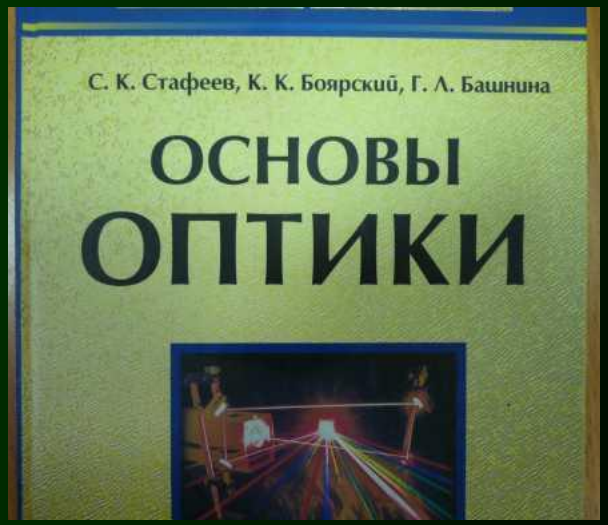
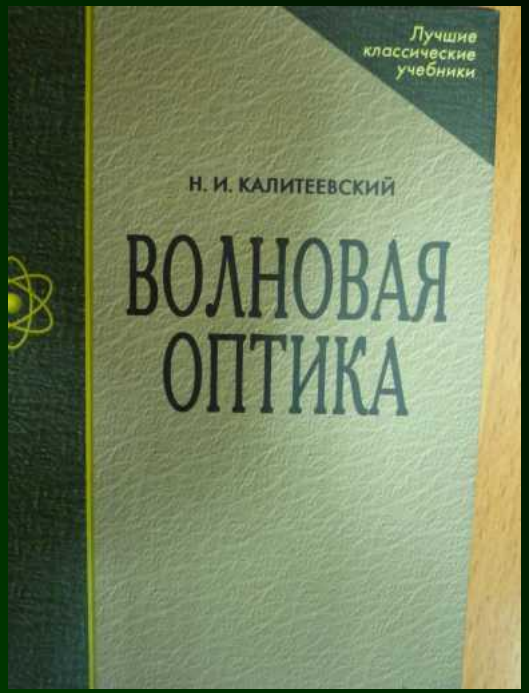
Литература


С. К. Стафеев, К. К. Боярский, Г. Л. Башнина
ОСНОВЫ
ОПТИКИ


ОПТИКА
Геометрическая оптика и фотометрия
ОПТИКА
ОПТИКА
ОПТИКА


Лучшие классические учебники
Н. И. КАЛИТЕЕВСКИЙ
ВОЛНОВАЯ ОПТИКА


Е. И. БУТИКОВ
ОПТИКА

Уравнения Максвелла

1873 г.

$$\operatorname{rot}\vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$$

$$\operatorname{rot}\vec{H} = \vec{j} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t}$$

$$\operatorname{div}\vec{D} = \rho$$

$$\operatorname{div}\vec{B} = 0$$

Материальные уравнения

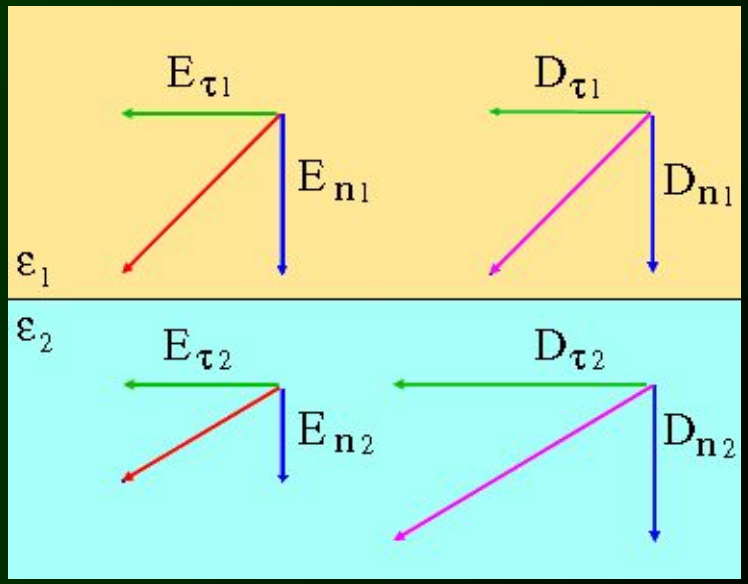
$$\vec{D} = \varepsilon\varepsilon_0\vec{E}$$

$$\vec{B} = \mu\mu_0\vec{H}$$

$$\vec{j} = \sigma\vec{E}$$

Параметр	Тип среды
$\sigma = 0$	Диэлектрическая
$\sigma \neq 0$	Проводящая
$\varepsilon = \text{const}$	Однородная, изотропная
$\varepsilon = \varepsilon(x, y, z)$	Неоднородная
$\varepsilon = \varepsilon(\text{направления})$	Анизотропная
$\varepsilon = \varepsilon(\mathbf{E})$	Нелинейная

Граничные условия



$$E_{\tau 1} = E_{\tau 2}$$

$$H_{\tau 1} = H_{\tau 2}$$

$$D_{n1} = D_{n2}$$

$$B_{n1} = B_{n2}$$

Волновое уравнение

Однородный изотропный диэлектрик

$$\operatorname{rot}\vec{E} = -\mu\mu_0 \frac{\partial \vec{H}}{\partial t}$$

$$\frac{\partial}{\partial t} \operatorname{rot}\vec{H} = \varepsilon\varepsilon_0 \frac{\partial \vec{E}}{\partial t}$$

$$\operatorname{div}\vec{E} = 0$$

$$\operatorname{div}\vec{H} = 0$$

$$\operatorname{rot}\operatorname{rot}\vec{E} = -\varepsilon\varepsilon_0\mu\mu_0 \frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial t^2}$$

$$\operatorname{rot}\operatorname{rot}\vec{E} = \operatorname{grad}\operatorname{div}\vec{E} - \Delta\vec{E}$$

Оператор Лапласа

$$\Delta = \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2}$$

$$\Delta\vec{E} = \varepsilon\mu\varepsilon_0\mu_0 \frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial t^2}$$

Скорость э/м волн

$$\Delta\vec{E} = \varepsilon\mu\varepsilon_0\mu_0 \frac{\partial^2\vec{E}}{\partial t^2} \qquad \Delta\vec{E} = \frac{1}{v^2}\frac{\partial^2\vec{E}}{\partial t^2} \qquad v = \frac{1}{\sqrt{\varepsilon\mu\varepsilon_0\mu_0}}$$

Вакуум: $c = \frac{1}{\sqrt{\varepsilon_0\mu_0}}$ $c = 299792456$ м/с

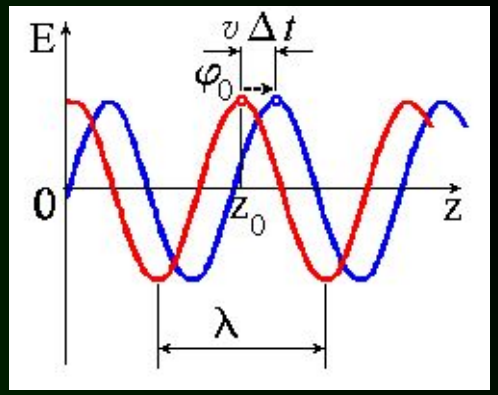
Показатель преломления $n = \frac{c}{v} = \sqrt{\varepsilon\mu}$ $n = \sqrt{\varepsilon}$

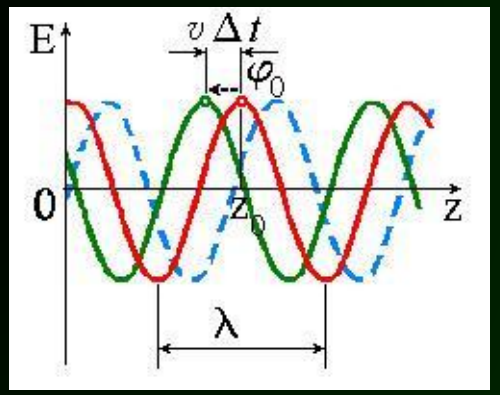
Вещество	n	√ε	Вещество	n	√ε
водород	1,000139	1,000139	бензол	1,501	1,511
воздух	1,000292	1,000302	спирт	1,36	5,1
углекислота	1,000499	1,000485	вода	1,33	9

Плоская монохроматическая волна

$$\vec{E} = \vec{E}(z) \qquad \frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial z^2} = \frac{1}{v^2}\frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial t^2}$$

$$\vec{E}(z,t) = \vec{A}_1 \cos\left[\omega\left(t - \frac{z}{v}\right)\right] + \vec{A}_2 \cos\left[\omega\left(t + \frac{z}{v}\right)\right]$$



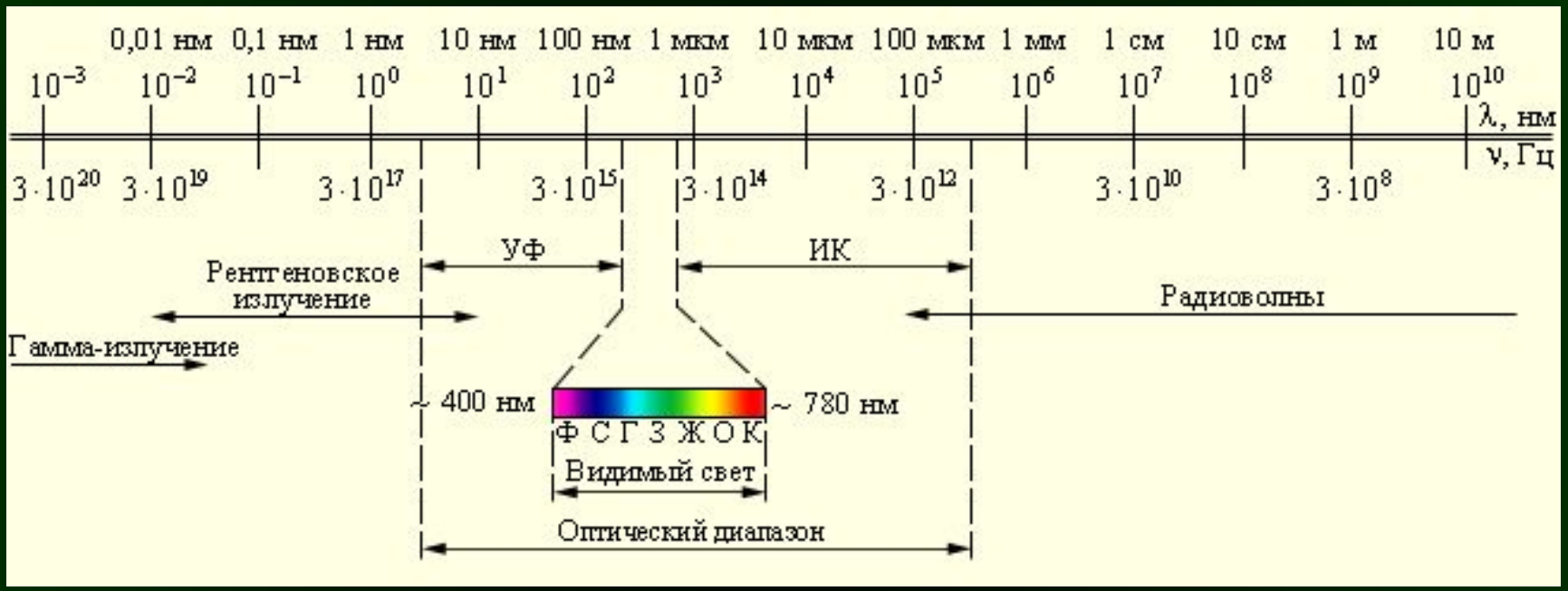


$$\lambda = vT = \frac{2\pi v}{\omega}$$

Плоская волна:

волновой фронт $z = \text{const}$

Шкала э/м волн



Формы уравнения плоской волны

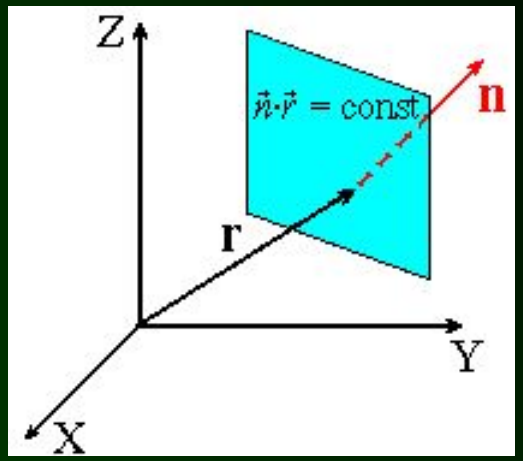
$$\vec{E}(z,t) = \vec{A}\cos\left[\omega\left(t - \frac{z}{v}\right)\right]$$

$$\vec{E}(z,t) = \vec{A}\cos(\omega t - kz)$$

$$k = \frac{\omega}{v} = \frac{2\pi}{\lambda}$$

волновое число

$$[k] = \text{см}^{-1}$$



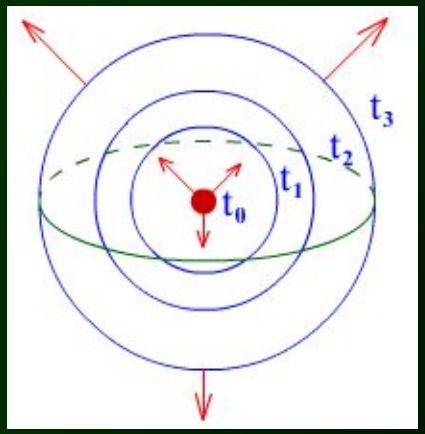
$$\vec{E}(\vec{r},t) = \vec{A}\cos\left(\omega t - \vec{k}\cdot\vec{r}\right)$$

$$\vec{k} = \vec{n}k$$

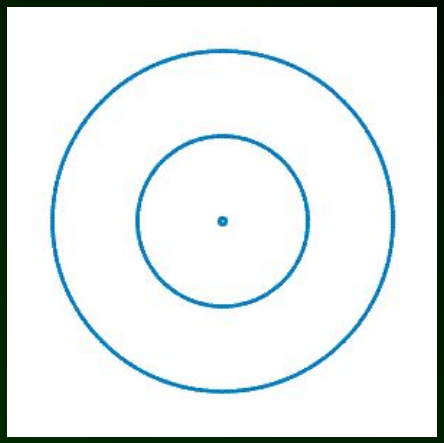
волновой вектор

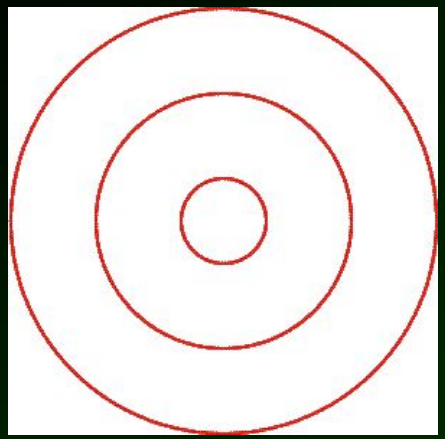
$$\vec{E}(\vec{r},t) = \vec{A}e^{i\left(\omega t - \vec{k}\vec{r}\right)}$$

Сферические волны



$$\vec{E}(r,t) = \frac{\vec{A}_1}{r}\cos(\omega t - kr) + \frac{\vec{A}_2}{r}\cos(\omega t + kr)$$



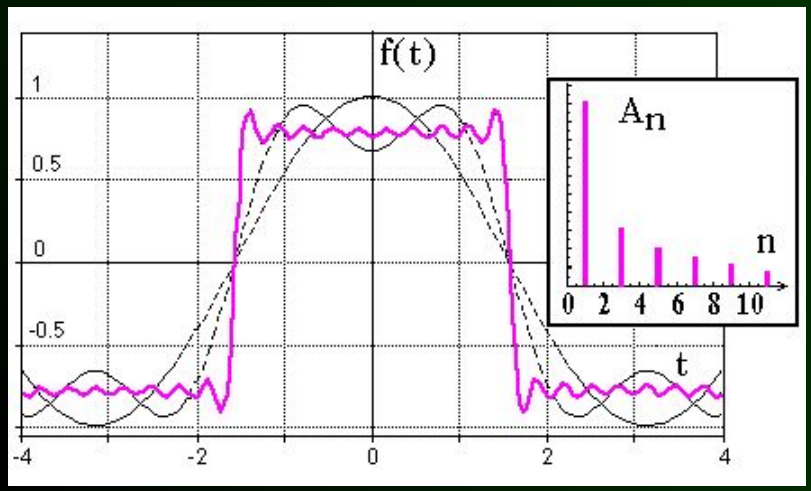


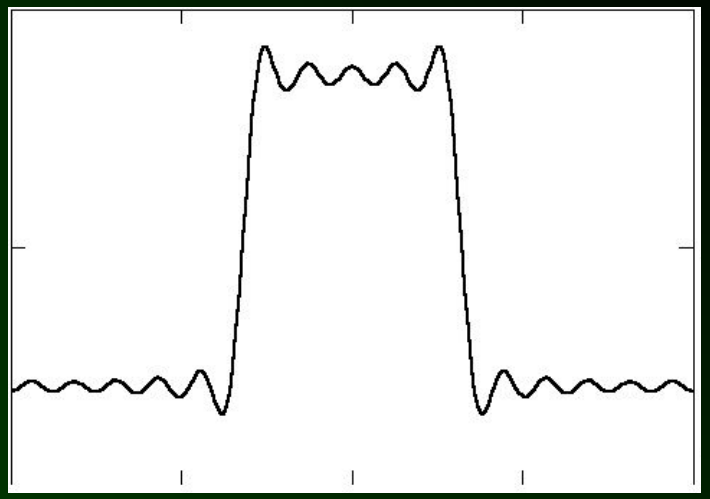
Спектральное представление

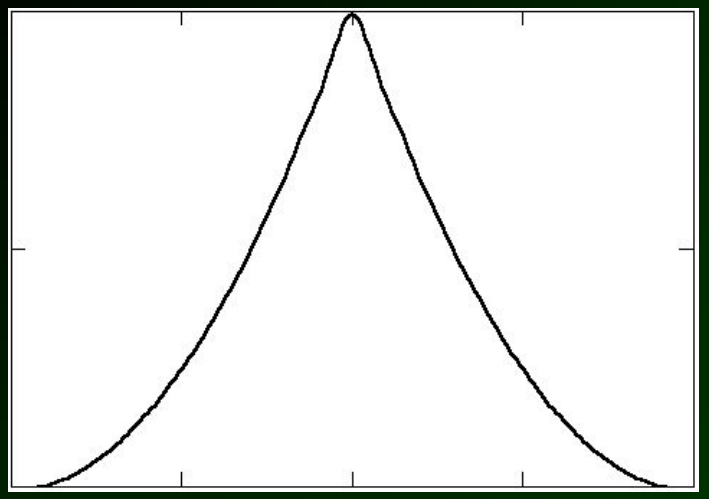
Преобразование Фурье

$$F(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} f(t) e^{-i\omega t} dt$$

$$f(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} F(\omega) e^{i\omega t} d\omega$$







Свойства э/м волн

$$\vec{E}(x,y,z,t) = \vec{A}e^{i\left(\omega t - \vec{k}\vec{r}\right)} = \vec{A}e^{i\left(\omega t - k_x x - k_y y - k_z z\right)}$$

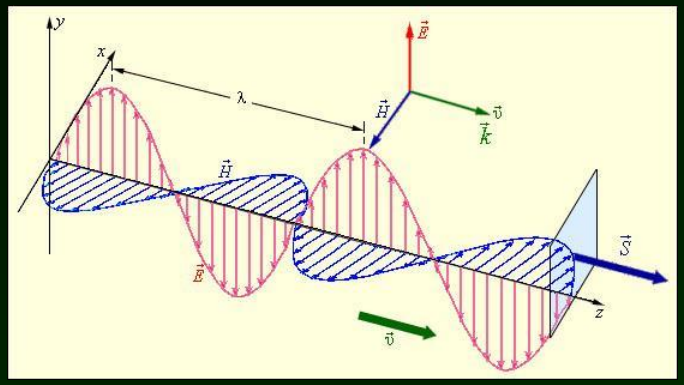
$$\frac{\partial \vec{E}}{\partial t} = i\omega \vec{E} \qquad \frac{\partial \vec{E}}{\partial x} = -ik_x \vec{E} \qquad \nabla \times \vec{E} = -i\vec{k} \times \vec{E}$$

$$\text{rot}\,\vec{E} = -\mu\mu_0 \frac{\partial \vec{H}}{\partial t} \qquad -i\vec{k} \times \vec{E} = -\mu\mu_0 i\omega \vec{H}$$

$$\text{rot}\,\vec{H} = \varepsilon\varepsilon_0 \frac{\partial \vec{E}}{\partial t} \qquad -i\vec{k} \times \vec{H} = \varepsilon\varepsilon_0 i\omega \vec{E}$$

$$\vec{E} \perp \vec{k}, \quad \vec{H} \perp \vec{k}$$

Поперечность



$$\vec{E}, \vec{H}, \vec{k}$$

Правая тройка векторов

Интенсивность света

$$kE = \mu\mu_0\omega H \Rightarrow \sqrt{\varepsilon\varepsilon_0}E = \sqrt{\mu\mu_0}H$$

Вектор Пойнтинга – вектор плотности потока энергии

$$\vec{S} = \vec{E} \times \vec{H}$$

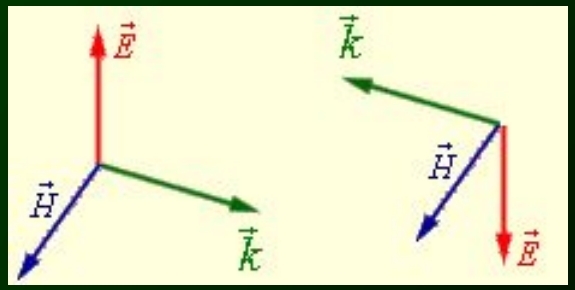
$$\vec{E} = \vec{E}_0 \cos\left(\omega t - \vec{k}\vec{r}\right)$$

$$\vec{H} = \vec{H}_0 \cos\left(\omega t - \vec{k}\vec{r}\right)$$

$$S = \sqrt{\frac{\varepsilon_0}{\mu_0}} n E_0^2 \cos^2\left(\omega t - \vec{k}\vec{r}\right)$$

$$I = \langle S \rangle \sim E_0^2$$

$$[\, I \,] = \text{Вт/м}^2$$

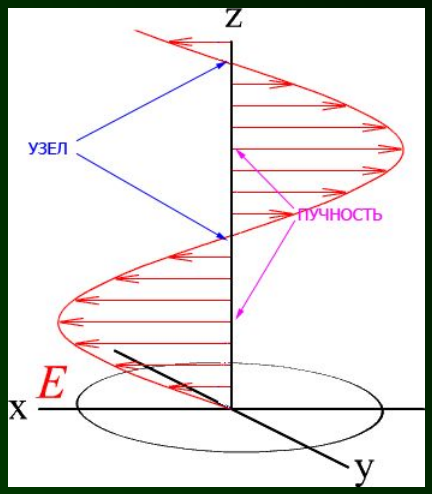


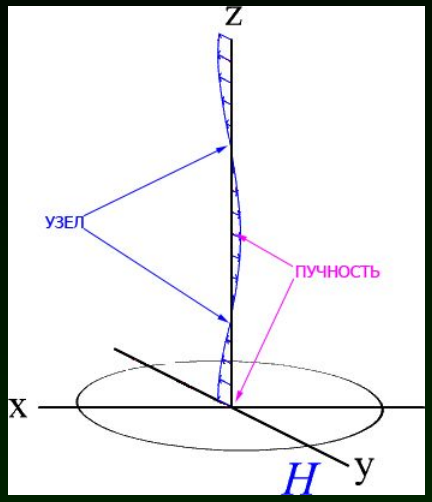
Стоячие волны

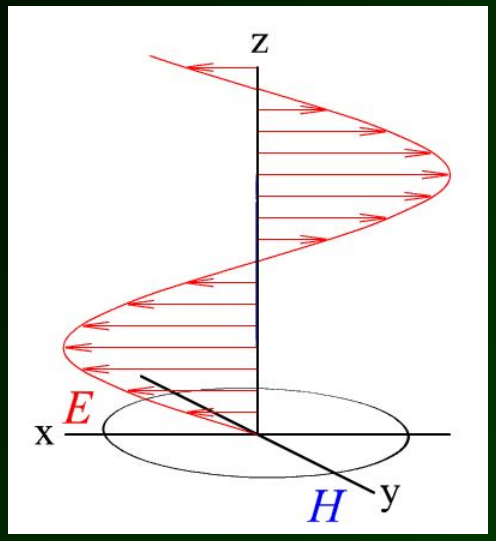
$$E_1 = E_0 \cos(\omega t - kz) \qquad H_1 = H_0 \cos(\omega t - kz)$$

$$E_2 = -E_0 \cos(\omega t + kz) \qquad H_2 = H_0 \cos(\omega t + kz)$$

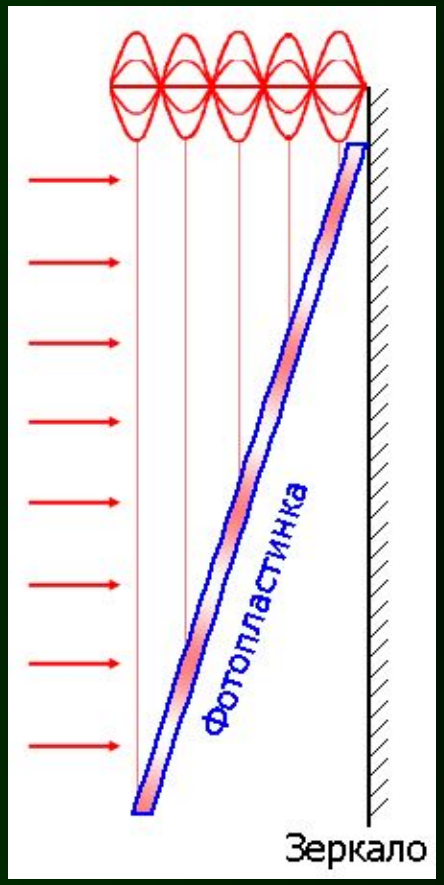
$$E = 2E_0 \sin \omega t \sin kz \qquad H = 2H_0 \cos \omega t \cos kz$$







Опыт Винера



$$E = cB$$

$$\frac{F_{\text{магн}}}{F_{\text{эл}}} = \frac{evB}{eE} = \frac{v}{c}$$

1890 г.