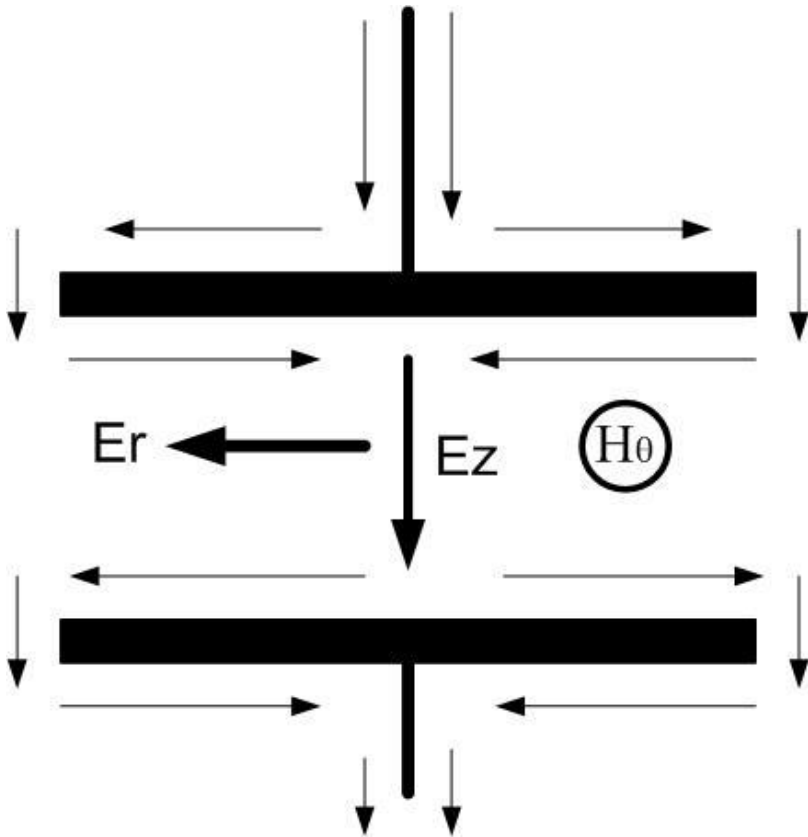


Лекция 6

Волновые эффекты



$$n_e \sim P \sim \omega^2 U$$

$$\text{rot} E = -\mu_0 \nabla_t H$$

$$\text{rot} H = \varepsilon_0 \nabla_t E$$

В цилиндрической системе координат

$$\text{rot} \mathbf{A} = \left(\frac{1}{r} \nabla_{\theta} A_z - \nabla_z A_{\theta} \right) \vec{r} + \mathbf{e}_r$$

$$\left(\nabla_z A_r - \nabla_r A_z \right) \vec{\theta} + \mathbf{e}_{\theta}$$

$$\left[\frac{1}{r} \nabla_r (r \cdot A_{\theta}) - \frac{1}{r} \nabla_{\theta} A_z \right] \vec{z}$$

Отличны от 0:

E_z

H_{θ}

$$\frac{1}{r} \cdot \frac{d}{dr} (r \cdot H_{\theta}) = -i\omega \cdot \epsilon_0 \cdot E_Z$$

$$\frac{dE_Z}{dr} = -i\omega\mu_0 H_{\theta} \qquad H_{\theta} = \frac{i}{\omega\mu_0} \cdot \frac{dE_Z}{dr}$$

$$\frac{d^2 E_Z}{dr^2} + \frac{1}{r} \cdot \frac{dE_Z}{dr} + k^2 E_Z = 0$$

$$k^2 = \omega^2 \epsilon_0 \mu_0 = \frac{\omega^2}{c^2} = \left(\frac{2\pi}{\lambda} \right)^2$$

$$E_z = E_0 \cdot J_0(k \cdot r)$$

$$H_\theta = \frac{E_0 \cdot k}{i\omega\mu_0} J_1(kr) = -iE_0 \cdot \sqrt{\frac{\epsilon_0}{\mu_0}} \cdot J_1(k \cdot r)$$

В случае $k \cdot r \ll 1$

$$E_z = E_0 \cdot \left(1 - \frac{k^2 \cdot r^2}{4} \right)$$

$$H_\theta = -i \cdot \frac{\epsilon_0 \omega \cdot r}{2} \cdot E_0$$

Оценки

$$\nu = 100 \text{ МГц}$$

$$\omega = 6.28 \cdot 10^8$$

$$\lambda = \frac{c}{\nu} = 3 \text{ М}$$

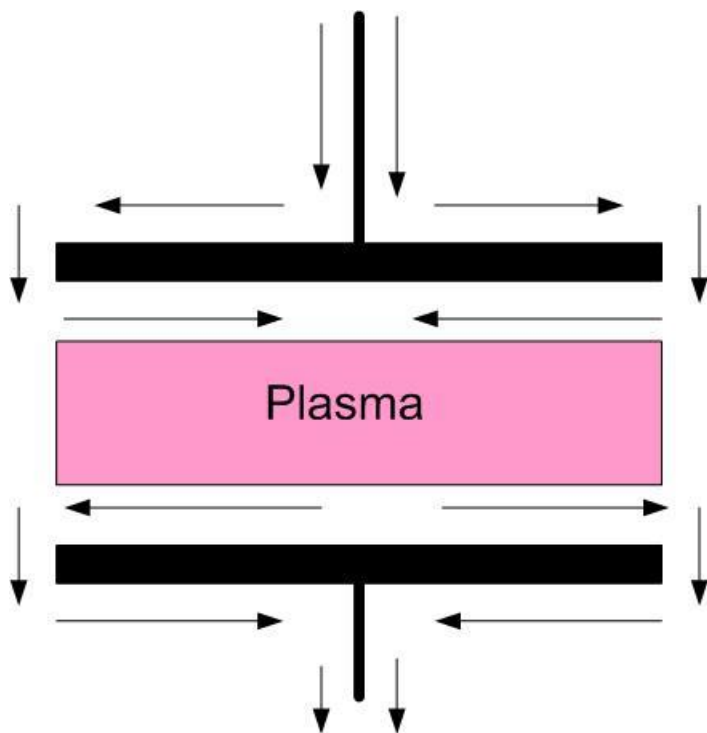
$$k = 2.9 \text{ м}^{-1}$$

$$\left(\frac{k \cdot r}{4} \right)^2 > 0.1$$

$$r > 0.43$$

Конденсатор, заполненный плазмой

Поверхностная волна



1. Заполнен плазмой полностью

$$k = \frac{\omega}{c} \cdot \sqrt{\epsilon_p}$$

$$\epsilon_p = 1 - \frac{(\omega_p)^2}{\omega^2}$$

$$\omega = 6.28 \cdot 10^8$$

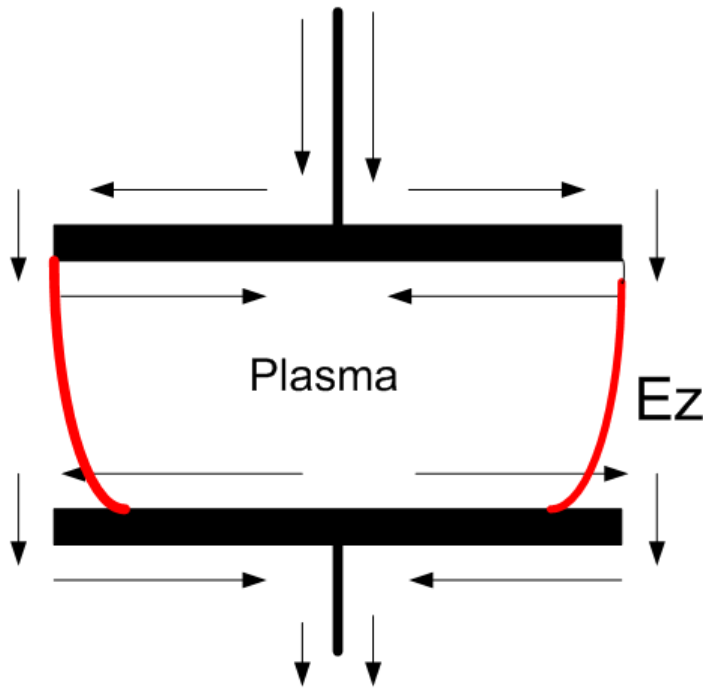
$$n_e = 10^{17}$$

$$\omega_p = 1.7 \cdot 10^{10}$$

$$\epsilon_p = -\left(\frac{\omega_p}{\omega}\right)^2$$

$$k = i \cdot \frac{\omega}{c} \cdot \frac{\omega_p}{\omega} = i \cdot \frac{\omega_p}{c}$$

$$E_Z = I_0 \cdot J_0 \left(i \cdot \frac{\omega_p}{c} \cdot r \right) = i_0 I_0 \left(\frac{\omega_p}{c} r \right)$$



$$\left(\frac{\omega_p}{c} \right)^{-1} = 1.7 \cdot 10^{-2}$$

2. Поверхностная волна

$$\frac{(k_r)^2}{k^2} = 1 + \frac{\delta}{s_m} \left(1 - i \cdot \frac{\nu_m}{\omega} \right)^{\frac{1}{2}} \cdot \tanh \left[\frac{d}{2\delta} \cdot \frac{1}{\left(1 - i \cdot \frac{\nu_m}{\omega} \right)^{\frac{1}{2}}} \right]$$

$$\delta = \frac{c}{\omega_p} \quad \text{Толщина скин-слоя}$$

s_m Толщина приэлектродного слоя

d Толщина слоя плазмы

$$\nu_m = 0 \quad \lambda = \frac{\lambda_0}{\sqrt{1 + \frac{\delta}{s_m} \cdot \tanh\left(\frac{d}{2\delta}\right)}}$$

Возможны два случая:

А. Небольшая плотность электронов в плазме. Толщина скин-слоя больше толщины плазмы.

$$\delta = \frac{c}{\omega_p} > d$$

$$(k_r)^2 = k^2 \cdot \left(1 + \frac{d}{2 \cdot s_m}\right) \quad \lambda = \frac{\lambda_0}{\sqrt{1 + \frac{d}{2 \cdot s_m}}} = \lambda_0 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot s_m}{d}}$$

В. Большая плотность электронов.

Глубина скин-слоя меньше толщины плазмы.

$$d > \delta$$

$$(k_r)^2 = k^2 \cdot \left(1 + \frac{\delta}{s_m} \right)$$

$$\lambda = \frac{\lambda_0}{\sqrt{1 + \frac{\delta}{s_m}}}$$