

Лекция 1/15

Статистическое описание равновесных состояний.  
 Функция распределения. Барометрическая формула.  
 Распределение Больцмана. Принцип детального равновесия.  
 Распределение Максвелла. Экспериментальная проверка  
 распределения Максвелла. Экспериментальная проверка  
 распределения Максвелла. Разовое пространство.  
 Распределение Максвелла-Больцмана. Равновесные  
 функции. Статистическое обоснование Эйнштейна  
 термодинамики. Формула Больцмана для статического  
 энтропии.

Матем. отступление

$p(x, x_1 < x < x_2) = \int_{x_1}^{x_2} f(x) dx$  - вероятность, что значение  $x$   
 попадет в интервал  $x_1 < x < x_2$ .  
 $\langle x \rangle = \int_{-\infty}^{+\infty} x f(x) dx$  - среднее значение  $x$ .

$f(x)$  - плотность вероятности

Для  $f(x)$  во всем пространстве:  $\int_{-\infty}^{+\infty} f(x) dx = 1$

Распределение Гаусса:  $f(x) = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{(x - \langle x \rangle)^2}{2\sigma^2}\right)$

Распределение Больцмана

$p = p_0 e^{-\frac{W_n}{kT}}$  - формула Больцмана  
 $n = n_0 e^{-\frac{W_n}{kT}}$  - формула Больцмана по энергии

где  $k = \frac{R}{N_A}$  - постоянная Больцмана

$W_n = m \cdot g \cdot h$  - потенциальная энергия молекулы

$\langle W_n \rangle = \frac{\sum W_n}{N}$  - средняя энергия молекулы

$\langle W_n \rangle = \frac{\sum W_n}{N} = kT$



## Распределение Максвелла

$$f(V) = \left( \frac{m}{2\pi kT} \right)^{\frac{3}{2}} e^{-\frac{mV^2}{2kT}} = \left( \frac{m}{2\pi kT} \right)^{\frac{3}{2}} e^{-\frac{W_k}{kT}} \quad \text{— ф. в макс. распр. макс. по скорости}$$

Распределение Максвелла по абс. зной скорости

$$F(V) = 4\pi V^2 f(V) = 4\pi \left( \frac{m}{2\pi kT} \right)^{\frac{3}{2}} V^2 e^{-\frac{mV^2}{2kT}} \quad \text{— ф. в распр. макс. по абс. зной скорости}$$

$$V_{\text{вер}} = \sqrt{\frac{2kT}{m}} = \sqrt{\frac{2W_k}{m}} \quad \text{— наиб. вер. скор.}$$

$$\langle V \rangle = \sqrt{\frac{8kT}{\pi m}} = \sqrt{\frac{8W_k}{\pi m}} \quad \text{— сред. зной скорости}$$

$$V_{\text{ср}} = \sqrt{\langle V^2 \rangle} = \sqrt{\frac{3kT}{m}} \quad \text{— средн. квадратичная скор.}$$

$$W_{\text{вер}} = \frac{kT}{2} \quad \text{— наиб. вероятн. кинет. энергия при макс. максим. распр.}$$

## Распределение Максвелла - Больцмана

$$n_2(x, y, z; V_x, V_y, V_z) = n_0 \left( \frac{m}{2\pi kT} \right)^{\frac{3}{2}} e^{-\frac{W_m + W_k}{kT}} \quad \text{— распр. Максвелла - Больцмана}$$

• Значит: макс. вероят. , макс. скор., кинет. энергия не могут быть нул. Вектор  $\rightarrow$  велич. их векторов  $\rightarrow$  темп. ненулевая.

$$P(W_i) = \frac{1}{\Theta} \exp\left(-\frac{W_i}{kT}\right), \quad \text{где } \Theta = \sum_{i=1}^m \exp\left(-\frac{W_i}{kT}\right) \quad \text{— распр. Больцмана для дискретных состояний}$$



Равновесие флуидов  
 Флуидная сущ. опис. равнов. с парам. фл.  
 термодин. системы от его средн. значений.

Возм. из-за хаотического тем. движения газовой среды  
 $\Delta x = \lambda - \langle x \rangle$

$$\langle \Delta x \rangle = 0$$

$$\langle (\Delta x)^2 \rangle = \langle x^2 \rangle - \langle x \rangle^2$$

$\sqrt{\langle (\Delta x)^2 \rangle}$  - средн. кв. фл. флуидов

$\frac{\sqrt{\langle (\Delta x)^2 \rangle}}{\langle x \rangle}$  - средн. кв. фл. относ. флуидов

Важное обоснование 2-го закона термодинам.

$$S_2 - S_1 = k \ln \left( \frac{V_2}{V_1} \right)^n = k \ln \left( \frac{P(V_2)}{P(V_1)} \right)$$

Важная величина  $G$  - количество перестановок -  
 величина, значение равнод. пер-в. равновесия  
 микроподсистем

$$G = \frac{N!}{N_1! N_2! N_3! \dots N_n!}; N_i - \text{число частиц в сост. } i$$

$S = k \ln G$  - формула Больцмана

Одн. по числу пер-в.

1) Ф. и пер-в. имеют оди. велич. опис.  
 Если малы  $\lambda$ , скорость пер-в. пер-в.  
 пер-в. пер-в. пер-в. пер-в. пер-в. пер-в.  
 пер-в. пер-в. пер-в. пер-в. пер-в. пер-в.

$$\int_{-\infty}^{\infty} f(x) dx = 1$$



2)  $f(v) = \left( \frac{m}{2\pi kT} \right)^{\frac{3}{2}} e^{-\frac{mv^2}{2kT}}$  - ф-я распр. молекул.  
 $V_{\text{ср}} = \sqrt{\frac{2kT}{m}} = \sqrt{\frac{2RT}{M}}$  - наиб. вер. скор.  
 $\langle V \rangle = \sqrt{\frac{8kT}{\pi m}} = \sqrt{\frac{8RT}{\pi M}}$  - сред. скор.

$V_{\text{кв}} = \sqrt{v^2} = \sqrt{\frac{3kT}{m}}$  - средн. квадрат. скор.

3)  $n = n_0 e^{-\frac{U}{kT}}$  - распр. Больцмана  
 $p = p_0 e^{-\frac{U}{kT}}$  - барометр ф-я

1) возр. газа линейно темп. и линейно по числу молекул.  
 давление, результир. сила, действ. на ст. силы, темп., темп. верт. влорже.

4) Интерференция свет - свт. световые, интерф.  
 заданные координаты и моменты всех частиц

Термодинамика - наука о возможности.  
 процессов передачи тепла и совершения работы.

Равновесие системы. Термодинамические системы, характерные процессы. Внутреннее давление, неизменность параметров в равновесии. Внутреннее давление.

Процесс Гиббса. Внутр. при изм. скорости при изменении 2 излучения газом. В состоянии равновесия. Излучение. Излучение; в равновесии.

5) Рентгеновский - свт. отлучение какого-либо вещества. Термодинамическая система его среды. Значения

$S = k \ln G$ , где  $k$  - постоянная Больцмана,  $G$  - количество все

гипотез термодинамики (св. свт.). Излучение термодинамической системы. Задано значение температуры.