

# Ondas

Descripcion matematica

Polarizacion

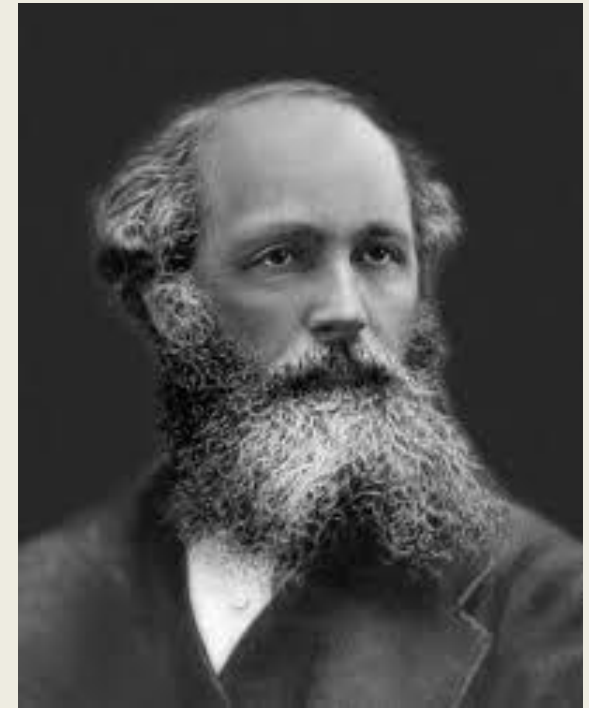
# En serio...qué es la luz?

$$\vec{\psi}(x, t) = \vec{E}_0 \cos(kx - w t + \varphi_0)$$

direccion de propagación (rayo)



direccion de  $\vec{E}_0$



James Maxwell

La luz es una onda, i.e. una perturbación que se propaga.

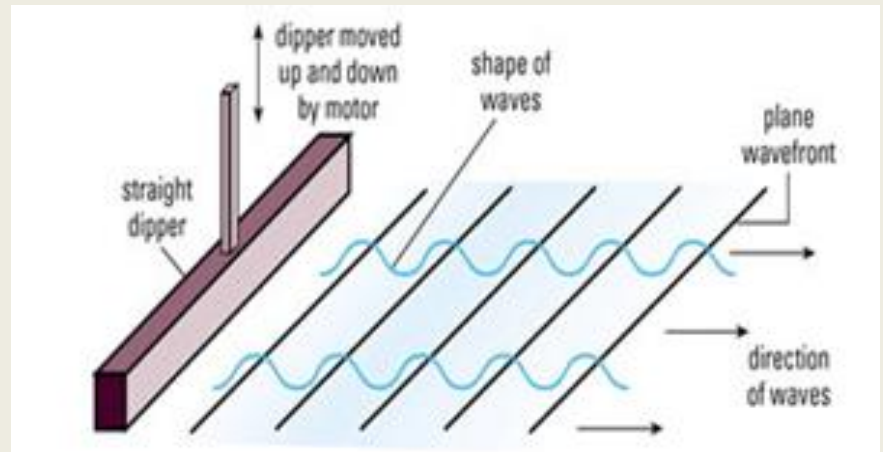
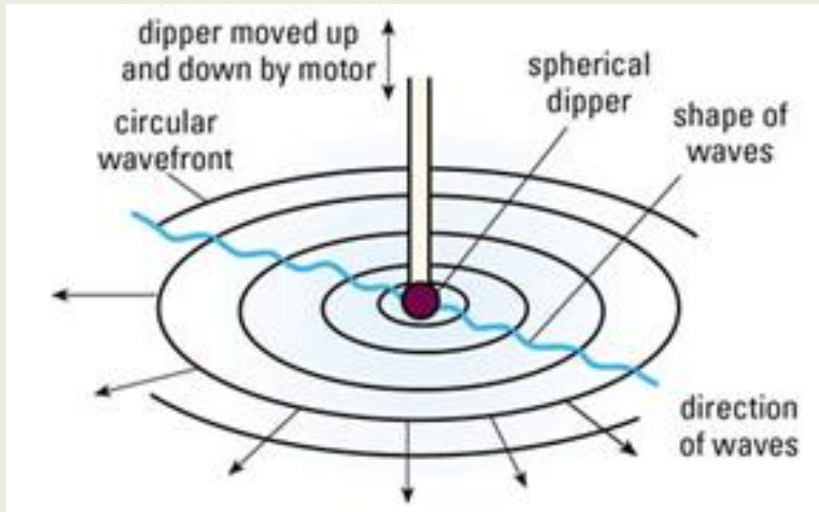
En cada punto del espacio la perturbación es el campo  $\mathbf{E}$ , que hay que entenderlo como el apartamiento del valor basal (que es nulo) del campo electrico en ese punto.



# Teoría ondulatoria



✓ La luz es una onda  $\vec{\psi}(x, t) = \vec{E}_0 \cos(kx - \omega t + \varphi_0)$



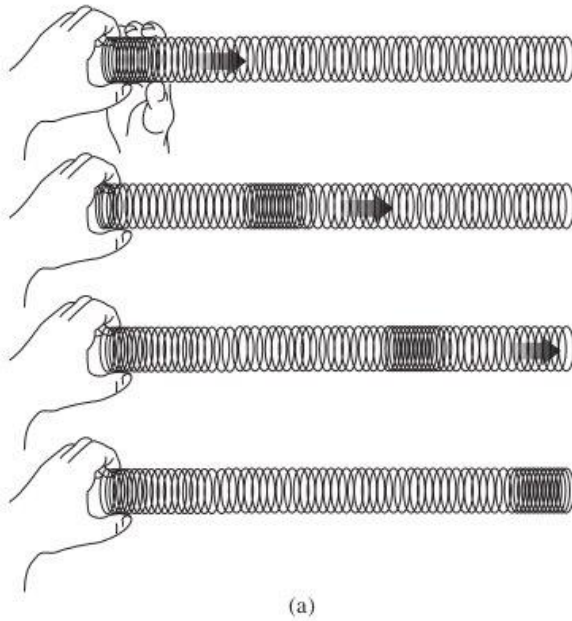
- La forma de la onda describe la perturbación instante a instante.
- Es posible reconocer puntos en el espacio que oscilan en fase. Definen lo que se conoce como **frente de onda**.
- La onda (i.e. la perturbación) viaja en el tiempo a una dada velocidad. Los frentes de onda se desplazan.
- Es posible describir la dirección de la propagación utilizando el concepto de **rayo**: dirección de propagación. Siempre resulta perpendicular a los frentes de onda.

# Descripción de una onda 1D

Involucra describir **espacial** y **temporalmente** el comportamiento de una cantidad de interés  $\Psi$  que se aleja de su valor de equilibrio transitoriamente. En ese sentido describe cómo una **perturbación** atraviesa un **medio**

## Onda longitudinal

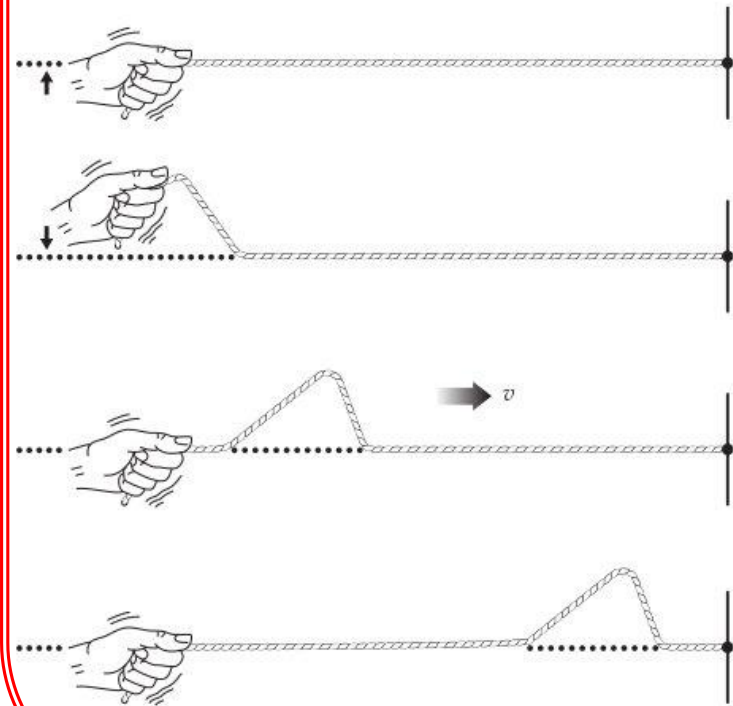
desplazamiento del medio // dirección de propagación



$\Psi$ : densidad local de espiras

## Onda transversal

desplazamiento del medio  $\perp$  dirección de propagación



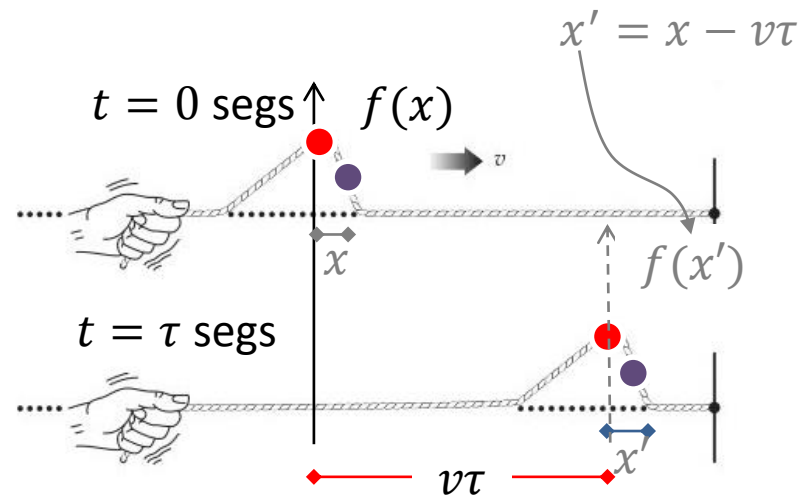
$\Psi$ : altura local de la sogá

# Descripción de una onda 1D

- Describir matemáticamente la onda es especificar  $\psi(x, t)$  como función de  $x$  y  $t$ :

$$\psi(x, t) = f(x, t)$$

- Para una onda que **se propaga a velocidad  $v$  sin deformarse**, el perfil de perturbaciones que veo a tiempo  $t=0$  lo veré desplazado en una cantidad  $v.t$



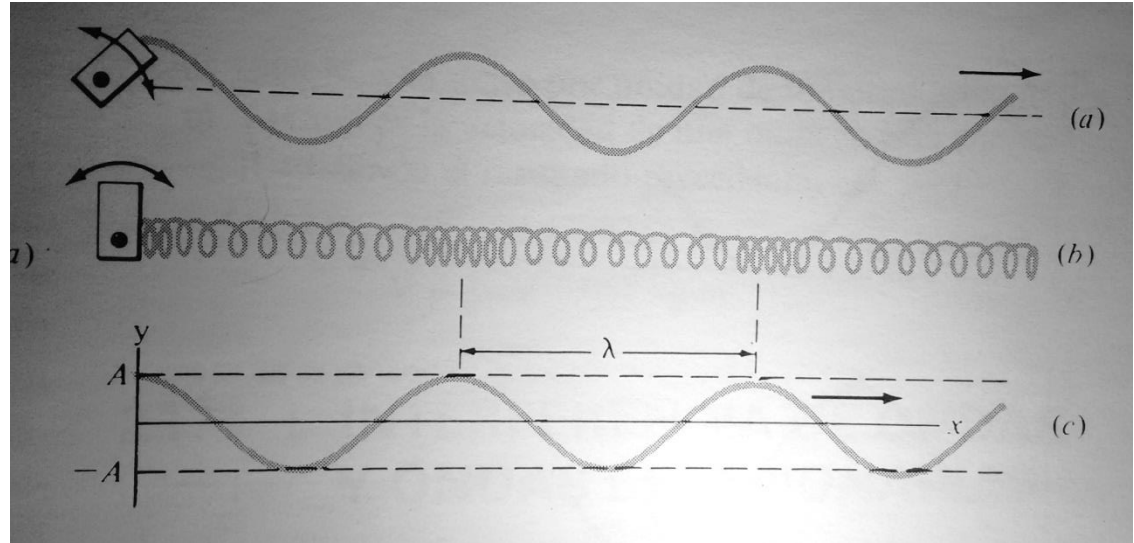
- Por tanto la onda debe cumplir que

$$\psi(x, t) = f(x - v t)$$

Para describir un perfil que se desplaza sin deformarse  $f(x, t)$  debe depender de esta combinación particular  $x$  y  $t$

# Onda armónica

- Perturbación armónica



$$\begin{aligned}
 \psi(x, t) &= f(x - v t) \\
 &= E_0 \cos(k(x - vt) + \varphi_0) \\
 &= E_0 \cos(kx - \underline{kv} t + \varphi_0) \\
 &\quad \quad \quad \downarrow \quad kv=w \\
 &= E_0 \cos(kx - w t + \varphi_0)
 \end{aligned}$$

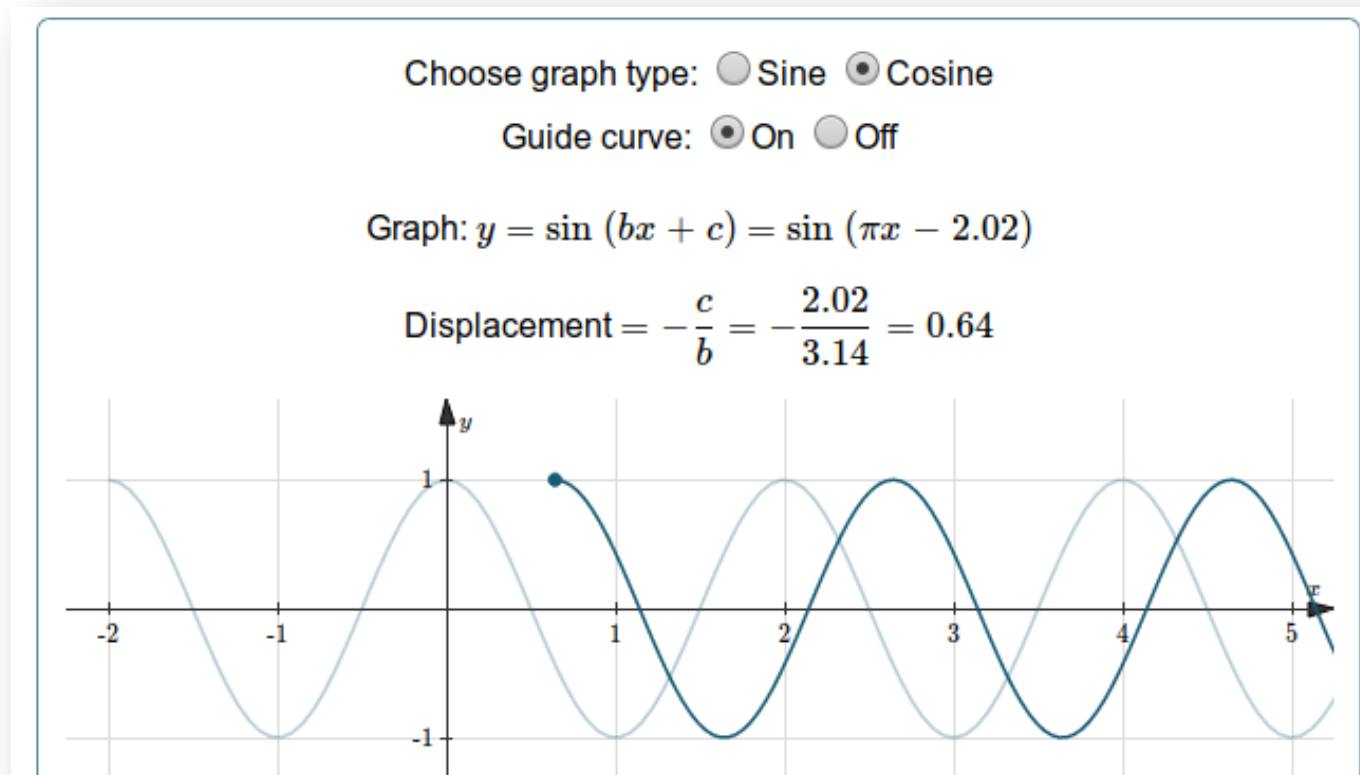
Esta forma funcional permite describir ondas de diferentes **longitudes de onda** (periodos espaciales) y **frecuencias** (periodos temporales)

$$\psi(x, t) = E_0 \cos(kx - w t + \varphi_0)$$

$$[k] = \text{rad}/[\text{longitud}] \quad [w] = \text{rad}/[\text{tiempo}]$$

Veamos como funciona  $\cos(bx+c)$

# Que onda?



# Fase angular vs desfase

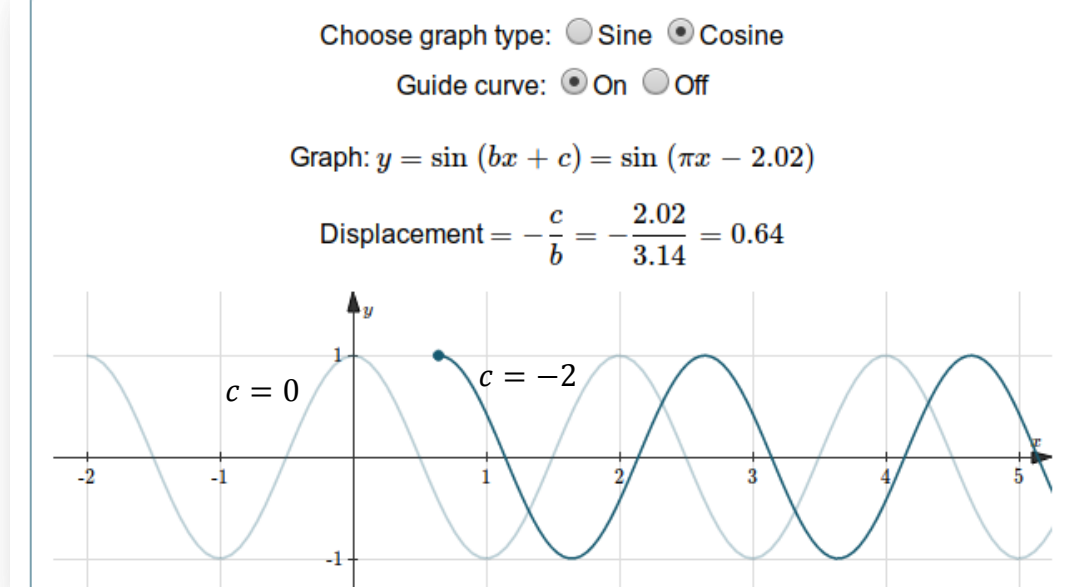
## Dos caras de la misma moneda

$$\psi(x, t) = E_0 \cos(\underbrace{kx - \omega t + \varphi_0}_{\text{fase de la onda}})$$

Analicemos el caso de  $t=0$        $\psi(x) = E_0 \cos(kx + \varphi_0)$

$$\psi(x) = E_0 \cos(kx + \varphi_0)$$

fase inicial  
(angular)

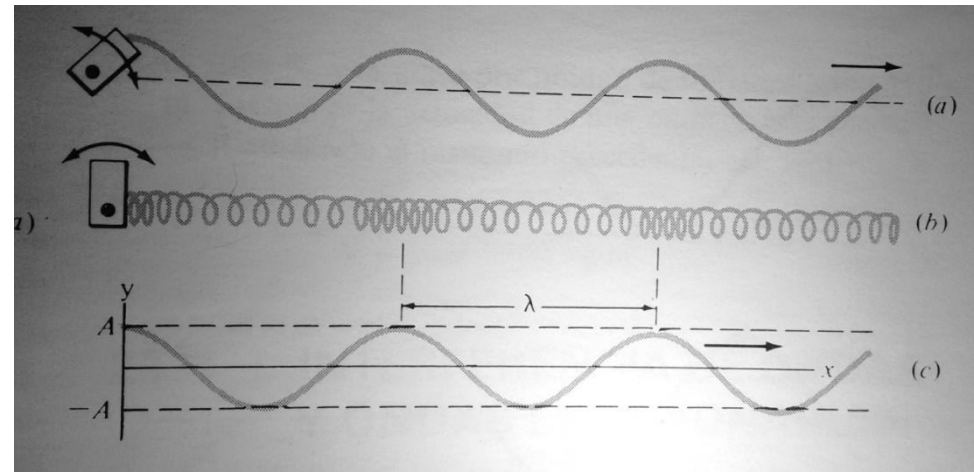


$\delta x$

desfase



# Onda armónica



$$\psi(x, t) = E_0 \cos(kx - \omega t + \varphi_0)$$

$\varphi$ : fase de la onda

Periodicidad espacial

$$k = \frac{2\pi}{\lambda}$$

Nro de onda  
(periodo espacial)

Long de onda

Periodicidad Temporal

$$T = \frac{2\pi}{\omega} = \frac{1}{f}$$

Periodo temporal

Frecuencia angular

Fase inicial

$$\varphi_0$$

$$v = \frac{\omega}{k} = \frac{\lambda}{T}$$

$$\psi(x, t) = E_0 \cos\left(\frac{2\pi}{\lambda} x - \frac{2\pi}{T} t + \varphi_0\right)$$

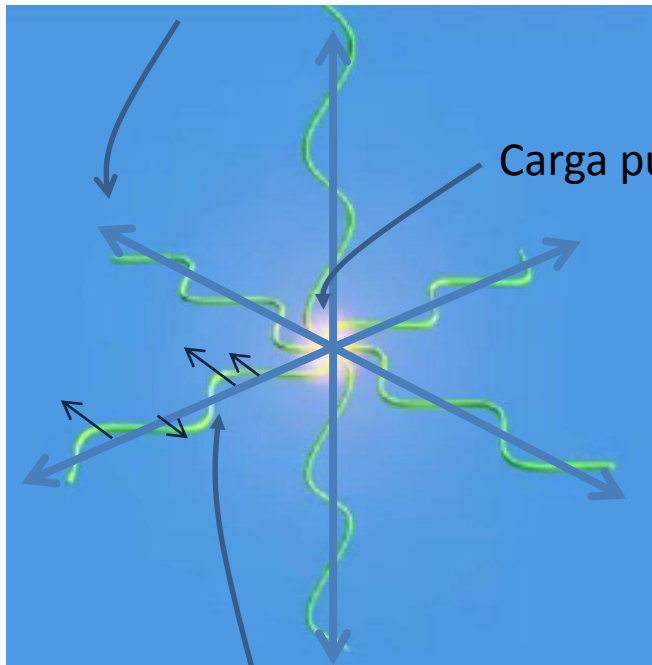
$$\delta x = \frac{\lambda}{2\pi} \varphi_0$$

$$v = \lambda f$$

# Recordando a Jaime...

$$\vec{\psi}(x, t) = \vec{E}_0 \cos(kx - w t + \varphi_0)$$

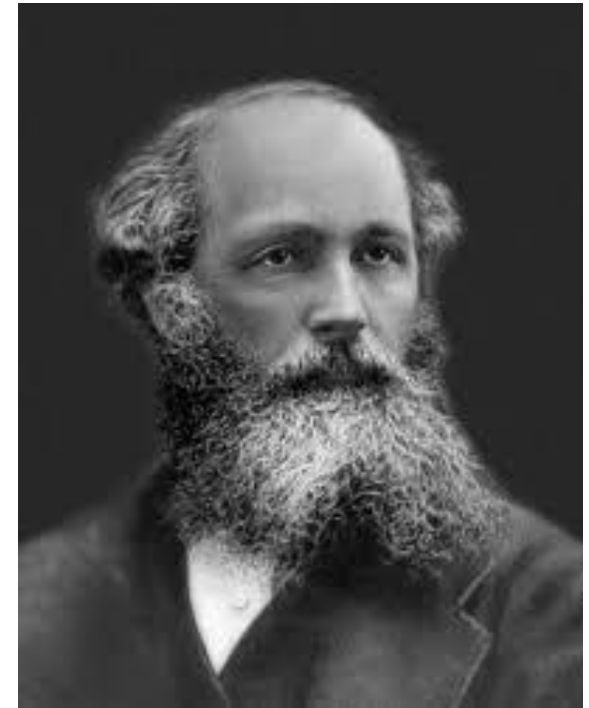
direccion de propagación (rayo)



Carga puntual **acelerada**

direccion de  $\vec{E}_0$

radiating-charge applet



James Maxwell

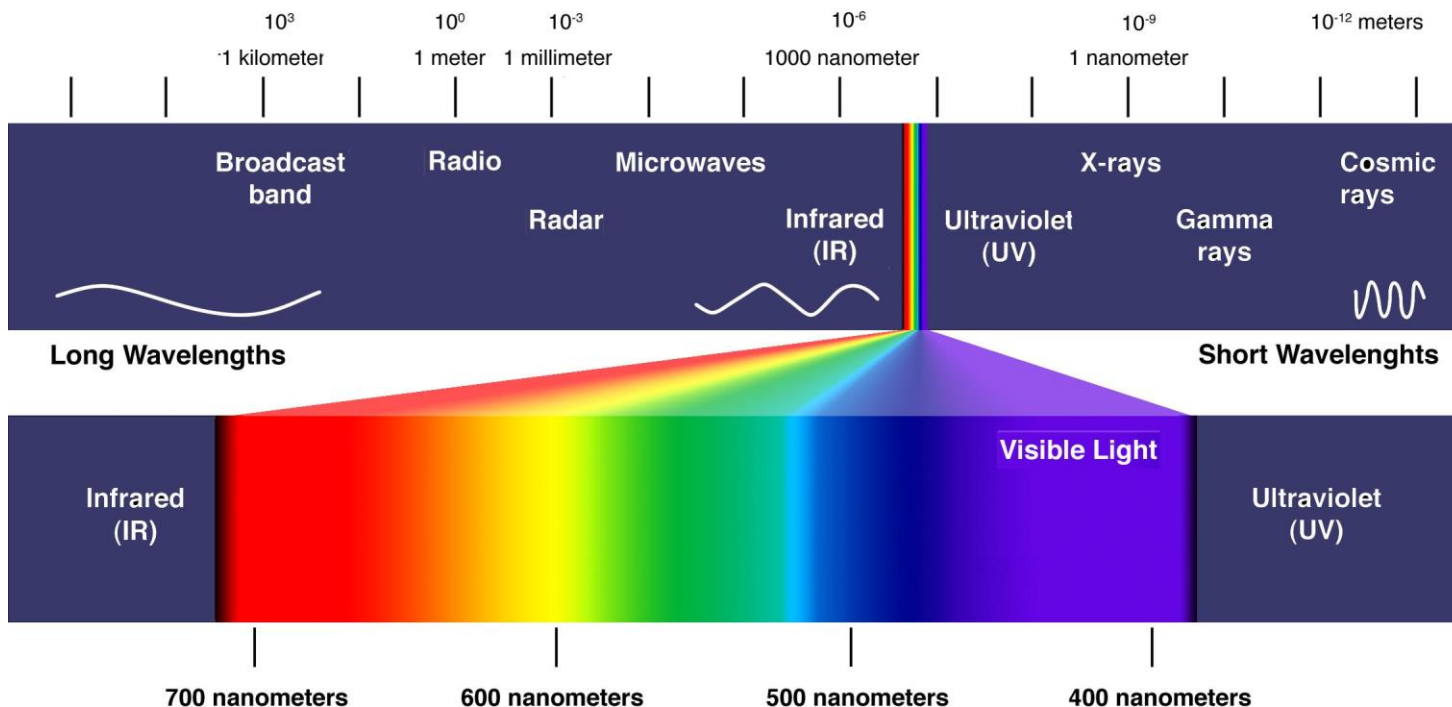
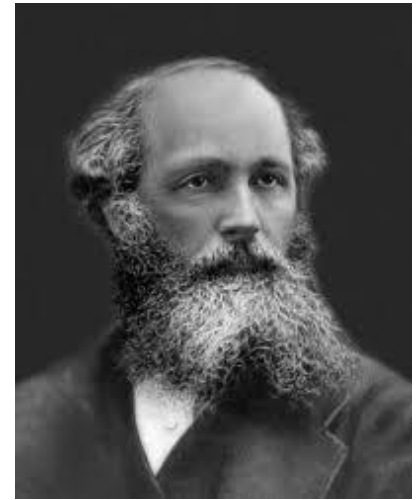
“...Esta velocidad es tan cercana a la de la luz\* que tenemos razones para concluir que **la luz** en sí misma es una **perturbación electromagnética** que tiene la forma de una onda que se propaga a través del espacio siguiendo las leyes del electromagnetismo...”

\*  $c = 300000 \text{ km/s}$

# Espectro electromagnético

Descripción matemática de la onda que se propaga

$$\vec{\psi}(x, t) = \vec{E}_0 \cos(kx - \omega t + \varphi_0)$$

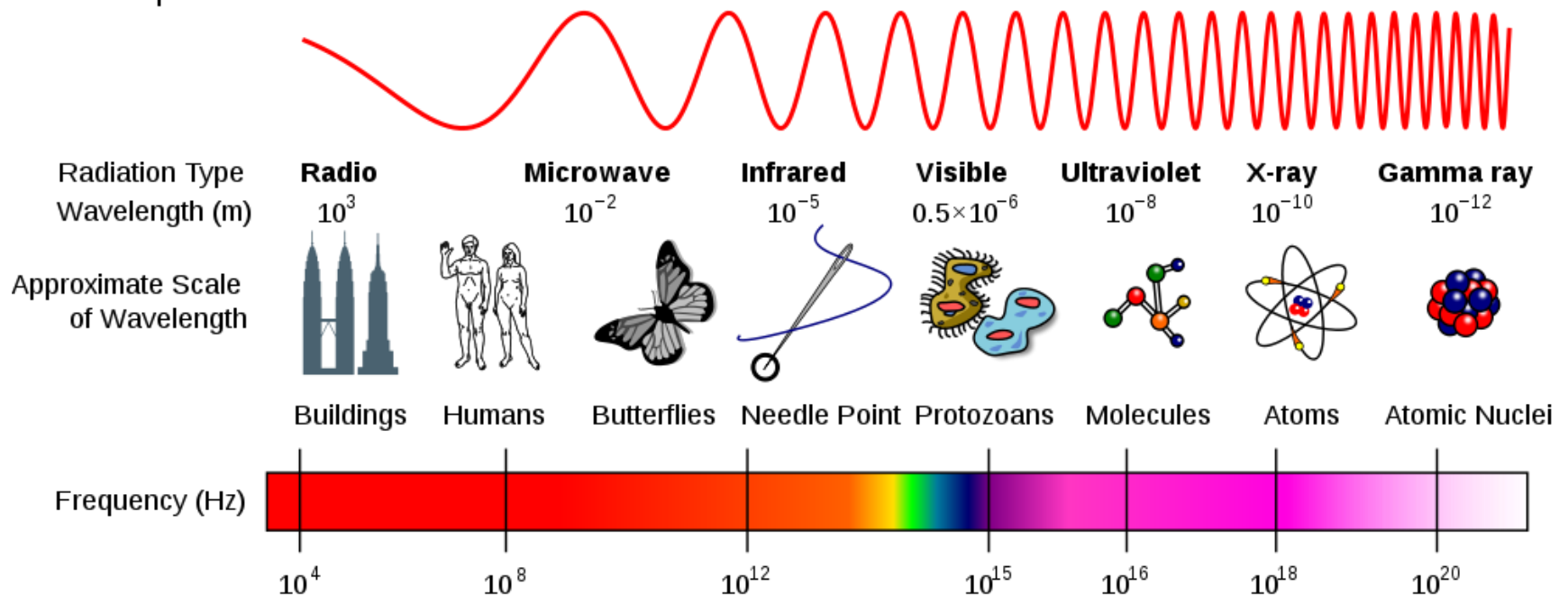
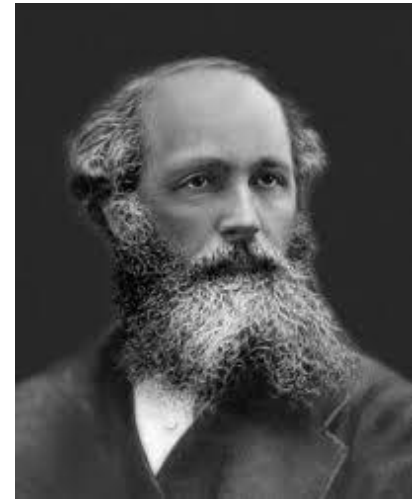


$$c = \lambda f$$

# Espectro electromagnético

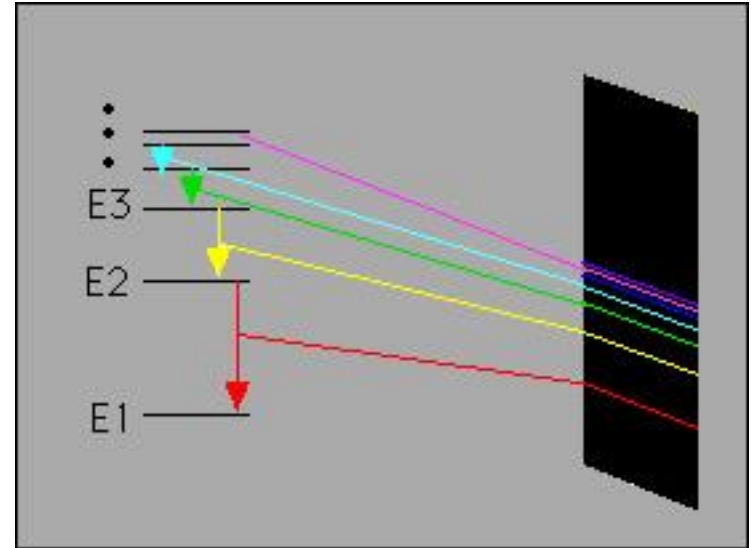
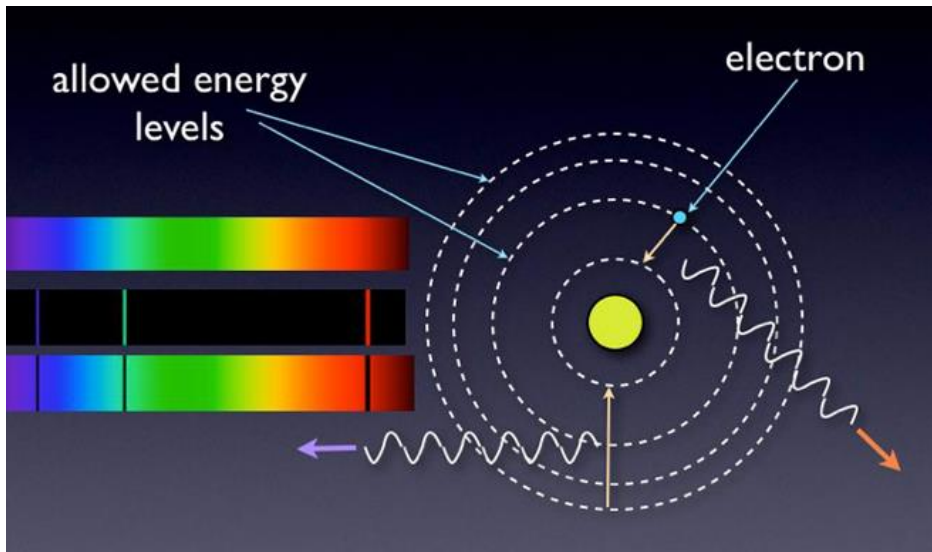
Descripción matemática de la onda que se propaga  
(la vamos a ver en detalle más adelante)

$$\vec{\psi}(x, t) = \vec{E}_0 \cos(kx - \omega t + \varphi_0)$$



$$c = \lambda f$$

# Átomos y luz

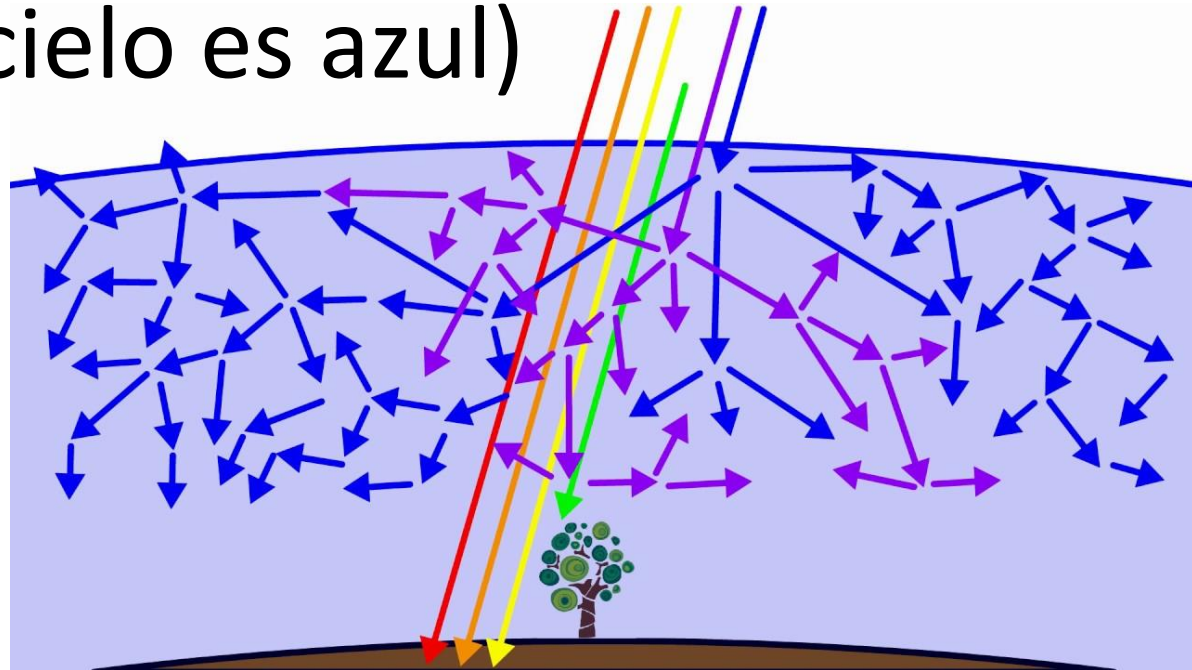


- Los electrones ligados al átomo sólo pueden tener ciertas energías
- A baja temperatura se encuentran en los niveles más bajos, pero los electrones más externos pueden ser excitados (es decir, aparecer en estados de alta energía) por colisiones o por interacción con radiación EM
- Los electrones solo pueden emitir o absorber energía *de a paquetes* (cuantos):

$$\Delta E = hf$$

# Scattering de Rayleigh (o por qué el cielo es azul)

- Electrones de las moléculas de la atmósfera (oxígeno, nitrógeno, etc) pueden absorber y reemitir luz de frecuencias UV-azul.
- No interactúan con radiación de otras longitudes de onda.



Emisión resonante:

