

T1) El camp elèctric d'una ona electromagnètica és $\vec{E}(y, t) = E_0 \cos(ky + \omega t) \hat{i}$. Aleshores, el camp magnètic de l'ona és:

a) $\vec{B}(y, t) = B_0 \cos(ky + \omega t) (-\hat{j})$.

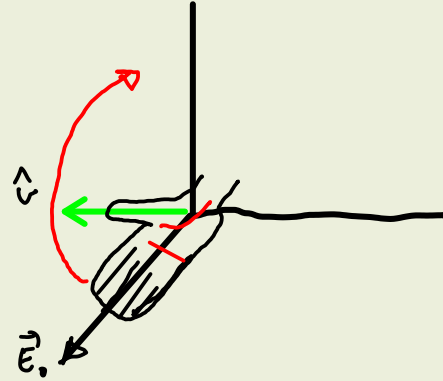
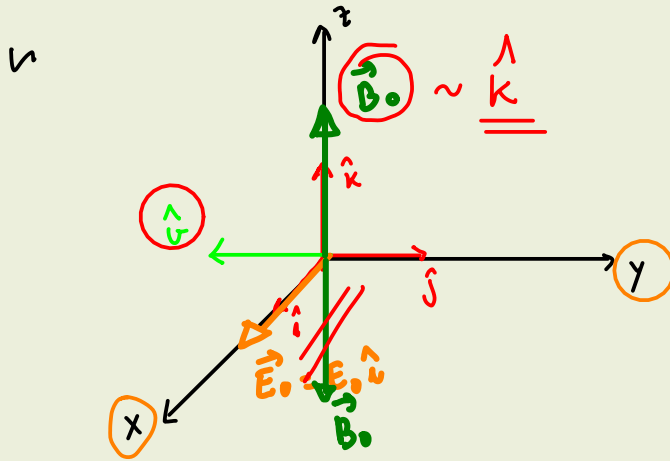
b) $\vec{B}(y, t) = B_0 \cos(ky + \omega t) (-\hat{k})$.

c) $\vec{B}(y, t) = B_0 \cos(ky + \omega t) \hat{k}$.

d) $\vec{B}(y, t) = B_0 \cos(ky + \omega t) \hat{j}$.

propagant: sentit $+$ de l'eix y

$\vec{B} \perp \vec{E}, \hat{v} \Rightarrow \vec{B} \propto \pm \hat{k}$



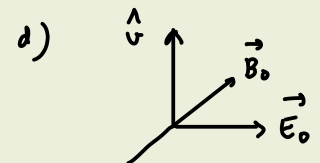
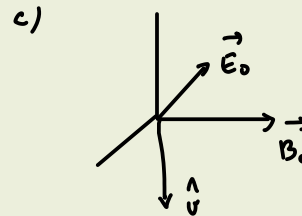
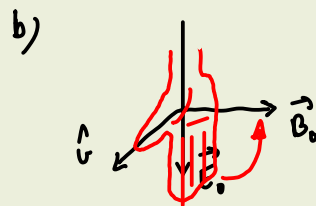
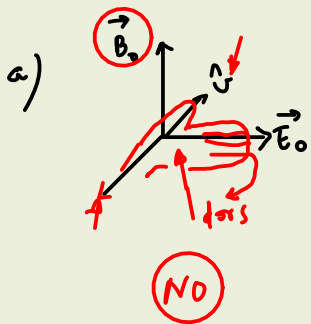
T7) Quins paràmetres d'una ona electromagnètica (camp elèctric \vec{E} , camp magnètic \vec{B}) són possibles? **no**

a) $\vec{E}_0 = 2 \text{ V/m } \hat{j}$, $\vec{B}_0 = 6.6 \times 10^{-9} \text{ T } \hat{k}$ propagant-se en el sentit negatiu de l'eix x

b) $\vec{E}_0 = 6 \text{ V/m } (-\hat{k})$, $\vec{B}_0 = 2 \times 10^{-8} \text{ T } \hat{j}$ propagant-se en el sentit positiu de l'eix x

c) $\vec{E}_0 = 12 \text{ V/m } (-\hat{i})$, $\vec{B}_0 = 4 \times 10^{-8} \text{ T } \hat{j}$, propagant-se en el sentit negatiu de l'eix z

d) $\vec{E}_0 = 20 \text{ V/m } \hat{j}$, $\vec{B}_0 = 6.6 \times 10^{-8} \text{ T } (-\hat{i})$, propagant-se en el sentit positiu de l'eix z



8. Una ona electromagnètica harmònica plana de 10 m de longitud d'ona es propaga pel buit en el sentit positiu de l'eix y . Se sap que el camp elèctric està orientat segons la direcció z i que la intensitat mitjana de l'ona és de 0.2 W/m^2 . Calculeu

a) Els camps elèctric i magnètic en funció del temps.

b) La potència incident en una superfície circular de radi 0.4 m perpendicular a l'eix y .

a) $\vec{E}(y, t) = \vec{E}_0 \sin(ky - \omega t + \varphi_0)$

$\left\{ \begin{array}{l} k = \frac{2\pi}{\lambda} = 0.628 \text{ rad/m} \\ c = \frac{\omega}{k} \Rightarrow \omega = c \cdot k = 1.9 \cdot 10^8 \text{ rad/s} \end{array} \right.$

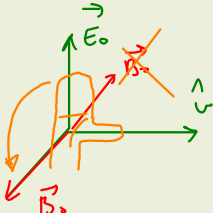
$\vec{E}_0 \parallel \hat{z}$
 $\vec{B}_0 \parallel \hat{x}$
 $B_0 = E_0 / c$

$\epsilon_0 = \frac{1}{4\pi k_c \cdot 9 \cdot 10^9} = 8.85 \cdot 10^{-12} \text{ F/m}$

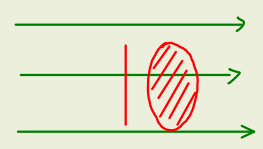
$\mu = \frac{1}{2} \epsilon_0 E_0^2$
 $I = c \mu \Rightarrow E_0 = \sqrt{\frac{2I}{c \epsilon_0}} = 12.28 \text{ N/C}$

$B_0 = E_0 / c = 4.1 \cdot 10^{-8} \text{ T}$

$\vec{B} = 4.1 \cdot 10^{-8} \hat{x} \sin(0.628y - 1.9 \cdot 10^8 t + \varphi_0) \text{ T}$



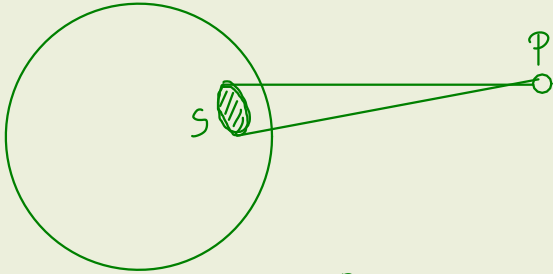
b)



$P = I \cdot S = I \cdot \pi \cdot R^2 = 0.1 \text{ W}$

T8) Un satèl·lit emet ones electromagnètiques linealment polaritzades amb una potència mitjana de 12 kW de tal manera que les ones emeses només arriben a una zona de la Terra que cobreix una superfície de $9 \cdot 10^6 \text{ km}^2$, on és perfectament vàlida l'aproximació d'ones planes. Quins són els valors més aproximats de les amplituds del camp elèctric i magnètic dels senyals a la superfície de la Terra?

- a) 0.001 V/m i $3.3 \cdot 10^{-12} \text{ T}$ b) 0.001 V/m i $2.04 \cdot 10^{-10} \text{ T}$
 c) 0.087 V/m i $2.59 \cdot 10^{-7} \text{ T}$ d) 0.087 V/m i $2.89 \cdot 10^{-10} \text{ T}$



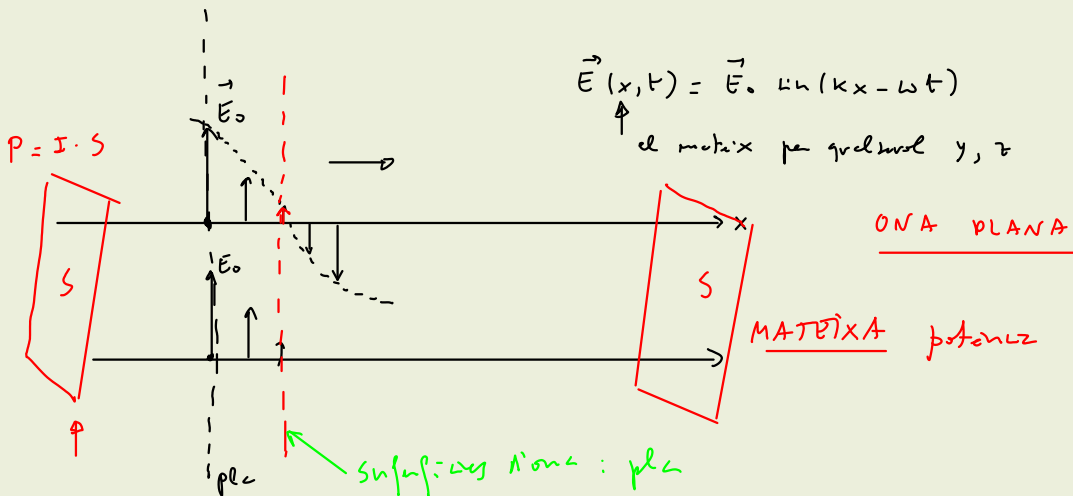
$$P = 12 \text{ kW} \quad S = 9 \cdot 10^9 \text{ km}^2 \quad E_0, (B_0)$$

$$P = S \cdot I = S \cdot c \cdot u_m = S \cdot c \cdot \frac{1}{2} \epsilon_0 E_0^2$$

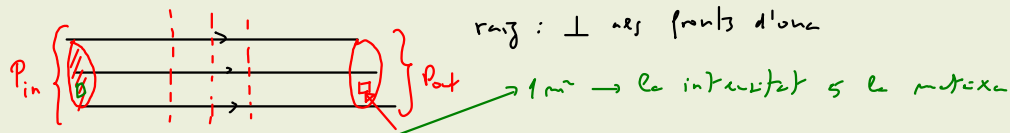
$$E_0 = \sqrt{\frac{2P}{c \epsilon_0 S}} = 10^{-3} \text{ V/m}$$

$$B_0 = \frac{E_0}{c} = 3.3 \cdot 10^{-12} \text{ T}$$

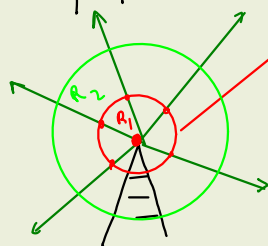
$$P = S \cdot I = S \cdot c \cdot u = S c \cdot \frac{B_0^2}{2\mu_0} \rightarrow B_0 = \sqrt{\frac{2\mu_0 P}{Sc}} \rightarrow E_0 = c \cdot B_0$$



Ondes planes



Ondes esfèriques



front d'ones: esfera

\Rightarrow Focus emet una potència total P ($\frac{\text{energia}}{\text{temps}}$)

la potència total rebuda a cada distància no varia

$$P_1 = P_2$$

$$I_1 \cdot 4\pi R_1^2 = I_2 \cdot 4\pi R_2^2$$

$$\frac{I_2}{I_1} = \left(\frac{R_1}{R_2} \right)^2$$

$$I \propto E_0^2 \Rightarrow$$

$$\frac{E_2}{E_1} = \frac{R_1}{R_2}$$

9. Una emissora de ràdio emet uniformement en totes direccions, amb una potència mitjana de 100 kW. Considerant l'aproximació d'ona harmònica, calculeu les amplituds dels camp elèctric i magnètic a les següents distàncies: a) 100 m, b) 1 km i c) 10 km.

$$E_0 = \sqrt{\frac{2P}{c \epsilon_0 S}}$$

\uparrow
 $4\pi R^2$

$$\left. \begin{array}{l} P = 100 \text{ kW} \Rightarrow \\ \uparrow \\ P = S \cdot I \end{array} \right\} I(r) = \frac{P}{4\pi R^2}$$

$$\frac{P}{4\pi R^2} = c \frac{1}{2} \epsilon_0 E_0^2 \rightarrow E_0 = \sqrt{\frac{P}{2\pi R^2 c \epsilon_0}}, \quad B_0 = \frac{E_0}{c}$$

$$I = c \frac{1}{2} \epsilon_0 E_0^2$$

a) $R = 100 \text{ m}$

$$E_0 = 24.5 \frac{\text{V}}{\text{m}}$$

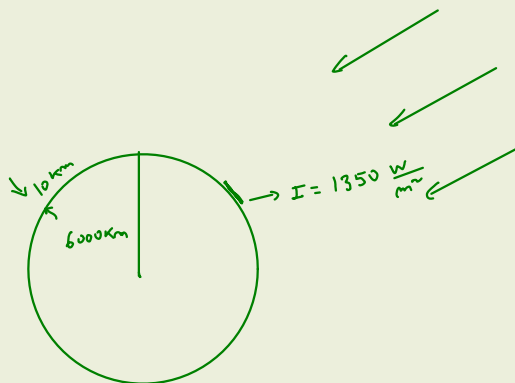
$$B_0 = 8.17 \cdot 10^{-8} \text{ T}$$

11. La intensitat de la llum del sol que incideix sobre la part superior de l'atmosfera terrestre s'anomena constant solar i val 1.35 kW/m^2 . Calculeu:

a) El valor eficaç del camp elèctric i del camp magnètic deguts al Sol en aquesta regió.

b) La potència mitjana emesa pel Sol.

Dades: Distància Sol-Terra = $1.49 \times 10^{11} \text{ m}$.



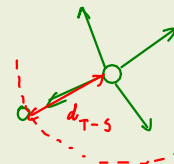
$$a) \quad I = c \cdot \frac{1}{2} \epsilon_0 E_0^2 = c \epsilon_0 E_y^2$$

$$E_y = \sqrt{\frac{I}{c \epsilon_0}} = 714 \frac{\text{V}}{\text{m}} \quad B_y = \frac{E_y}{c} = 2.4 \cdot 10^{-6} \text{ T}$$

b) $P_{\odot} \rightarrow$ energia per unitat de temps!

$$P = I \cdot S = I \cdot 4\pi d_{T-S}^2 = 3.8 \cdot 10^{26} \text{ W}$$

↑
constant solar



12. Un satèl·lit de comunicacions (S) situat en una òrbita a 36000 km d'alçada respecte la superfície terrestre emet ones electromagnètiques linealment polaritzades de freqüència $11.2 \times 10^9 \text{ Hz}$. La potència mitjana d'emissió és de 12 kW que es reparteix sobre una zona de la Terra de superfície $9 \times 10^6 \text{ km}^2$, que pot considerar-se plana i on és perfectament vàlida l'aproximació d'ones planes. Calculeu la intensitat mitjana de l'ona electromagnètica que arriba a una antena parabòlica (A) situada a la superfície de la Terra i la potència total mitjana que capta aquesta antena si el seu diàmetre és de 80 cm . $d \rightarrow R = 40 \text{ cm} = 0.4 \text{ m}$

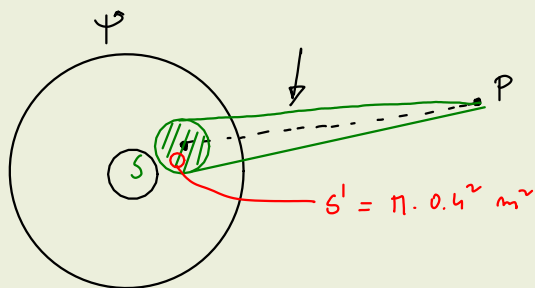
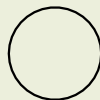
$$S = 9 \cdot 10^6 \text{ km}^2 \left(\frac{10^3 \text{ m}}{1 \text{ km}} \right)^2 = 9 \cdot 10^{12} \text{ m}^2$$

$$P = I \cdot S \rightarrow I = \frac{P}{S} = 1.3 \cdot 10^{-9} \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$$

$$P' = I \cdot S' = 6.7 \cdot 10^{-10} \text{ W}$$

$$P = I \cdot S$$

$$S = 4\pi r^2$$



ESPECTRE ELECTROMAGNÈTIC

$$u = \frac{1}{2} \epsilon_0 E_0^2 \rightarrow I \rightarrow P$$

no depèn de la freqüència

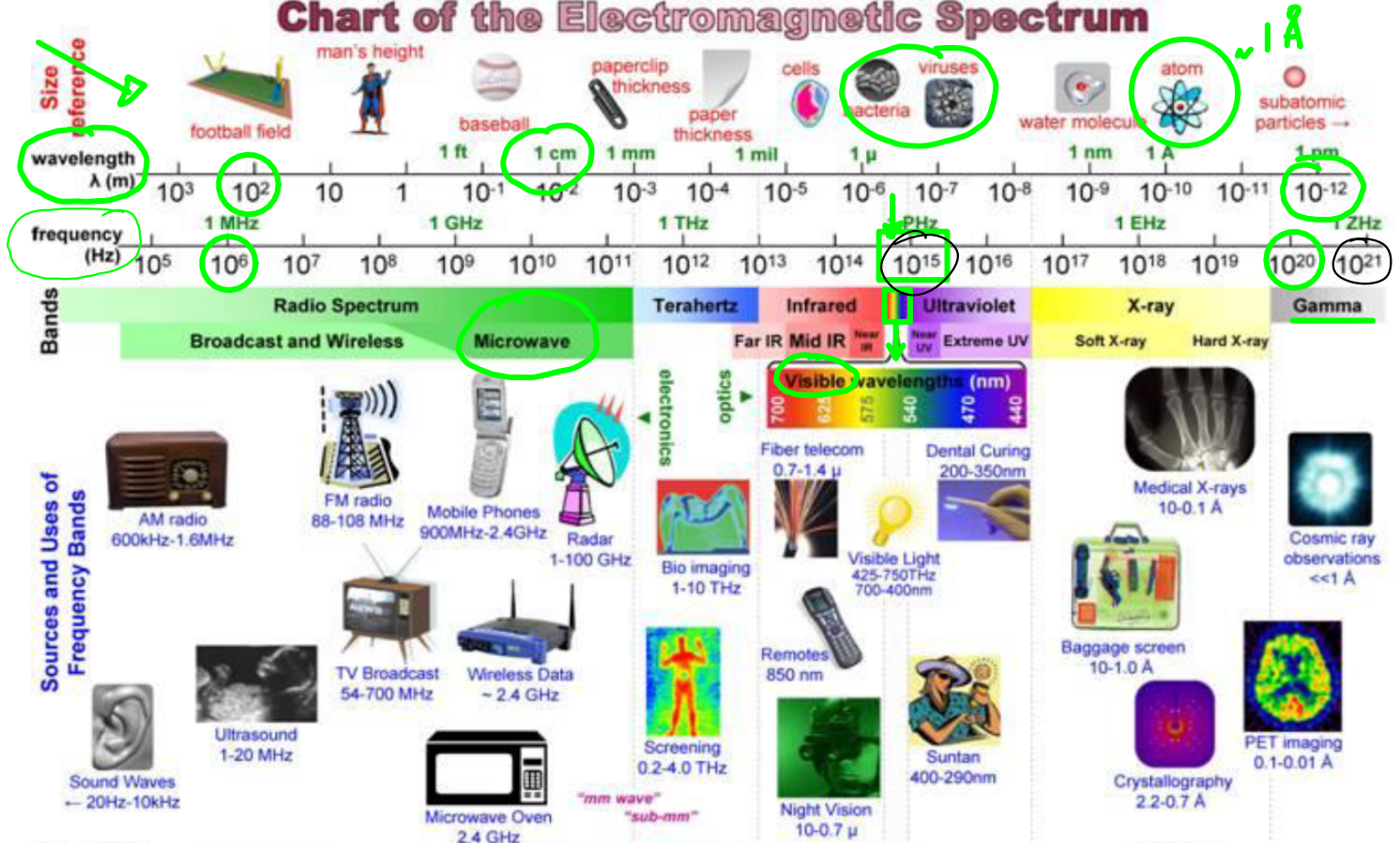
$$\vec{E}(x,t) = \vec{E}_0 \cos(kx - \omega t)$$

puc tenir qualsevol energia
independentment de la freqüència

→ energies típiques

f → tipus d'ona electromagnètica
λ

Chart of the Electromagnetic Spectrum



10. Determineu la longitud d'ona de

a) una ona de ràdio AM típica de 1000 kHz.

b) una ona de ràdio FM típica de 100 MHz,

c) un raig X de 10^{19} Hz.

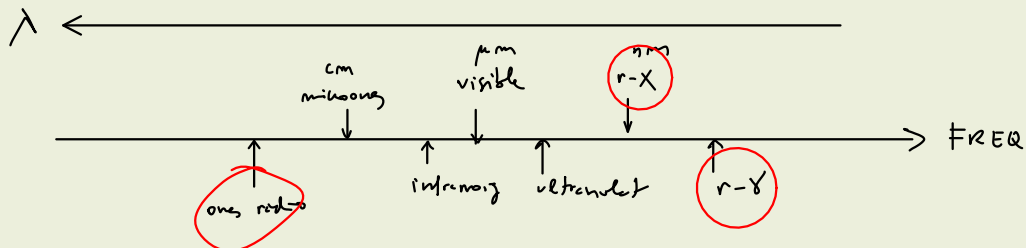
Determineu la freqüència de

d) una microona de 3 cm.

e) l'espectre visible si el de longituds d'ona visibles va de 400 a 700 nm.

$$c = \lambda \cdot f \rightarrow \lambda = \frac{c}{f} = \frac{3 \cdot 10^8}{10^6} = 3 \cdot 10^2 \text{ m}$$

$$\lambda = \frac{3 \cdot 10^8}{100 \cdot 10^6} \sim 3 \text{ m}$$



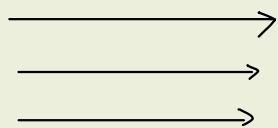
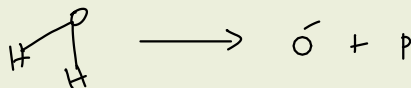
EINSTEIN efecte fotoelèctric \rightarrow Nobel

\rightarrow energia en forma de paquets d'energia: quants de llum \rightarrow fotons

per cada freqüència $E_{1 \text{ fot}} = h \cdot f \sim 10^{-34} \cdot 10^{15} \sim \underline{10^{-20} \text{ J}}$
 \uparrow constant de Planck $6 \cdot 10^{-34} \text{ J.s}$

$\gamma \rightarrow E_{\gamma} \sim 10^{-34} \cdot 10^{21} \sim \underline{10^{-13} \text{ J}}$

\rightarrow 1 fotó energia \sim girar una molècula d'aigua



N fotons $\Rightarrow U = N \cdot h \cdot f$

\downarrow
 $\left[P = \frac{U}{\text{temps}} = \frac{N \cdot h \cdot f}{\text{temps}} = \underline{n \cdot h \cdot f} \right]$

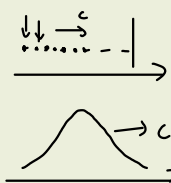
fotons que ens arriben per unitat de temps

27. Un làser d'heli-neó emet llum de longitud d'ona 632,8 nm i té una potència de 4 mW. Quants fotons per segon emet?

$P = \underbrace{n}_{\uparrow} \cdot h \cdot f \rightarrow n = \frac{P}{h \cdot f} = \frac{P \cdot \lambda}{h \cdot c} = 1.27 \cdot 10^{16} \frac{\text{fotons}}{\text{segon}}$
 \uparrow $c = \lambda \cdot f$

visible

28. Un pols d'un làser de rubí té una potència mitjana de 10 MW i persisteix 1.5 ns. Si la longitud d'ona és 694.3 nm a) Quina és l'energia total del pols? b) Quants fotons s'emeten en un pols?



$P = \frac{U}{\Delta t}$

a) $U = P \cdot \Delta t = 2.8 \cdot 10^{-19} \text{ J}$

b) $N = \frac{U}{h \cdot f} = \frac{P \cdot \Delta t}{h \cdot f} = \frac{P \cdot \Delta t \cdot \lambda}{h \cdot c} = 5 \cdot 10^{16}$

$P = n \cdot h \cdot f \rightarrow \uparrow n = \frac{P}{h \cdot f} = \frac{P \cdot \lambda}{h \cdot c}$

$\Rightarrow N = n \cdot \Delta t = \frac{P \cdot \lambda}{h \cdot c} \cdot \Delta t = 5.2 \cdot 10^{16} \text{ fotons}$

$U = N \cdot h \cdot f = 2.8 \cdot 10^{-19} \text{ J}$

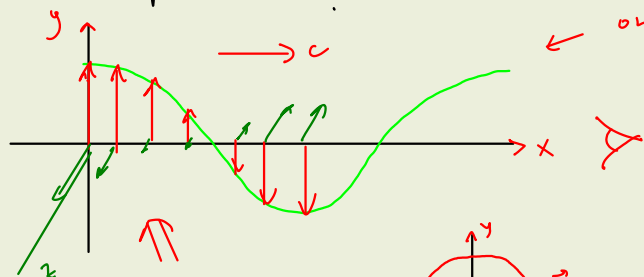
POLARITZACIÓ

→ entendre funcionament pantalla

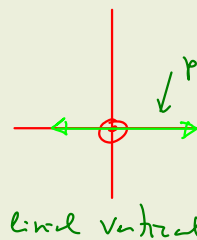
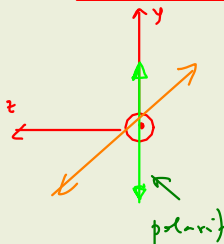
LCD

↓ liquid crystal display

ones polaritzades!



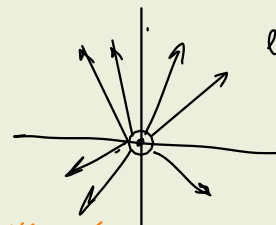
← one polaritzada LINIALMENT



pol. lineal. horitzontal

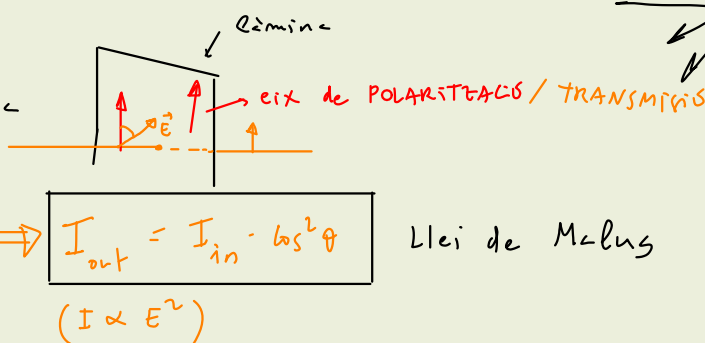
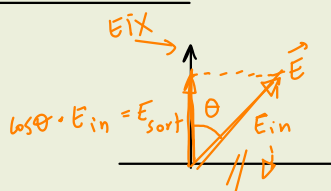
polarització lineal vertical

polarització circular horitzontal
dextrogiro



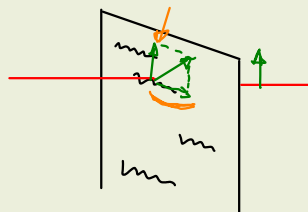
→ POLARITZADORS

eliminac



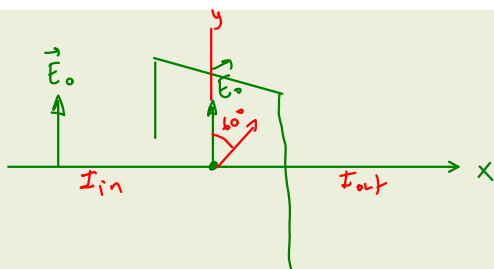
Llei de Malus

polaroid

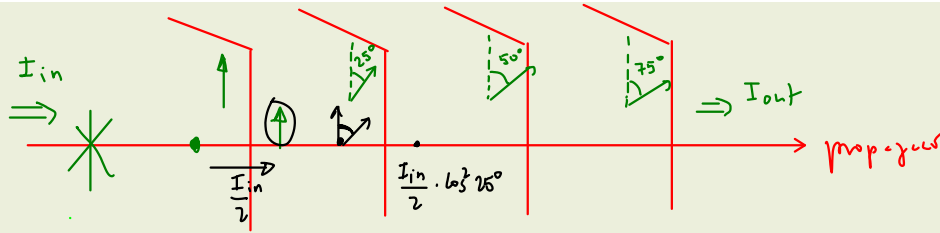


35. Un feix de llum polaritzada que és propaga amb una intensitat de 8 W/m^2 en la direcció de l'eix de les x , incideix sobre una làmina polaritzadora. Si el camp elèctric del feix incident està polaritzat en la direcció de l'eix de les y i l'eix de transmissió (també anomenat de polarització) de la làmina forma un angle de 60° amb l'eix de les y , quina és la intensitat de la llum polaritzada que surt de la làmina?

- a) 8 W/m^2
- b) 6 W/m^2
- c) 4 W/m^2
- d) 2 W/m^2



15. Disposem de quatre làmines polaritzadores situades paral·lelament l'una a continuació de l'altra de manera que l'eix de transmissió d'una forma un angle de 25° amb l'eix de l'anterior. Si un feix de llum no polaritzada incideix perpendicularment sobre les làmines, quina fracció de la intensitat de la llum travessarà les quatre làmines?



$$\langle I_{out} = I_{in} \cdot \cos^2 \theta \rangle$$

$$I_{out} = I_{in} \left(\cos^2 \theta \right)^{\frac{1}{2}}$$

llum n. polar

$$I_{out} = \frac{I_{in}}{2}$$

$$I_{out} = \frac{I_{in}}{2} (\cos^2 25^\circ)^3 = I_0 \cdot 0.277 \approx 30\%$$

38 Un raig de llum solar d'intensitat I_0 incideix sobre una sèrie de deu polaritzadors lineals, tals que l'angle (desconegut) entre els eixos de polarització de dos polaritzadors consecutius sempre és el mateix. Si la intensitat sortint és $0.3 I_0$, aquest angle val:

- a) 39.23°
- b) 19.68°
- c) 13.58°
- d) 20.72°

