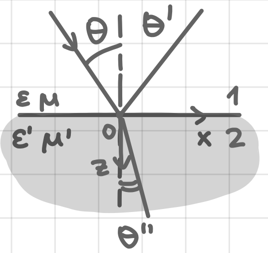
38 Электромагнитные волны на границе раздела двух диэлектриков. Формулы Френеля. Явление Брюстера. Полное внутреннее отражение



$\vec{E} = \vec{E}_0 e^{i(\vec{k}\vec{r} - \omega t)}$

$\vec{H} = \vec{H}_0 e^{i(\vec{k}\vec{r} - \omega t)}$

предполагаем, что в диэлектриках нет свободных зарядов и токов проводимости. тогда

$(E_1)_\tau = (E_2)_\tau \Rightarrow E_{0\tau} e^{i(k_x x + k_y y - \omega t)} + E'_{0\tau} e^{i(k'_x x + k'_y y - \omega t)} = E''_{0\tau} e^{i(k''_x x + k''_y y - \omega t)}$

$(H_1)_\tau = (H_2)_\tau$

это рав-во ↳ $\forall t\ \forall x, y \Rightarrow \omega = \omega' = \omega''$

$k_x = k'_x = k''_x$

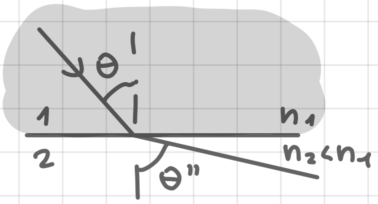
$k_y = k'_y = k''_y = 0$, если плоскость падения волны — Oxz

в среде с показателем преломления n ↳ $k = \frac{\omega n}{c}$

$$\left.\begin{array}{l} k_x = k\sin\theta \\ k'_x = k'\sin\theta' \\ k''_x = k''\sin\theta'' \end{array}\right\} \Rightarrow n_1\sin\theta = n_1\sin\theta' = n_2\sin\theta''$$

$$\Downarrow$$

$$\begin{cases} \theta = \theta' \\ n_1\sin\theta = n_2\sin\theta'' \end{cases}$$



$n_1\sin\theta = n_2\sin\theta''$

$\theta'' = \frac{\pi}{2}$ (преломлённая волна „скользит" вдоль границы раздела

$n_1\sin\theta = n_2$

при $\theta \geq \theta_{B.O.} = \arcsin n_{21}$, $n_{21} = n_2/n_1$ волна полностью от границы со средой оптически менее плотной.

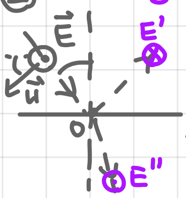
$\theta_{B.O.} = \arcsin n_{21}$ — угол полного внутреннего отражения

введём коэф-т отражения $r = \frac{E'_0}{E_0}$

коэф-т прохождения $d = \frac{E''_0}{E_0}$ волны.

два типа поляризации:

① s-поляризация



$\vec{E} \perp$ плоскости падения

гр. условия:

$$\begin{cases} E_0 + E'_0 = E''_0 \\ -H_0\cos\theta + H'_0\cos\theta' = -H''_0\cos\theta'' \end{cases}$$

ограничиваясь случаем сред с $\mu = 1$ и тем, что $n = \sqrt{\varepsilon}$ $(H = \sqrt{\varepsilon}E)$

$$\begin{cases} E_0 + E'_0 = E''_0 \quad | : E_0 \\ -n_1 E_0\cos\theta + n_1 E'_0\cos\theta = -n_2 E''_0\cos\theta'' \\ \qquad (\theta = \theta') \end{cases}$$

$$\begin{cases} 1 + r = d \\ -n_1\cos\theta + n_1 r\cos\theta = -n_2 d\cos\theta'' \end{cases}$$

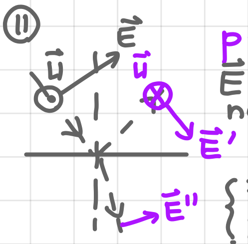
$$\begin{cases} 1 + r = d \\ 1 - r = d\,\frac{\sin\theta}{\sin\theta''}\,\frac{\cos\theta''}{\cos\theta} \end{cases}$$

$$\begin{cases} r_\perp = -\frac{\sin(\theta - \theta'')}{\sin(\theta + \theta'')} = \frac{\cos\theta - \sqrt{n_{21}^2 - \sin^2\theta}}{\cos\theta + \sqrt{n_{21}^2 - \sin^2\theta}} \\ d_\perp = \frac{2\sin\theta''\cos\theta}{\sin(\theta + \theta'')} = \frac{2\cos\theta}{\cos\theta + \sqrt{n_{21}^2 - \sin^2\theta}} \end{cases}$$

$n_{21} = \frac{\sin\theta}{\sin\theta''}$

при $\theta \to \frac{\pi}{2} \Rightarrow d \to 0$

② p-поляризация



$\vec{E}$ лежит в плоскости падения

гр. условия

$$\begin{cases} E_0\cos\theta + E'_0\cos\theta' = E''_0 \\ H_0 - H'_0 = H''_0 \end{cases}$$

$$\begin{cases} E_0\cos\theta + E'_0\cos\theta = E''_0\cos\theta'' \\ n_1 E_0 - n_1 E'_0 = n_2 E''_0 \end{cases}$$

$$\begin{cases} 1 + r = \frac{\cos\theta''}{\cos\theta}\, d \\ 1 - r = \frac{\sin\theta}{\sin\theta''}\, d \end{cases}$$

$$\begin{cases} r_\parallel = -\frac{\operatorname{tg}(\theta - \theta'')}{\operatorname{tg}(\theta + \theta'')} = -\frac{n_{21}^2\cos\theta - \sqrt{n_{21}^2 - \sin^2\theta}}{n_{21}^2\cos\theta + \sqrt{n_{21}^2 - \sin^2\theta}} \\ d_\parallel = \frac{4\sin\theta''\cos\theta}{\sin 2\theta + \sin 2\theta''} = \frac{2n_{21}\cos\theta}{n_{21}^2\cos\theta + \sqrt{n_{21}^2 - \sin^2\theta}} \end{cases}$$

∃ такой угол $\theta = \theta_s$, что волна, падающая под этим углом на поверхность, не отражается обратно.

$r_\parallel \to 0 \Rightarrow \operatorname{tg}(\theta + \theta'') = \infty \Rightarrow \theta + \theta'' = \frac{\pi}{2} \Rightarrow n_1\sin\theta = n_2\cos\theta$

$\operatorname{tg}\theta_s = \frac{n_2}{n_1}$ — угол Брюстера (угол полной поляризации)

$\theta_{B.O.} = \arcsin\frac{n_2}{n_1} > \theta_s = \operatorname{arctg}\frac{n_2}{n_1} \Rightarrow$ эффект Брюстера имеет место вне зависимости от сред.

в этом пределе $r_\perp \to -1$, $r_\parallel \to 1 \Rightarrow$ при скользящем падении фаза s-поляр. волны меняется на π, а p-поляризованной волны — не меняется.