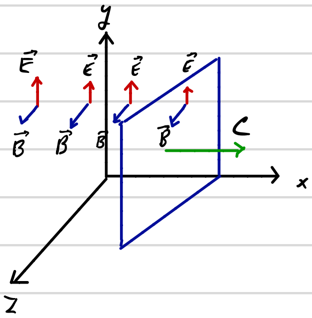
4 de Marzo del 2020

Notas: Ondas Electromagnéticas

Ondas electromagnéticas: Perturbación de campos eléctricos y magnéticos que se propaga en el espacio (puede ser el vacío).

§ Ondas Electromagnéticas Planas y Rapidez de la Luz

Considera una onda electromagnética plana:



- Campos magnético y eléctrico son uniformes en el frente de la onda y son cero a la derecha del frente.

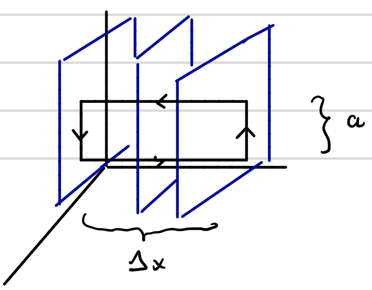
Nota: Leyes de Maxwell

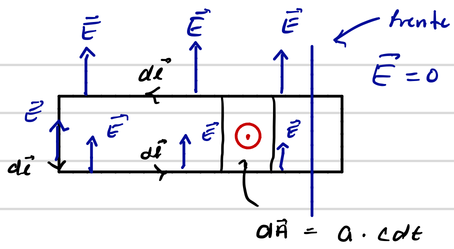
$$\int \vec{E}\cdot d\vec{A} = \frac{q_{enc}}{\varepsilon_0} \qquad \int \vec{E}\cdot d\vec{l} = -\frac{d}{dt}\Phi_B$$

$$\int \vec{B}\cdot d\vec{A} = 0 \qquad \int \vec{B}\cdot d\vec{l} = \mu_0\left(I_{enc} + \varepsilon_0\frac{d\Phi_E}{dt}\right)$$

Revisión de Maxwell

Considera la ley de Faraday:





$$\Rightarrow \quad \int \vec{E}\cdot d\vec{\ell} = -Ea$$

Similarmente, $\quad d\Phi_B = B\,a\,c\,dt \Rightarrow \dfrac{d\Phi_B}{dt} = Bac$

$$\Rightarrow \quad E = cB \qquad \text{¿Qué es } c\text{?}$$

Ahora considera la ley de Ampère:

$$\int \vec{B}\cdot d\vec{\ell} = \mu_0 \varepsilon_0 \frac{d\Phi_E}{dt} \qquad (I_{enc} = 0)$$

Considerando una trayectoria similar en el plano xz, obtenemos

$$\int \vec{B}\cdot d\vec{\ell} = Ba \quad \text{y} \quad d\Phi_E = E\,a\,c\,dt \Rightarrow \frac{d\Phi_E}{dt} = Eac$$

$$\Rightarrow \quad Ba = \varepsilon_0 \mu_0 Eac \Rightarrow B = \varepsilon_0 \mu_0 c E$$

$$\Rightarrow \quad B = \varepsilon_0 \mu_0 c^2 B \Rightarrow \boxed{c = \frac{1}{\sqrt{\mu_0 \varepsilon_0}}}$$

Calcula!

Propiedades de las ondas electromagnéticas:

- La onda es transversal: $\vec{E}$ y $\vec{B}$ son perpendiculares a la dir. de propagación de la onda.
- La dir. de prop. está dada por $\vec{E} \times \vec{B}$
- La onda viaja en el vacío con rapidez definida e invariable.

§ Ondas Electromagnéticas Sinusoidales

$$\vec{E}(x,t) = \hat{j}\, E_{max} \cos(kx - \omega t)$$

$$\vec{B}(x,t) = \hat{k}\, B_{max} \cos(kx - \omega t)$$

$$c = \lambda f$$

$$E_{max} = c\, B_{max}$$

§ Energía y Cantidad de Movimiento de las Ondas Electromagnéticas

En una región del vacío con $\vec{E}$ y $\vec{B}$, la densidad de energía u es:

$$u = \frac{1}{2}\varepsilon_0 E^2 + \frac{1}{2\mu_0} B^2 = \varepsilon_0 E^2$$

Principio de equipartición.

Flujo de energía: Energía transferida por unidad de tiempo por unidad de área.

Dibujo 32.17!

$$dU = u\,dV = (\varepsilon_0 E^2)(A c\, dt)$$

$$\Rightarrow \quad S = \frac{1}{A}\frac{dU}{dt} = \varepsilon_0 c E^2$$

$$= \frac{\varepsilon_0}{\sqrt{\varepsilon_0 \mu_0}} E^2 = \sqrt{\frac{\varepsilon_0}{\mu_0}} E^2 = \frac{EB}{\mu_0}$$

$$\boxed{\vec{S} = \frac{1}{\mu_0} \vec{E} \times \vec{B}}$$ (vector Poynting en el vacío).

Intensidad: $\boxed{I \equiv \langle S \rangle}$

$$\vec{S}(x,t) = \frac{1}{\mu_0} \vec{E}(x,t) \times \vec{B}(x,t)$$

$$= \frac{1}{\mu_0} [\hat{j}\, E_{max} \cos(kx - \omega t)] \times [\hat{k}\, B_{max} \cos(kx - \omega t)]$$

$$\Rightarrow \quad S_x(x,t) = \frac{E_{max} B_{max} \cos^2(kx - \omega t)}{\mu_0}$$

$$\boxed{\langle S_x(x,t) \rangle = \frac{E_{max} B_{max}}{2\mu_0} = \frac{E_{max}^2}{2\mu_0 c}}$$