

43) Плазма. Дезаевский радиус экранирования.

плазма — частично или полностью ионизованный газ
квазинейтральность плазмы: плотности положительных и отрицательных зарядов практически совпадают, но величине

Экранирование

заряд q в плазме:

$$\begin{cases} \Delta\varphi = -4\pi q \\ \rho = \rho_+ - \rho_- = en_0 e^{-\frac{q\varphi}{kT_i}} - en_0 e^{-\frac{q\varphi}{kT_e}} \end{cases} \quad \left[\text{распределение Больцмана} \right]$$

$$n(x) = n_0 \exp(-U(x)/kT)$$

$$\rho \Rightarrow \Delta\varphi = -4\pi n_0 e \left(e^{-\frac{q\varphi}{kT_i}} - e^{-\frac{q\varphi}{kT_e}} \right)$$

$$\Delta\varphi = -4\pi n_0 e \left(-\frac{q\varphi}{kT_i} - \frac{q\varphi}{kT_e} \right)$$

$$\Delta\varphi - \frac{1}{\lambda_D^2} \varphi = 0, \text{ где } \frac{1}{\lambda_D^2} = \frac{1}{\lambda_{De}^2} + \frac{1}{\lambda_{Di}^2}$$

$$\lambda_{De} = \sqrt{\frac{kT_e}{4\pi n_0 e^2}}$$

$$\text{если } T_e = T_i: \lambda_D = \sqrt{\frac{kT}{8\pi n e^2}}$$

$\varphi = \frac{q}{r} e^{-\frac{r}{\lambda_D}} \leftarrow$ можно видеть, что λ_D действительно является радиусом экранирования

на расстояниях порядка λ_D происходит сильное экранирование внесённого в плазму заряда.

оценим характерные масштабы, на которых может происходить сильное разделение зарядов.

$$\begin{aligned} & \text{в состоянии равновесия } n_i = n_e \equiv n \\ & \sigma' = \frac{neV}{S} = ne\ell \Rightarrow E = 4\pi\sigma' = 4\pi ne\ell \\ & \text{некомпенсированные} \end{aligned}$$

$$W_E = \frac{E^2}{8\pi}$$

ослабляется за счёт кин. энергии W_T теплового движения электронов и ионов

$$W_T = W_T^{(e)} + W_T^{(i)} = n \frac{kT}{2} + n \frac{kT}{2} = nkT$$

$$\text{ЗСЭ: } W_E = W_T$$

$$\downarrow$$

$$E = \sqrt{8\pi nkT} = 4\pi ne\ell$$

$$\ell = \sqrt{\frac{kT}{2\pi ne^2}}$$

$$\lambda_D = \frac{\ell}{2} = \sqrt{\frac{kT}{8\pi ne^2}}$$

Дезаевский радиус: характеризует пространственный масштаб, на котором может происходить существенное отклонение от квазинейтральности

Плазменные колебания, плазменная частота

В слое плазмы толщиной x произошло разделение зарядов

$$\begin{aligned} & \text{в слое } x: \begin{cases} E = 4\pi\sigma' \\ \sigma' = -\frac{neV}{S} = -nex \end{cases} \Rightarrow E = -4\pi nex \quad (e < 0) \end{aligned}$$

это поле ускоряет каждый электрон ускорение $a = \frac{eE}{m}$ (направлено вниз).

уравнение движения электронов:

$$m\ddot{x} = eE \Rightarrow m \frac{d^2x}{dt^2} = -4\pi ne^2 x \Rightarrow \frac{d^2x}{dt^2} = -\omega_p^2 x, \text{ где}$$

$$\omega_p = \sqrt{\frac{4\pi ne^2}{m}} \quad \text{— плазменная (ленгмюровская) частота}$$

электроны совершают гармонические колебания от-но ионов с плазменной частотой. эти колебания называются плазменными, их амплитуда порядка λ_D .