

## Задание

1. Повторить учебный материал предыдущей лекции, изучить новый материал и законспектировать материал лекции. Выполнить упражнения к лекции.

2. Фотоотчет присылать на электронную почту [hvastov@rambler.ru](mailto:hvastov@rambler.ru)

Дополнительно можно оформить сообщение по теме: Тепловые двигатели и охрана окружающей среды. КПД тепловых двигателей

Если возникнут вопросы обращаться по телефону 0721389311 (ватсап). или почта: [hvastov@rambler.ru](mailto:hvastov@rambler.ru)

## Тема: Основы термодинамики

**План:** 1. Внутренняя энергия  
2. Работа в термодинамике  
3. Первый закон термодинамики

### ВНУТРЕННЯЯ ЭНЕРГИЯ

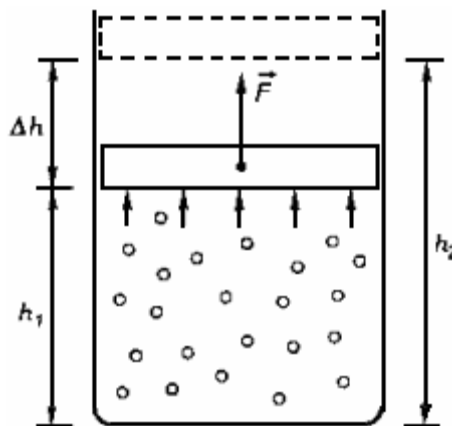
Под внутренней энергией термодинамической системы понимают кинетическую энергию теплового движения ее молекул и потенциальную энергию их взаимодействия. Она зависит от параметров состояния  $V, T$ . Внутренняя энергия идеального одноатомного газа прямо пропорциональна его абсолютной температуре:

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

Для газов, состоящих из более сложных молекул, также  $U \sim T$ , но коэффициент пропорциональности другой. Это объясняется тем, что такие молекулы не только движутся поступательно, но и вращаются.

### РАБОТА В ТЕРМОДИНАМИКЕ

Если газ расширяется при постоянном давлении  $p$ , то сила, действующая со стороны газа на поршень:  $F = pS$ , где  $S$  - площадь поршня.



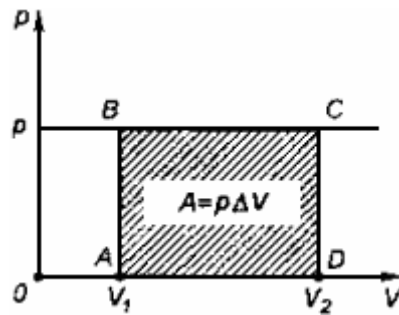
При подъеме поршня на высоту  $\Delta h = h_2 - h_1$  газ совершает работу

$$A' = F\Delta h = pS(h_2 - h_1) = p(S h_2 - S h_1) = p(V_2 - V_1) = p\Delta V$$

где  $\Delta V$  - изменение объема газа.

При медленном сжатии газа работа, совершаемая внешними телами над газом, будет отличаться только знаком:

$$A = F\Delta h = pS(h_1 - h_2) = p(V_1 - V_2) = -p\Delta V$$



Работа, совершаемая термодинамической системой при постоянном давлении, равна

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

## КОЛИЧЕСТВО ТЕПЛОТЫ

Процесс передачи энергии от одного тела к другому без совершения работы называют теплообменом.

Количество теплоты - это энергия, переданная телу в результате теплообмена.

Теплоемкость  $C$  - количество теплоты, необходимое для нагревания тела массой  $m$  на 1 К. Удельная теплоемкость  $c$  - это количество теплоты, которое получает или отдает 1 кг вещества при изменении его температуры на 1 К:  $c=C/m$

Для изменения температуры вещества массой  $m$  от  $T_1$  до  $T_2$  ему необходимо сообщить количество теплоты

$$Q = cm \cdot (T_2 - T_1) = cm\Delta T$$

Коэффициент  $c$  в этой формуле называют удельной теплоемкостью:  $[c]=1 \text{ Дж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$ .

При нагревании тела  $Q > 0$ , при охлаждении  $Q < 0$ .

Для того, чтобы жидкость массы  $m$  полностью превратить в пар, ей необходимо передать количество теплоты

$$Q=rm$$

где  $r$  - удельная теплота парообразования:  $[r] = 1 \text{ Дж}/\text{кг}$ .

Удельная теплота парообразования - это количество теплоты, которое необходимо для превращения 1 кг жидкости в пар при постоянной температуре.

*Конденсация* - процесс, обратный испарению.

Для того, чтобы расплавить полностью тело массой  $m$ , ему необходимо сообщить количество теплоты

$$Q= \lambda m$$

где  $\lambda$  - удельная теплота плавления:  $[\lambda] = 1 \text{ Дж}/\text{кг}$ .

*Удельная теплота плавления* - это количество теплоты, которое необходимо для плавления 1 кг кристаллического вещества при температуре плавления.

*Кристаллизация* - процесс, обратный плавлению.

Для замкнутой системы, состоящей из  $N$  тел, можно записать уравнение теплового баланса:

$$Q_1 + \dots + Q_n = 0$$

где  $Q_1, \dots, Q_n$  - количества теплоты, полученные или отданные телами.

## ПЕРВЫЙ ЗАКОН ТЕРМОДИНАМИКИ

*Закон сохранения энергии*

Энергия не возникает из ничего и не исчезает, она только переходит из одной формы в другую. Закон сохранения энергии, распространенный на тепловые явления, называется первым законом термодинамики.

### Первый закон термодинамики

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

$$\Delta U = A + Q$$

Этот закон можно сформулировать иначе:

Количество теплоты, переданное системе, идет на изменение ее внутренней энергии и на совершение системой работы над внешними телами:

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

В первой формулировке  $A$  - работа, совершаемая над системой (над газом), во второй  $A'$  - это работа, совершаемая системой (газом).

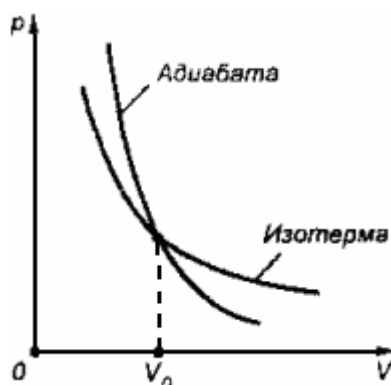
Вечный двигатель первого рода - устройство, способное совершать неограниченное количество работы без подведения энергии извне.

Из первого закона термодинамики следует невозможность создания вечного двигателя первого рода. Если к системе не поступает теплота, то

$$Q = 0 \Rightarrow A' = -\Delta U$$

Иными словами, работа совершается системой за счет уменьшения ее внутренней энергии. После того, как запас энергии будет исчерпан, двигатель перестанет работать.

Процесс, протекающий в теплоизолированной системе, называют адиабатным.



Абсолютно исключить теплопередачу невозможно, но иногда реальные процессы близки к адиабатным. Они протекают за очень малый промежуток времени, в течение которого не происходит существенного теплообмена между системой и внешними телами.

### ТЕПЛОВЫЕ ДВИГАТЕЛИ

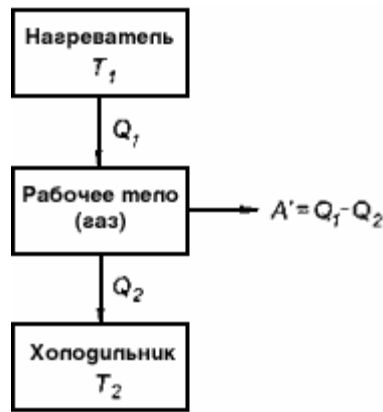
*Тепловые двигатели* - устройства, превращающие внутреннюю энергию топлива в механическую энергию.

Любой тепловой двигатель состоит из трех основных частей.

*Рабочее тело* - газ, совершающий работу  $A'$  при расширении.

*Нагреватель* - устройство, от которого рабочее тело получает количество теплоты  $Q_1$ ,

*Холодильник* - устройство, которому рабочее тело передает количество теплоты  $Q_2$ .



Коэффициентом полезного действия (КПД) теплового двигателя называют отношение работы, совершаемой двигателем, к количеству теплоты, полученному от нагревателя:

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

Так как  $Q_2 < Q_1$ , то  $\eta$  всегда  $< 1$ .

Идеальная тепловая машина Карно - модель теплового двигателя, в котором рабочим телом является идеальный газ. КПД машины Карно

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

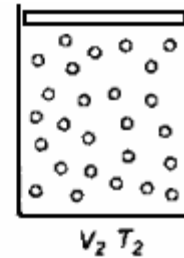
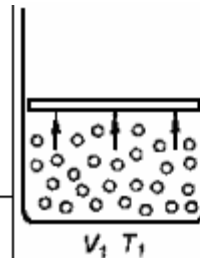
где  $T_1$  - температура нагревателя,  $T_2$  - температура холодильника.

Реальная тепловая машина не может иметь КПД, превышающий КПД идеальной тепловой машины.

**Пример.** Объем кислорода массой 160 г, температура которого 27°C, при изобарном нагревании увеличился вдвое. Найдите работу газа при расширении, количество теплоты, которое пошло на нагревание кислорода, изменение внутренней энергии.

$$\begin{aligned} M &= 3,2 \cdot 10^{-2} \text{ кг/моль} \\ m &= 0,16 \text{ кг} \\ T_1 &= 300 \text{ К} \\ V_2 &= 2V_1 \\ p &= \text{const} \end{aligned}$$

$$A' - ? \quad \Delta U - ? \quad Q - ?$$



Величина работы, совершаемой газом при изобарном процессе, когда  $V = V_2 - V_1 = V_1$ , определяется выражением

$$A' = p\Delta V = pV_1$$

С учетом уравнения состояния

$$pV_1 = \frac{m}{M} RT_1$$

можно записать

$$A' = \frac{m}{M} RT_1$$

$$A' = \frac{0,16 \text{ кг}}{3,2 \cdot 10^{-2} \text{ кг/моль}} \cdot 8,31 \text{ Дж/(моль} \cdot \text{К)} \cdot 300 \text{ К} = 1,25 \cdot 10^4 \text{ Дж}$$

Изменение внутренней энергии двухатомного газа, с учетом уравнения состояния, будет выглядеть:

$$\Delta U = \frac{5}{2} \frac{m}{M} R \Delta T = \frac{5}{2} p \Delta V = \frac{5}{2} p V_1$$

Учитывая, что  $A' = pV_1$ , получим:  $\Delta U = 2,5A$ .

$$\Delta U = \frac{5}{2} \cdot 1,25 \cdot 10^4 \text{ Дж} = 3,13 \cdot 10^4 \text{ Дж}$$

Количество теплоты, переданное газу, согласно первому закону термодинамики, идет на изменение его внутренней энергии и совершение газом работы:

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

$$Q = 3,13 \cdot 10^4 \text{ Дж} + 1,25 \cdot 10^4 \text{ Дж} = 4,38 \cdot 10^4 \text{ Дж}$$

**Ответ:** работа газа равна 12,5 кДж, количество теплоты, которое пошло на его нагревание, равно 43,8 кДж, изменение внутренней энергии - 31,3 кДж .

### **Д/з составить конспект и ответить на контрольные вопросы:**

1. Что изучает термодинамика?
2. Что такое внутренняя энергия?
3. Чем отличается внутренняя энергия идеального газа от внутренней энергии реального газа?
4. Выведите формулу внутренней энергии одноатомного идеального газа.
5. Как определить внутреннюю энергию одноатомного идеального газа через давление и объём?