

1 Ones harmòniques

Moviment simple:

$$f(t) A \sin(2\pi f(t - t_0)), x = vt_x.$$

Longitud d'ona: $\lambda = vT$.

Moviment ondulatori:

$$f(x, t) = A \sin(2\pi f(t - t_x)) = A \sin\left[2\pi\left(\frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda}\right)\right] = A \sin(\omega t - kx). \quad \omega = \frac{2\pi}{T}, k = \frac{2\pi}{\lambda}.$$

Velocitat de fase: $\frac{\omega}{k}$.

2 Ones electromagnètiques

Velocitat: $c \implies \lambda = cT$

Permeabilitat elèctrica absoluta:

$$\epsilon = \frac{D}{E}.$$

Constat dielèctrica:

$$\epsilon_0 = 8.85 \times 10^{-12} \text{ [F/m]}.$$

Permeabilitat magnètica

$$\text{absoluta: } \mu = \frac{B}{H}.$$

Contant magnètica:

$$\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ Tm A}^{-1}.$$

$$\bullet c = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_0 \mu_0}}.$$

Equació ona camp elèctric:

$$\vec{E}(x, t) = \vec{E}_0 \sin(kx \pm \omega t + \delta).$$

Equació ona camp magnètic:

$$\vec{B}(x, t) = \vec{B}_0 \sin(kx \pm \omega t + \delta).$$

$$\vec{B} = \frac{1}{c} [\vec{u} \times \vec{E}], \vec{E} = c [\vec{B} \times \vec{u}].$$

Apunt sobre el producte

vectorial:

$$\vec{c} = [\vec{a} \times \vec{b}] \implies |c| = ab \sin \theta \text{ i } c \perp a, b.$$

Regla de la mà dreta: polze = \vec{c} ,

índex = \vec{a} , cor = \vec{b} .

Densitat instantània camp

elèctric:

$$\eta(x, t) = \frac{1}{2} \epsilon_0 E^2 + \frac{B^2}{2\mu_0} = \epsilon_0 E^2 = \epsilon_0 E_0^2 \sin^2(kx \pm \omega t + \delta) \text{ [J/m}^3\text{]}.$$

Densitat mitjana camp elèctric:

$$\eta = \langle \eta(x, t) \rangle = \frac{1}{2} \epsilon_0 E_0^2 = \frac{B_0^2}{2\mu_0}.$$

Intensitat instantània ona

electromagnètica:

$$I(x, t) = \frac{P}{S} = c\eta(x, t) = c\epsilon_0 E_0^2 \sin^2(kx \pm \omega t + \delta) = \frac{P}{4\pi r^2}.$$

Intensitat mitjana:

$$I = \langle I(x, t) \rangle = \frac{1}{2} c\epsilon_0 E_0^2 = \frac{cB_0^2}{2\mu_0}.$$

Llei de Plank:

$$I(\nu, T) = \frac{2h\nu^3}{c^2(e^{\frac{h\nu}{kT}} - 1)}.$$

3 Polarització

Camp elèctric ona plana:

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

Descomposició de l'amplitud

d'ona (suma d'un vector

paral·lel al pla d'incidència i un

perpendicular):

$$\vec{E}_0 = E_{0\parallel} \cdot e^{i\theta} \cdot \vec{u}_{\parallel} + E_{0\perp} \cdot e^{i\theta} \cdot \vec{u}_{\perp}.$$

Segons el valor de la diferència de fase $\Delta\theta = \theta_{\parallel} - \theta_{\perp}$.

Polaritzacions: lineal, 0 o π ;

circular, $\frac{\pi}{2}$ o $\frac{3\pi}{2}$ ($E_{0\parallel} = E_{0\perp}$); i

elíptica, la resta.

Primera polaritzador del

polaritzador lineal: $\vec{E}_{out} = \vec{E}_{\parallel}$.

Ona d'entrada:

$$\vec{E}_{in} = E_{\parallel} \cdot \vec{u}_{\parallel} + E_{\perp} \cdot \vec{u}_{\perp}. \text{ Si } E_{\parallel} = E_{\perp}, \text{ amplitud entrada:}$$

$$E_0 = \sqrt{E_{\parallel}^2 + E_{\perp}^2} = \sqrt{2} E_{\parallel}.$$

L'amplitud disminueix de factor $\sqrt{2}$. L'energia $\eta = \frac{1}{2} \epsilon_0 E_0^2$ dism.

de factor 1/2.

Segon polaritzador del

polaritzador lineal: $\vec{E}_{out} = \vec{E}_{\parallel}$.

$\vec{E}_{in} =$

$$E_0 \cos(\alpha) \cdot \vec{u}_{\parallel} + E_0 \sin(\alpha) \cdot \vec{u}_{\perp} \text{ on } \alpha \text{ és l'angle entre eix del polaritzador i eix de polarització de la llum incident. L'amplitud de camp elèctric dism. de factor } \left| \frac{\vec{E}_{out}}{\vec{E}_{in}} \right| = \cos(\alpha). \text{ L'energia del camp dism. de factor } \frac{\eta_{out}}{\eta_{in}} = \cos^2(\alpha).$$

L'angle entre eix del polaritzador i eix de polarització de la llum incident. L'amplitud de camp elèctric dism. de factor $\cos(\alpha)$. L'energia del camp dism. de factor $\cos^2(\alpha)$.

L'angle entre eix del polaritzador i eix de polarització de la llum incident. L'amplitud de camp elèctric dism. de factor $\cos(\alpha)$. L'energia del camp dism. de factor $\cos^2(\alpha)$.

L'angle entre eix del polaritzador i eix de polarització de la llum incident. L'amplitud de camp elèctric dism. de factor $\cos(\alpha)$. L'energia del camp dism. de factor $\cos^2(\alpha)$.

L'angle entre eix del polaritzador i eix de polarització de la llum incident. L'amplitud de camp elèctric dism. de factor $\cos(\alpha)$. L'energia del camp dism. de factor $\cos^2(\alpha)$.

L'angle entre eix del polaritzador i eix de polarització de la llum incident. L'amplitud de camp elèctric dism. de factor $\cos(\alpha)$. L'energia del camp dism. de factor $\cos^2(\alpha)$.

L'angle entre eix del polaritzador i eix de polarització de la llum incident. L'amplitud de camp elèctric dism. de factor $\cos(\alpha)$. L'energia del camp dism. de factor $\cos^2(\alpha)$.

L'angle entre eix del polaritzador i eix de polarització de la llum incident. L'amplitud de camp elèctric dism. de factor $\cos(\alpha)$. L'energia del camp dism. de factor $\cos^2(\alpha)$.

L'angle entre eix del polaritzador i eix de polarització de la llum incident. L'amplitud de camp elèctric dism. de factor $\cos(\alpha)$. L'energia del camp dism. de factor $\cos^2(\alpha)$.

L'angle entre eix del polaritzador i eix de polarització de la llum incident. L'amplitud de camp elèctric dism. de factor $\cos(\alpha)$. L'energia del camp dism. de factor $\cos^2(\alpha)$.

4 Reflexió i refracció

Índex de refracció: $n = \frac{c}{V}$, V = velocitat de fase al medi.

Medis homogenis i isotrops: n constant.

Medis anisòtrop: n en funció de direcció.

Medis heterogenis: n varia en funció del punt.

Al canviar de medi: f const., V i λ varien: $n_1 \lambda_1 = n_2 \lambda_2$.

Llei de Snell (refracció):

$$n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2.$$

θ_i : Angle raig-normal a la superfície.

Angle crític o límit:

$$\theta_c = \arcsin \frac{n_2}{n_1}, (n_2 < n_1).$$

5 Interferències

6 Làsers

Energia d'un fotó: $E = hf =$

$$h \frac{c}{\lambda} = \hbar \omega, \hbar = 6.626 \cdot 10^{-34} \text{ [J}\cdot\text{s]}.$$

$$\hbar = \frac{h}{2\pi}.$$

Vector d'ona: \vec{k} , $k = \|\vec{k}\| = \frac{2\pi}{\lambda}$.

Llegir CD: $k \cdot 2d = \pi$.

Moment lineal fotó:

$$\vec{p} = \hbar \vec{k}, p = \hbar k = \frac{hf}{c} = \frac{h}{\lambda}.$$

Energia de N fotons: $E = Nhf$.

pos. ona: $y(x, t) = A \sin(kx \mp \omega t + \varphi)$ (m) $k = \frac{2\pi}{\lambda}$ (rad/m) $T = \frac{1}{f}$ (s) v. ona: $v(x, t) = \pm A\omega \cos(kx \pm \omega t + \varphi)$ (m/s)

Camp elèctric: $\vec{E}(x, t) = \vec{E}_0 \sin(kx \mp \omega t + \varphi)$ (V/m)

Camp magnètic: $\vec{B}(x, t) = \vec{B}_0 \sin(kx \mp \omega t + \varphi)$ (T) $B_0 \begin{cases} B_0 = \frac{E_0}{c} \text{ on } c = 3 \cdot 10^8 \frac{m}{s} \\ \text{perp. a } \vec{E} \text{ i a sentit propagació} \end{cases}$ Potència: $\vec{P} = \vec{I} \cdot \vec{S}$ (W)

Densitat: $\vec{u} = \frac{\epsilon_0 \cdot E_0^2}{2} = \frac{B_0^2}{2\mu_0}$ (J/m³) Intensitat: $\vec{I} = c \cdot \vec{u}$ (W/m²) $\left. \begin{matrix} \vec{I} = c \cdot \vec{u} \\ \vec{u} = \frac{\epsilon_0 \cdot E_0^2}{2} \end{matrix} \right\} E_0 = \sqrt{\frac{2 \cdot \vec{I}}{c \cdot \epsilon_0}}$ $\epsilon_0 = 8.85 \cdot 10^{-12} \text{ F/m}$ $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ Tm/A}$

$P(r_1) = P(r_2)$ (W) $E_2 = E_1 \frac{r_1}{r_2}$ $S_{esf} = 4\pi r^2$ (m²) $E_{ef} = \frac{E_0}{\sqrt{2}}$ (V/m) $B_{ef} = \frac{B_0}{\sqrt{2}}$ (T) $\frac{I_2}{I_1} = \frac{r_1^2}{r_2^2}$

$E = h \cdot f$ (J), $h = 6,6 \cdot 10^{-34} \frac{J}{s}$ Ll. Pol.: $I_s = I_e \cdot \cos^2 \theta$ Ll. Nat.: $I_s = \frac{I_e}{2}$ reflexió: $\theta_i = \theta_r$

Refracció: $v_i = \frac{c}{n_i}$ $n_1 \cdot \sin \theta_1 = n_2 \cdot \sin \theta_2$ $\lambda_i = \frac{\lambda}{n_i}$ freq. no varia a. crític: $\theta_c = \sin^{-1} \left(\frac{n_2}{n_1} \right)$

Interf. d'ones: $y = y_1 + y_2 = 2A \cos \left[k \frac{x_1 - x_2}{2} + \frac{\varphi_1 - \varphi_2}{2} \right] \cdot \sin \left[k \frac{x_1 + x_2}{2} - \omega t + \frac{\varphi_1 + \varphi_2}{2} \right]$ (m)

$A_{total} = 2A \cos \left[k \frac{x_1 - x_2}{2} + \frac{\varphi_1 - \varphi_2}{2} \right] \begin{cases} \text{si } \cos[-] = 1 \implies 2A \text{ int. constructiva} & \text{Constructiva: } x_1 - x_2 = n\lambda \\ \text{si } \cos[-] = 0 \implies 0 \text{ int. destructiva} & \text{Destructiva: } x_1 - x_2 = (2n + 1) \frac{\lambda}{2} \end{cases}$