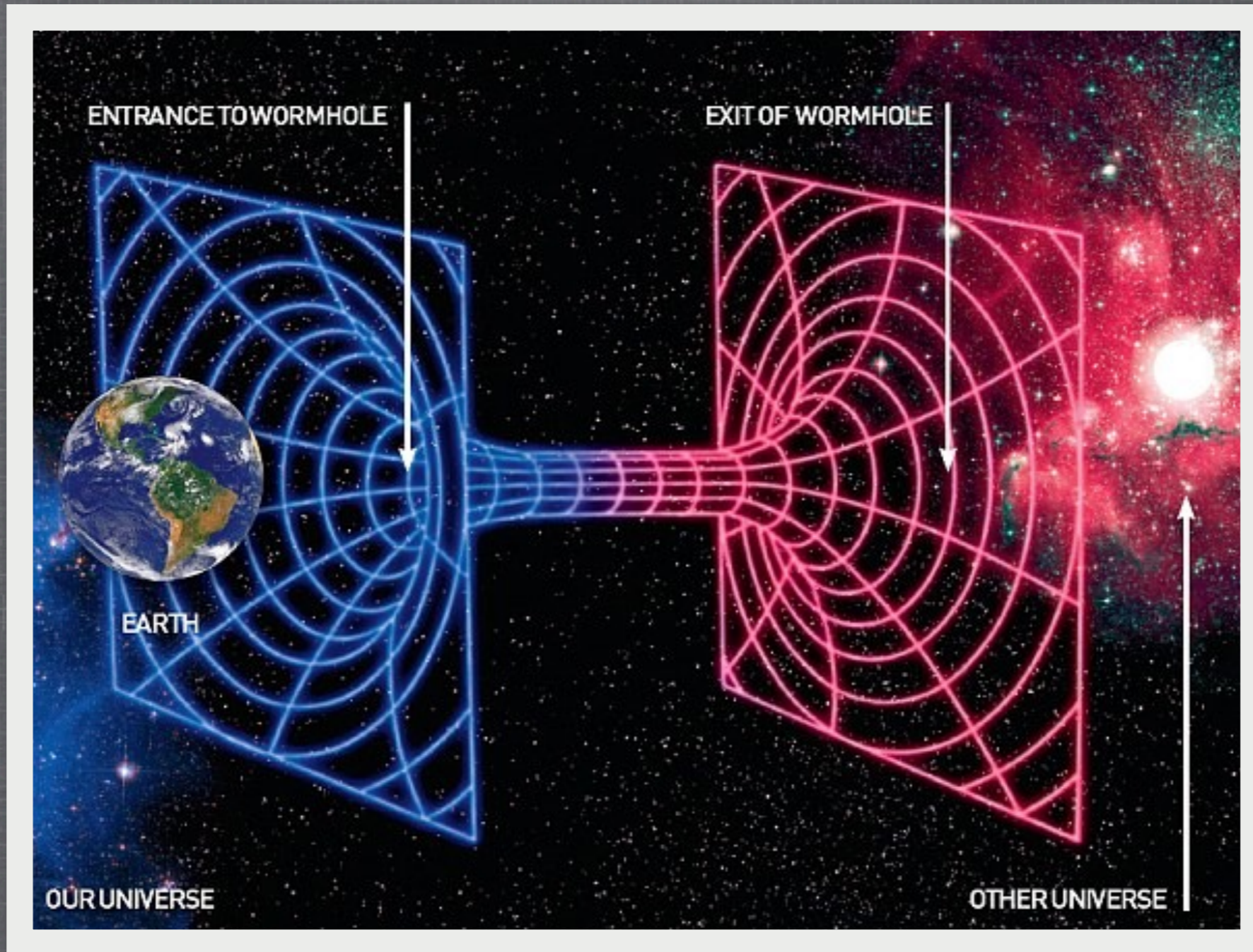


UNIDAD 1

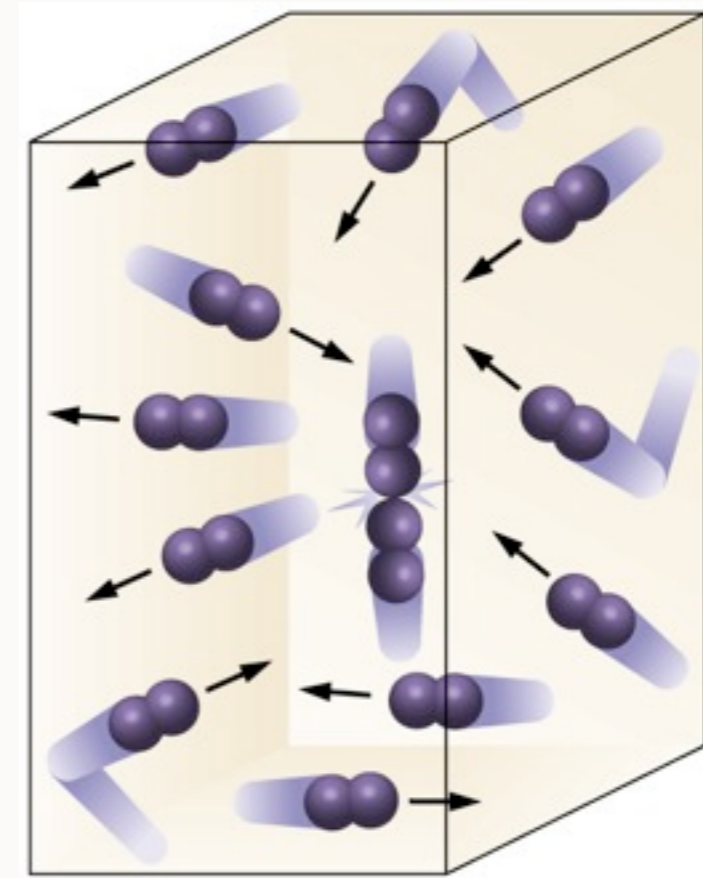
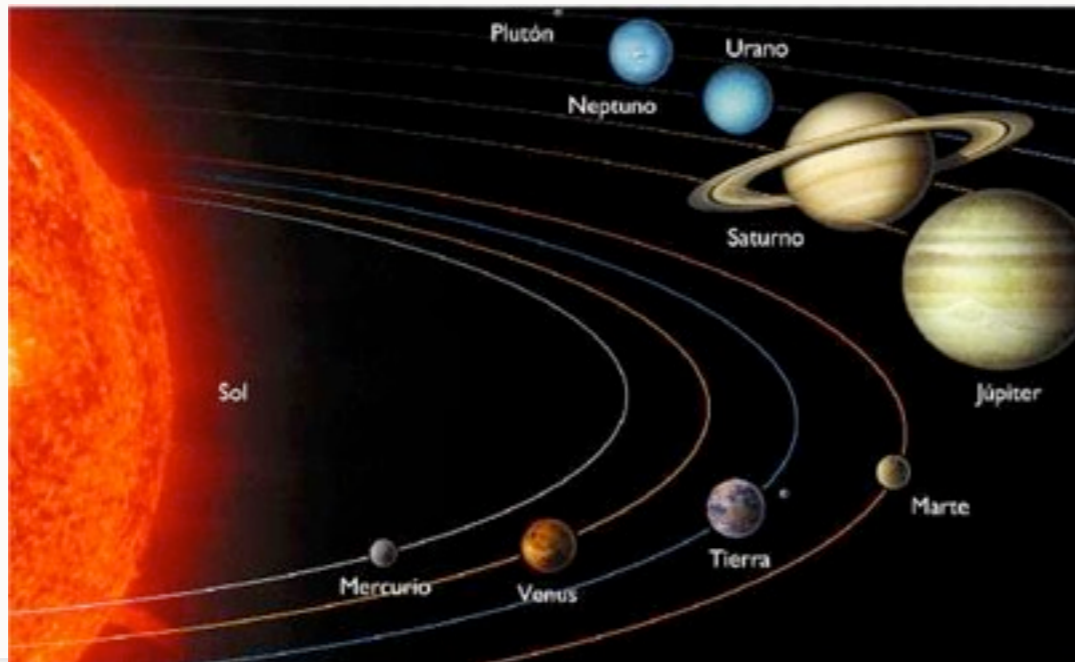
Relatividad Especial y General



DIFICULTADES DE LA RE CON LA FÍSICA CLÁSICA

- Importancia de la física clásica
- Dificultades con nuestras nociones de tiempo
- Dificultades con nuestras ideas de longitud
- Dificultades con nuestras ideas de la luz

IMPORTANCIA DE LA FÍSICA CLÁSICA



DIFICULTAD CON LAS NOCIONES DE TIEMPO

DIFICULTADES CON LAS NOCIONES DE TIEMPO

$$\pi^+, \pi^-$$

- Creados en un acelerador de partículas
- Partícula muy inestable
- Piones en reposo se desintegran en $26.0[ns] = 26.0^{-9}s$





- En un experimento se crean piones en movimiento con velocidad $v = 0.913c$

- Donde $c =$ velocidad de a luz.

$$c = 3 \cdot 10^8 [m/s]$$

- Se observa que viajan una distancia promedio de

$$D = 17.4[m]$$



POR LO QUE SE DESINTEGRAN EN...

$$v = \frac{d}{t}$$

$$\Rightarrow t = \frac{D}{v}$$

$$\Rightarrow t = \frac{17.4}{0.913c}$$

$$\Rightarrow t = 63.7[ns]$$

POR LO QUE SE DESINTEGRAN EN...

$$v = \frac{d}{t}$$

$$\Rightarrow t = \frac{D}{v}$$

$$\Rightarrow t = \frac{17.4}{0.913c}$$

$$\Rightarrow t = 63.7[ns]$$

Pero **vida media** piones en reposo

POR LO QUE SE DESINTEGRAN EN...

$$v = \frac{d}{t}$$

$$\Rightarrow t = \frac{D}{v}$$

$$\Rightarrow t = \frac{17.4}{0.913c}$$

$$\Rightarrow t = 63.7[ns]$$

Pero **vida media** piones en reposo $26.0[ns] = 26.0^{-9}s$

POR LO QUE SE DESINTEGRAN EN...

$$v = \frac{d}{t}$$
$$\Rightarrow t = \frac{D}{v}$$
$$\Rightarrow t = \frac{17.4}{0.913c}$$
$$\Rightarrow t = 63.7[ns]$$

Pero **vida media** piones en reposo $26.0[ns] = 26.0^{-9}s$

¿Dilatación del tiempo?

POR LO QUE SE DESINTEGRAN EN...

$$v = \frac{d}{t}$$

$$\Rightarrow t = \frac{D}{v}$$

$$\Rightarrow t = \frac{17.4}{0.913c}$$

$$\Rightarrow t = 63.7[ns]$$

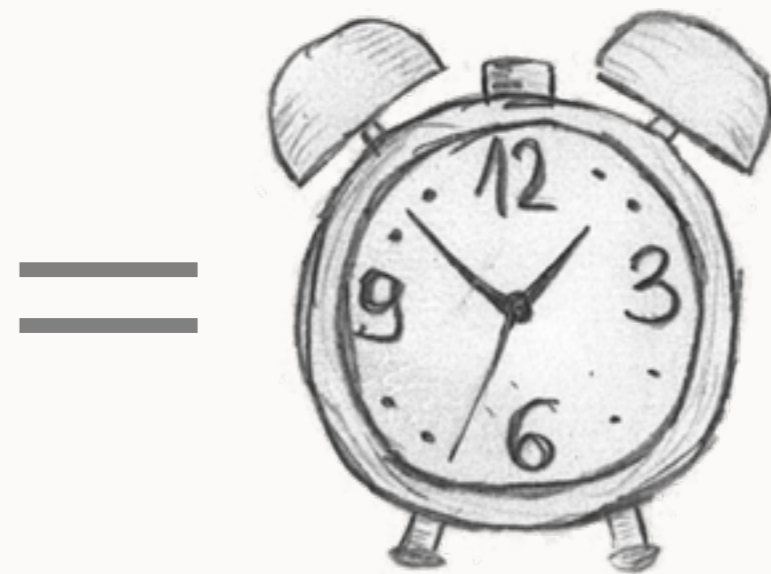
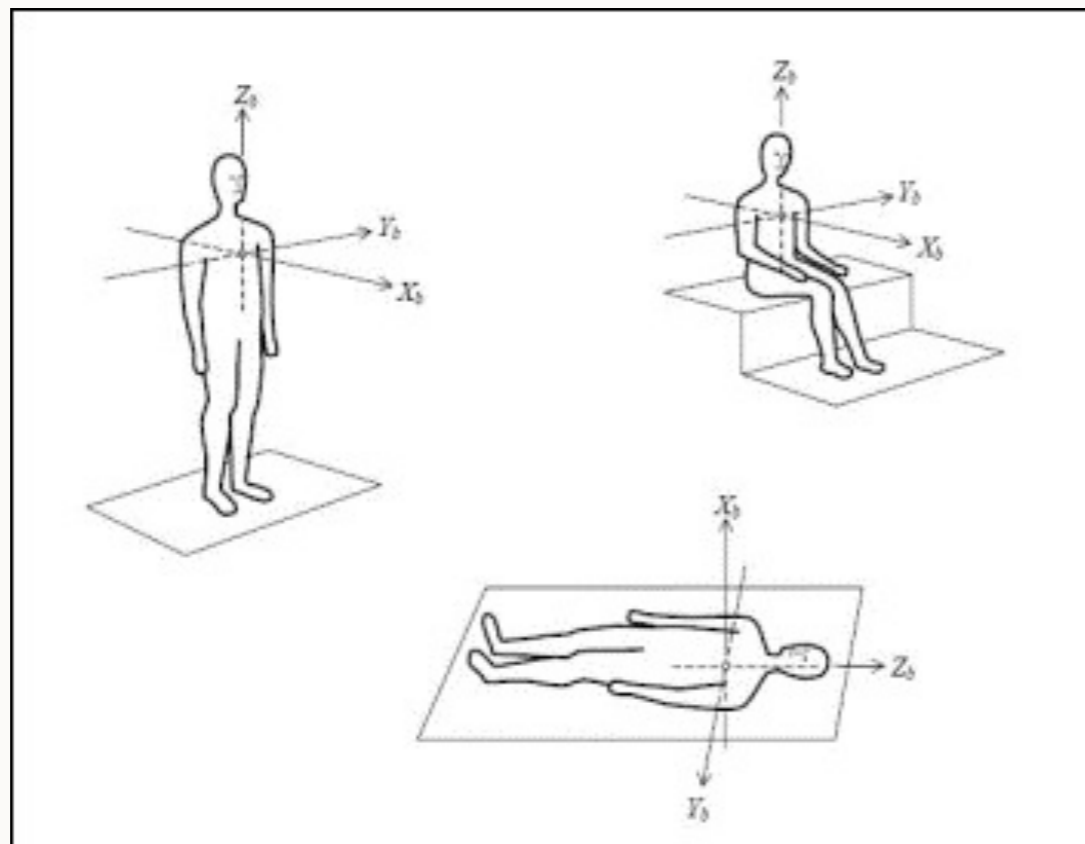
Pero **vida media** piones en reposo $26.0[ns] = 26.0^{-9}s$

¿Dilatación del tiempo?



¿CUÁL ES EL PROBLEMA CON LA FÍSICA CLÁSICA?

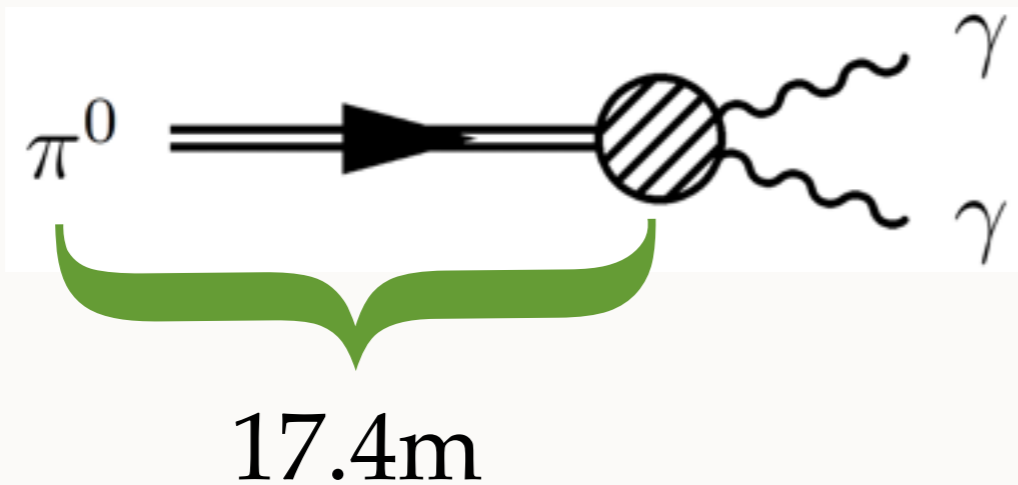
En física clásica el tiempo es **ABSOLUTO**



=

DIFICULTADES CON NUESTRAS IDEAS DE LONGITUD

¿PROBLEMAS DE LONGITUD?



- Mismo Observador en el laboratorio.
- Marca inicio y fin del pión.

OTRO OBSERVADOR

$$v = \frac{d}{t}$$

$$\Rightarrow d = vt$$

$$\Rightarrow d = (0.913c)(26.0 \times 10^{-9})$$

$$\Rightarrow d = 7.1[m]$$

■ Observador en reposo con respecto al pión.

■ Observa vida media del pión es 26.0[ns].

OTRO OBSERVADOR

$$v = \frac{d}{t}$$

$$\Rightarrow d = vt$$

$$\Rightarrow d = (0.913c)(26.0 \times 10^{-9})$$

$$\Rightarrow d = 7.1[m]$$

■ Observador en reposo con respecto al pión.

■ Observa vida media del pión es 26.0[ns].

$$7.1[m] \neq 17.4[m]$$

OTRO OBSERVADOR

$$v = \frac{d}{t}$$

$$\Rightarrow d = vt$$

$$\Rightarrow d = (0.913c)(26.0 \times 10^{-9})$$

$$\Rightarrow d = 7.1[m]$$

■ Observador en reposo con respecto al pión.

■ Observa vida media del pión es 26.0[ns].

Lab=reposo $7.1[m] \neq 17.4[m]$

OTRO OBSERVADOR

$$v = \frac{d}{t}$$

$$\Rightarrow d = vt$$

$$\Rightarrow d = (0.913c)(26.0 \times 10^{-9})$$

$$\Rightarrow d = 7.1[m]$$

■ Observador en reposo con respecto al pi3n.

■ Observa vida media del pi3n es 26.0[ns].

Lab=reposo $7.1[m] \neq 17.4[m]$ Movimiento

OTRO OBSERVADOR

$$v = \frac{d}{t}$$

$$\Rightarrow d = vt$$

$$\Rightarrow d = (0.913c)(26.0 \times 10^{-9})$$

$$\Rightarrow d = 7.1[m]$$

■ Observador en reposo con respecto al pión.

■ Observa vida media del pión es 26.0[ns].

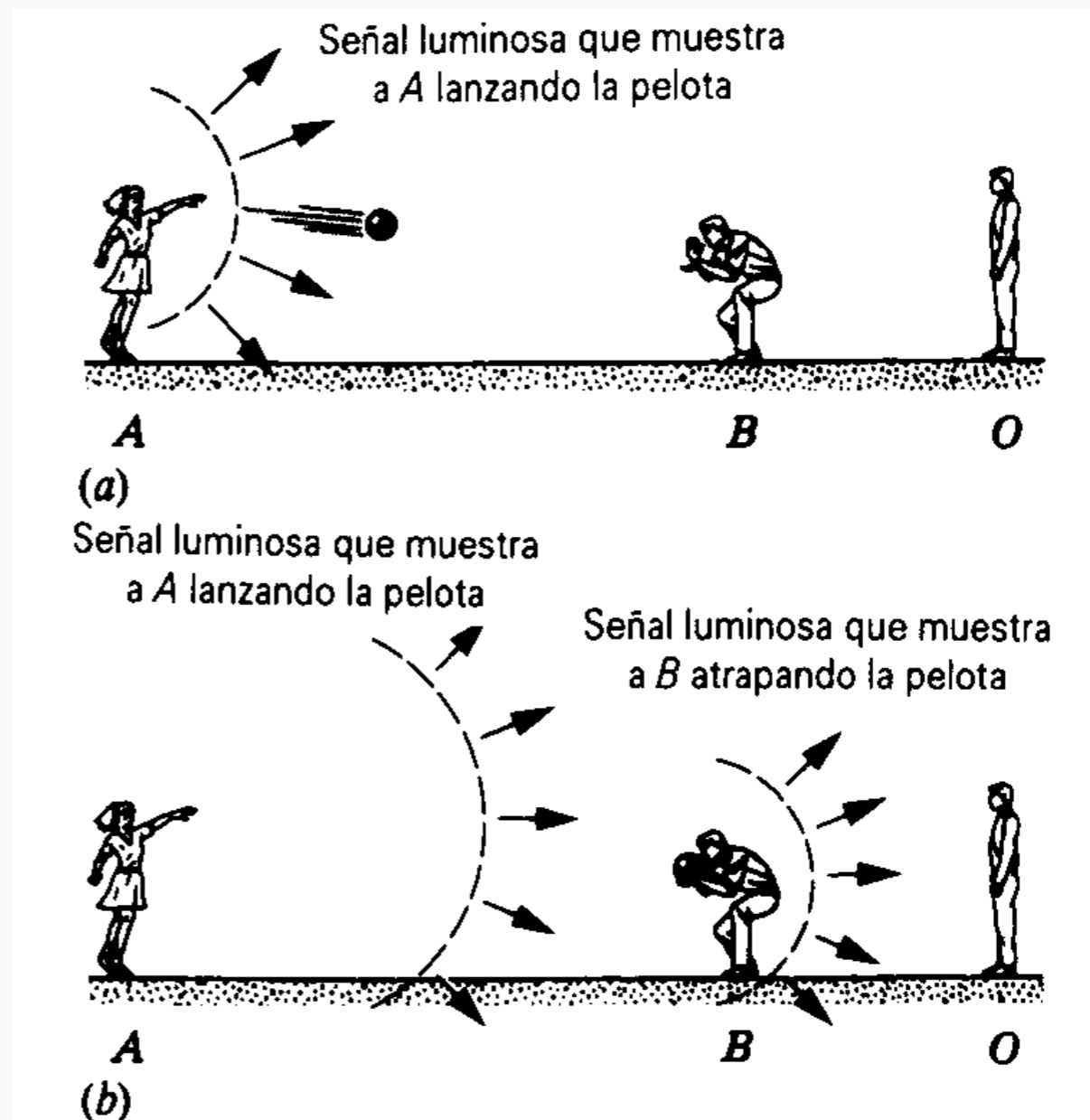
Lab=reposo $7.1[m] \neq 17.4[m]$ Movimiento

¿Contracción de la longitud?

DIFICULTADES CON NUESTRAS IDEAS DE VELOCIDAD

$$V \gg C$$

- Pelota con velocidad superlumínica



Ecuaciones de Maxwell

Operador Nabla $\vec{\nabla} = \frac{\partial}{\partial x_i} \hat{e}_i$

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{E} = \frac{\rho}{\epsilon_0}$$

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{B} = 0$$

$$\vec{\nabla} \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$$

$$\vec{\nabla} \times \vec{B} = \mu_0 \vec{j} + \mu_0 \epsilon_0 \frac{\partial \vec{E}}{\partial t}$$

Ecuaciones de Maxwell

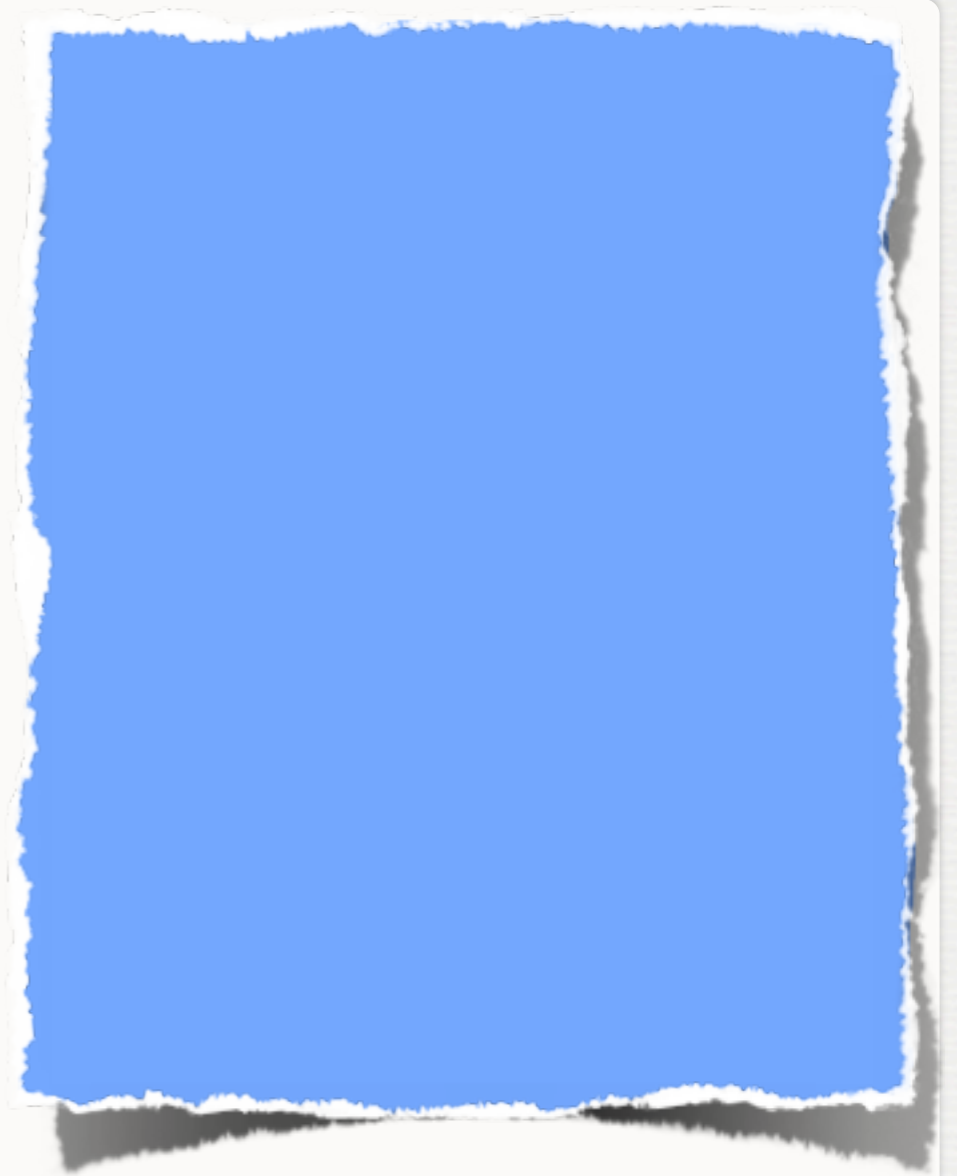
Operador Nabla $\vec{\nabla} = \frac{\partial}{\partial x_i} \hat{e}_i$

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{E} = \frac{\rho}{\epsilon_0}$$

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{B} = 0$$

$$\vec{\nabla} \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$$

$$\vec{\nabla} \times \vec{B} = \mu_0 \vec{j} + \mu_0 \epsilon_0 \frac{\partial \vec{E}}{\partial t}$$



Ecuaciones de Maxwell

Operador Nabla $\vec{\nabla} = \frac{\partial}{\partial x_i} \hat{e}_i$

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{E} = \frac{\rho}{\epsilon_0}$$

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{B} = 0$$

$$\vec{\nabla} \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$$

$$\vec{\nabla} \times \vec{B} = \mu_0 \vec{j} + \mu_0 \epsilon_0 \frac{\partial \vec{E}}{\partial t}$$

Tarea 1:
Demostrar que en
el vacío

Ecuaciones de Maxwell

Operador Nabla $\vec{\nabla} = \frac{\partial}{\partial x_i} \hat{e}_i$

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{E} = \frac{\rho}{\epsilon_0}$$

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{B} = 0$$

$$\vec{\nabla} \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$$

$$\vec{\nabla} \times \vec{B} = \mu_0 \vec{j} + \mu_0 \epsilon_0 \frac{\partial \vec{E}}{\partial t}$$

Tarea 1:

Demostrar que en el vacío

$$\vec{\nabla}^2 \vec{E} = \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial t^2}$$

$$\vec{\nabla}^2 \vec{B} = \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 \vec{B}}{\partial t^2}$$

Ecuaciones de Maxwell

Operador Nabla $\vec{\nabla} = \frac{\partial}{\partial x_i} \hat{e}_i$

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{E} = \frac{\rho}{\epsilon_0}$$

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{B} = 0$$

$$\vec{\nabla} \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$$

$$\vec{\nabla} \times \vec{B} = \mu_0 \vec{j} + \mu_0 \epsilon_0 \frac{\partial \vec{E}}{\partial t}$$

Tarea 1:

Demostrar que en el vacío

$$\vec{\nabla}^2 \vec{E} = \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial t^2}$$

$$\vec{\nabla}^2 \vec{B} = \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 \vec{B}}{\partial t^2}$$

$$\vec{\nabla}^2 = \vec{\nabla} \cdot \vec{\nabla}$$

Ecuaciones de Maxwell

Operador Nabla $\vec{\nabla} = \frac{\partial}{\partial x_i} \hat{e}_i$

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{E} = \frac{\rho}{\epsilon_0}$$

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{B} = 0$$

$$\vec{\nabla} \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$$

$$\vec{\nabla} \times \vec{B} = \mu_0 \vec{j} + \mu_0 \epsilon_0 \frac{\partial \vec{E}}{\partial t}$$

Tarea 1:

Demostrar que en el vacío

$$\vec{\nabla}^2 \vec{E} = \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial t^2}$$

$$\vec{\nabla}^2 \vec{B} = \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 \vec{B}}{\partial t^2}$$

Donde: $\vec{\nabla}^2 = \vec{\nabla} \cdot \vec{\nabla}$

Ecuaciones de Maxwell

Operador Nabla $\vec{\nabla} = \frac{\partial}{\partial x_i} \hat{e}_i$

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{E} = \frac{\rho}{\epsilon_0}$$

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{B} = 0$$

$$\vec{\nabla} \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$$

$$\vec{\nabla} \times \vec{B} = \mu_0 \vec{j} + \mu_0 \epsilon_0 \frac{\partial \vec{E}}{\partial t}$$

Tarea 1:

Demostrar que en el vacío

$$\vec{\nabla}^2 \vec{E} = \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial t^2}$$

$$\vec{\nabla}^2 \vec{B} = \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 \vec{B}}{\partial t^2}$$

Donde: $\vec{\nabla}^2 = \vec{\nabla} \cdot \vec{\nabla}$

Ecuaciones de Maxwell

Operador Nabla $\vec{\nabla} = \frac{\partial}{\partial x_i} \hat{e}_i$

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{E} = \frac{\rho}{\epsilon_0}$$

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{B} = 0$$

$$\vec{\nabla} \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$$

$$\vec{\nabla} \times \vec{B} = \mu_0 \vec{j} + \mu_0 \epsilon_0 \frac{\partial \vec{E}}{\partial t}$$

Tarea 1:

Demostrar que en el vacío

$$\vec{\nabla}^2 \vec{E} = \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial t^2}$$

$$\vec{\nabla}^2 \vec{B} = \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 \vec{B}}{\partial t^2}$$

Donde: $\vec{\nabla}^2 = \vec{\nabla} \cdot \vec{\nabla}$

$$\vec{\nabla} \times (\vec{\nabla} \times \vec{E})$$

$$\vec{\nabla} \times (\vec{\nabla} \times \vec{B})$$

Ecuaciones de Maxwell

Operador Nabla $\vec{\nabla} = \frac{\partial}{\partial x_i} \hat{e}_i$

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{E} = \frac{\rho}{\epsilon_0}$$

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{B} = 0$$

$$\vec{\nabla} \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$$

$$\vec{\nabla} \times \vec{B} = \mu_0 \vec{j} + \mu_0 \epsilon_0 \frac{\partial \vec{E}}{\partial t}$$

Tarea 1:

Demostrar que en el vacío

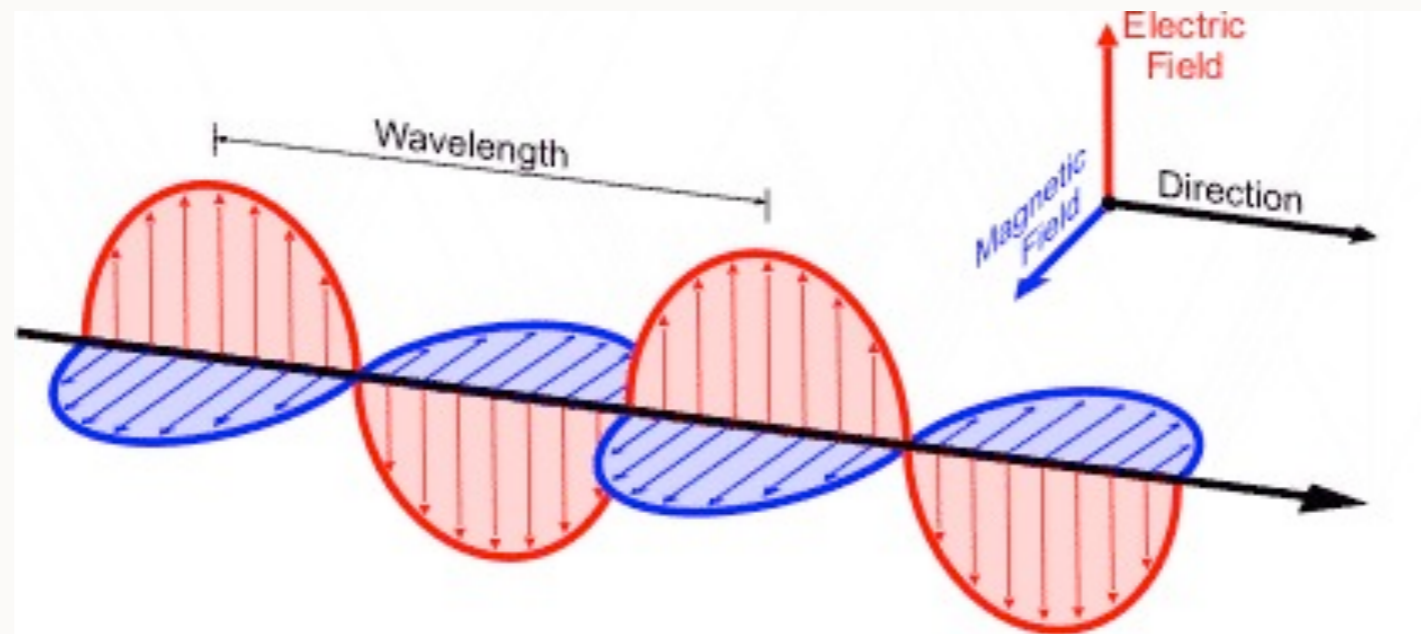
$$\vec{\nabla}^2 \vec{E} = \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial t^2}$$

$$\vec{\nabla}^2 \vec{B} = \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 \vec{B}}{\partial t^2}$$

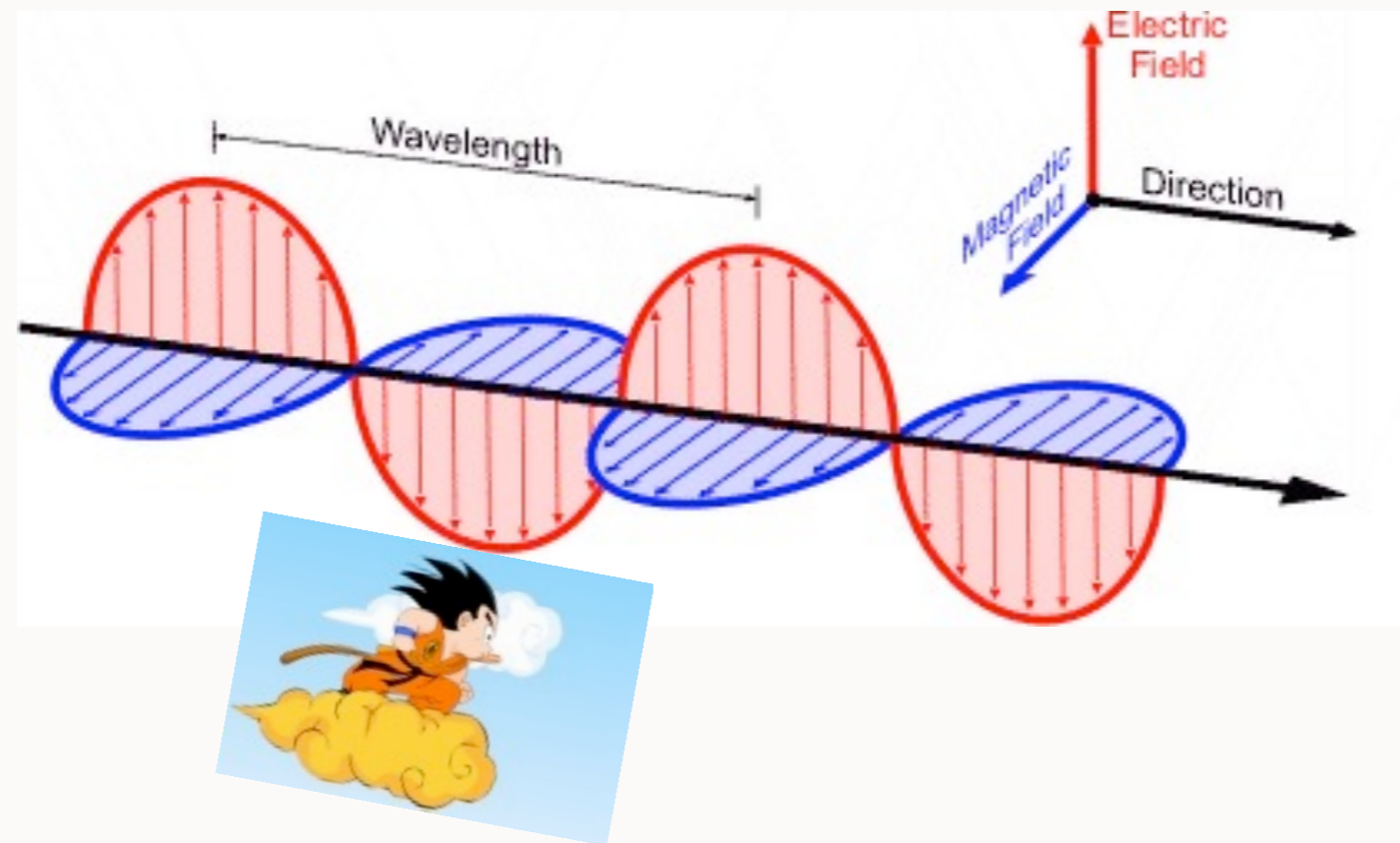
Donde: $\vec{\nabla}^2 = \vec{\nabla} \cdot \vec{\nabla}$

Hint: $\vec{\nabla} \times (\vec{\nabla} \times \vec{E})$
 $\vec{\nabla} \times (\vec{\nabla} \times \vec{B})$

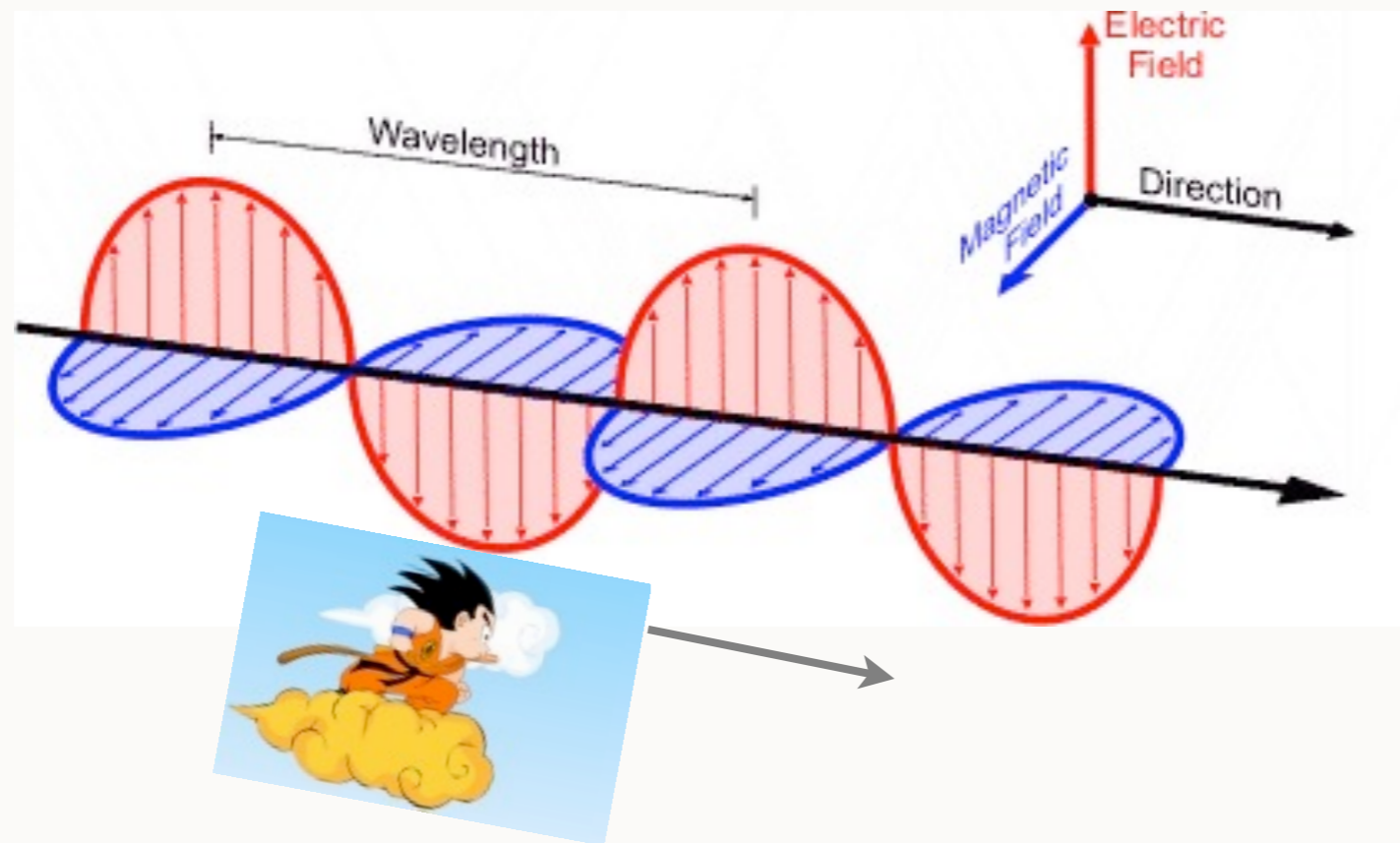
PARADOJA DE EINSTEIN: “ATRAPAR LA LUZ”



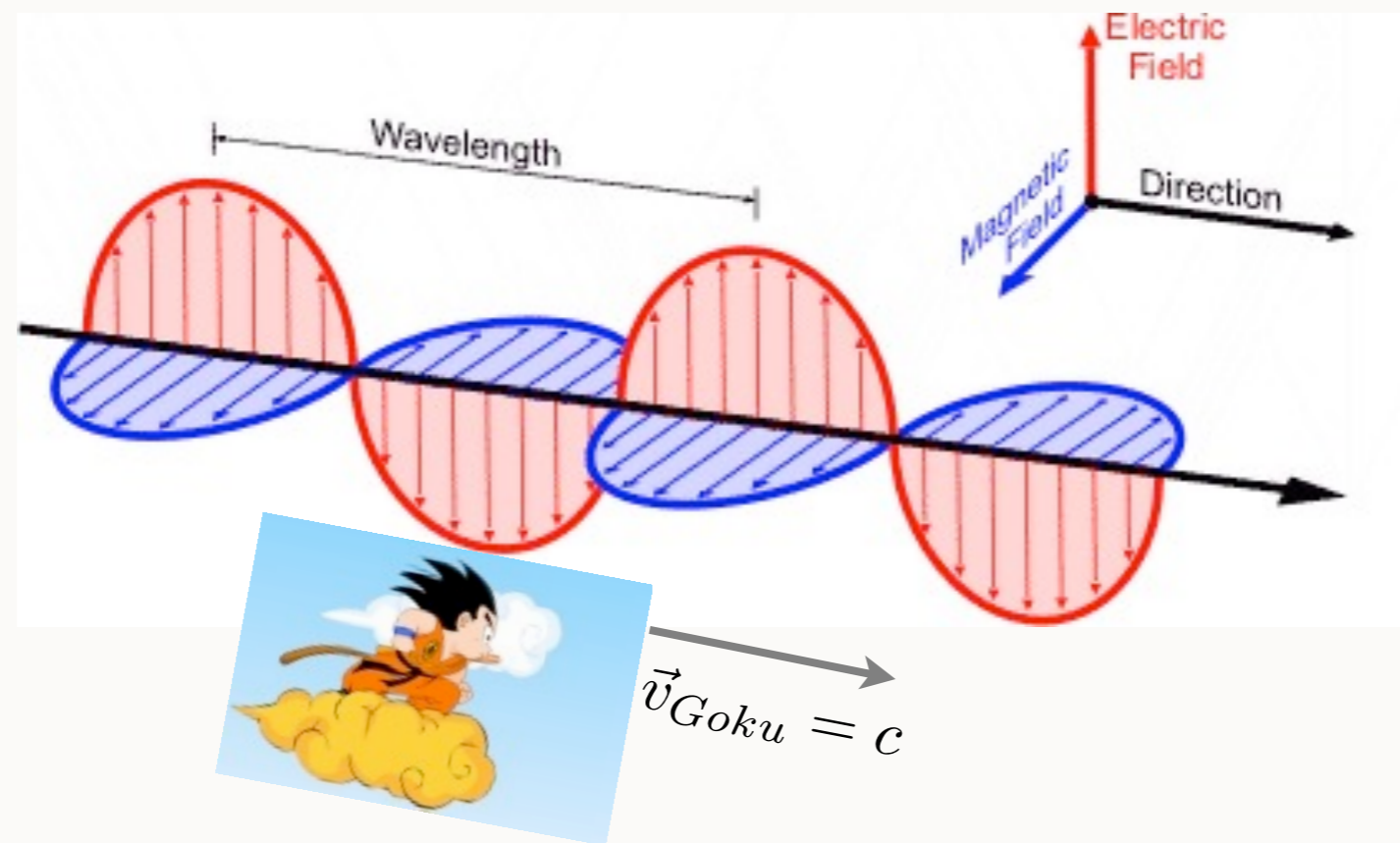
PARADOJA DE EINSTEIN: "ATRAPAR LA LUZ"



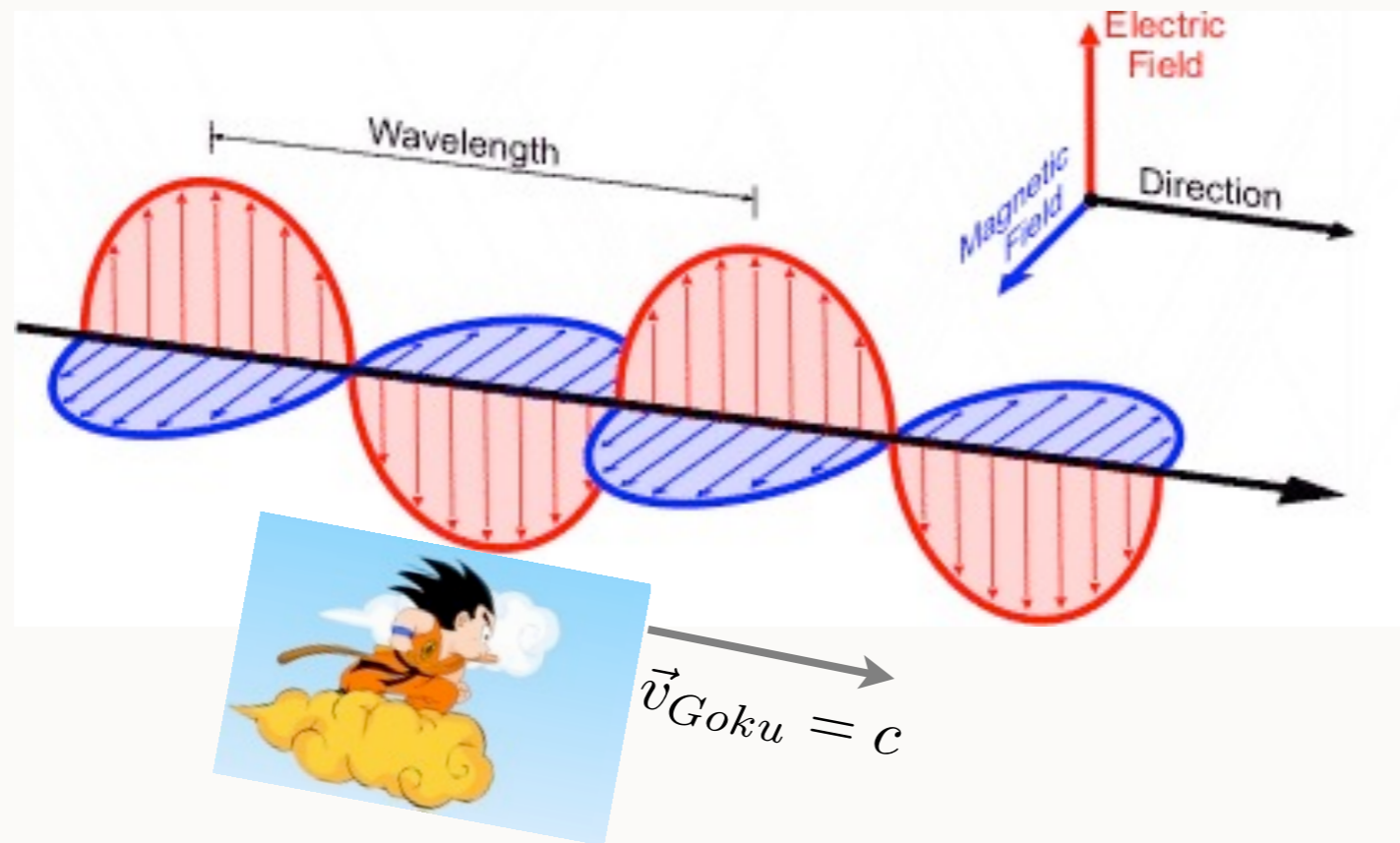
PARADOJA DE EINSTEIN: "ATRAPAR LA LUZ"



PARADOJA DE EINSTEIN: "ATRAPAR LA LUZ"

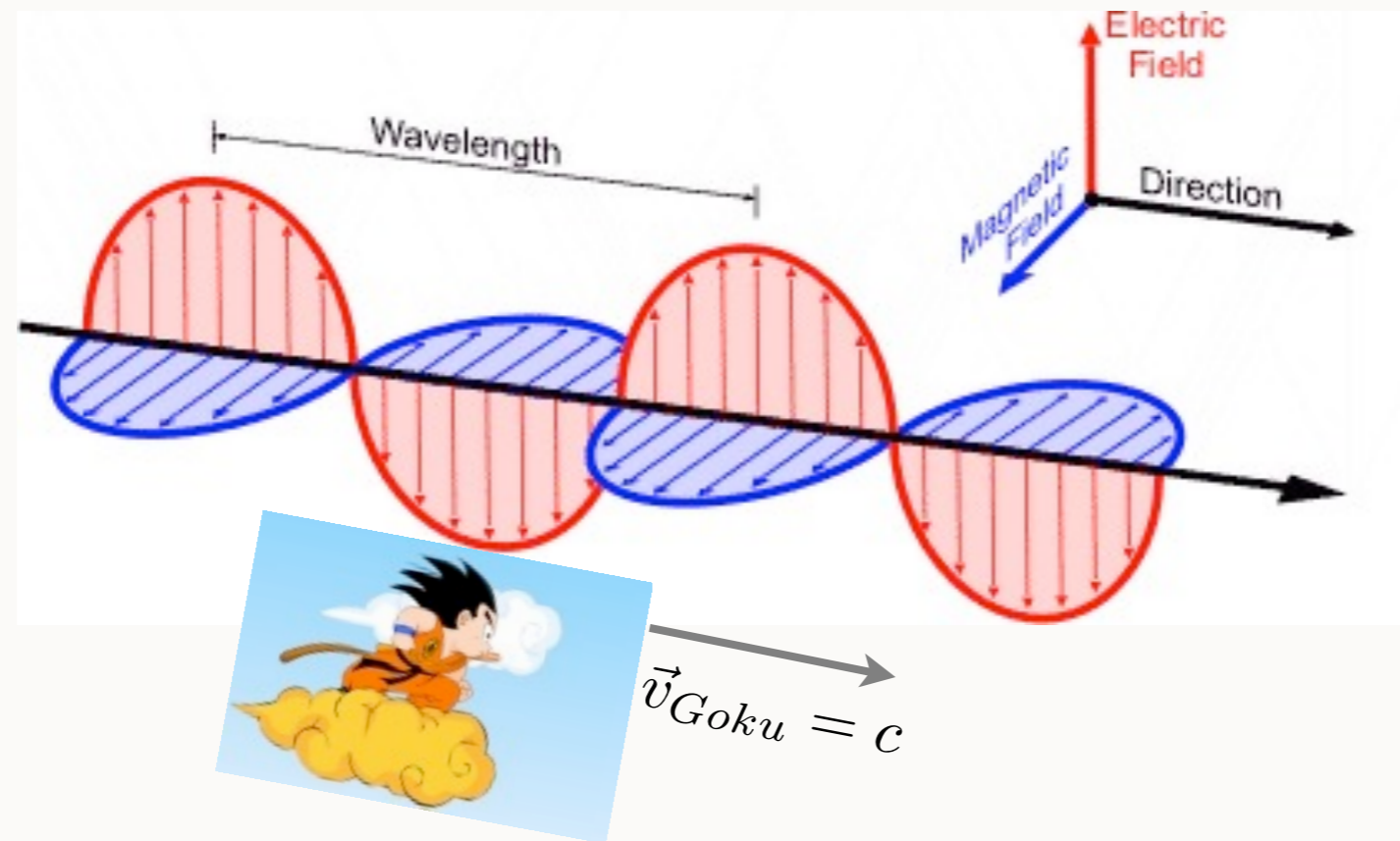


PARADOJA DE EINSTEIN: “ATRAPAR LA LUZ”



Kakaroto observa un patrón estático del Campo Electromagnético

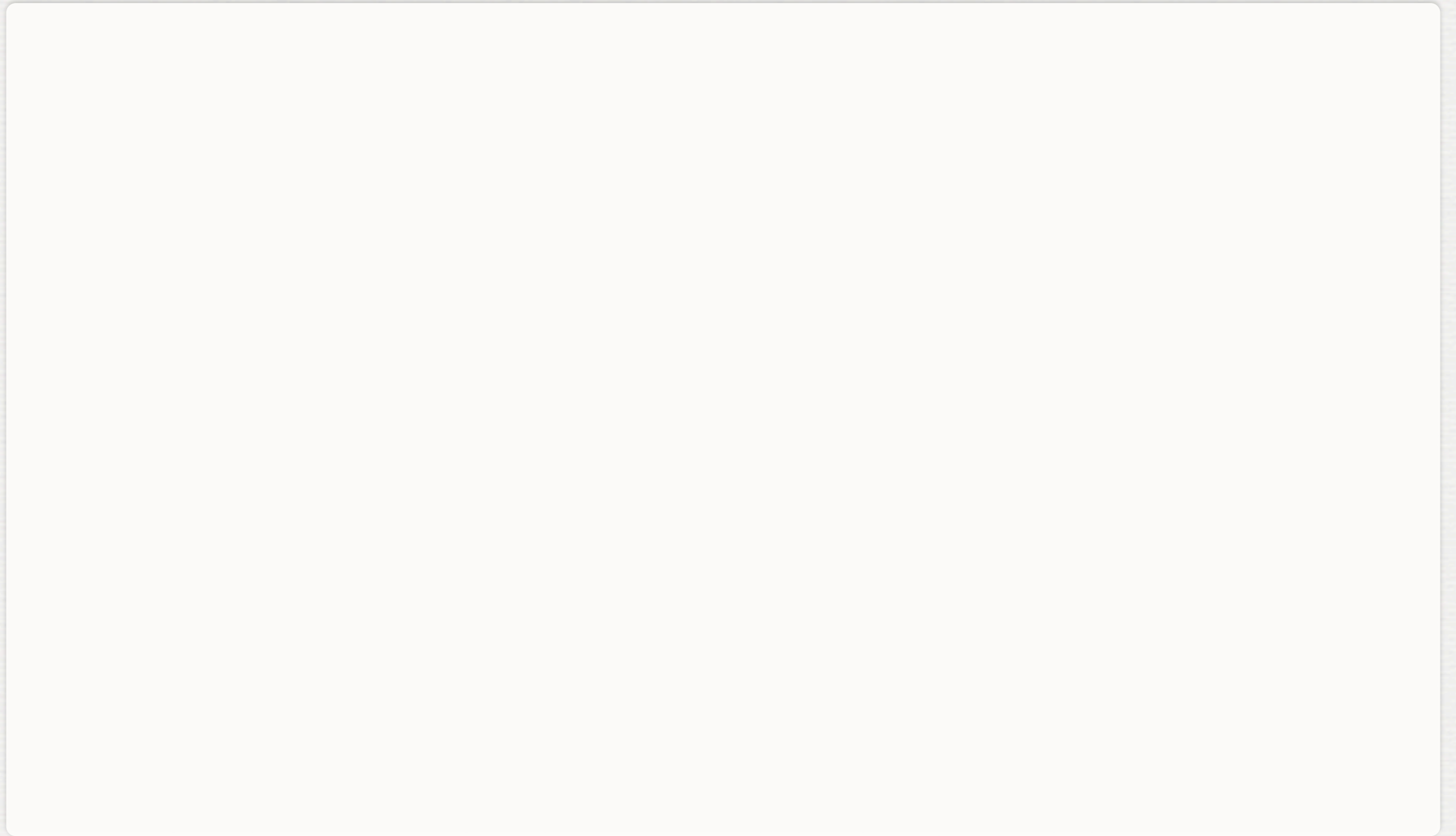
PARADOJA DE EINSTEIN: “ATRAPAR LA LUZ”



Kakaroto observa un patrón estático del Campo Electromagnético

¿Maxwell o la Cinemática?

POSTULADOS DE LA RELATIVIDAD



POSTULADOS DE LA RELATIVIDAD

El principio de relatividad: *Las leyes de la física son las mismas en todos los marcos de referencia inerciales.*

El principio de la constancia de la velocidad de la luz: *La velocidad de la luz en el espacio libre tiene el mismo valor c en todos los marcos de referencia inerciales.*