

---

Кафедра ФН-4 «ФИЗИКА»  
БИЛЕТ № 15  
К РУБЕЖНОМУ КОНТРОЛЮ  
по курсу «Физика» для всех специальностей, модуль № 2

1. Термодинамическая энтропия (определение и обоснование того, что она является функцией состояния). Закон возрастания энтропии в замкнутой системе (с доказательством).

Примечание: в ходе рассуждений, неравенство Клаузиуса можно считать известным.

2. Объёмная плотность энергии упругой волны (вывод на примере плоской продольной волны). Вектор Умова (вектор плотности потока энергии).

3. Во сколько раз изменяется объём метана  $\text{CH}_4$  при адиабатном увеличении его давления в 16 раз? Найдите также удельную теплоемкость метана при постоянном давлении.

---

Билет рассмотрен и утвержден на заседании кафедры ФН-4

23.04.2020г.  
(число, месяц, год)

---

билет N15.

(N1) Термодинамическая энтропия (определение и обоснование того, что она является функцией состояния). Закон возрастания энтропии в замкнутой системе (сказательством).

Примечание: в ходе рассуждений, неравенство Клаузиуса можно считать известным.

Неравенство Клаузиуса: суммарное количество приведенной теплоты в замкнутом цикле не может быть положительной величиной.

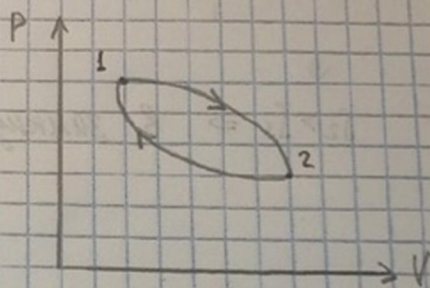
$$\oint_{\text{цикл}} \frac{\delta Q}{T} \leq 0$$

Рассмотрим обратимый процесс.

$$\oint_{\text{цикл}} \frac{\delta Q}{T} = 0$$

$$\oint_{\text{цикл}} \frac{\delta Q}{T} = \int_1^2 \frac{\delta Q}{T} + \int_2^1 \frac{\delta Q}{T}$$

$$\int_1^2 \frac{\delta Q}{T} + \int_2^1 \frac{\delta Q}{T} = 0 \Rightarrow \int_1^2 \frac{\delta Q}{T} = \int_1^2 \frac{\delta Q}{T} \Rightarrow \text{интегрирование не зависит от 'пути', а зависит только от состояния}$$

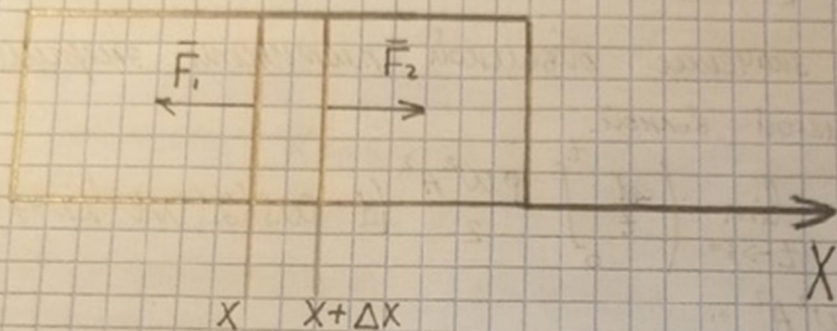


Тогда величина  $dS = \frac{\delta Q}{T}$  - есть функция состояния  $S$  (энтропия) - это величина, изменение которой равно количеству приведенной теплоты в обратимом процессе.

21) Объемная плотность энергии упругой волны  
(вывод на примере плоской продольной волны).

Вектор Хауба (вектор плотности потока энергии).

Объемная плотность энергии упругой волны



Рассмотрим участок  $\Delta x$

При колебаниях скорость участка  $\Delta x = \frac{\partial \epsilon_e}{\partial t}$

Величина деформации  $\frac{\partial \epsilon_e}{\partial x}$

$W_{кин} = W_{пот}$  данной участка;  $W_k = \frac{1}{2} \rho S \Delta x \left( \frac{\partial \epsilon_e}{\partial t} \right)^2$

$$W_n = \frac{1}{2} E \left( \frac{\partial \epsilon_e}{\partial x} \right)^2 S \Delta x$$

$$V = S \Delta x$$

Объемная плотность механической энергии

$$W = \frac{W_n + W_k}{V} = \frac{1}{2} \rho \left( \frac{\partial \epsilon_e}{\partial t} \right)^2 + \frac{1}{2} E \left( \frac{\partial \epsilon_e}{\partial x} \right)^2$$

$$\epsilon_e = A \cos(\omega t - kx + d) \Rightarrow \frac{\partial \epsilon_e}{\partial t} = -\omega A \sin(\omega t - kx + d)$$

$$\frac{\partial \epsilon_e}{\partial x} = k A \sin(\omega t - kx + d)$$

$$W = \rho \omega^2 A^2 \sin^2(\omega t - kx + d) + \frac{1}{2} E k^2 A^2 \sin^2(\omega t - kx + d)$$

$$W = (\omega^2 \rho + E k^2) \frac{1}{2} A^2 \sin^2(\omega t - kx + d)$$

$$v^2 = \frac{E}{\rho} = \frac{\omega^2}{k^2}$$

$$W = \rho \cdot \omega^2 \left( 1 + \frac{E}{\rho} \frac{k^2}{\omega^2} \right) \frac{1}{2} A^2 \sin^2(\omega t - kx + d) =$$

$$= \rho \omega^2 \cdot 2 \cdot \frac{1}{2} A^2 \sin^2(\omega t - kx + d)$$

$$W = \frac{\rho \omega^2 A^2}{2} (1 - \cos(2(\omega t - kx + d)))$$

Среднее значение объемной плотности энергии, переносимой волной.

$$\langle W \rangle = \lim_{t \rightarrow \infty} \left( \frac{1}{t} \int_0^t \frac{\rho \omega^2 A^2}{2} (1 - \cos(2(\omega t - kx + d))) dt \right) =$$

$$= \frac{\rho \omega^2 A^2}{2}$$

Вектор Умова (вектор плотности потока энергии)

$$\vec{J} = W \cdot \vec{v}$$

3) Во сколько раз изменится объем метана  $\text{CH}_4$  при адиабатном увеличении его давления в 16 раз? Найдите точку удельную теплотворность метана при постоянном давлении?

2).  
Дано:  
 $\partial Q = 0$   
 $p_1/p_2 = 16$

Решение:

Уравнение для адиабатического процесса:  $pV^\gamma = \text{const}$

$$\Rightarrow p_1 V_1^\gamma = p_2 V_2^\gamma$$

$$V_1^\gamma = 16 V_2^\gamma \Rightarrow \frac{V_1}{V_2} = \frac{1}{\sqrt[3]{16}}$$

метан ( $\text{CH}_4$ ) - многоатомный газ  $\Rightarrow i = 6$

$$\gamma = \frac{C_p}{C_v}$$

$$C_p = \frac{i+2}{2} R \Rightarrow \gamma = \frac{i+2}{i} = \frac{8}{6} = \frac{4}{3}$$

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

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{1}{\sqrt[3]{16}} = \frac{1}{16^{1/3}} = \frac{1}{8} \quad \text{Ответ: } \frac{V_1}{V_2} = \frac{1}{8}$$