

IV. ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ВОЛНЫ

Основные понятия и уравнения

- Электромагнитные волны
- Поперечность электромагнитных волн
- Фазовая скорость электромагнитных волн в среде
- Волновое уравнение электромагнитной волны
- Уравнение плоской электромагнитной волны
- Объемная плотность энергии электромагнитного поля
- Вектор плотности потока электромагнитной энергии (вектор Умова-Пойтинга)
- Шкала электромагнитных волн

Основные формулы

Фазовая скорость распространения электромагнитных волн в среде

$$v = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_0 \mu_0}} \frac{1}{\sqrt{\epsilon \mu}} = \frac{c}{\sqrt{\epsilon \mu}}$$

$[c = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_0 \mu_0}}$ - скорость распространения света в вакууме; ϵ_0 и μ_0 - соответственно электрическая и магнитная постоянные; ϵ и μ - соответственно электрическая и магнитная проницаемость среды].

Связь между мгновенными значениями напряженностей электрического (E) и магнитного (H) полей электромагнитной волны

$$\Delta \vec{E} = \frac{1}{v^2} \frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial t^2}, \quad \Delta \vec{H} = \frac{1}{v^2} \frac{\partial^2 \vec{H}}{\partial t^2}$$

$\Delta = \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2}$ - оператор Лапласа; v - фазовая скорость электромагнитных волн; \vec{E} и \vec{H} - соответственно векторы напряженностей электрического и магнитного полей электромагнитной волны].

Уравнения плоской электромагнитной волны

$$\vec{E} = \vec{E}_0 \cos(\omega t - kx + \varphi), \quad \vec{H} = \vec{H}_0 \cos(\omega t - kx + \varphi)$$

[\vec{E}_0 и \vec{H}_0 - соответственно амплитуды напряженностей электрического и магнитного полей волны; ω - круговая частота; $k = \omega/v$ - волновое число; φ - начальная фаза колебаний в точке с координатой $x = 0$].

Объемная плотность энергии электромагнитного поля

$$w = \frac{\epsilon_0 \epsilon E^2}{2} + \frac{\mu_0 \mu H^2}{2}$$

[E - напряженность электрического поля волны; H - напряженность магнитного поля волны].

Вектор плотности потока электромагнитной энергии – вектор Умова-Пойтинга

$$\vec{S} = [\vec{E}\vec{H}]$$

[\vec{E} - вектор напряженности электрического поля электромагнитной волны; \vec{H} - вектор напряженности магнитного поля электромагнитной волны].

Эффект Доплера

$$v = v_0 \frac{\sqrt{1 - \beta^2}}{1 - \beta \cos \alpha}, \quad \text{где } \beta = v/c.$$

При $\alpha = 0$ эффект Доплера называют продольным, а при $\alpha = \pi/2$ - поперечным.