$$\int_S \underline{E} \cdot d\underline{S} = q^{int}/\varepsilon_0 \qquad \int_S \underline{B} \cdot d\underline{S} = 0$$

$$\oint_C \underline{E} \cdot d\underline{l} = -\frac{d}{dt}\int_S \underline{B} \cdot d\underline{S} \qquad \oint_C \underline{B} \cdot d\underline{l} = \mu_0 I^{conc} + \mu_0 \varepsilon_0 \frac{d}{dt}\int_S \underline{E} \cdot d\underline{S}$$

legge Faraday

Se $\underline{B}$ varia nel tempo $\Rightarrow$ $\underline{E} \neq 0$

Th Ampere

Se $\underline{E}$ " " " $\Rightarrow$ $\underline{B} \neq \underline{0}$

$\Big\}$ È possibile che $\underline{E}$ e $\underline{B}$ si inducono a vicenda $\Rightarrow$ onda e.m.

Per onde in 3 dimensioni

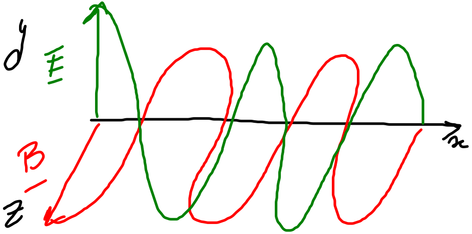
$$\nabla^2 \underline{E} - \varepsilon_0\mu_0 \partial^2 \underline{E}/\partial t^2 = 0$$

$$\nabla^2 \underline{B} - \varepsilon_0\mu_0 \partial^2 \underline{B}/\partial t^2 = 0$$

$\nabla^2 f$ = operatore di Laplace

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

$$\nabla^2 \underline{v} = \begin{pmatrix} \nabla^2 v_x \\ \nabla^2 v_y \\ \nabla^2 v_z \end{pmatrix}$$

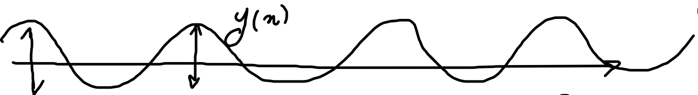


$\underline{E} \perp \underline{B} \perp$ direzione di propagazione

$$\frac{d^2E_y}{dx^2} - \varepsilon_0\mu_0 \frac{\partial^2 E_y}{\partial t^2} = 0$$

$$\frac{d^2B_z}{dx^2} - \varepsilon_0\mu_0 \frac{\partial^2 B_z}{\partial t^2} = 0$$

Equazione corda vibrante



Corda

$$\frac{d^2y}{dx^2} - \frac{1}{v^2}\frac{\partial^2 y}{\partial t^2} = 0$$

Impongo che $\frac{1}{v^2} = \varepsilon_0\mu_0$;

$$v = \frac{1}{\sqrt{\varepsilon_0\mu_0}} \simeq 3\cdot 10^8 \text{ m/s}$$

$$y(x,t) = A\underbrace{f_+(x-vt)}_{\text{Onda progressiva}} + B\underbrace{f_-(x+vt)}_{\text{onda regressiva}}$$

$f_+(x-vt)$: perché onda progressiva?

Suppongo di osservare una certa f (cioè una certa perturbazione) in un pto x_0 ad un istante t_0

Dove mi devo mettere (in che punto: $x_0+\Delta x$) e a che istante $t_0+\Delta t$ per riosservare la stessa perturbazione?

$$\underbrace{\cancel{x_0} - v\cancel{t_0}}_{\text{argomento di } f \text{ per } (x_0,t_0)} = \underbrace{\cancel{x_0}+\Delta x - v(\cancel{t_0}+\Delta t)}_{\text{argomento di } f \text{ per } (x_0+\Delta x,\, t_0+\Delta t)} \Rightarrow \Delta x = v\,\Delta t$$

$x_0+\Delta x$ $t_0+\Delta t$

$\Delta x > 0$

$f_-(x+vt)$: perché onda regressiva? $\cancel{x_0}+v\cancel{t_0} = \cancel{x_0}+\Delta x+v(\cancel{t_0}+\Delta t)$; $\Delta x = -v\Delta t$

$\Delta x < 0$

Onde monocromatiche progressive

$$E(x,t) = E_0 \cos(kx - \omega t)$$
$$B(x,t) = B_0 \cos(kx - \omega t)$$

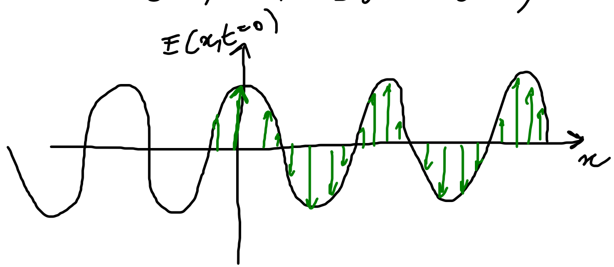
k, ω

$f(x - vt)$

$$\cos\Big(k\underbrace{\Big(x - \frac{\omega}{k} t\Big)}\Big) \rightarrow \frac{\omega}{k} = v = c$$

Pongo $t=0$ $\quad E(x,t=0) = E_0 \cos(kx)$

fare la fotografia dell'onda all'istante $t=0$



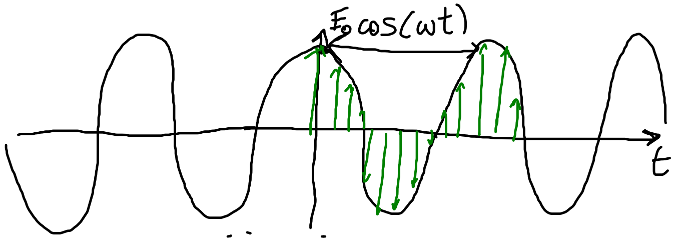
Esiste una periodicità spaziale $\lambda = \frac{2\pi}{k}$; $k = \frac{2\pi}{\lambda}$

numero d'onda

lunghezza d'onda

Pongo $x=0$

$$E(x=0,t) = E_0 \cos(-\omega t) = E_0 \cos(\omega t)$$



Funzione periodica

Periodo $T = \frac{2\pi}{\omega}$; $\omega = \frac{2\pi}{T}$

pulsazione

Vale che: $\frac{E}{B} = c$

Interazione delle onde e.m. con la materia

$\Rightarrow$ interazione di $\underline{E}$ e $\underline{B}$ dell'onda e.m. con gli <u>elettroni</u> dell'atomo

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

frequenza dell'onda

$$\underline{F} = -e(\underbrace{\underline{E}}_{\underline{F}_E} + \underbrace{\underline{v} \times \underline{B}}_{\underline{F}_B})$$

vel. elettrone

$$\frac{F_B}{F_E} = \frac{|e(\underline{v} \times \underline{B})|}{\cancel{e}E} \leq \frac{\cancel{e}vB}{\cancel{e}E} = \frac{v}{c} \ll 1$$

esempio 34.2

$\nu = 40$ MHz

$\underline{E} = 750 \frac{N}{C} \hat{\underline{j}}$ ampiezza max

onda monocromatica

$\underline{E} = 750 \frac{N}{C} \hat{\underline{j}} \cos(kx - \omega t)$ onda propaga lungo x

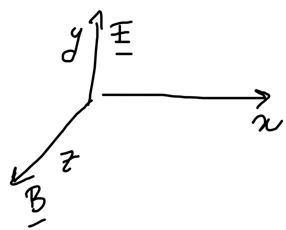
1) $\lambda \nu = c$; $\lambda = \frac{c}{\nu} \simeq \frac{3 \cdot 10^8 \, m/s}{40 \cdot 10^6 \, Hz} \simeq \frac{300}{40} m \simeq 7.5 \, m$

Luce $\lambda = 400-700$ nm

$T = ?$

$T = \nu^{-1} = \frac{1}{40 \, MHz} = \frac{1}{4 \cdot 10^7 \, Hz} \sim 2.5 \cdot 10^{-8} s = 25$ ns

2) $\underline{E} \perp \underline{B} \perp$ dir. propagazione



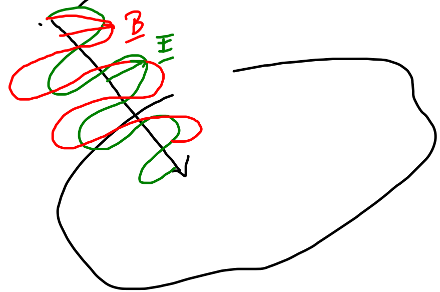
$\underline{B} = B_0 \hat{\underline{k}} \cos(kx - \omega t)$

$B_0 = E_0 / c = \frac{750 \, N/C}{3 \cdot 10^8 \, m/s} \simeq 2.5 \cdot 10^{-6}$ T

$B_{Terra} \simeq 5 \cdot 10^{-5}$ T

Vettore di Poynting

$$\underline{S} = \frac{1}{\mu_0} \underline{E} \times \underline{B}$$



$\underline{S}$ rappresenta l'energia per unità di tempo e sup. trasportata da un'onda che attraversa un mezzo

$$[S] = W/m^2$$