Інститут ядерних досліджень НАНУ

ФІЗИКА НЕІДЕАЛЬНОЇ ПЛАЗМИ

Лекція #8

Модуль #1

Класична неідеальна плазма

8.1. Іон (атом) в зовнішньому полі

$$z-1$$

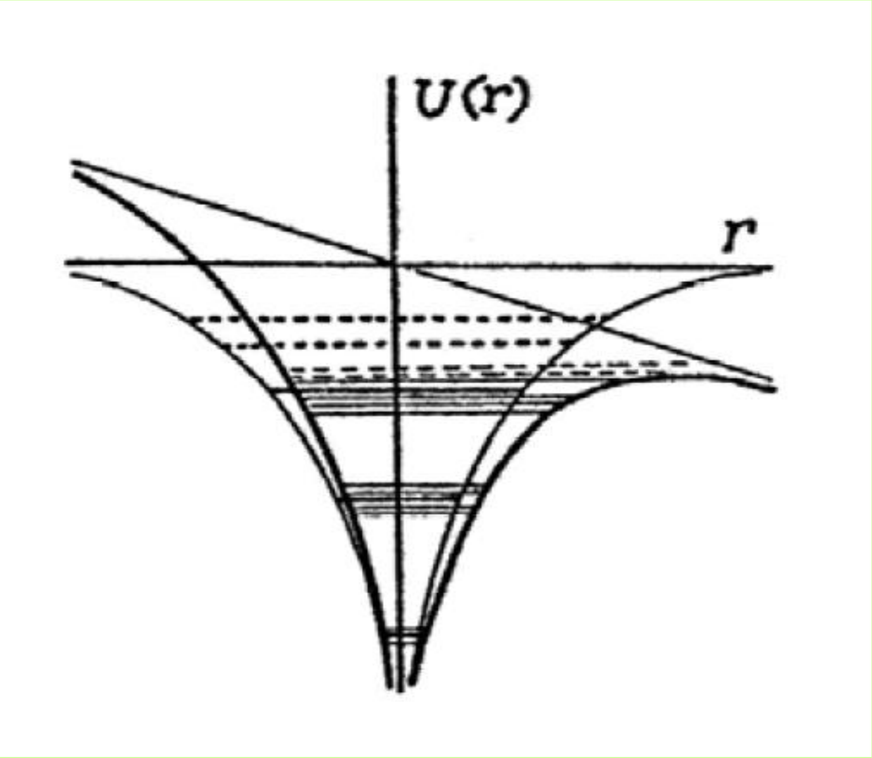
Поле заряда+ мікрополе

$$U=-\frac{ze}{r}+\vec{\varepsilon}\cdot\vec{r}$$

$$u^{*}=-2\left(z\varepsilon\right)^{1/2}$$

$$IP-E_n<\left|u^{*}\right|$$

$$\varepsilon>\varepsilon_n=\frac{\left(IP-E_n\right)^2}{4z}$$



Іон (атом) в зовнішньому полі.
Розріз по направленню поля

8.1. Статистична сума іона (атома) в плазмі

8.1.2. Іон в зовнішньому полі

Статистична сума іона (атома)

$$\Sigma_i = \sum_{n=0}^{\infty} g_n^*$$

$$g_n^* = g_n \omega_n \exp\left(-E_n/\theta\right)$$

$$0 \le E_n < IP \qquad \omega_n \le 1$$

$$\omega_n = \int_0^{\varepsilon_n} P\left(\varepsilon\right) d\varepsilon$$

8.3. Мікрополе в плазмі

8.3.1. Ймовірність мікрополя

$$\vec{E}_\alpha = -d\psi_{\alpha\alpha}/dr$$

$$\vec{E} = \sum_{i=1}^{N} \vec{\varepsilon}_i\left(\vec{r}_{0i}\right) \qquad \vec{\varepsilon}_i\left(\vec{r}_{0i}\right) = \frac{z_i e}{r_{0i}^2}\hat{\vec{r}}_{0i} \qquad \hat{\vec{r}}_{ij} = \frac{\vec{r}_i - \vec{r}_j}{\left|\vec{r}_i - \vec{r}_j\right|}$$

$$W\left(\vec{\varepsilon}\right) \equiv \left\langle \delta\left(\vec{\varepsilon} - \vec{E}\right)\right\rangle = Q_N^{-1}\int \exp\left(-U_{(N)}/\theta\right)\delta\left(\vec{\varepsilon} - \vec{E}\right)d(1)\ldots d\left(N\right)$$

$$\left\langle \vec{E}\bullet\vec{E}\right\rangle = 4\pi\theta\sum_{\alpha} n_\alpha z_\alpha / z_0$$

$$z_0 = 0$$

8.3. Мікрополе в плазмі

8.3.2. Ймовірність мікрополя

$$W(\varepsilon) = (2\pi)^{-3} \int dk T(\vec{k}) \exp(-i\vec{k}\vec{\varepsilon}) \qquad T(\vec{k}) = \left\langle \exp(-i\vec{k}\varepsilon) \right\rangle$$

$$P(\varepsilon) = 4\pi\varepsilon^2 W(\varepsilon) = \frac{2\varepsilon}{\pi} \int dk \cdot k \sin(k\varepsilon) T(k)$$

$$T(\vec{k}) = \int \exp(-i\vec{k}\vec{\varepsilon}) P_{(N)}(r_{01}, \dots, r_{0N}) d(1) \dots d(N)$$

8.3. Мікрополе в плазмі

8.3.3. Ймовірність мікрополя . Розкладення в ряд

$$T\left(\vec{k}\right)=\int \exp\left(-i\vec{k}\vec{\varepsilon}\right)P_{(N)}\left(r_{01},...,r_{0N}\right)d(1)...d\left(N\right)$$

$$\varphi_i=\exp\left(-i\vec{k}\vec{\varepsilon}_{0i}\right)-1 \qquad \exp\left(-i\vec{k}\vec{\varepsilon}_{0i}\right)=1+\Sigma_1\varphi_i+\Sigma_2\varphi_{ij}+....$$

$$V^M P_M=\prod g_1\left(r_{0i}\right)+\Sigma_2 g_2\left(r_{0j},r_{0k}\right)\prod g_1\left(r_{0i}\right)$$

$$V^1 g_1=G_1$$

$$+\Sigma_{22} g_2\left(r_{0j},r_{0k}\right)\prod g_2\left(r_{0i},r_{0m}\right)$$

$$+\Sigma_{222}\left[\quad\right]...+...+\Sigma_3\left[\quad\right]+...$$

$$V^2 g_2=G_{12}-1\,;\,(G_1=1)$$

8.1. Мікрополе в плазмі

8.3.3. Ймовірність мікрополя . Розкладення в ряд. Термодинамічна границя $N \to \infty, V \to \infty;\ n = N/V = const$

$$T\left(\vec{k}\right) = \exp\left[\sum_{m=1}^{\infty}\left(n_e^m/m!\right)h_m\left(\vec{k}\right)\right]$$

$$h_m = \int \varphi_1 \ldots \varphi_m g_m\left(r_{01}, \ldots, r_{0m}\right) d\left(1\right) \ldots d\left(m\right)$$

$$g_1 = 1 \qquad h_1\left(k\right) = \frac{4}{15}\left[2\pi e k\right]^{3/2}$$

$$P\left(\beta\right) = H\left(\beta\right) = \frac{2}{\pi\beta}\int_0^{\infty} dx \cdot x \sin x \exp\left[-\left(x/\beta\right)^{3/2}\right]$$

8.3. Мікрополе в плазмі

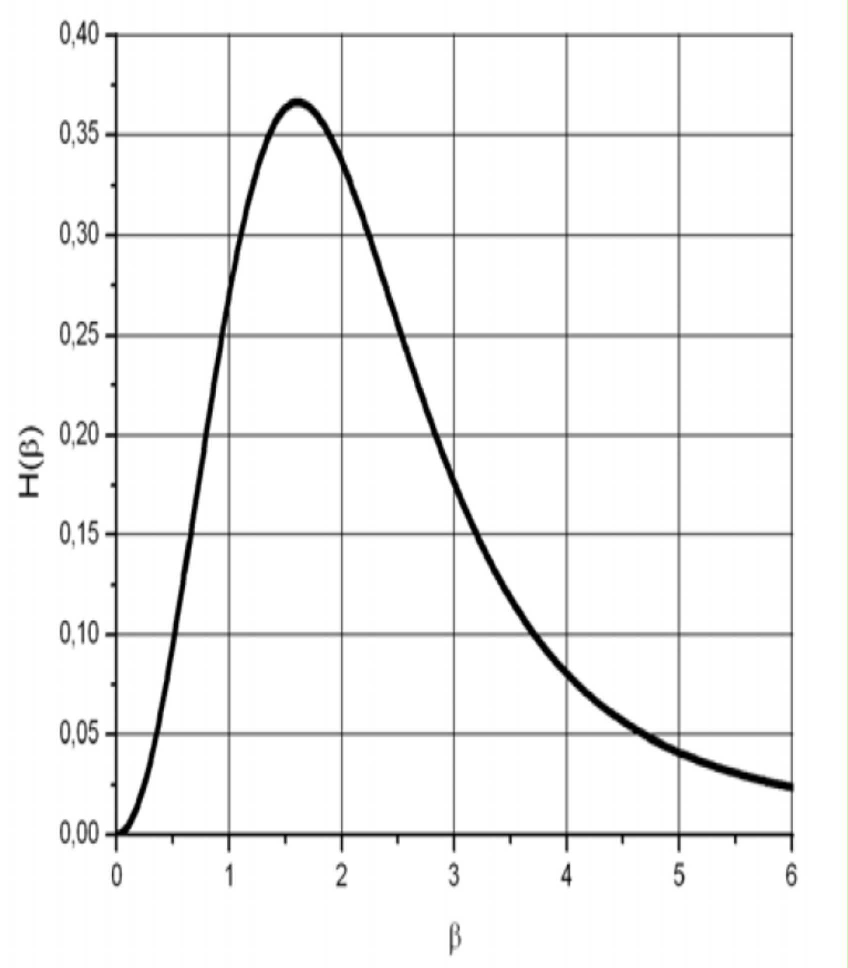
Функція Гольцмарка

$$H(\beta) = \frac{2}{\pi}\beta\int_0^\infty \exp(-x^{3/2})\sin(\beta x)x\,dx$$

$$\beta = Ea^2/(ze) \qquad x = r/a$$

$$a = \left[\frac{3}{4\pi n_e}\right]^{1/3}$$

$$H(\beta) = \begin{cases} \frac{4}{3}\pi\beta^2, \ \beta \to 0 \\ \frac{3}{2}\beta^{-5/2}, \ \beta \to \infty \end{cases}$$



8.3. Мікрополе в плазмі

8.3.5. Ймовірність мікрополя

$\Gamma = 0{,}213$