

Tema 10: Ondas electromagnéticas

Fundamentos Físicos y Electrónicos de la Informática

Leyes de Maxwell

- Electromagnetismo, teoría que engloba los fenómenos eléctricos y magnéticos, está descrita por las ecuaciones de Maxwell.
- Las Ecs. de Maxwell relacionan **E** y **B** con sus fuentes.
- Las interacciones eléctricas y magnéticas están relacionadas.
- Las Ecs. de Maxwell predicen la existencia de ondas electromagnéticas (*em*), que se mueven a la velocidad de la luz.

Leyes de Maxwell

Ley de Gauss del campo eléctrico

$$\oint_S \mathbf{E} \cdot d\mathbf{S} = \frac{q_{int}}{\epsilon_0}$$

Ley de Gauss del campo magnético

$$\oint_S \mathbf{B} \cdot d\mathbf{S} = 0$$

Ley de Faraday

$$\mathcal{E} = -\frac{d\phi_B}{dt}$$

Ley de Ampère-Maxwell

$$\oint_C \mathbf{B} \cdot d\mathbf{l} = \mu_0 I + \mu_0 \epsilon_0 \frac{d\phi_E}{dt}$$

Onda Electromagnética Plana

- Las Ecs. de Maxwell predicen la existencia de ondas em.

- Aún no consideramos cómo se originan.

- Por ejemplo, en el espacio libre (\nexists cargas ni corrientes), obtenemos una **onda plana**.

- Si supones que la onda se propaga en la dirección x tenemos las siguientes ecs. de onda

$$\frac{\partial^2 \mathbf{E}}{\partial x^2} = \mu_0 \varepsilon_0 \frac{\partial^2 \mathbf{E}}{\partial t^2}; \quad \frac{\partial^2 \mathbf{B}}{\partial x^2} = \mu_0 \varepsilon_0 \frac{\partial^2 \mathbf{B}}{\partial t^2}$$

La solución a estas ecuaciones es una onda sinusoidal (plana) se propaga con velocidad $c = \frac{1}{\sqrt{\mu_0 \varepsilon_0}}$.

$$\mathbf{E} = \mathbf{E}_{max} \cos(kx - \omega t)$$

$$\mathbf{B} = \mathbf{B}_{max} \cos(kx - \omega t)$$

E es perpendicular a **B** y ambos a la dirección de propagación.

Onda Electromagnética Plana

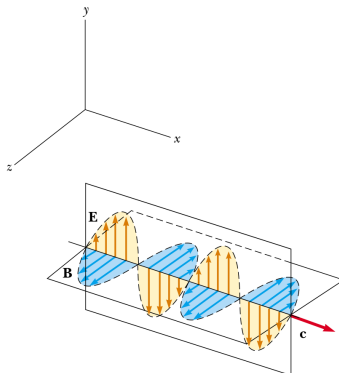
$$\mathbf{E} = \mathbf{E}_{max} \cos(kx - \omega t)$$

$$\mathbf{B} = \mathbf{B}_{max} \cos(kx - \omega t)$$

- \mathbf{E} es perpendicular a \mathbf{B} y ambos a la dirección de propagación.

- Onda plana que se propaga con velocidad $c = \frac{1}{\sqrt{\mu_0 \epsilon_0}}$.

- *Onda plana* = Las magnitudes de los campos son constantes sobre cualquier plano perpendicular a la dirección de propagación.



Onda Electromagnética Plana

$$\mathbf{E} = \mathbf{E}_{max} \cos(kx - \omega t); \quad \mathbf{B} = \mathbf{B}_{max} \cos(kx - \omega t)$$

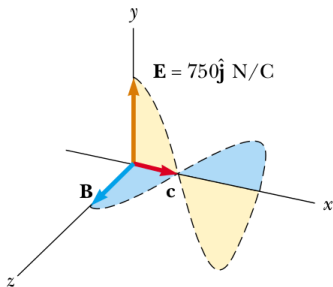
- \mathbf{E}_{max} y \mathbf{B}_{max} son las amplitudes de los campos.
- k es el número de onda $\rightarrow k = \frac{2\pi}{\lambda}$.
- λ es la longitud de onda $\rightarrow \lambda f = c$.
- Donde f es la frecuencia de la onda.
- La frecuencia angular o pulsación es $\omega \rightarrow \frac{\omega}{k} = c$.
- La inversa de la frecuencia se conoce como periodo $T = \frac{1}{f}$.
- La velocidad (rapidez) de la onda *em* en el vacío $\rightarrow c = 3,0 \cdot 10^8$ m/s.
- La relación de la magnitud del campo eléctrico con la magnitud del campo magnético en una onda em es igual a la velocidad de la luz.

$$\frac{E_{max}}{B_{max}} = \frac{E}{B} = c$$

Onda Electromagnética Plana

Ejemplo 1: Una onda em sinusoidal de 40 MHz de frecuencia viaja en el espacio libre en la dirección x . a) Determine la longitud de onda y el periodo. b) En algún punto y en algún instante el campo eléctrico tiene su valor máximo de 750 N/C y se dirige a lo largo del y . Calcule la magnitud y dirección del campo magnético en esa posición y tiempo.

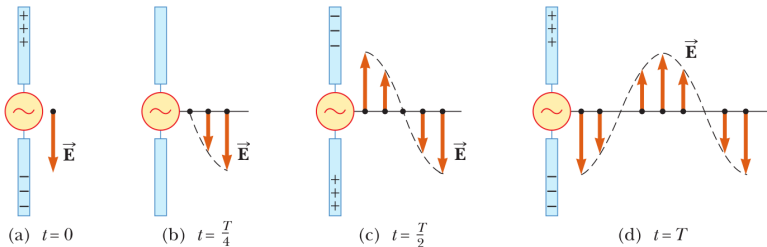
Sol. a) $\lambda = 7,5m$, $T = 2,5 \cdot 10^{-8} s$; b) $\mathbf{B}_{max} = 2,5 \cdot 10^{-6} \hat{k} T$.



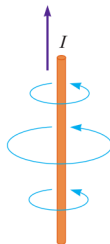
Producción de ondas electromagnéticas

- La radiación de ondas em se debe a la aceleración de partículas con carga.
- Siempre que una partícula cargada acelera, radia energía.
- Ni cargas estacionarias ni corrientes estables producen ondas em.
- Así, si cuando se hacen oscilar cargas radian ondas em con frecuencia igual a la de la oscilación.
- Una antena emite cuando se hacen oscilar (acelerar) las cargas mediante un voltaje alterno externo.
- Cuando una antena recibe, los campos externos hacen oscilar las cargas del metal, pudiéndose registrar dicha señal.
- Un ejemplo de antena es la dipolo de media onda, que consiste en un sistema de dos conductores de longitud total igual a la mitad de una longitud de onda, y en cuyo centro se coloca un generador de ca.

Producción de ondas electromagnéticas



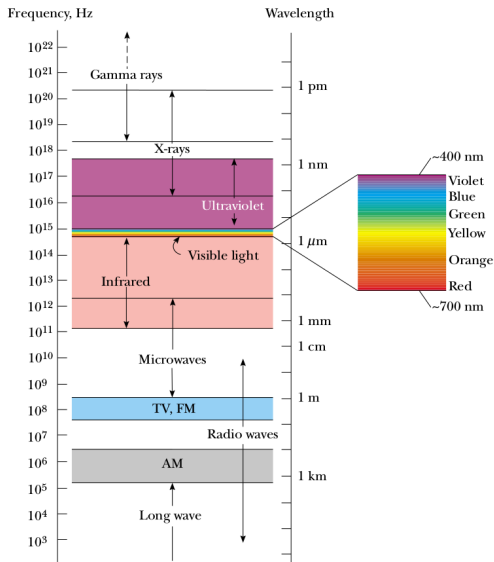
● Al acelerar las cargas en una antena se puede conseguir una estacionaria resonante, de manera que el tiempo que tardan las cargas en recorrer la antena coincide con un periodo (o múltiplo) de la oscilación.



Espectro Electromagnético

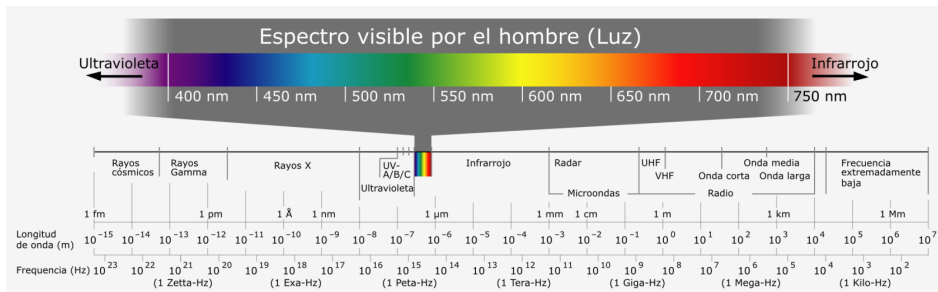
- Los nombre de cada tipo de onda son una forma conveniente de describir la región del espectro en el que están.

- No existe una división clara entre un tipo de onda y el siguiente.



Espectro Electromagnético

Espectro Electromagnético del Visible



Espectro Electromagnético

- **Ondas de radio:** $\lambda \sim (0,1 - 10^4)$ m. Sistemas de comunicación.
- **Microondas:** $\lambda \sim (10^{-4} - 0,3)$ m. Sistemas de radar, y propiedades atómicas y moleculares de la materia. WiFi, Bluetooth ...
- **Infrarrojos:** $\lambda \sim (7 \cdot 10^{-7} - 10^{-3})$ m. Agita los átomos de una sustancia (aumenta la temperatura).
- **Visible** $\lambda \sim (4 \cdot 10^{-7} - 7 \cdot 10^{-7})$ m. Detectable por ojo humano.
- **Radiación ultravioleta:** $\lambda \sim (6 \cdot 10^{-10} - 4 \cdot 10^{-7})$ m. La capa de ozono la convierte en energía infrarroja.
- **Rayos X:** $\lambda \sim (10^{-12} - 10^{-8})$ m.
- **Rayos Gamma:** $\lambda \sim (10^{-14} - 10^{-10})$ m. Reacciones nucleares. Rayos cósmicos.

Espectro Electromagnético



ecuip.lib.uchicago.edu/multiwavelength-astronomy/astrophysics/05.html