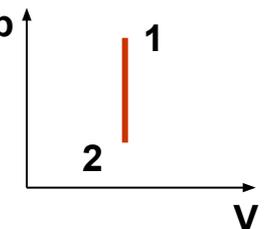
**Так как работа газа и работа внешних сил вследствие 3-го закона Ньютона равны по модулю и имеют противоположный знак:**

$$A_{\text{внешн}} = -A'$$

# I закон термодинамики и изопроцессы

НАЗВАНИЕ ПРОЦЕССА	ГРАФИК	$\Delta U$	$A^l$	$Q$	УРАВНЕНИЕ I ЗАКОНА ТД
ИЗОТЕРМ. РАСШИРЕНИЕ		0	$A^l > 0$	$Q > 0$	$Q = A^l$
ИЗОБАРИЧ. РАСШИРЕНИЕ		$\Delta U > 0$	$A^l > 0$	$Q > 0$	$Q = A^l + \Delta U$
ИЗОХОРНОЕ НАГРЕВАНИЕ		$\Delta U > 0$	$A^l = 0$	$Q > 0$	$Q = \Delta U$

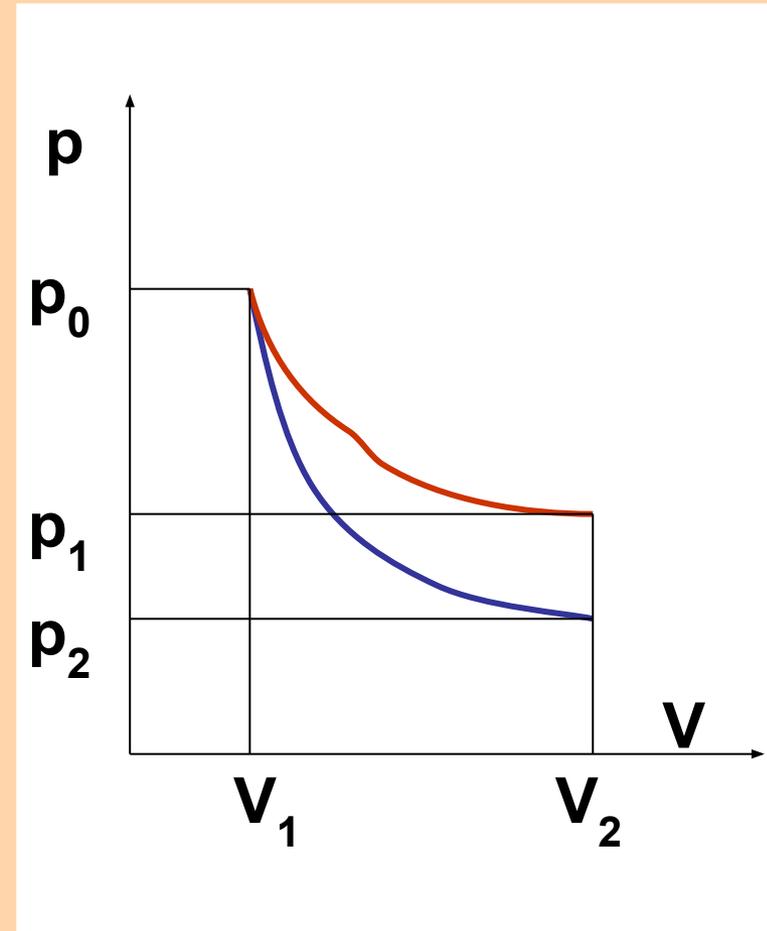
# I закон термодинамики и изопроцессы

НАЗВАНИЕ ПРОЦЕССА	ГРАФИК	$\Delta U$	$A^l$	$Q$	УРАВНЕНИЕ I ЗАКОНА ТД
ИЗОТЕРМ. СЖАТИЕ		0	$A^l < 0$	$Q < 0$	$Q = A^l$
ИЗОБАРИЧ. СЖАТИЕ		$\Delta U < 0$	$A^l < 0$	$Q < 0$	$Q = A^l + \Delta U$
ИЗОХОРНОЕ ОХЛАЖДЕНИЕ		$\Delta U < 0$	$A^l = 0$	$Q < 0$	$Q = \Delta U$

# Адиабатный процесс

– это модель термодинамического процесса, происходящего в системе без теплообмена с окружающей средой.

Линия на термодинамической диаграмме состояний системы, изображающая равновесный (обратимый) адиабатический процесс, называется *адиабатой*.



# I закон термодинамики и изопроцессы

НАЗВАНИЕ ПРОЦЕССА	ГРАФИК	$\Delta U$	$A^l$	$Q$	УРАВНЕНИЕ I ЗАКОНА ТД
АДИАБАТНОЕ РАСШИРЕНИЕ		$\Delta U < 0$	$A^l > 0$	$Q = 0$	$\Delta U = -A^l$ $\Delta U = A$
АДИАБАТНОЕ СЖАТИЕ		$\Delta U > 0$	$A^l < 0$	$Q = 0$	$\Delta U = -A^l$ $\Delta U = A$

————— ИЗОТЕРМА

————— АДИАБАТА

**Первичное закрепление  
темы «Первое начало  
термодинамики»**

**№1.** Газ в сосуде сжали, совершив работу 25 Дж. Внутренняя энергия газа при этом увеличилась на 30 Дж. Следовательно

1. газ получил извне количество теплоты, равное 5 Дж
2. газ получил извне количество теплоты, равное 55 Дж
3. газ отдал окружающей среде количество теплоты, равное 5 Дж
4. газ отдал окружающей среде количество теплоты, равное 55 Дж

$$Q = \Delta U - A$$

$$Q = 30 - 25 = 5 \text{ Дж}$$

**№2.** В тепловом двигателе газ получил 300 Дж тепла и совершил работу 36 Дж. Как изменилась внутренняя энергия газа?

1. уменьшилась на 264 Дж
2. уменьшилась на 336 Дж
3. увеличилась на 264 Дж
4. увеличилась на 336 Дж

**№3.** Чему равно изменение внутренней энергии газа, если ему передано количество теплоты 300 Дж и внешние силы совершили работу 500 Дж?

1. -200Дж
2. 00 Дж
3. 800Дж
4. -800Дж

**№4.** Внутренняя энергия гири увеличивается, если

1. гирю поднять на 2 м
2. гирю нагреть на  $2^{\circ}\text{C}$
3. увеличить скорость гири на 2 м/с
4. подвесить гирю на пружине, которая растянется на 2 см

**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.*

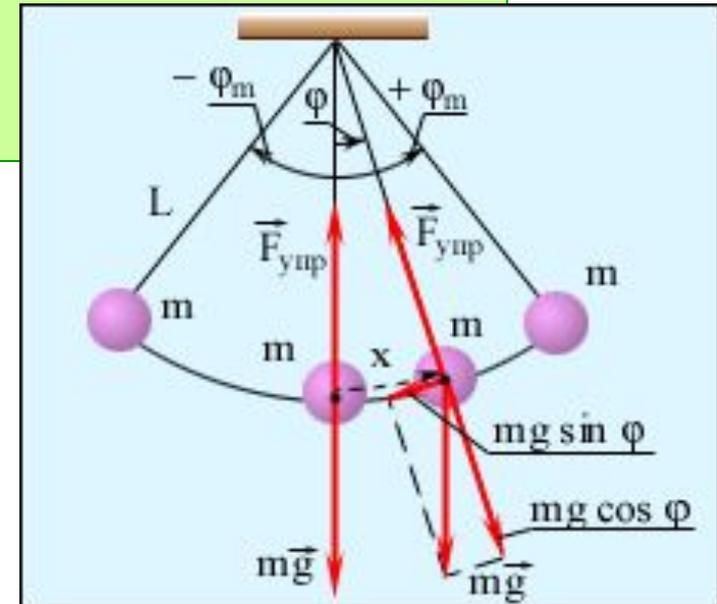
## Примеры:

### ▶ 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**

● Развитие техники зависит от умения использовать громадные запасы внутренней энергии. Использовать эту энергию - это значит совершать за ее счет полезную работу. Рассмотрим источники, которые совершают работу за счет внутренней энергии.



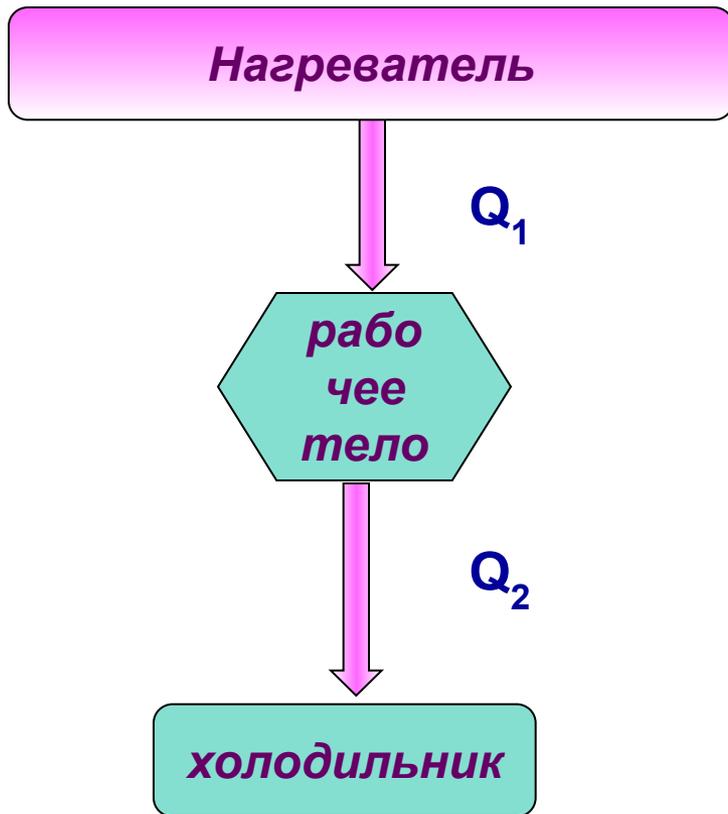


**Вся ли тепловая энергия превращается в тепловых двигателях в механическую энергию?**

**Любой тепловой двигатель превращает в механическую энергию только часть той энергии, которая выделяется топливом.**

**Для характеристики экономичности различных двигателей введено понятие КПД (коэффициент полезного действия) двигателя.**

# Основные части теплового двигателя



Передаёт количество теплоты  $Q_1$  рабочему телу

Совершает работу:

$$A = Q_1 - |Q_2|$$

Потребляет часть полученного количества теплоты  $Q_2$

# КПД замкнутого цикла

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

$Q_1$  – количество теплоты полученное от нагревания

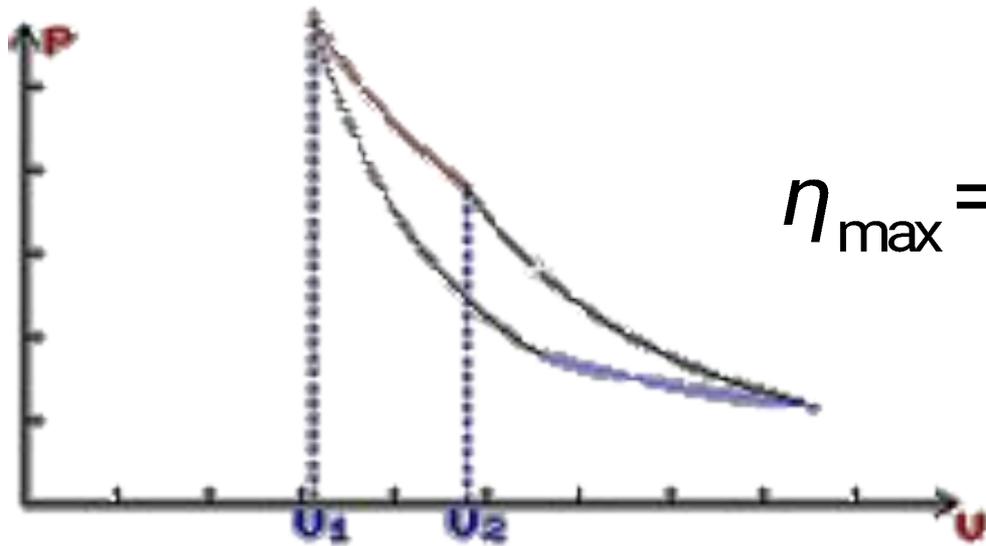
$$Q_1 > Q_2$$

$Q_2$  - количество теплоты отданное холодильнику

$$Q_2 < Q_1$$

$A' = Q_1 - |Q_2|$  - работа совершаемая двигателем за цикл  $\eta < 1$

## Цикл С. Карно



$$\eta_{\max} = \frac{T_1 - T_2}{T_1} = 1 - \frac{T_2}{T_1}$$

*i.*

$T_1$  – температура нагревания

$T_2$  – температура

холодильника

# Виды тепловых двигателей



<http://ux.liveinternet.ru/photo/dolas/>

# Характеристики тепловых двигателей

<i>Двигатели</i>	<i>Мощность, кВт</i>	<i>КПД, %</i>
<b>ДВС:</b> карбюраторный дизельный	1 – 200 15 - 2200	~ 25 ~ 35
<b>Турбины:</b> паровые газовые	$3 \cdot 10^5$ $12 \cdot 10^5$	~ 30 ~ 27
<b>Реактивный</b>	$3 \cdot 10^7$	~ 80

# *КПД теплового двигателя*

$$\eta = (A / Q_1) 100\%$$

$$\eta = (Q_1 - Q_2 / Q_1) 100\%$$

$$\eta = A_{\text{п}} / A_3$$

$$\eta = A_{\text{п}} / A_3$$

$$\eta = A_{\text{п}} / A_3$$

$$\eta < 1$$

**ВСЕГДА!**

$$\eta < 100\%$$

**Почему?**

## ***Качественные задачи:***

- 1. Один из учеников при решении получил ответ, что КПД теплового двигателя равен 200%. Правильно ли решил ученик задачу?**
- 2. КПД теплового двигателя 45%. Что означает это число?**

## **Ответы:**

- 1. Нет. КПД теплового двигателя не может быть равен 200%, т. к. он всегда  $\eta < 100\%$ .**
- 2. КПД теплового двигателя 45% означает, что только 45% от теплоты, переданной рабочему телу (газу), идет на совершение полезной работы.**

## ***Задачи:***

**1. Тепловой двигатель за цикл получает от нагревателя энергию, равную 1000 Дж, и отдаёт холодильнику энергию 800 Дж. Чему равен КПД теплового двигателя?**

## ***Решение:***

**1. Тепловой двигатель за цикл получает от нагревателя энергию, равную 1000 Дж, и отдаёт холодильнику энергию 800 Дж. Чему равен КПД теплового двигателя?**

$$\eta = ( Q_1 - Q_2 / Q_1 ) 100\% = ( 1000 - 800 / 1000 ) 100\%$$

$$\eta = 20\%$$

## ***Задачи:***

**Задача 2.** В идеальном тепловом двигателе абсолютная температура холодильника вдвое меньше температуры нагревателя. Если, не меняя температуры нагревателя, температуру холодильника понизить в  $n$  раз, то во сколько раз увеличится КПД двигателя?

**Дано:**

$$\frac{\eta_2}{\eta_1} = ?$$

$$\frac{\eta_2}{\eta_1} = ?$$

---

$$\frac{\eta_2}{\eta_1} = ?$$

**Решение:**

КПД идеального теплового двигателя:

$$\frac{\eta_2}{\eta_1} = ?$$

Тогда

$$\frac{\eta_2}{\eta_1} = ?$$

$$\frac{\eta_2}{\eta_1} = ?$$

Искомое отношение:

$$\frac{\eta_2}{\eta_1} = ?$$

$$\frac{\eta_2}{\eta_1} = ?$$

$$\frac{\eta_2}{\eta_1} = ?$$

$$\frac{\eta_2}{\eta_1} = ?$$

**Ответ:** КПД двигателя увеличится в 1,7 раза.

**Задача 3.** В цилиндре двигателя автомобиля при сгорании топлива образуются газы, температура которых 1000 К, температура отработанных газов 373 К. Определить путь, пройденный автомобилем, имеющим в баке 40 л топлива, удельная теплота сгорания которого  $3,2 \cdot 10^{10}$  Дж/м<sup>3</sup>. Сила сопротивления движению автомобиля  $1,7 \cdot 10^3$  Н. Двигатель считать идеальным.

**Дано:**

$$\frac{\eta_2}{\eta_1} = ?$$

$$\frac{\eta_2}{\eta_1} = ?$$

$$\frac{\eta_2}{\eta_1} = ?$$

$$\frac{\eta_2}{\eta_1} = ?$$

$$\eta_1$$

$$\frac{\eta_2}{\eta_1} = ?$$

---

$$\frac{\eta_2}{\eta_1} = ?$$

**Решение:**

КПД теплового двигателя:  $\frac{\eta_2}{\eta_1} = ?$   $\frac{\eta_2}{\eta_1} = ?$

Полезная работа двигателя:  $\frac{\eta_2}{\eta_1} = ?$   $\frac{\eta_2}{\eta_1} = ?$

Количество теплоты, полученное двигателем:  $\frac{\eta_2}{\eta_1} = ?$

КПД идеального теплового двигателя:  $\frac{\eta_2}{\eta_1} = ?$

Дано:

$$\frac{\eta_2}{\eta_1} = ?$$

---

$$\frac{\eta_2}{\eta_1} = ?$$

Решение:

Тогда  $\frac{\eta_2}{\eta_1} = ?$        $\frac{\eta_2}{\eta_1} = ?$

$$\frac{\eta_2}{\eta_1} = ?$$

$$\frac{\eta_2}{\eta_1} = ?$$

Ответ: автомобиль проехал 472 км.

**Задача 4.** В калориметр, содержащий 0,5 кг воды и 0,1 кг льда при температуре 273 К, поместили электрический нагреватель при такой же температуре. Общая теплоемкость калориметра и нагревателя 100 Дж/К. Сколько времени необходимо пропускать ток через нагреватель, чтобы вода в калориметре нагрелась до 373 К и 0,2 кг ее обратились в пар? Нагреватель потребляет мощность 500 Вт, а КПД — 90%.

Дано:

$$\frac{\eta_2}{\eta_1} = ?$$

Решение:

КПД установки:  $\frac{\eta_2}{\eta_1} = ?$

Количество теплоты, выделяемое нагревателем:  $\frac{\eta_2}{\eta_1} = ?$

Количество теплоты для:

плавления льда:  $\frac{\eta_2}{\eta_1} = ?$

нагрева воды:  $\frac{\eta_2}{\eta_1} = ?$

нагрева калориметра и нагревателя:

парообразования:  $\frac{\eta_2}{\eta_1} = ?$

Дано:

$$\frac{\eta_2}{\eta_1} = ?$$

---

$$\frac{\eta_2}{\eta_1} = ?$$

Решение:

КПД установки:

$$\frac{\eta_2}{\eta_1} = ?$$

Тогда

$$\frac{\eta_2}{\eta_1} = ?$$

$$\frac{\eta_2}{\eta_1} = ?$$

$$\frac{\eta_2}{\eta_1} = ? \quad \frac{\eta_2}{\eta_1} = ?$$

**Дано:**

$$\frac{\eta_2}{\eta_1} = ?$$

$$\eta_1$$

$$\frac{\eta_2}{\eta_1} = ?$$

$$\frac{\eta_2}{\eta_1} = ?$$

$$\eta_1$$

$$\frac{\eta_2}{\eta_1} = ?$$

$$\eta_1$$

**Решение:**

$$\frac{\eta_2}{\eta_1} = ?$$

$$\frac{\eta_2}{\eta_1} = ?$$

$$\frac{\eta_2}{\eta_1} = ? \quad \frac{\eta_2}{\eta_1} = ?$$

**Ответ:** ток необходимо пропускать 27,6 мин.

**Задача 5.** Абсолютная температура нагревателя идеального теплового двигателя в 3 раза выше температуры холодильника. Если за один цикл двигатель поднимает поршень массой 5 кг на высоту 20 м и сжимает при этом пружину жесткостью 625 кН/м на 8 см, то какое количество теплоты получает рабочее тело от нагревателя за один цикл?

**Дано:**

$$\frac{\eta_2}{\eta_1} = ?$$

---

$$\frac{\eta_2}{\eta_1} = ?$$

**Решение:**

Искомое количество теплоты:

$$\frac{\eta_2}{\eta_1} = ?$$

$$\frac{\eta_2}{\eta_1} = ?$$

$$\frac{\eta_2}{\eta_1} = ?$$

**Задача 5.** Кожух станкового пулемета наполнен 4 кг воды при температуре  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Скорость стрельбы 10 выстрелов в секунду. Заряд пороха в патроне 3,2 г. За какое время выкипит половина воды в кожухе при непрерывной стрельбе? Считать, что на нагревание ствола идет 30% теплоты, выделенной при сгорании топлива. Какова начальная скорость пули, если ее масса 9,6 г, а КПД пулемета 20%?

**Дано:**

$$\frac{\eta_2}{\eta_1} = ?$$

**СИ**

$$\frac{\eta_2}{\eta_1} = ?$$

**Решение:**

Изменение внутренней энергии сгораемого топлива:

$$\frac{\eta_2}{\eta_1} = ? \quad \frac{\eta_2}{\eta_1} = ?$$

Кол-во теплоты, выделяемое при сгорании топлива:

$$\frac{\eta_2}{\eta_1} = ?$$

КПД процесса при теплообмене с учетом ЗСЭ:

$$\frac{\eta_2}{\eta_1} = ? \quad \frac{\eta_2}{\eta_1} = ? \quad \frac{\eta_2}{\eta_1} = ?$$

**Дано:**

$$\frac{\eta_2}{\eta_1} = ?$$

**СИ**

$$\frac{\eta_2}{\eta_1} = ?$$

**Решение:**

Изменение внутренней энергии сгораемого топлива:

$$\frac{\eta_2}{\eta_1} = ?$$

Закон сохранения и превращения энергии:

$$\frac{\eta_2}{\eta_1} = ?$$

Кол-во теплоты, полученное водой:

$$\frac{\eta_2}{\eta_1} = ? \quad \frac{\eta_2}{\eta_1} = ?$$

Тогда

$$\frac{\eta_2}{\eta_1} = ?$$

Дано:

$$\frac{\eta_2}{\eta_1} = ?$$

СИ

$$\frac{\eta_2}{\eta_1} = ?$$

Решение:

Время, за которое выкипит половина воды:

$$\frac{\eta_2}{\eta_1} = ?$$

КПД пулемета:  $\frac{\eta_2}{\eta_1} = ?$   $\frac{\eta_2}{\eta_1} = ?$   $\frac{\eta_2}{\eta_1} = ?$

Работа расширения пороховых газов:

$$\frac{\eta_2}{\eta_1} = ? \quad \frac{\eta_2}{\eta_1} = ?$$

Дано:

$$\frac{\eta_2}{\eta_1} = ?$$

СИ

$$\frac{\eta_2}{\eta_1} = ?$$

Решение:

$$\frac{\eta_2}{\eta_1} = ?$$

Дано:

$$\frac{\eta_2}{\eta_1} = ?$$

СИ

$$\frac{\eta_2}{\eta_1} = ?$$

Решение:

$$\frac{\eta_2}{\eta_1} = ?$$

# Попробуйте оценить свою работу на уроке по 10-бальной шкале.

## 1. Как я усвоил материал?

- Получил прочные знания, усвоил весь материал - 9 - 10 б
- Усвоил новый материал частично - 7 - 8 баллов.
- Мало, что понял, необходимо еще поработать - 4 – 5 баллов.

## 2. Как я работал? Где допустил ошибки? Удовлетворен ли своей работой?

- Со всеми заданиями справился сам, удовлетворен своей работой – 9 – 10 б.
- Допустил ошибки – 7 – 8 баллов.
- Не справился 4 – 6 баллов.

## 3. Как работала группа?

- Дружно, совместно разбирали задания – 9 – 10 баллов.
- Работа была вялая, неинтересная, много ошибок – 4 – 5 баллов.

# Спасибо за внимание!

