

**Молекулы газа хаотически движутся в отведенном им объеме, и взаимодействуют между собой. Следовательно, каждая из них обладает определенной энергией.**

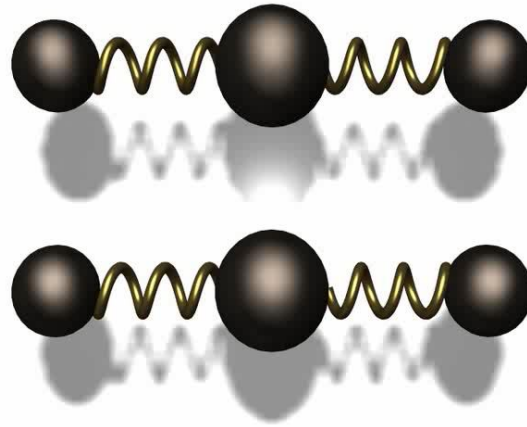
**Движение может быть *поступательным, вращательным и колебательным.***

**Различные типы движений называют *степенями свободы.***

**Одноатомная молекула может двигаться по трем взаимно – перпендикулярным направления = (имеет три степени свободы поступательного движения)**

**Двухатомная молекула (гантель), кроме поступательных степеней свободы, имеет две вращательных степени свободы (вращение вокруг двух осей, перпендикулярных к ней).**

**У более сложных молекул три вращательных степени свободы.**



**Если атомы в молекуле могут колебаться с несколькими ( $i_{\text{колеб}}$ ) частотами, то она имеет  $2 i_{\text{колеб}}$  колебательных степеней свободы, так как средние значения кинетической и потенциальной энергии колебания равны.**

**При столкновениях между собой молекулы обмениваются энергией, и различные ее виды переходят друг в друга.**



Больцман доказал: на каждую степень свободы приходится эн.  $\frac{1}{2}kT$ : *равномерное распределение энергии по степеням свободы.*

В итоге средняя эн. молекулы  $\bar{\varepsilon} = \frac{i}{2}kT$ ,

$$i = i_{\text{пост}} + i_{\text{вращ}} + 2i_{\text{колеб}}.$$

3      2 или 3

$i_{\text{колеб}}$  - количество собственных частот



*Внутр. эн. ТДС:*  $U = \text{кин. эн. молекул} + \text{эн. их}$   
**взаим.**

$$R = k N_A$$

Для  $N$  молекул газа

$$U = N \frac{i}{2} kT = \frac{N}{N_A} \frac{i}{2} N_A kT = \nu \frac{i}{2} RT.$$

$$U = \nu \frac{i}{2} RT$$



*Первый закон (начало) термодинамики*

Внутреннюю энергию ТДС *можно изменить*

- 1) Механически*
- 2) Теплообменом*



*Закон сохр. эн.:*  $Q = U_2 - U_1 + A$

*- 1-й з-н ТД.*

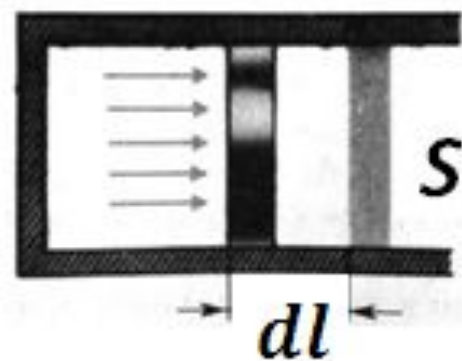
Переход системы  $1 \rightarrow 2$  разделим на малые шаги

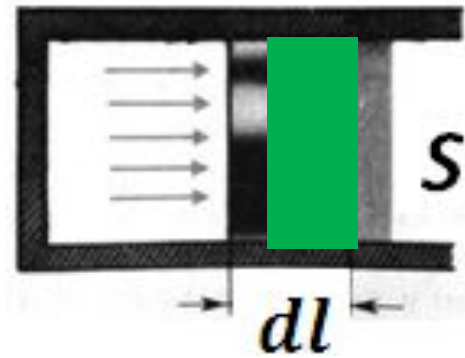
Для малого участка  $\delta Q = dU + \delta A$ .

( $d$ , если изменение величины не зависит от формы пути,  $\delta$ , если зависит).

**Работа при изменении объема ТДС**

Перемещ. внешних тел меняет  
объем ТДС. При расширении газ  
совершает работу



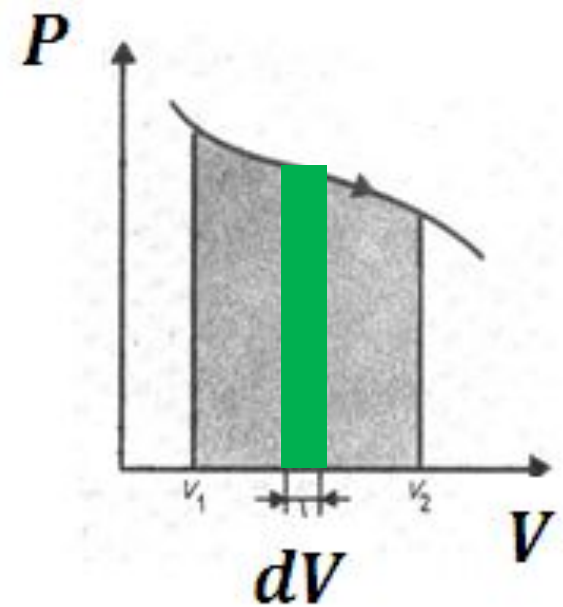


$$\delta A = PSdl = PdV. \text{ и}$$

$$A(1 \rightarrow 2) = \int_{V_1}^{V_2} P(V) dV$$

- площадь под кривой  $P(V)$

соотв. процесса.



## ● 4.4. Теплоемкость

Передача  $Q$  в систему изменяет  $T$  и  $dT \sim \frac{\delta Q}{M}$ :

$$\delta Q = c M dT \text{ или } \delta Q = C \nu dT.$$

$c$  - уд. теплоемкость,  $C$  - молярная теплоемк.

$C = \text{??} = c\mu$ . Они зависят от типа процесса.





*1-й з-н ТД и изопроцессы*

*Изопроцессы*  $\Rightarrow$   $(V=const)$ ,  $(T=const)$ ,  $(P=const)$

$$\delta Q = dU + \delta A$$

$$\delta Q = C v dT$$

$$\delta A = P dV$$

$$C v dT = dU + P dV ; C = \frac{1}{v} \left( \frac{dU}{dT} + P \frac{dV}{dT} \right)$$

зависит от процесса и вычисляется с помощью

$$PV = \nu RT$$

$$\delta Q = dU + \delta A$$

$$C = \frac{1}{\nu} \left( \frac{dU}{dT} + P \frac{dV}{dT} \right)$$

$$U = \nu \frac{i}{2} RT$$

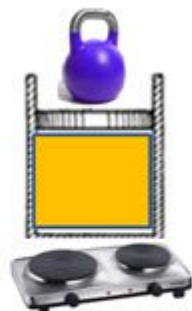
1) При  $V = \text{const}$

$$C_V = \frac{i}{2} R$$



$\delta A = PdV = 0$ ,  $\delta Q = dU$  поступающее тепло увеличивает  $U$ .

Для  $1 \rightarrow 2$ :  $Q = U_2 - U_1 = \nu C_V (T_2 - T_1)$ , а  $T_{1,2}$  можно выразить через  $P_{1,2}, V$  по у.К-М.



$$C = \frac{1}{\nu} \left( \frac{dU}{dT} + P \frac{dV}{dT} \right)$$

$$\delta Q = dU + \delta A$$

2) При  $P = \text{const}$

$$C_P = \frac{1}{\nu} \left( \frac{dU}{dT} + P \frac{dV}{dT} \right) \quad U = \nu \frac{i}{2} RT$$

Из  $PV = \nu RT$  следует  $P \frac{dV}{dT} = \nu R$  и

$$C_P = \frac{i+2}{2} R$$

$$\delta Q = \nu C_P dT, \quad dU = \nu C_V dT, \quad \delta A = PdV$$

$$\nu C_P dT = \nu C_V dT + PdV$$

Тепло идет на увелич.  $U$  и совершение работы

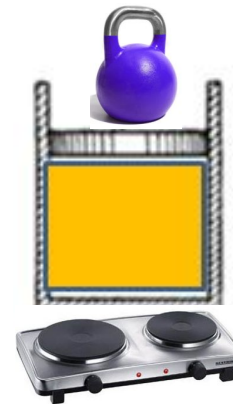
$$vC_P dT = vC_V dT + PdV$$

Для процесса  $1 \rightarrow 2$ :

$$vC_P(T_2 - T_1)$$

$$= vC_V(T_2 - T_1) + P(V_2 - V_1)$$

$V_{1,2}$  можно выразить через  $T_{1,2}$  по у.К-М.



$$\delta Q = dU + \delta A$$

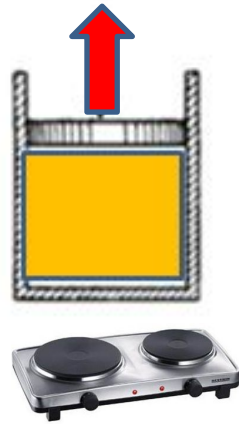
$$U = \nu \frac{i}{2} RT$$



3) При  $T = const$   $dU = 0$ ;  $\delta Q = \delta A$

все тепло идет на работу и не увеличивает  $T$  и  $U$

## Работа при изотермическом процессе



Из  $PV = \nu RT$  следует  $P = \nu RT \frac{1}{V}$ .

$$\delta A = PdV, A = \int_{V_1}^{V_2} PdV = ?? =$$

$$\nu RT \ln \frac{V_2}{V_1} = ?? = \nu RT \ln \frac{P_1}{P_2}$$

(использовано  $PV = \nu RT$ ).

# ОТЧЕТ О ПРОДЕЛАННОЙ РАБОТЕ

Фамилия, имя

задачи	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Семинар 1														
Семинар 2														
Семинар 3														
Семинар 4														

Решенные вами задачи отметьте крестиком.

Условие задачи обязательно должно быть написано

Все обозначения и названия уравнений обязательно должны быть написаны.

Решение должно сопровождаться максимально подробным объяснением.

**Все пропущенные занятия необходимо**

***отработать***: законспектировать литературу,

**указанную в соответствующем Задании.**



**В тетрадях:**

**Номера семинаров выделить фломастером**

**Номера решенных задач выделить фломастером**

**Заполнить Таблицу – Отчет о проделанной работе**