Physik II Ergänzung 9. Vorlesung 30. 6. 2006

Notiztitel 24.06.2006

Inhalt

Leistung in Wechselstromkreisen

siehe: http://komet337.physik.uni-mainz.de/Bluemer/Scripts/Physik%20II-Vorlesung-28+29.06.2006.pdf

Wellengleichungen für $\vec{E}$ und $\vec{B}$

Strahlungsdruck HR 34-5

Dispersion (mit Regenbogen + Lorentz-Oszillator-Mz)

Fresnelsche Formeln + Brewster-Winkel

Wellengleichungen

Ausgangspunkt: Maxwell im Vakuum:

$$\vec\nabla\times\vec E + \frac{\partial \vec B}{\partial t} = 0 \qquad \vec\nabla\cdot\vec E = 0$$

$$\vec\nabla\times\vec B - \mu_0\varepsilon_0\frac{\partial \vec E}{\partial t} = 0 \qquad \vec\nabla\cdot\vec B = 0$$

$$\Rightarrow \frac{\partial^2 \vec E}{\partial t} = \frac{1}{\mu_0\varepsilon_0}\,\vec\nabla\times\frac{\partial \vec B}{\partial t} = -\frac{1}{\mu_0\varepsilon_0}\,\vec\nabla\times(\vec\nabla\times\vec E)$$

$$= -\frac{1}{\mu_0\varepsilon_0}\left[\vec\nabla(\underbrace{\cancel{\vec\nabla\cdot\vec E}}_{=0}) - \vec\nabla^2 E\right]$$

Also: $\boxed{\frac{\partial^2\vec E}{\partial t^2} = \frac{1}{\mu_0\varepsilon_0}\vec\nabla^2\vec E}$ analog: $\boxed{\frac{\partial^2\vec B}{\partial t^2} = \frac{1}{\mu_0\varepsilon_0}\vec\nabla^2\vec B}$

Dies sind die Wellengleichungen für $\vec E$ und $\vec B$.

Betrachte speziell $\vec E(\vec r,t) = \vec E(x,t)$

$$0 \overset{!}{=} \vec\nabla\cdot\vec E = \frac{\partial E_x}{\partial x} + \underbrace{\frac{\partial E_y}{\partial y} + \frac{\partial E_z}{\partial z}}_{=0 \text{ n.V.}} \Rightarrow E_x = \overset{E_x(0)+\dot E_x(0)\,t}{\overset{\|}{E_x(t)}}$$

$$\Rightarrow \underbrace{\left(\frac{\partial^2}{\partial t^2} - c^2\frac{\partial^2}{\partial x^2}\right)}_{\left(\frac{\partial}{\partial t} - c\frac{\partial}{\partial x}\right)\left(\frac{\partial}{\partial t} + c\frac{\partial}{\partial x}\right)} E_x = 0;\quad \left(\frac{\partial^2}{\partial t^2} - c^2\frac{\partial^2}{\partial x^2}\right)E_y = 0;\quad c = \frac{1}{\sqrt{\mu_0\varepsilon_0}}$$

$$\Rightarrow E_{y/z}(x,t) = E^{(+)}_{y/z}(x-ct) + E^{(-)}_{y/z}(x+ct)$$

Wellenzüge

$$B_{z/y}(x,t) = \pm\frac{E^{(+)}_{y/z}}{c}(x-ct) \mp \frac{E^{(-)}_{y/z}}{c}(x+ct)$$

Allg. Lösung besser über Potentiale ϕ und $\vec A$!

Strahlungsdruck

Bei Absorption von Licht wird auch ein Impuls übertragen: $\Delta p = \frac{\Delta U}{c}$

Bei Reflexion ist dieser doppelt so groß:

$$\Delta p = \frac{2\Delta U}{c}$$

Erklärung: Strahlung ist in Form von Photonen quantisiert mit Energie - Impuls - Beziehung

$$E(p) = cp$$

(Vergleich: • nichtrel. Teilchen: $E(p) = \frac{p^2}{2m}$

• relativistische massebehaftete Teilchen:

$$E^2 = p^2c^2 + m^2c^4 \quad \left(\xrightarrow{m \to 0} E = pc\right)$$

$$\Rightarrow \quad E = mc^2\left(1 + \left(\frac{p}{mc}\right)^2\right)^{\frac{1}{2}} \approx mc^2\left(1 + \frac{1}{2}\left(\frac{p}{mc}\right)^2\right)$$

$$= E_0 + \frac{p^2}{2m}$$
)

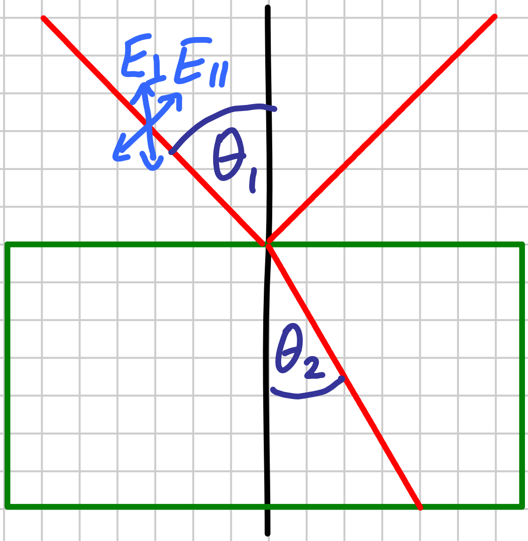
Andererseits: $\Delta U = I A \Delta t$

$$F = \frac{\Delta p}{\Delta t} = \frac{I A \Delta t}{c \Delta t} = \frac{IA}{c} \quad \text{bei Absorption}$$

$$p_s = \frac{F}{A} = \frac{I}{c} \quad \text{Strahlungsdruck (Absorption)}$$

Intensität von reflektiertem und transmittiertem Strahl: Fresnelsche Formeln

Einfallender, reflektierter und gebrochener Strahl liegen (bei isotropem Medium) in einer Ebene



$\Rightarrow$ Wir können relativ zur Strahebene $E_{\parallel}, E_{\perp}$ bzw $I_{\parallel}, I_{\perp}$ definieren

Fresnelsche Formeln:

$$R_{\perp}(\theta_1, \theta_2) = \frac{I_{\perp\,refl}}{I_{\perp\,ein}} = \left(\frac{\sin(\theta_1 - \theta_2)}{\sin(\theta_1 + \theta_2)}\right)^2$$

$$R_{\parallel}(\theta_1, \theta_2) = \frac{I_{\parallel\,ref}}{I_{\parallel\,ein}} = \left(\frac{\tan(\theta_1 - \theta_2)}{\tan(\theta_1 + \theta_2)}\right)^2$$

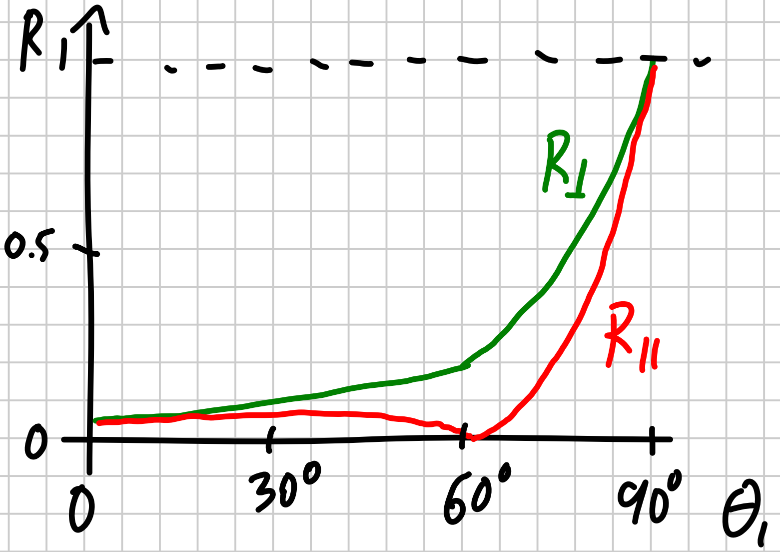
Für senkrechten Einfall muss der Grenzübergang durchgeführt werden:

$$\frac{\theta_2}{\theta_1} = \frac{\arcsin(n_2)}{\arcsin(n_1)} \approx \frac{n_2}{n_1} \qquad (\text{wegen } \sin(\theta) \to \theta)$$

$$\Rightarrow \quad R = \left(\frac{\theta_1 - \theta_2}{\theta_1 + \theta_2}\right)^2 = \left(\frac{\theta_1\left(1 - \frac{n_2}{n_1}\right)}{\theta_1\left(1 + \frac{n_2}{n_1}\right)}\right)^2 = \left(\frac{n_1 - n_2}{n_1 + n_2}\right)^2$$

und für Refexion gegen Luft: $R = \left(\frac{n-1}{1+n}\right)^2$

Beispiel: Luft gegen Glas: $R \approx \left(\frac{1.5-1}{1.5+1}\right)^2 = \left(\frac{1}{5}\right)^2 = 0.04$
(pro Grenzfläche)



Reflektivität Luft-Glas

allg: $R_\parallel < R_\perp$

speziell: für Brewster-Winkel $\theta_1 + \theta_2 = 90°$

divergiert der Tangens in $R_\parallel \Rightarrow R_\parallel = 0$

$$n_1 \sin(\theta_B) = n_2 \sin(90° - \theta_B) = n_2 \cos(\theta_B)$$

$$\theta_B = \arctan\left(\frac{n_2}{n_1}\right)$$

In einem sehr weiten Bereich um den Brewster-Winkel können Reflexionen durch Polfilter wirksam unterdrückt werden.