

*Тема: «Основы
термодинамики. Внутренняя
энергия. Работа газа.
Количество теплоты».*

Содержание

- Внутренняя энергия
- Работа в термодинамике
- Количество теплоты

Определение: Термодинамика – теория тепловых процессов, в которой не учитывается молекулярное строение тел.

Внутренняя энергия

- Определение:

Внутренняя энергия тела – это сумма кинетической энергии хаотического теплового движения частиц (атомов и молекул) тела и потенциальной энергии их взаимодействия

- Обозначение:

U

- Единицы измерения:

[Дж]

$$U = E_k + E_p$$

Внутренняя энергия идеального одноатомного газа.

$$U = N\bar{E}_k,$$

$$N = \frac{m}{M} N_A -$$

число молекул

$$\bar{E}_k \stackrel{U = \frac{3}{2} N k T}{=} \frac{3}{2} k T -$$

**кинетическая энергия
одной молекулы**



$$(N_A k = R)$$



*Внутренняя энергия
идеального одноатомного газа*

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

Так как

$$pV = \frac{m}{M} RT$$

- уравнение Клапейрона – Менделеева,

то внутренняя энергия:

$$U = \frac{3}{2} pV$$

- для одноатомного газа

$$U = \frac{5}{2} pV$$

- для двухатомного газа.

В общем виде:

$$U = \frac{i}{2} \frac{m}{M} RT = \frac{i}{2} pV$$

где i – число степеней свободы молекул газа ($i = 3$ для одноатомного газа и $i = 5$ для двухатомного газа)

Изменение внутренней энергии:

$$\Delta U = U_2 - U_1 = \frac{3}{2} \frac{m}{M} R \Delta T$$

или
$$\Delta U = \frac{3}{2} p \Delta V$$

Изменение внутренней энергии идеального газа

Основная формула	$\Delta U = \frac{i}{2} \cdot \frac{m}{M} R \Delta T = \frac{i}{2} \nu R \Delta T = \frac{i}{2} \nu R (T_2 - T_1)$
Изотермический процесс	<i>Запомните:</i> $\Delta U = \frac{i}{2} \nu R (T_2 - T_1) = 0$
Изобарное расширение	$\Delta U = \frac{i}{2} \nu R (T_2 - T_1) = \frac{i}{2} (pV_2 - pV_1) = \frac{i}{2} p \Delta V$
Изохорное увеличение давления	$\Delta U = \frac{i}{2} \nu R (T_2 - T_1) = \frac{i}{2} (p_2V - p_1V) = \frac{i}{2} V \Delta p$
Произвольный процесс	$\Delta U = \frac{3}{2} \nu R (T_2 - T_1) = \frac{3}{2} (p_2V_2 - p_1V_1)$

Изменение внутренней энергии тела ΔU

Совершение
работы A

Теплообмен Q

теплопроводность

излучение

конвекция

над

самим

телом

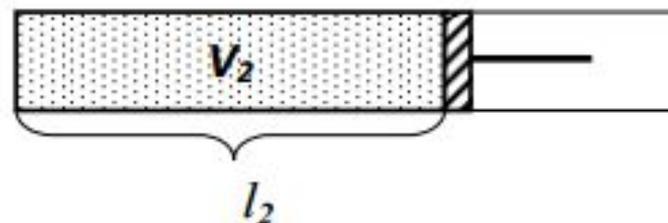
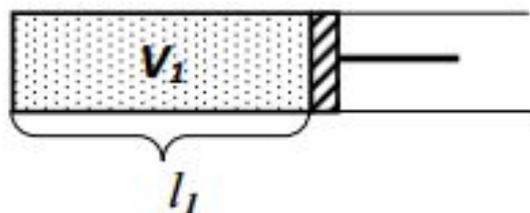
телом

$\Delta U \blacktriangle$

$\Delta U \blacktriangledown$

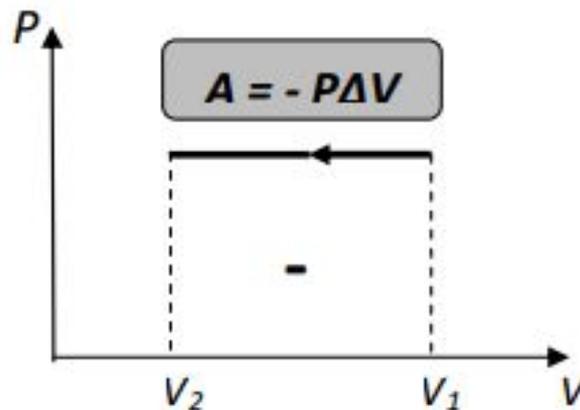
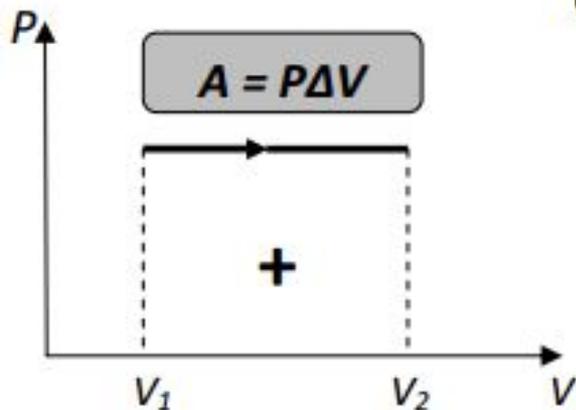
Работа в термодинамике

P - const



$$A = F\Delta l \cos\alpha; F = PS; A = PS\Delta l; V = S\Delta l$$

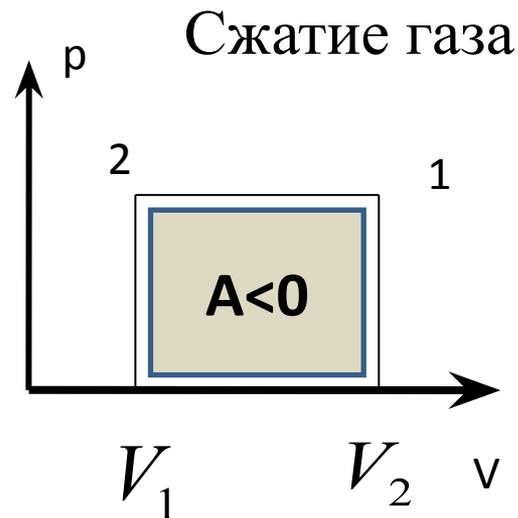
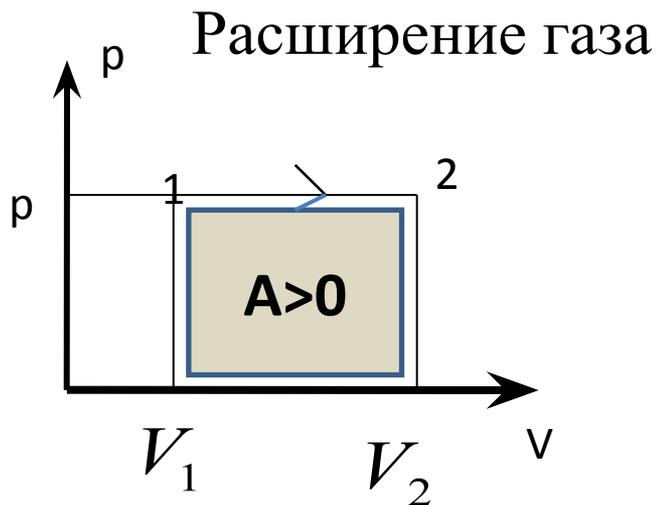
$$A = P\Delta V$$



Изохорный процесс - $\Delta V = 0$; $A = 0$

Работа в термодинамике – работа сил, приложенных к внешним телам со стороны системы при её деформации.

Работа газа численно равна площади фигуры под графиком зависимости давления от объёма в координатах p, V



$$A_{\Gamma} = p \cdot (V_2 - V_1) = p\Delta V - \text{работа газа}$$

$$A_{\text{вн}} = -A_{\Gamma} = -p \cdot \Delta V - \text{работа внешних сил}$$

Работа в термодинамике

- Работа газа:

$$A' = p(V_2 - V_1) = p\Delta V$$

- Работа внешних сил:

$$A = -A'$$

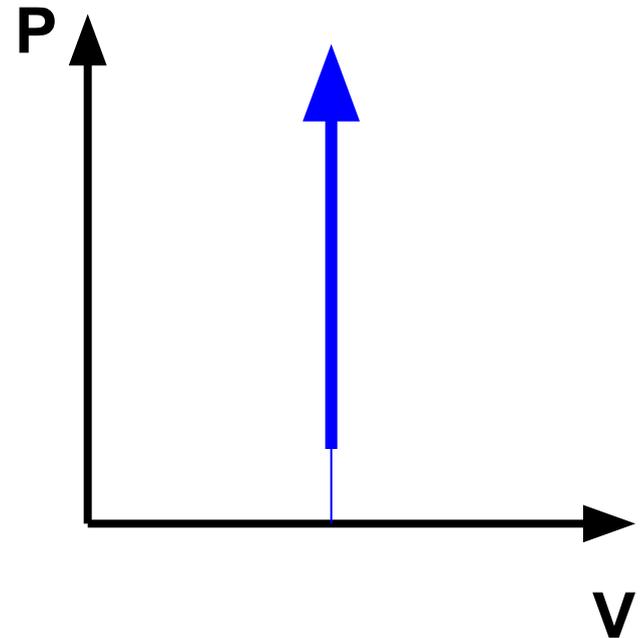
- Работа A , совершаемая внешними телами над газом, отличается от работы A' самого газа только знаком:

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

Работа газа при изопроцессах

- При изохорном процессе ($V=\text{const}$):
 $\Delta V = 0$ работа газом не совершается:

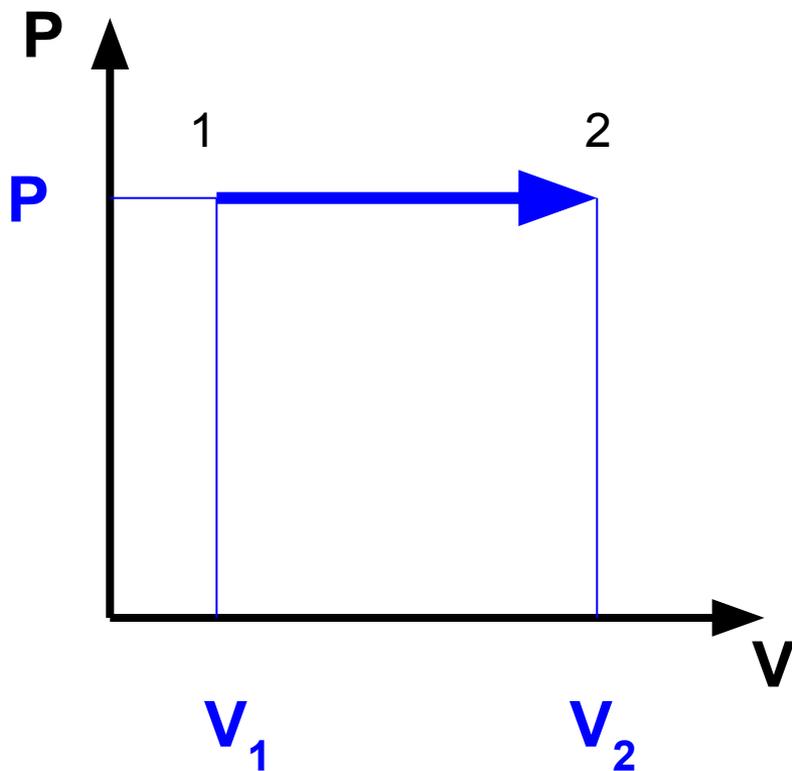
$$A' = 0$$



Изохорное нагревание

При изобарном процессе ($P=const$):

$$A' = p \Delta V$$

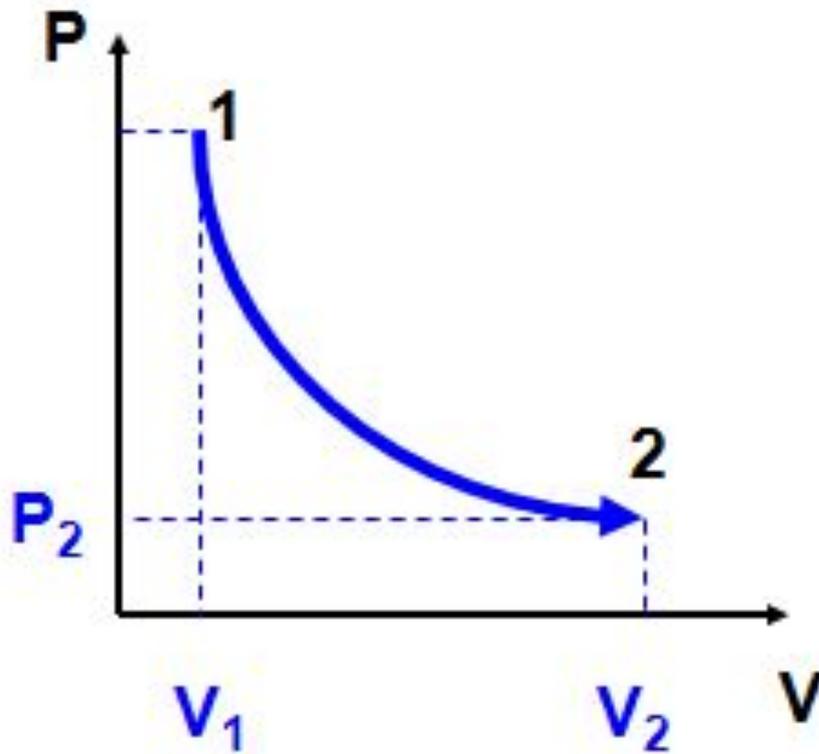


$$A' > 0$$

Изобарное расширение

**При изотермическом процессе
($T=const$):**

Изотермическое расширение



Виды теплопередачи: теплопроводность, конвекция, излучение.

Теплопроводность. При теплопроводности происходит постепенное увеличение скорости движения молекул. Это возможно только благодаря межмолекулярному взаимодействию, поэтому теплопроводность в твёрдых телах происходит быстрее, чем в жидкостях. В газах она осуществляется ещё медленнее. Для сохранения тепла используют пористые материалы, в которых много воздуха. Воздух — это смесь газов, поэтому он плохо проводит тепло.

Учтите: в вакууме теплопроводность невозможна.

Конвекция. При конвекции тёплые слои жидкости или газа поднимаются, а холодные опускаются. Конвекция осуществляется в жидкостях и газах.

Учитите: в твёрдых телах и в вакууме конвекция невозможна.

Применение конвекции. Нагреватели следует располагать внизу, а охлаждающие тела вверху.

Излучение. Все нагретые тела излучают энергию. Чем больше нагрето тело, тем сильнее излучение. Теплопередача за счёт излучения возможна в любой среде, в том числе и в вакууме.

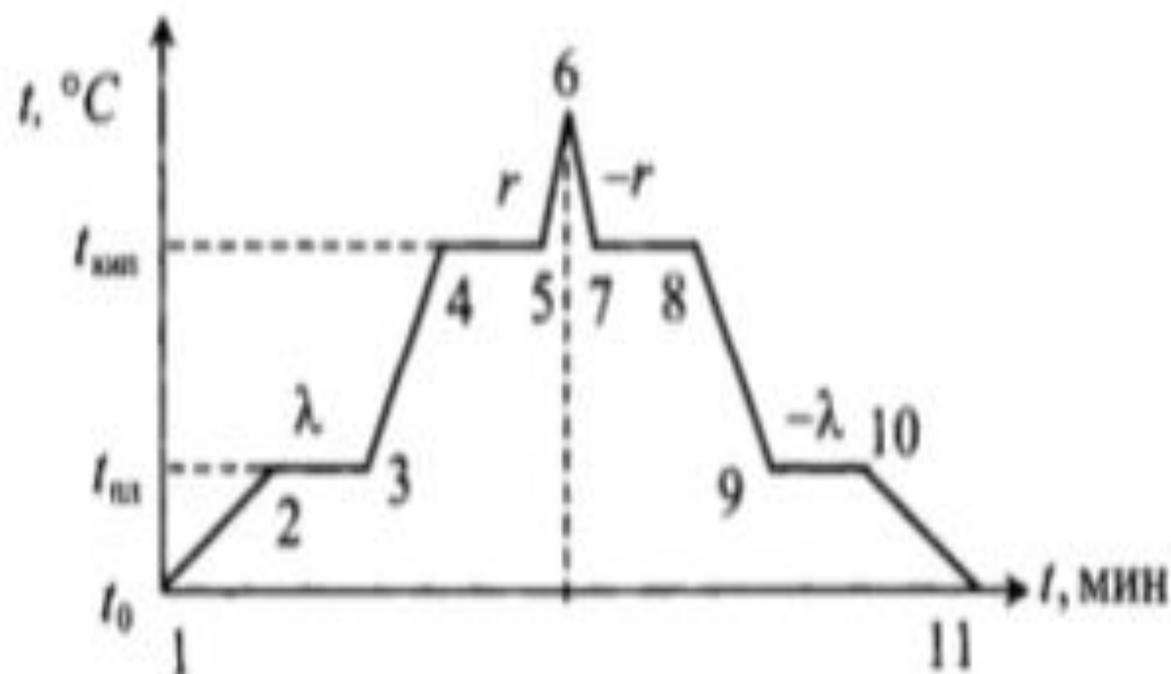
Свойства излучения. Тёмные поверхности хорошо поглощают излучение, но быстро отдают энергию при охлаждении. Зеркальные и светлые поверхности отражают излучение и медленно остывают.

Количество теплоты – часть внутренней энергии, которую тело получает или теряет при теплопередаче

Процесс	формула	
Нагревание или охлаждение	$Q = cm\Delta T$	c – удельная теплоёмкость вещества [Дж/кг $^{\circ}$ К], m – масса [кг], ΔT – изменение температуры [$^{\circ}$ К].
Кипение или конденсация	$Q = rm$	r – удельная теплота парообразования [Дж/кг]
Плавление или кристаллизация	$Q = \lambda m$	λ - удельная теплота плавления вещества [Дж/кг]
Сгорание топлива	$Q = qm$	q – удельная теплота сгорания топлива [Дж/кг]



Тепловые процессы при нагревании и охлаждении



1-2	Нагревание твёрдого тела	$Q = c_{т}m(t_{пл} - t_0)$
2-3	Плавление ($t_{пл}$)	$Q = \lambda m$
3-4	Нагревание жидкости	$Q = c_{ж}m(t_{кип} - t_{пл})$

4–5	Кипение ($t_{\text{кип}}$)	$Q = rm$
5–6	Нагревание пара	$Q = c_{\text{п}}m(t - t_{\text{кип}})$
6–7	Охлаждение пара	$Q = c_{\text{п}}m(t_{\text{кип}} - t)$
7–8	Конденсация ($t_{\text{кип}}$)	$Q = -rm$
8–9	Охлаждение жидкости	$Q = c_{\text{ж}}m(t_{\text{пл}} - t_{\text{кип}})$
9–10	Отвердевание ($t_{\text{пл}}$)	$Q = -\lambda m$
10–11	Охлаждение твёрдого тела	$Q = c_{\text{т}}m(t_{\text{о}} - t_{\text{пл}})$

Учтите: на участках 2–3 и 9–10 вещество частично находится в жидком и в твёрдом состояниях, а на 4–5 и 7–8 — в жидком и газообразном.

Уравнение теплового
баланса:

$$Q_1 + Q_2 + \dots + Q_n = \textit{const}$$

Первое начало термодинамики.

Первое начало термодинамики (закон сохранения энергии в тепловых процессах): *внутренняя энергия идеального газа изменяется двумя способами: за счёт теплопередачи или при совершении работы*

$$\pm\Delta U = \pm Q \pm A',$$

где $+\Delta U$ — внутренняя энергия газа увеличивается,

$-\Delta U$ — внутренняя энергия газа уменьшается,

$+Q$ — газ нагревают, газу передают количество теплоты,

$-Q$ — газ охлаждается, газ отдаёт тепло окружающей среде,

$+A'$ — газ сжимает внешняя сила,

$-A'$ — газ расширяется, газ совершает работу.

Учтите, что знак перед работой показывает, как процесс совершения работы влияет на изменение внутренней энергии газа.

**От чего зависят физические величины,
входящие в первое начало термодинамики**

Изменение внутренней энергии — от изменения температуры:

$$\Delta U = \frac{3}{2} \nu R \Delta T .$$

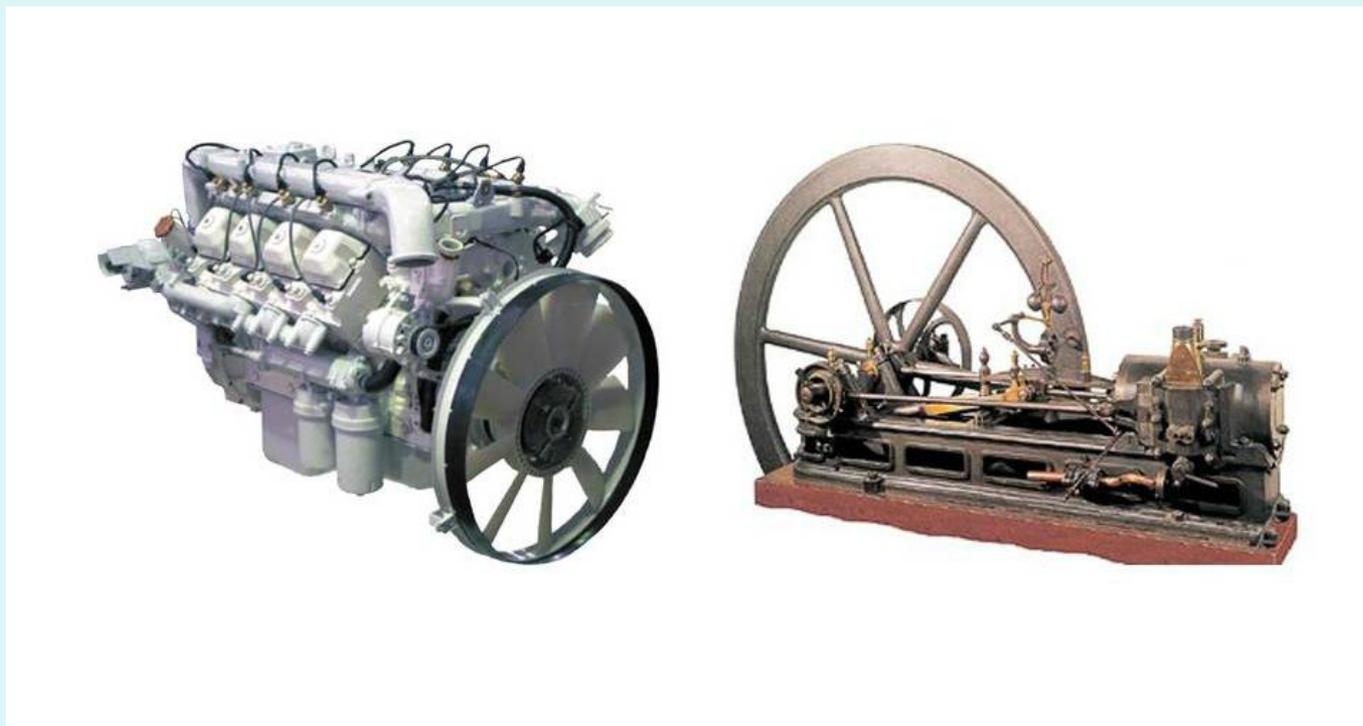
Работа газа — от изменения объёма:

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

Первое начало термодинамики для изопроцессов

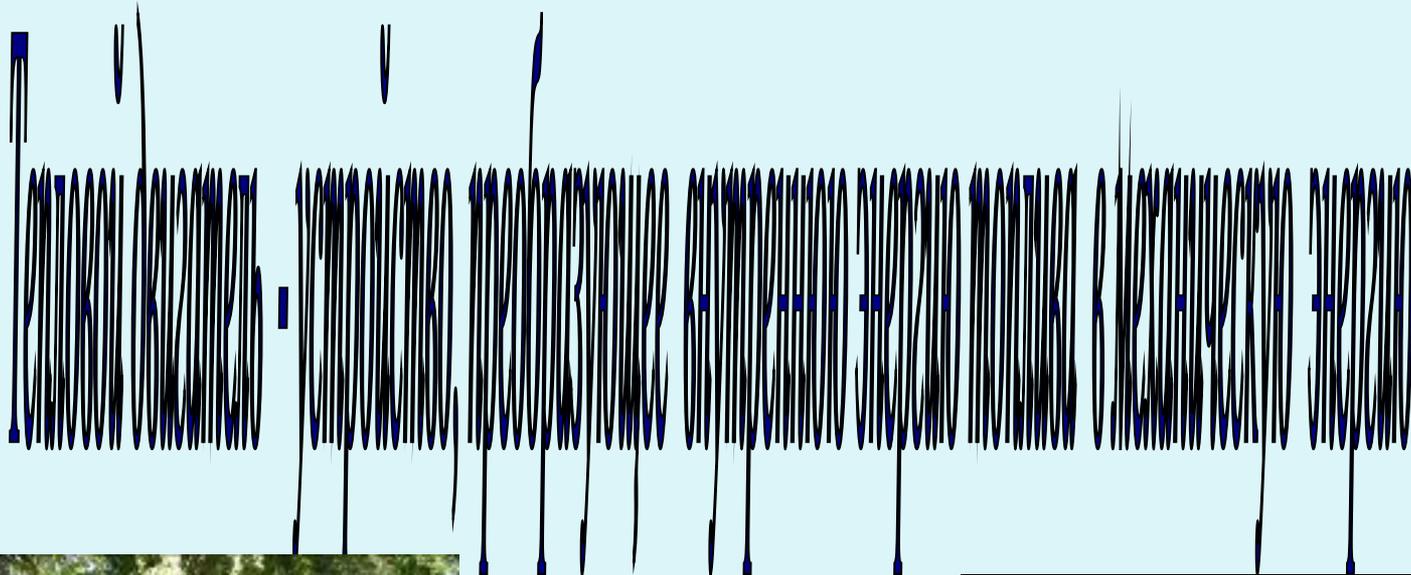
Изотермический ($T = \text{const}$)	$\Delta U = 0, Q = A'$
Изохорный ($V = \text{const}$)	$A' = 0, \Delta U = Q$
Изобарное расширение газа ($p = \text{const}$)	$\Delta U = Q - p \Delta V$ $\Delta U = Q - \nu R \Delta T$
Адиабатный ($Q = 0$) (или теплоизолированная система)	$Q = 0, \Delta U = A'$

*Тема: Коэффициент полезного действия (КПД)
тепловых двигателей*



● 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.



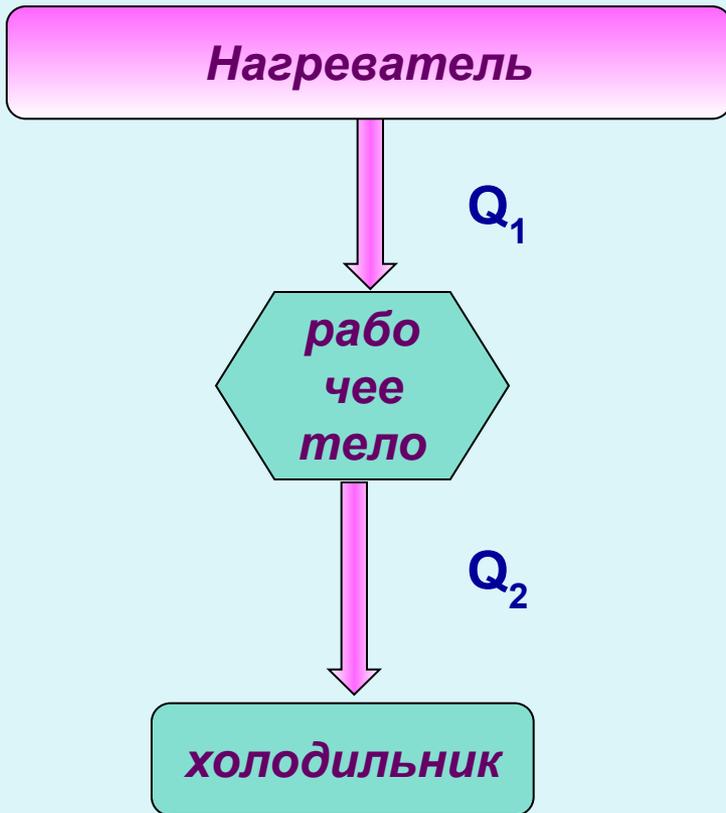


Вся ли тепловая энергия превращается в тепловых двигателях в механическую энергию?

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



Передает 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

$$Q_2 < Q_1$$

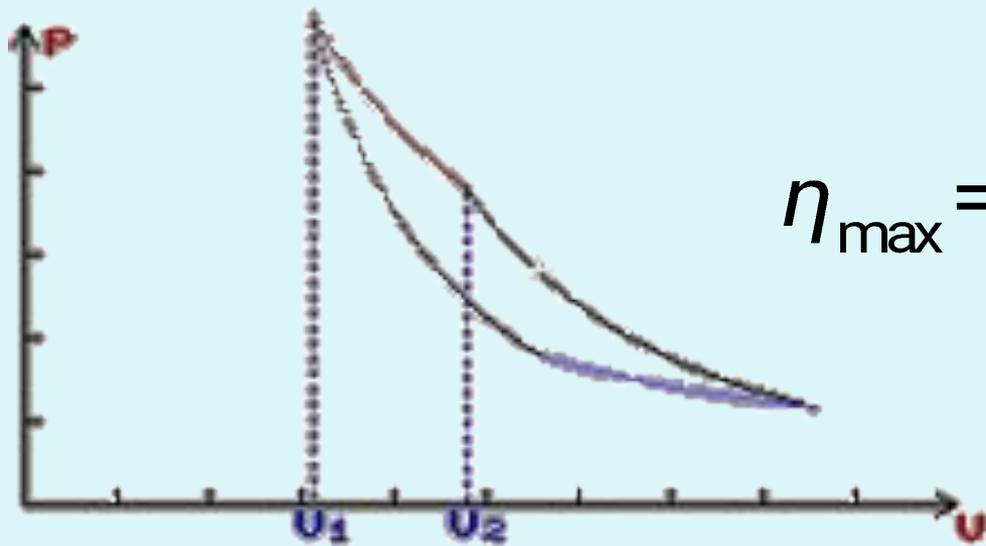
$A' = Q_1 - |Q_2|$ - работа совершаемая двигателем за цикл $\eta < 1$

Второе начало термодинамики: *в циклически действующем тепловом двигателе невозможно преобразовать всё количество теплоты, полученное от нагревателя, в механическую работу.*

Цикл Карно происходит с идеальным газом.

График цикла Карно состоит из двух адиабат и двух изотерм:

Цикл С. Карно



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

T_1 – температура нагревания

T_2 – температура

холодильника

Виды тепловых двигателей



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



Характеристики тепловых двигателей

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