

Superluminidad

Vera L. Brudny¹

W. Luis Mochán²

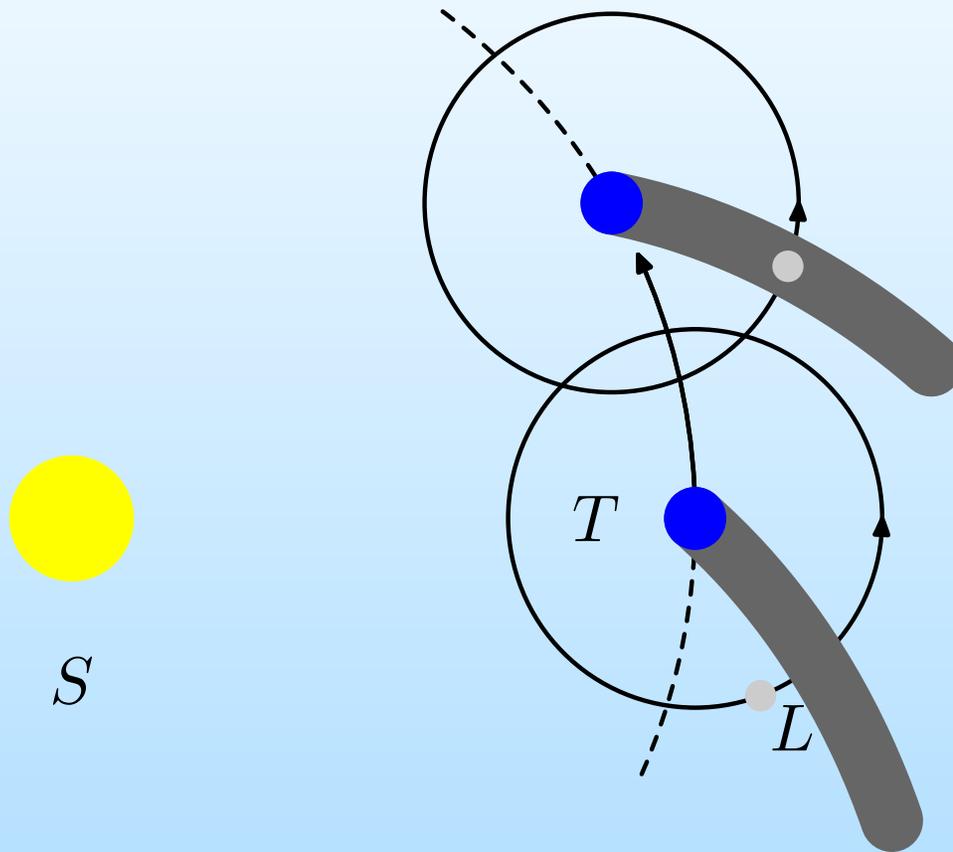
mochan@fis.unam.mx, <http://em.fis.unam.mx>

¹DF-UBA, Argentina

²Centro de Ciencias Físicas, UNAM

La luz, ¿se mueve?

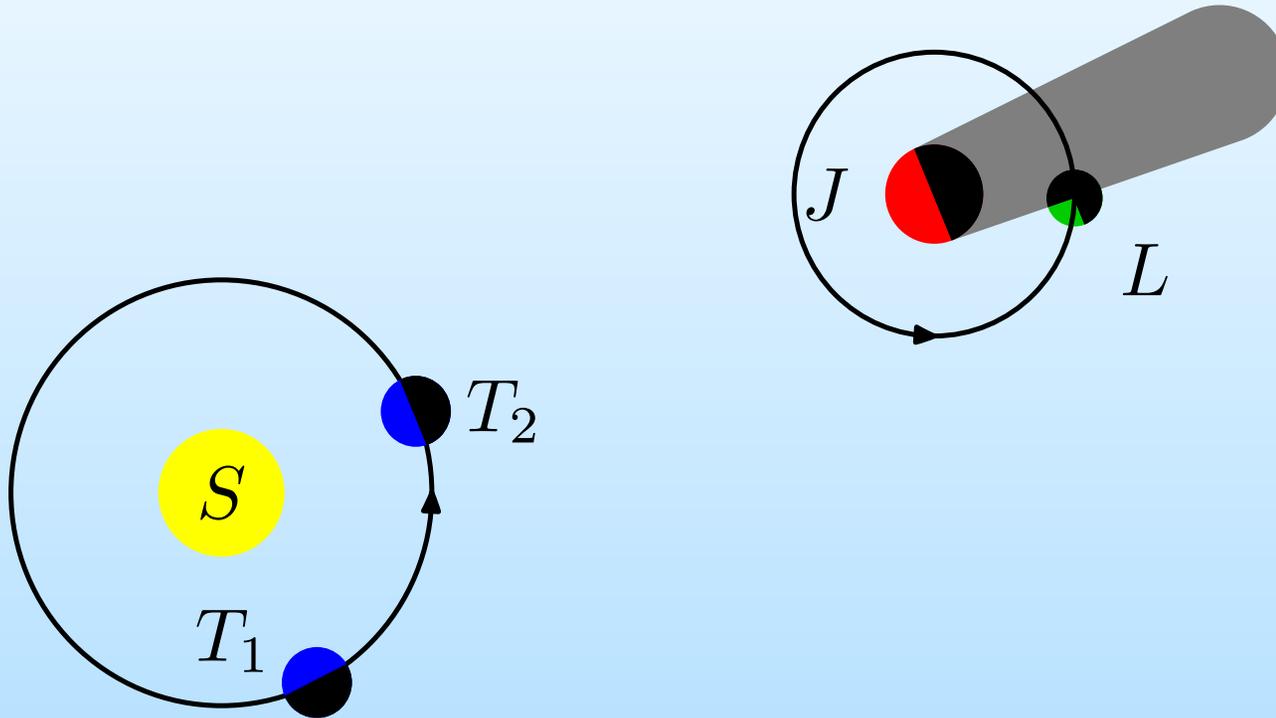
Descartes (s. XVII): ... observemos los cielos...



¿ $c = \infty$?

pero alejándonos más...

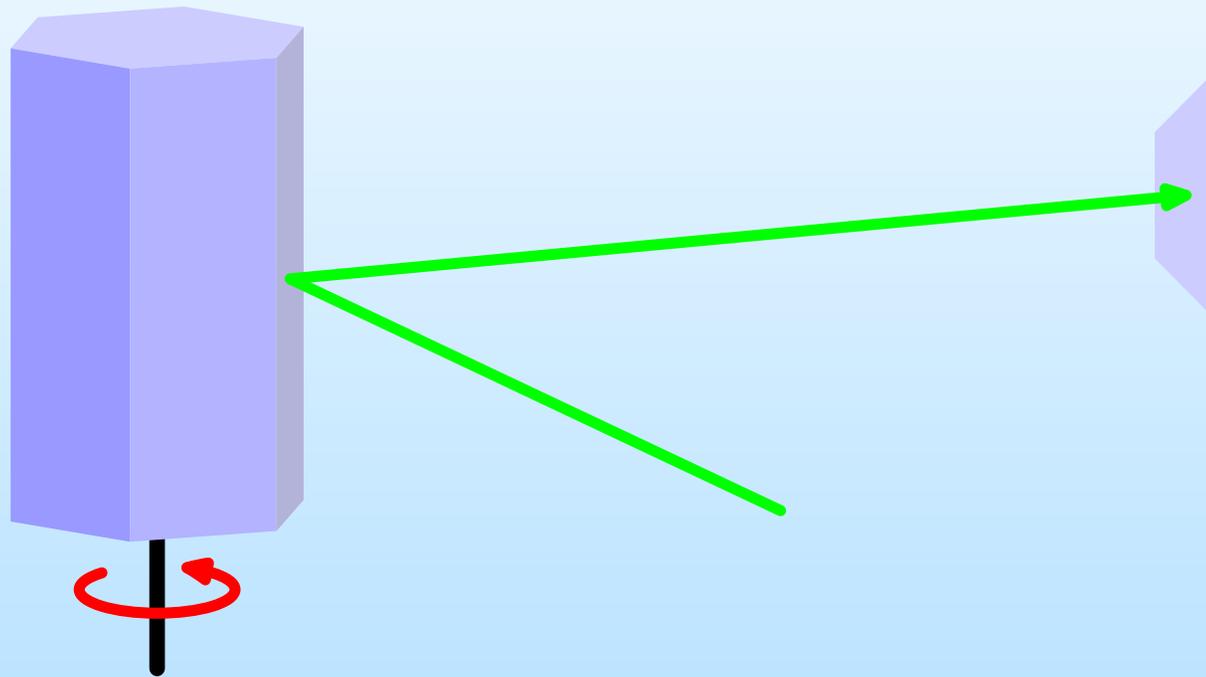
Römer (s. XVII): ¿Por qué se retrasan los eclipses de las lunas de Júpiter?



$$c \approx 3000000000 \text{ m/s}$$

Sistema de unidades

Fizeau, Foucalt, Arago... (s. XIX)



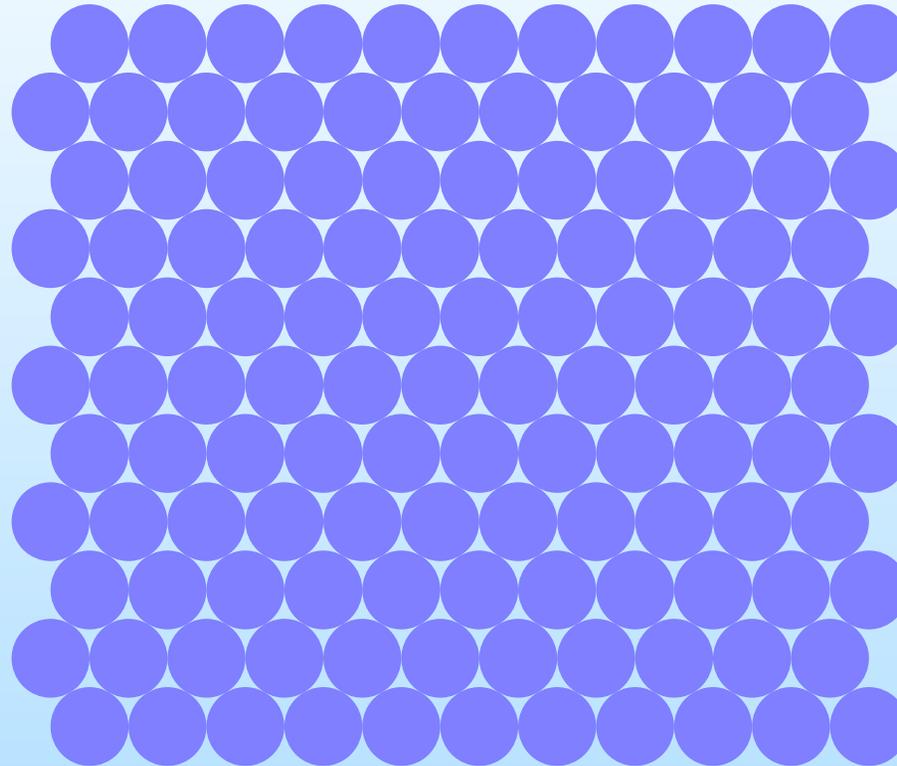
Ahora... $c \equiv 299,792,458 m/s$ (SI)

$1s = 9,192,631,770$ veces el tiempo de oscilación de la transición entre los estados hiperfinos del átomo de cesio 133.

$1m = 1/29,979,2458$ veces la distancia que recorre la luz en $1s$.

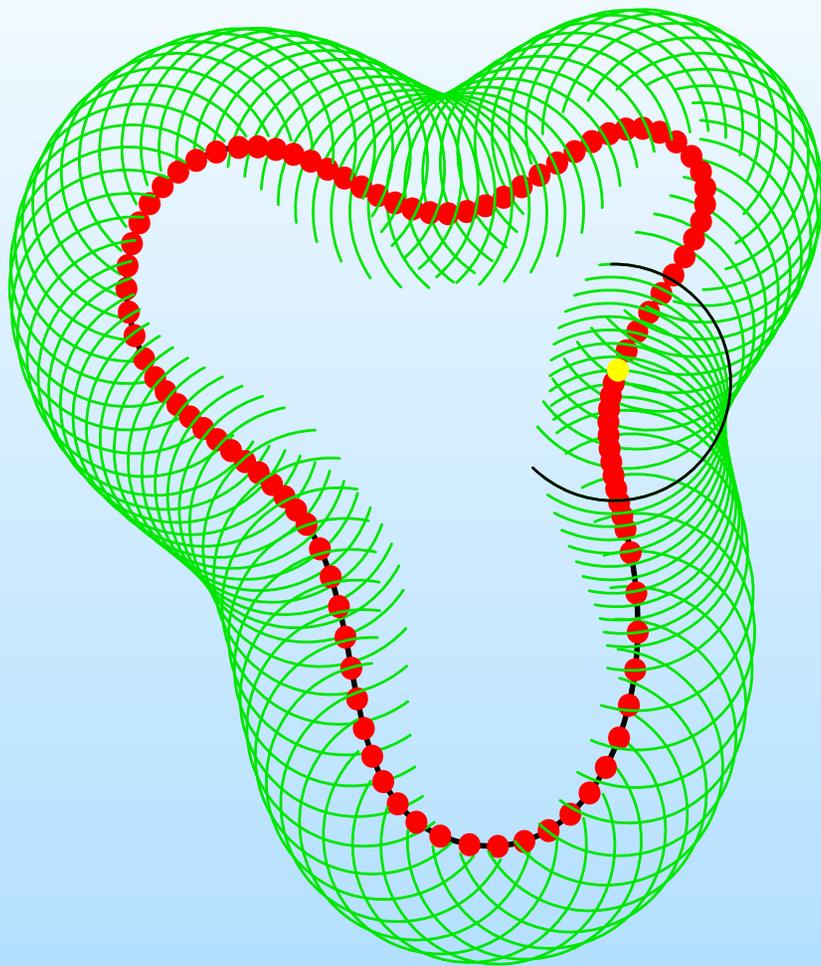
¿Qué se podría mover tan rápido?

Huygens (s. XVII):



... ¡el movimiento!

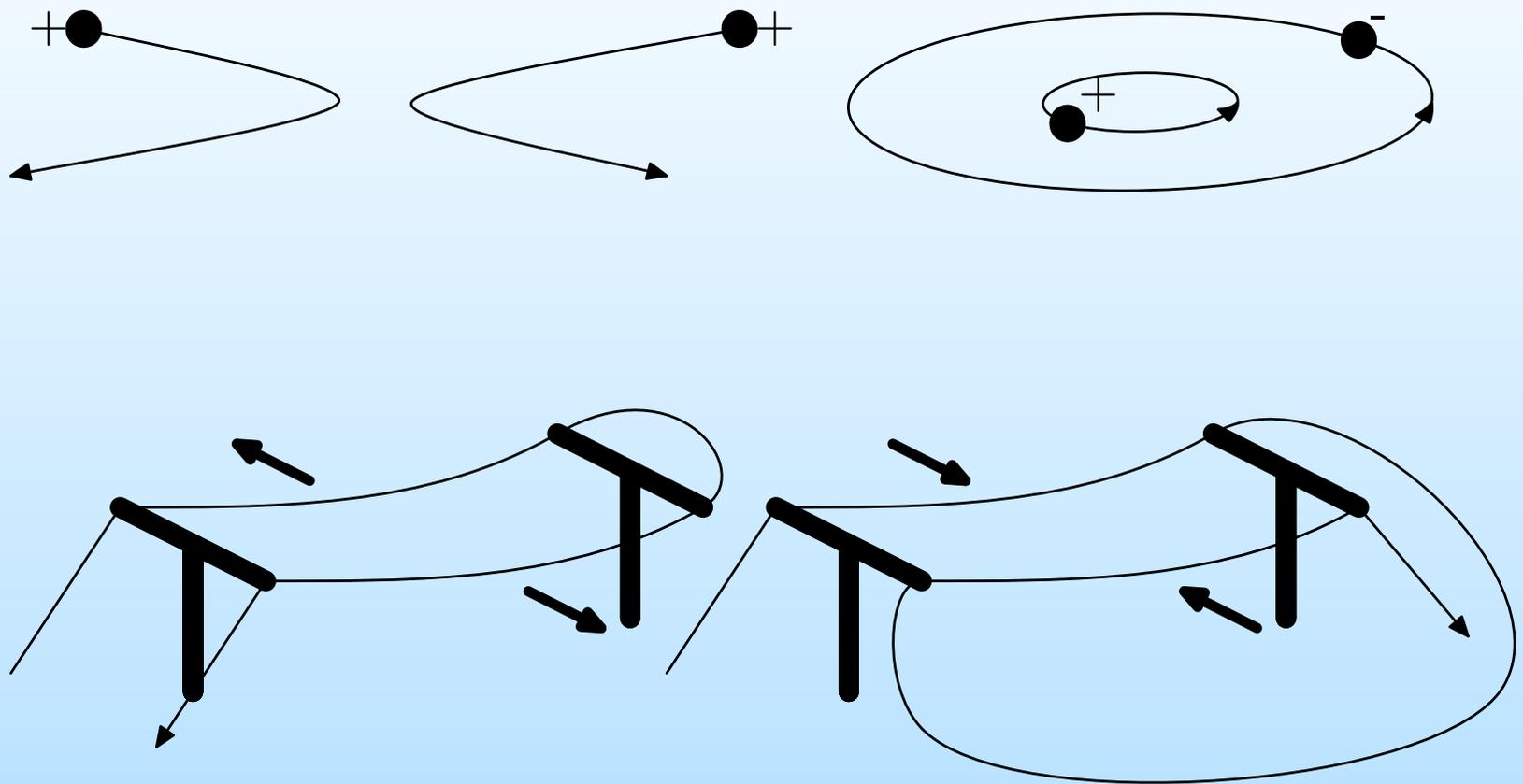
Principio de Huygens



Paréntesis ondulatorio

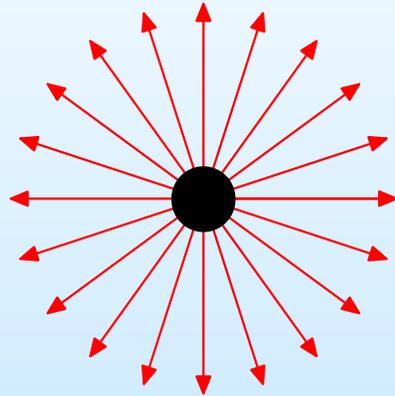
Moirés

Interacción eléctrica y magnética

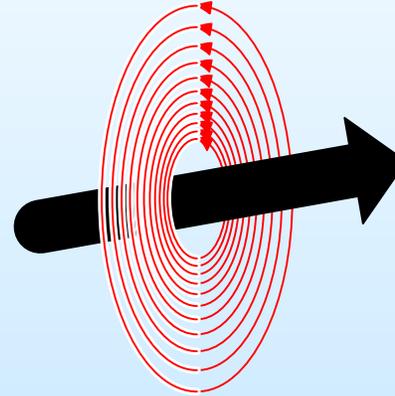


Campos eléctricos y magnéticos

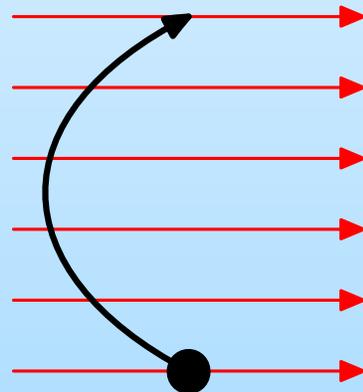
Campo Eléctrico



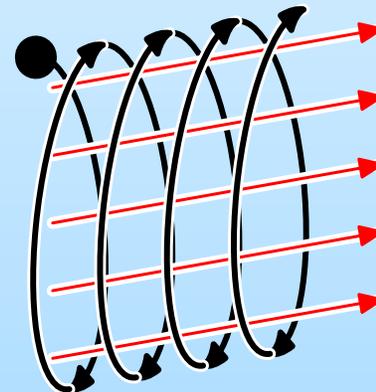
Campo Magnético



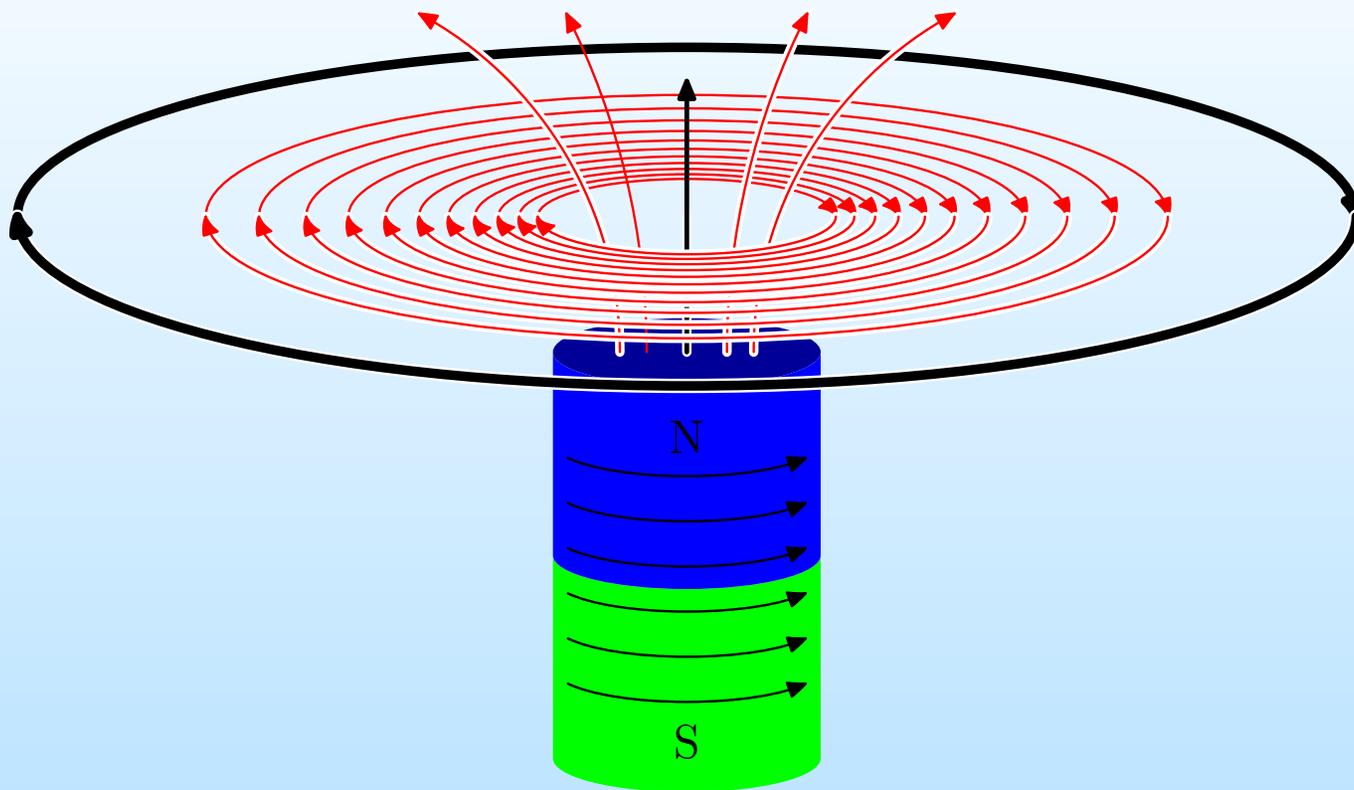
Fuerza Eléctrica



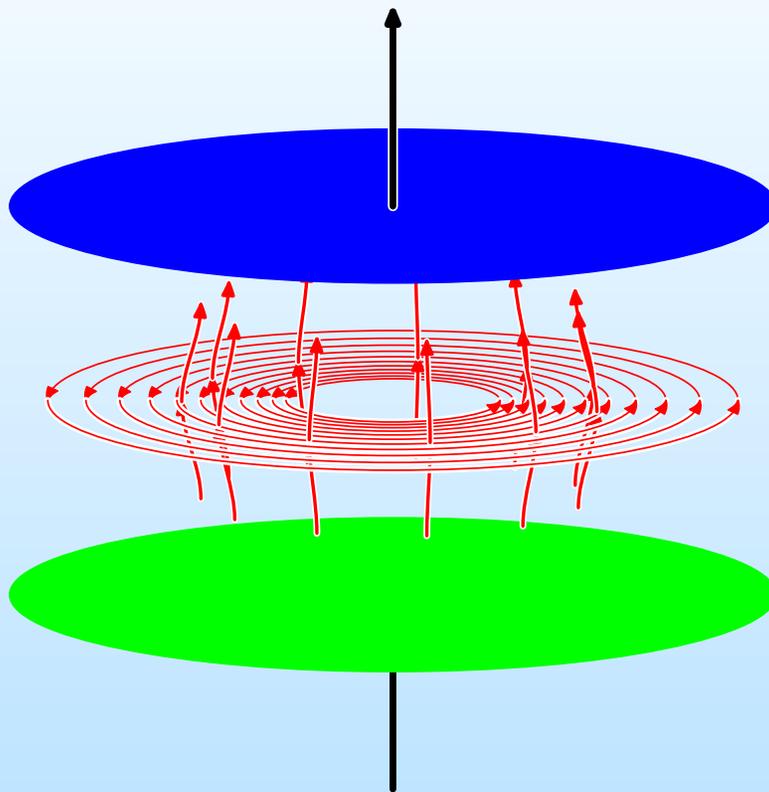
Fuerza Magnética



Inducción



Ampere-Maxwell



y Dios dijo...

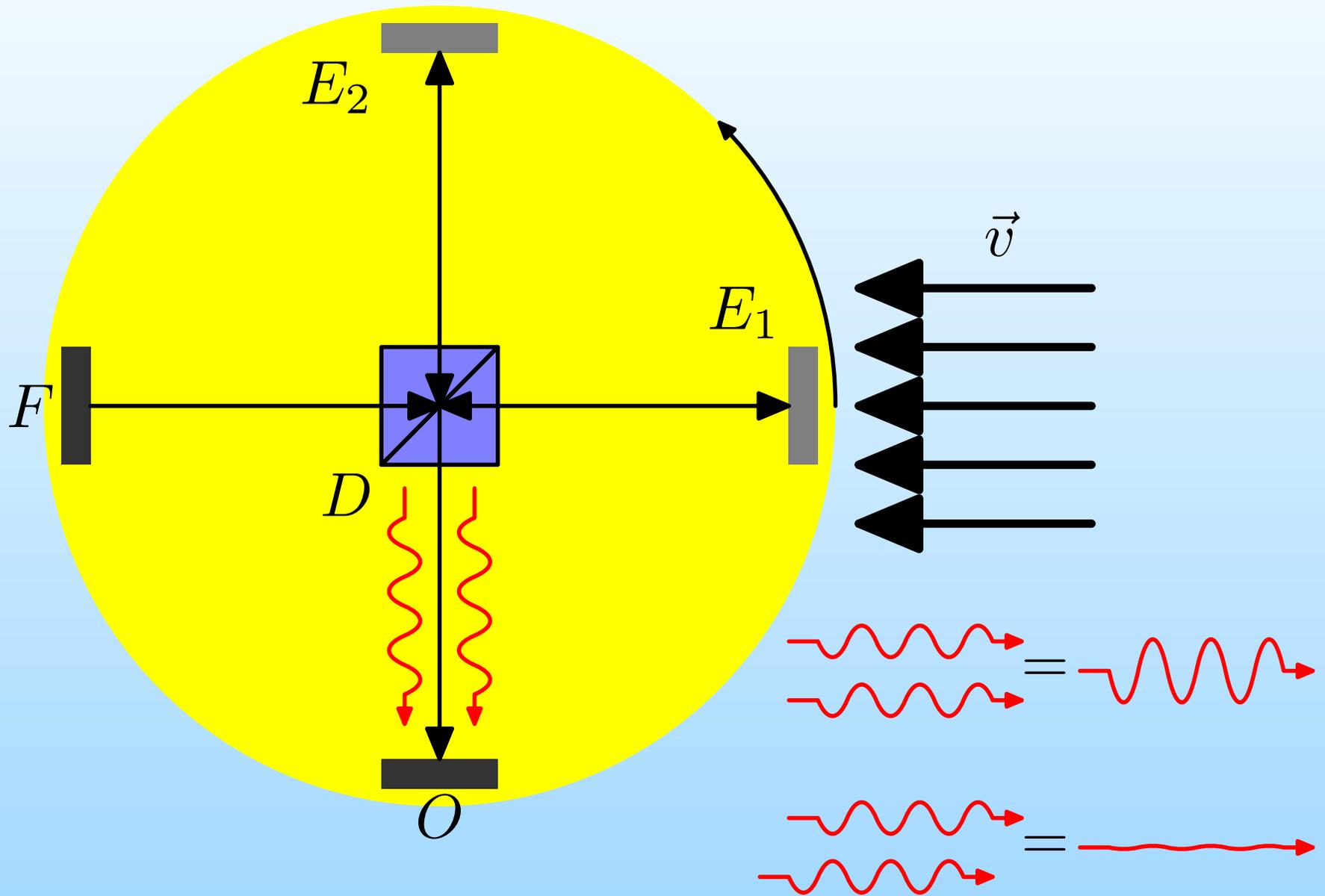
$$\begin{aligned}\nabla \cdot \vec{E} &= 4\pi\rho, & \nabla \cdot \vec{B} &= 0, \\ \nabla \times \vec{E} &= -\frac{1}{c}\frac{\partial}{\partial t}\vec{B}, & \nabla \times \vec{B} &= \frac{4\pi}{c}\vec{j} + \frac{1}{c}\frac{\partial}{\partial t}\vec{E},\end{aligned}$$

... y se hizo la luz

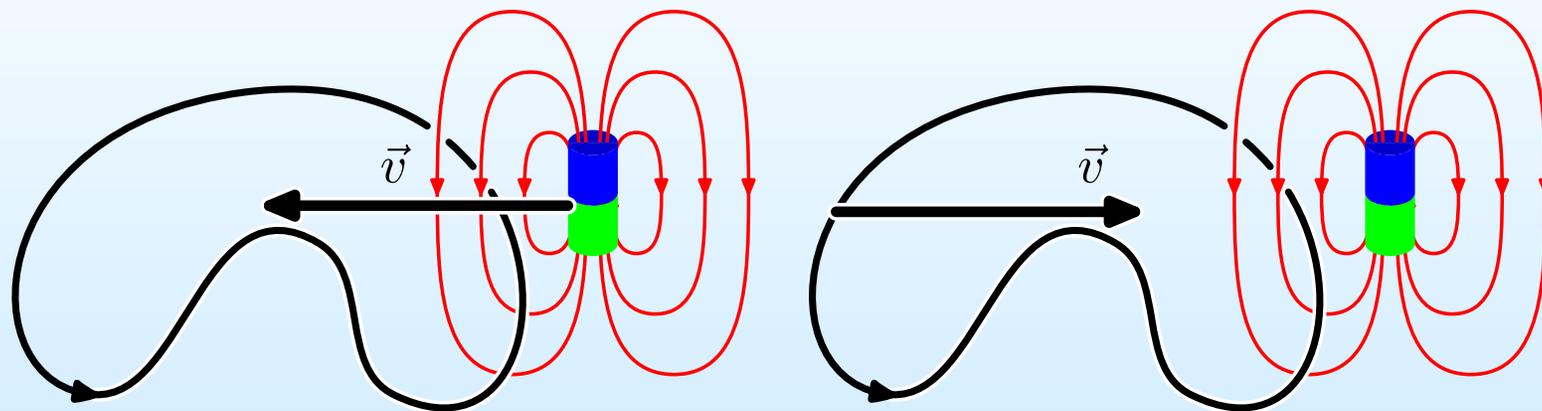
Paréntesis electromagnético

Moirés

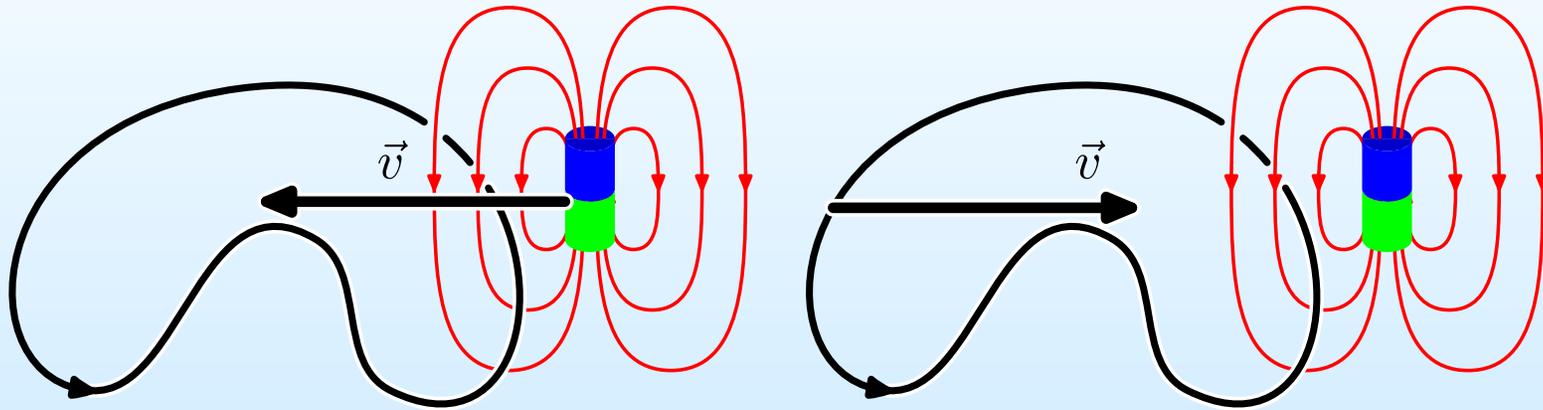
¿Pero qué *ondula*?



Nada...

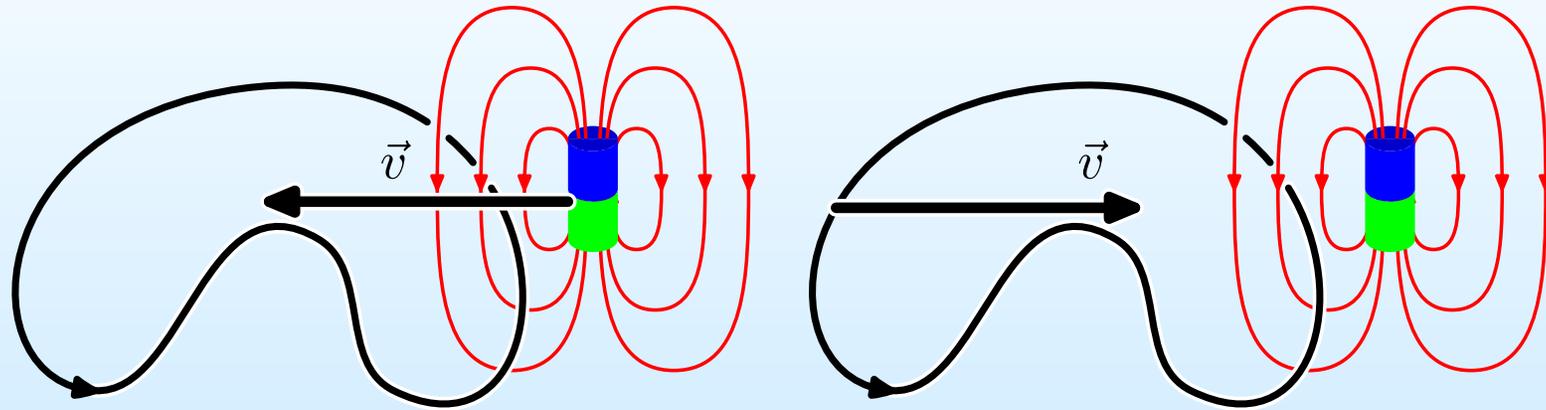


Nada...



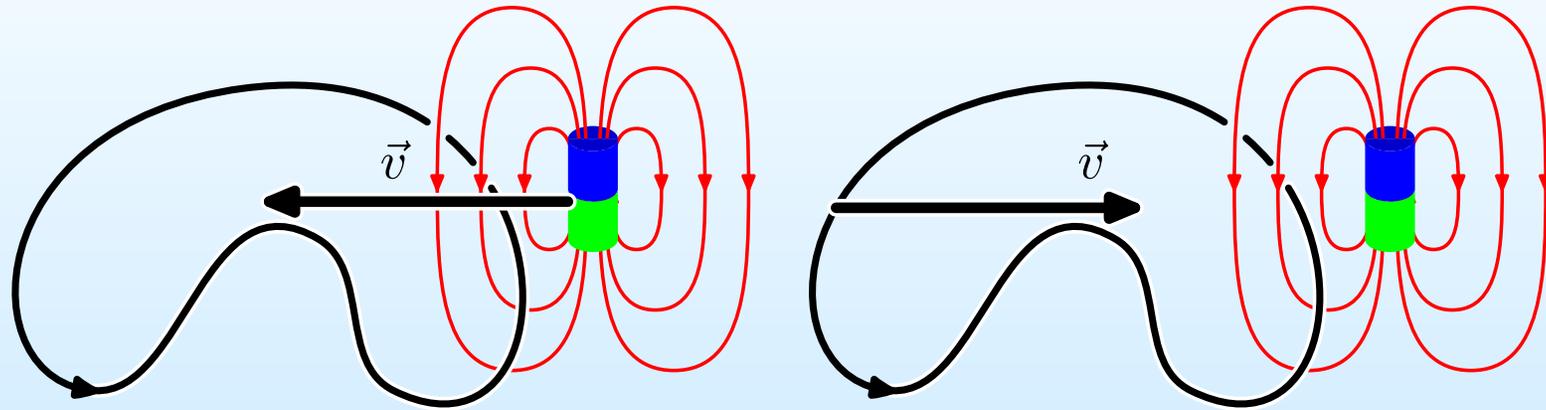
- Las leyes de la física deben ser las mismas para todos.

Nada...



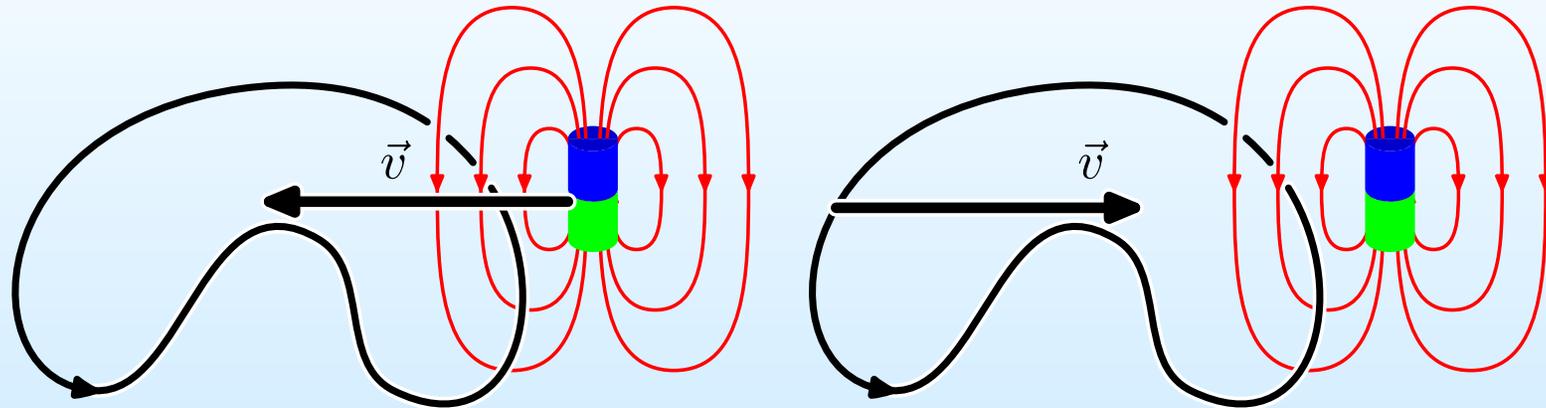
- Las leyes de la física deben ser las mismas para todos.
- Las propiedades electromagnéticas del vacío deben ser las mismas para todos.

Nada...



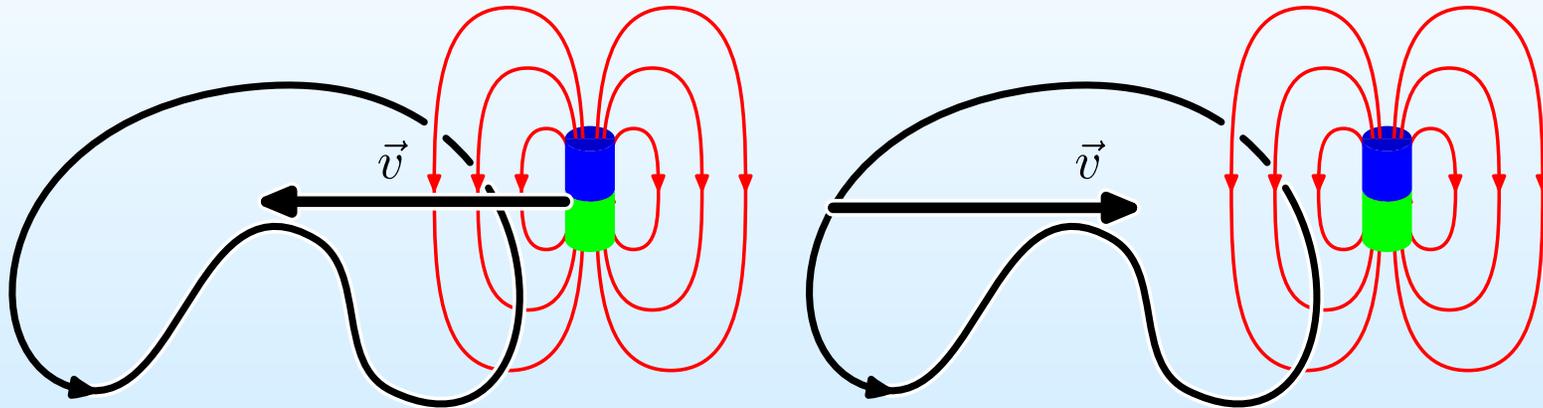
- Las leyes de la física deben ser las mismas para todos.
- Las propiedades electromagnéticas del vacío deben ser las mismas para todos.
- ¡La velocidad de la luz debe ser la misma para todos!

Nada...



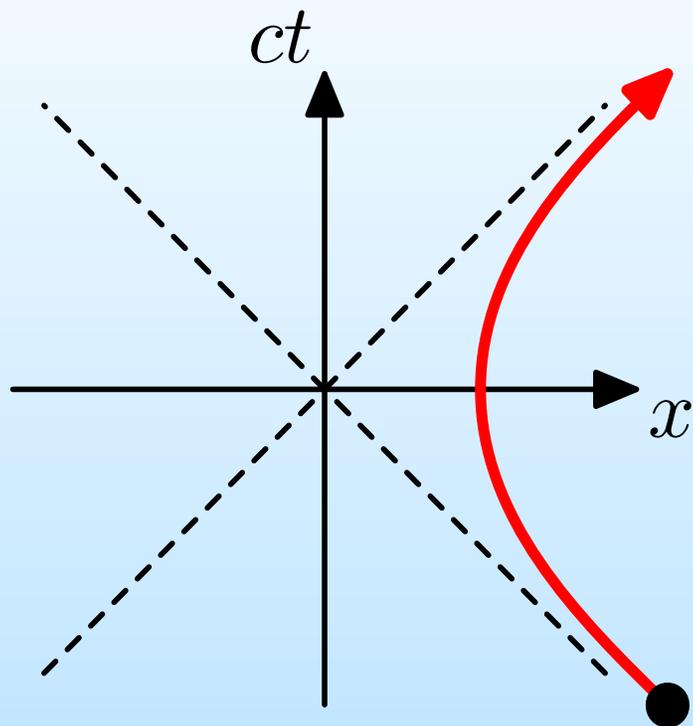
- Las leyes de la física deben ser las mismas para todos.
- Las propiedades electromagnéticas del vacío deben ser las mismas para todos.
- ¡La velocidad de la luz debe ser la misma para todos!
- La velocidad no es *aditiva*; ¡ $0.5c + c = c$, $0.9c + 0.9c < c$,...!

Nada...

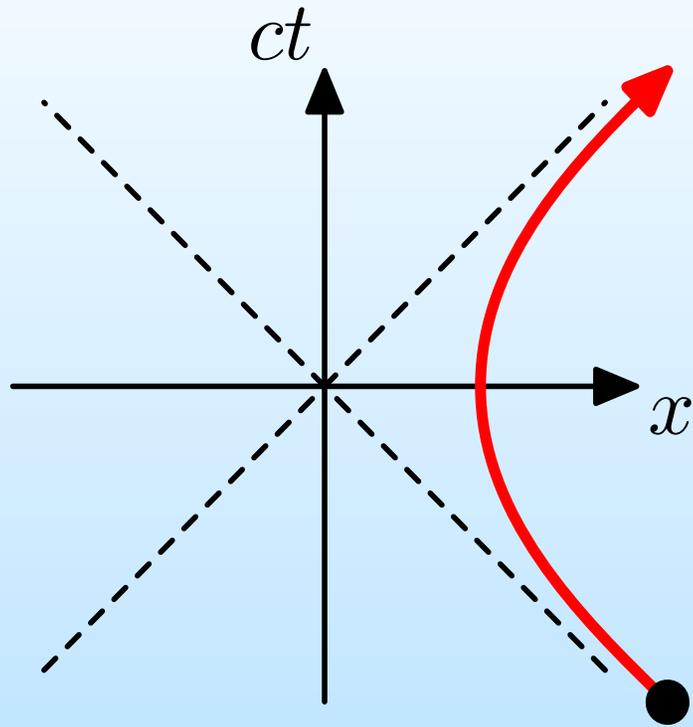


- Las leyes de la física deben ser las mismas para todos.
- Las propiedades electromagnéticas del vacío deben ser las mismas para todos.
- ¡La velocidad de la luz debe ser la misma para todos!
- La velocidad no es *aditiva*; ¡ $0.5c + c = c$, $0.9c + 0.9c < c$,...!
- El tiempo, como la posición, son relativos...

Movimiento *uniformemente* acelerado



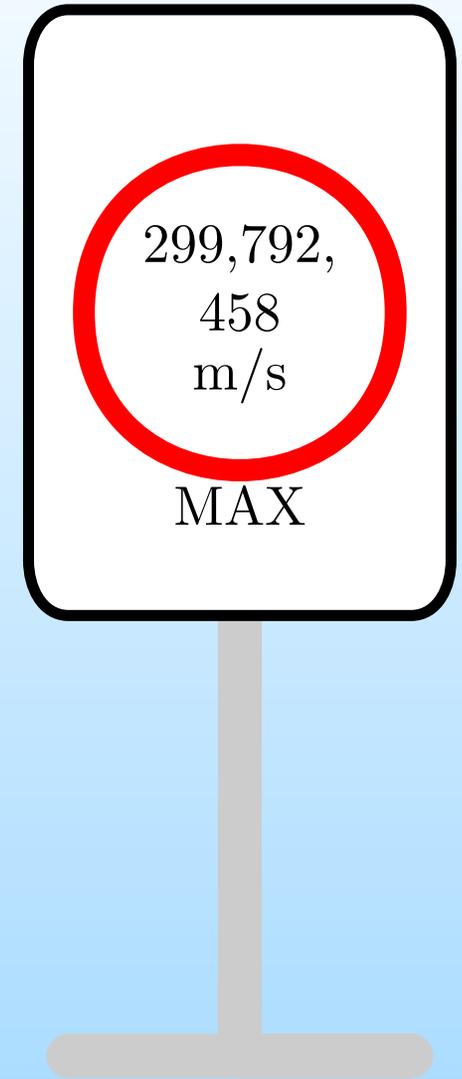
Movimiento *uniformemente* acelerado



... como si la masa aumentara con la velocidad.

Prohibido...

Art. III.MCDXVI Por órdenes de la autoridad, sin excepción alguna, queda estrictamente *prohibido* viajar con velocidad $v > c$.



¿Y? ¿Cual es la prisa?

¿Y? ¿Cual es la prisa?

- Alfa centauri está a 4.5 años luz de nosotros.

¿Y? ¿Cual es la prisa?

- Alfa centauri está a 4.5 años luz de nosotros.
- La luz recorre 30 cm. en un nanosegundo, el periodo de una computadora de 1GHz. Mayor velocidad requiere mayor miniaturización.

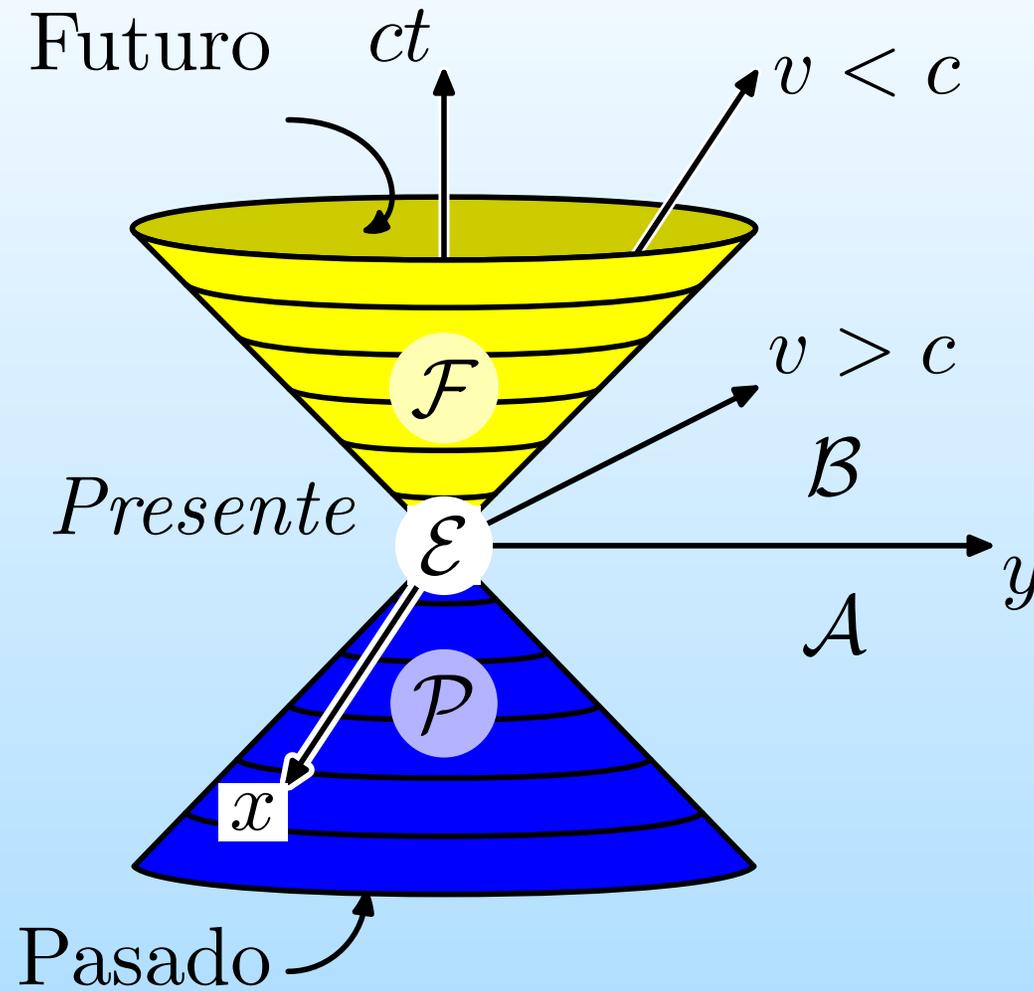
¿Y? ¿Cual es la prisa?

- Alfa centauri está a 4.5 años luz de nosotros.
- La luz recorre 30 cm. en un nanosegundo, el periodo de una computadora de 1GHz. Mayor velocidad requiere mayor miniaturización.
- ¿Podremos viajar a las estrellas? ¿Podremos tener computadoras más veloces? ¿Habrá límites fundamentales?

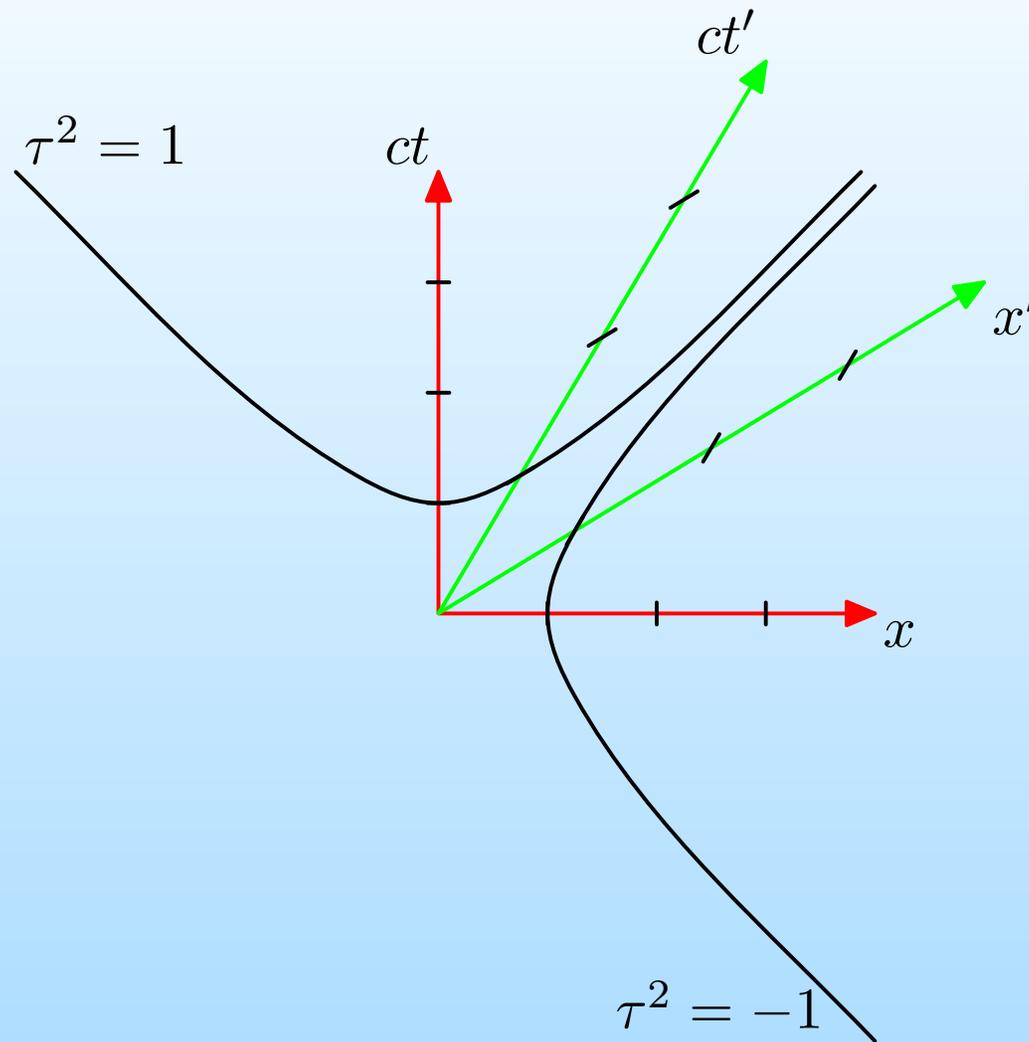
¿Y? ¿Cual es la prisa?

- Alfa centauri está a 4.5 años luz de nosotros.
- La luz recorre 30 cm. en un nanosegundo, el periodo de una computadora de 1GHz. Mayor velocidad requiere mayor miniaturización.
- ¿Podremos viajar a las estrellas? ¿Podremos tener computadoras más veloces? ¿Habrá límites fundamentales?
- ¿Podrá algo viajar más rápido que la luz?

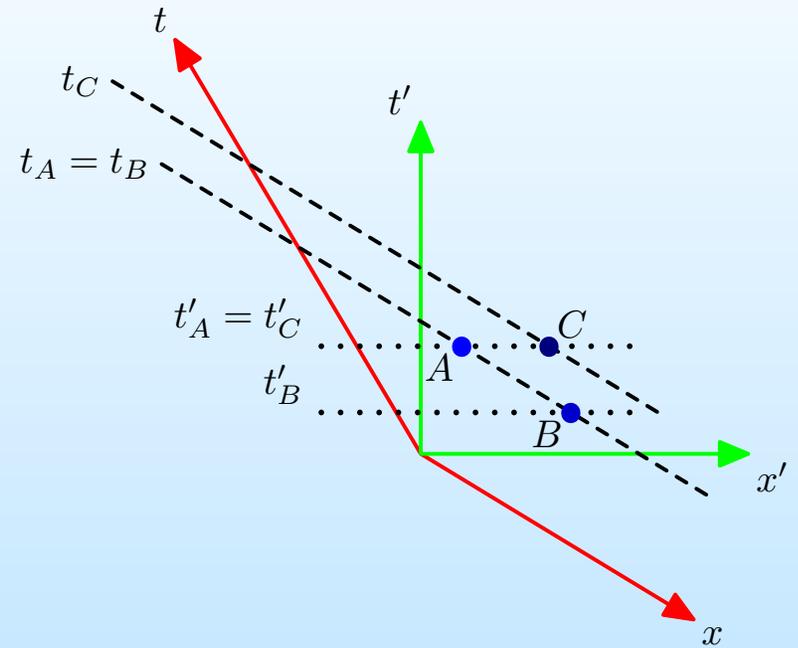
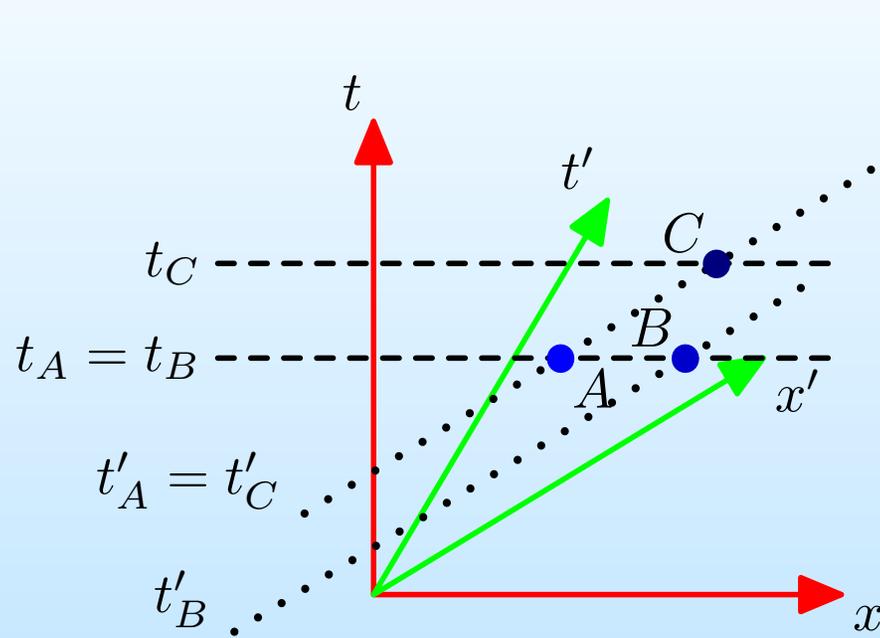
Espacio-tiempo



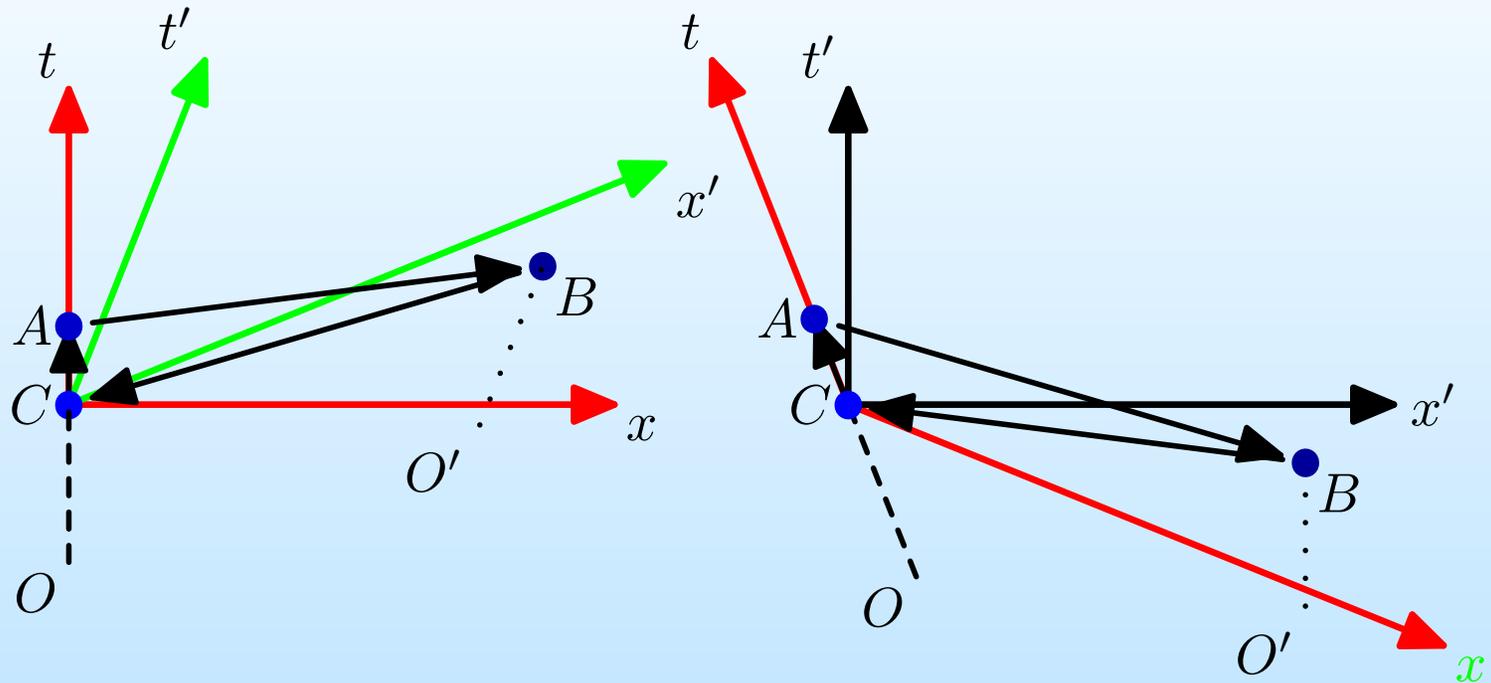
Transformaciones de Lorentz



Relatividad de la simultaneidad



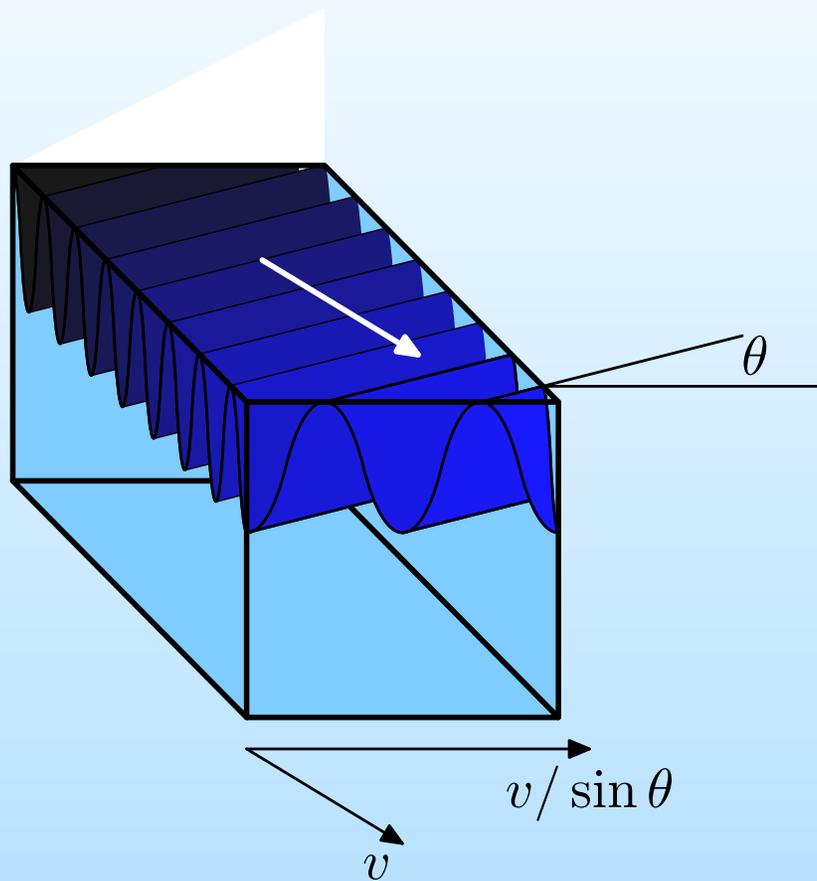
Causalidad



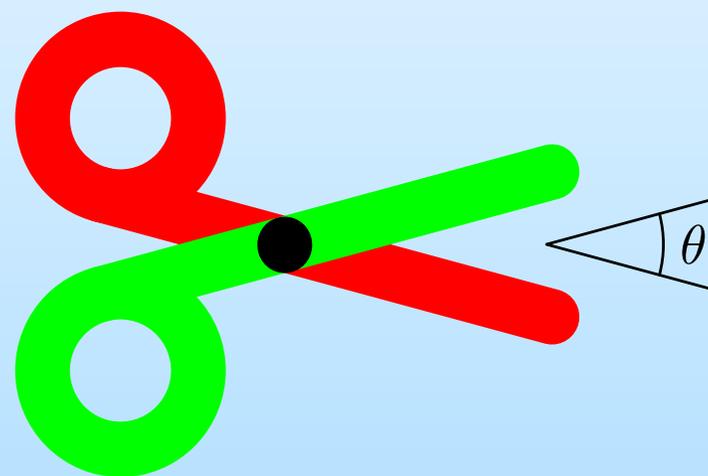
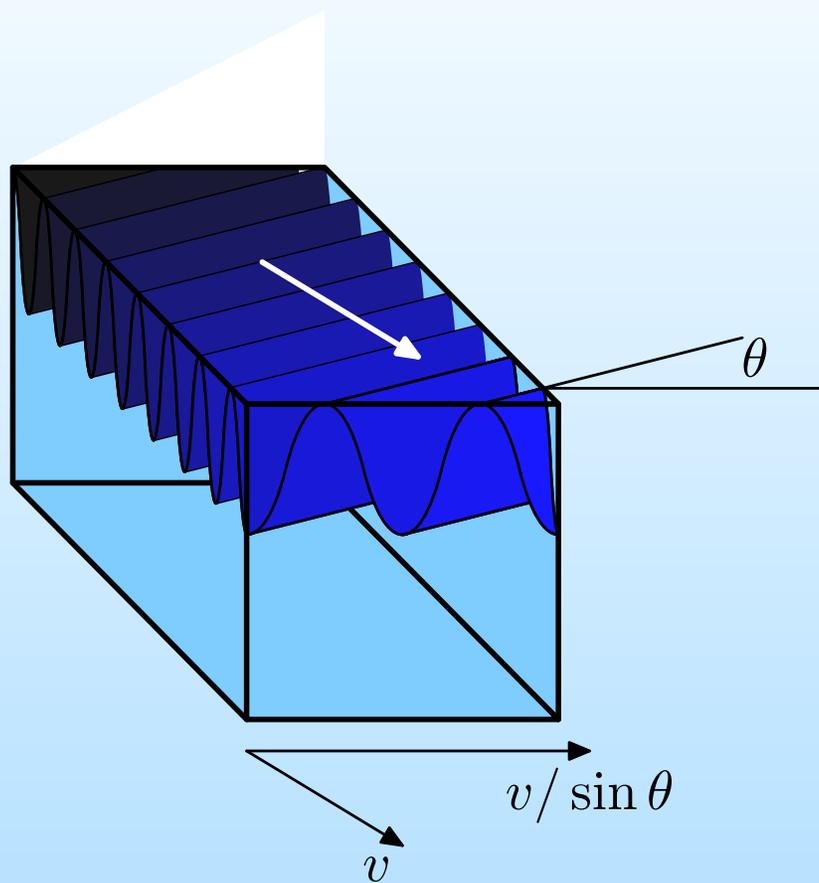
$V_B = 0.4c$, $V = 8c$ (ida), $V = 8c$ (regreso).

Nada puede ir más rápido que la luz.

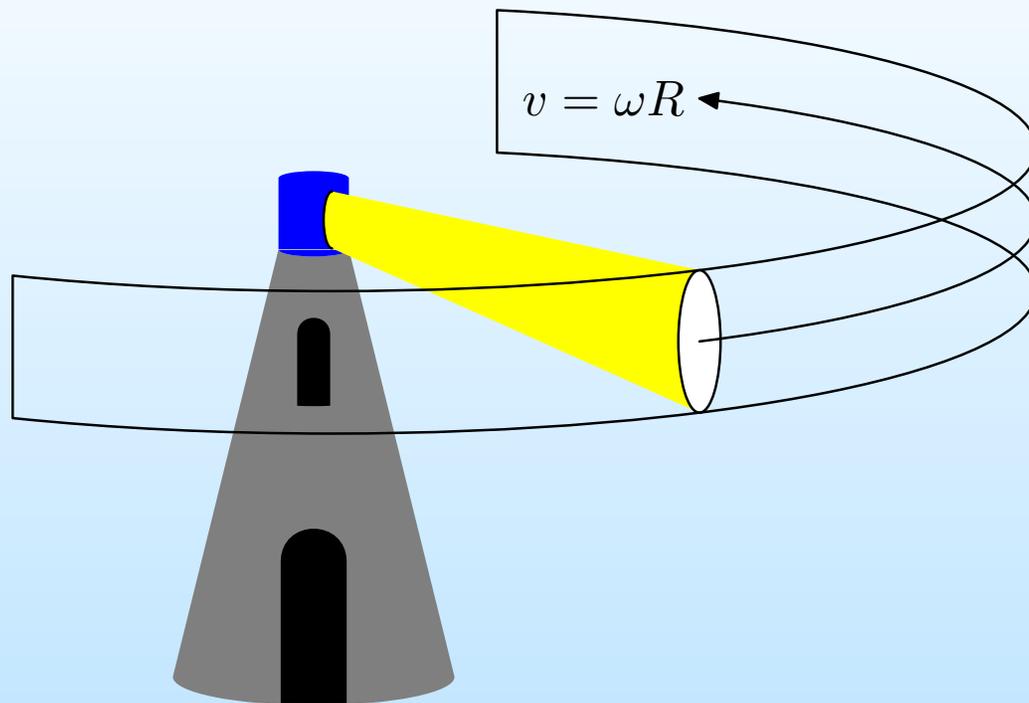
Contraejemplos



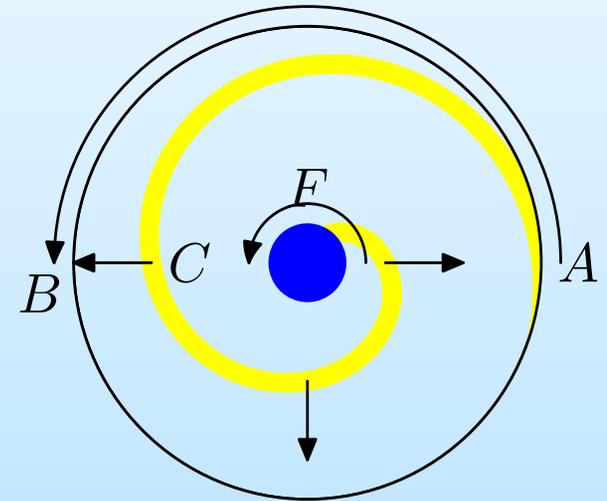
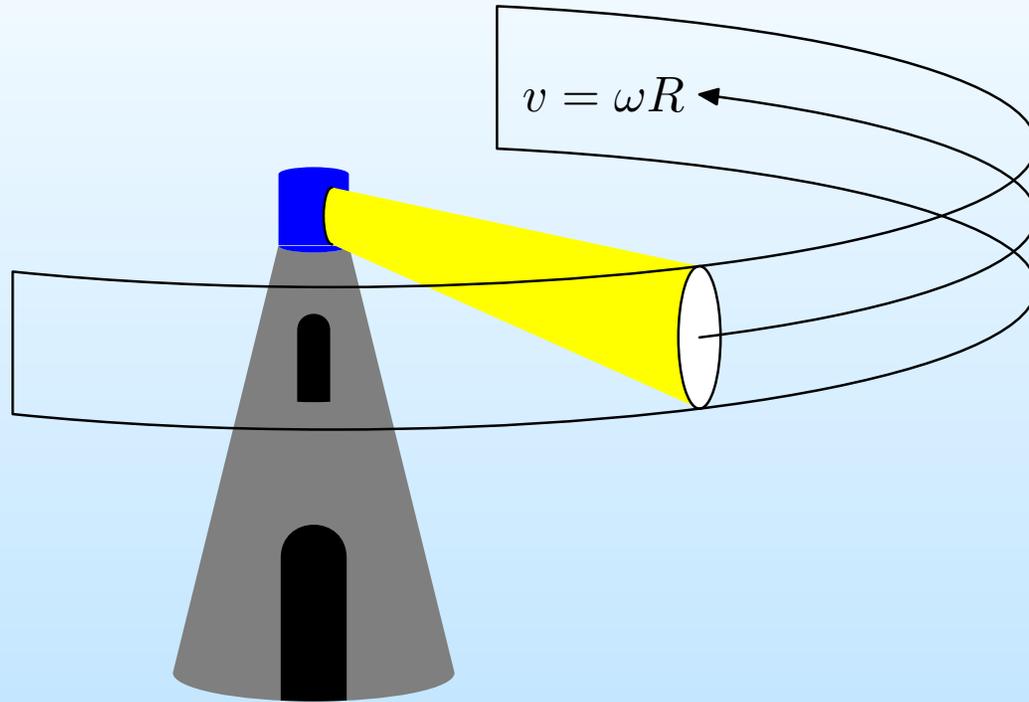
Contraejemplos



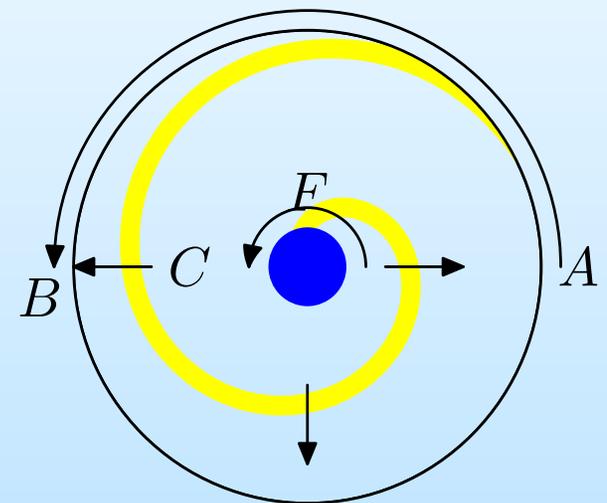
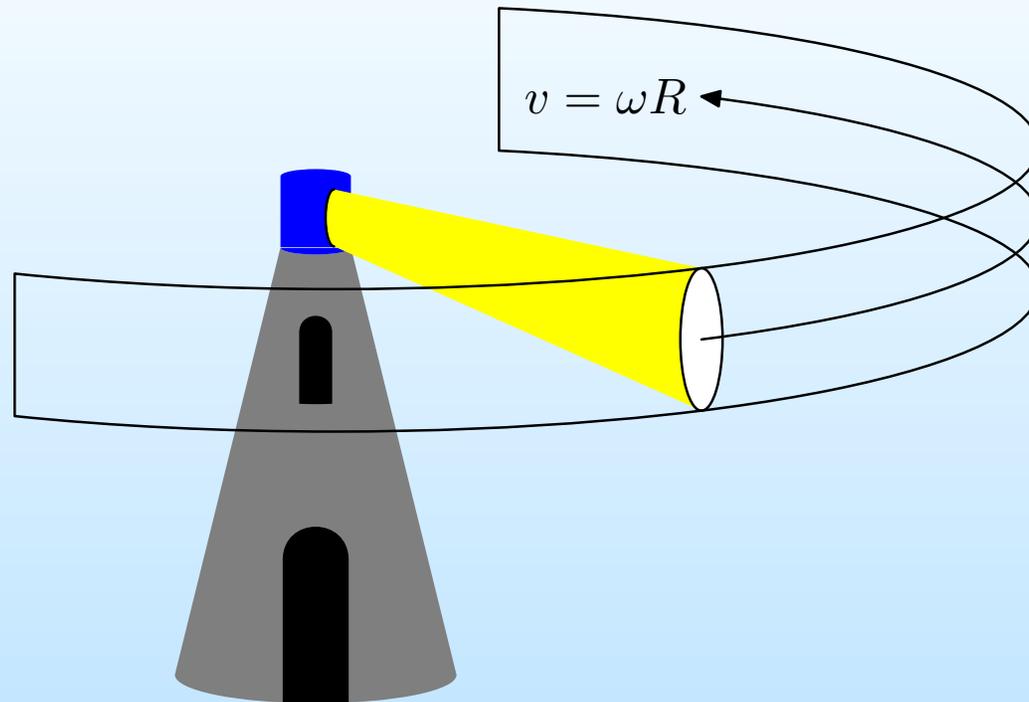
Contraejemplos



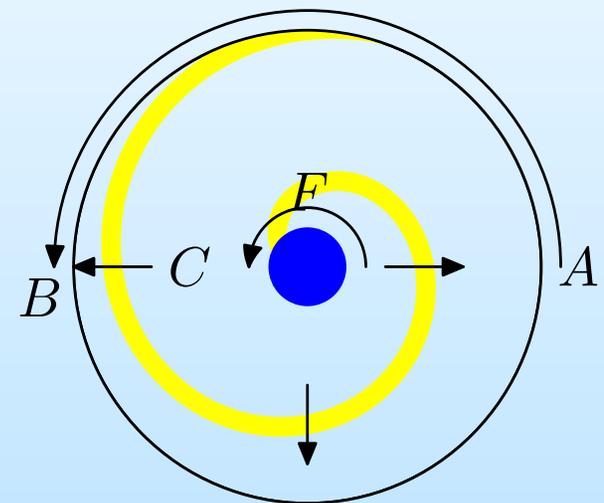
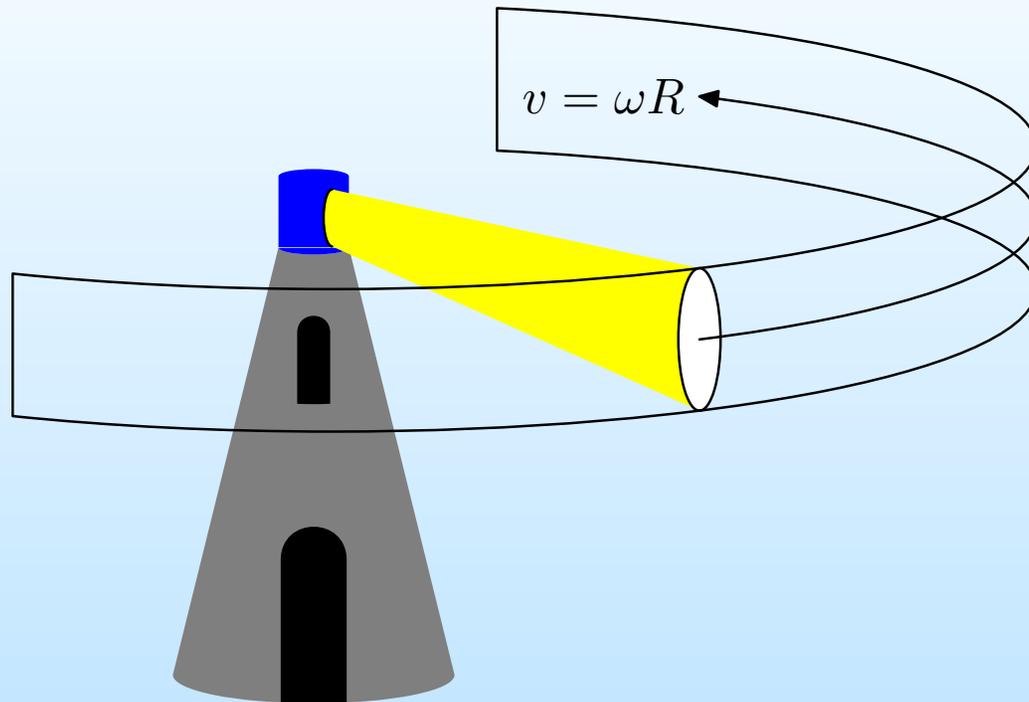
Contraejemplos



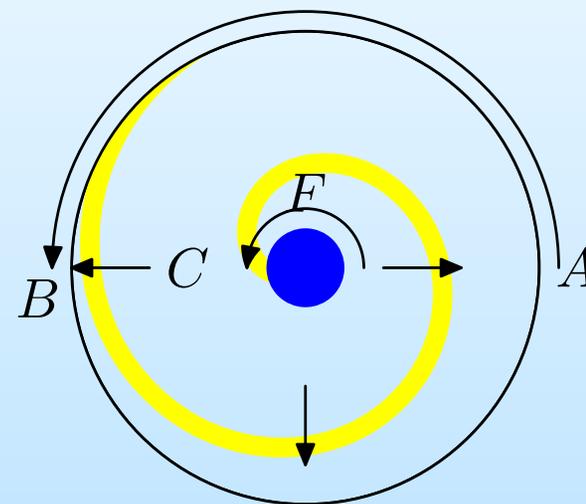
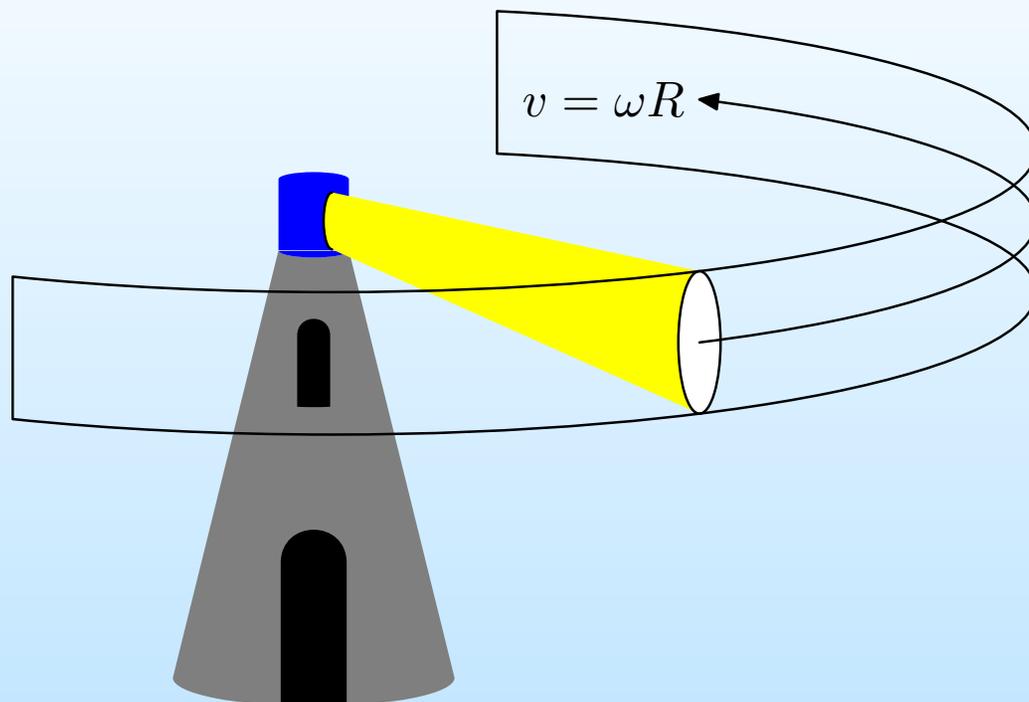
Contraejemplos



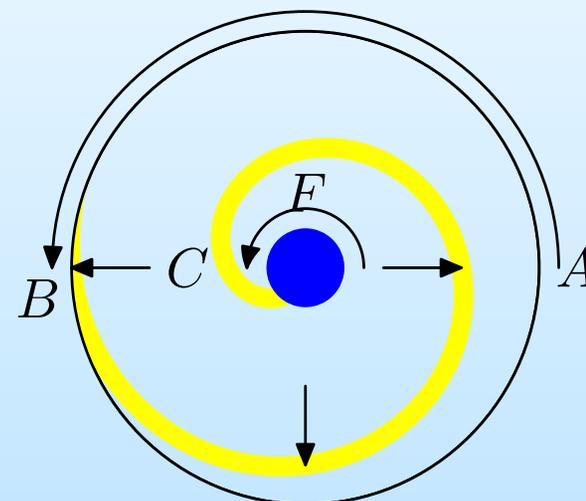
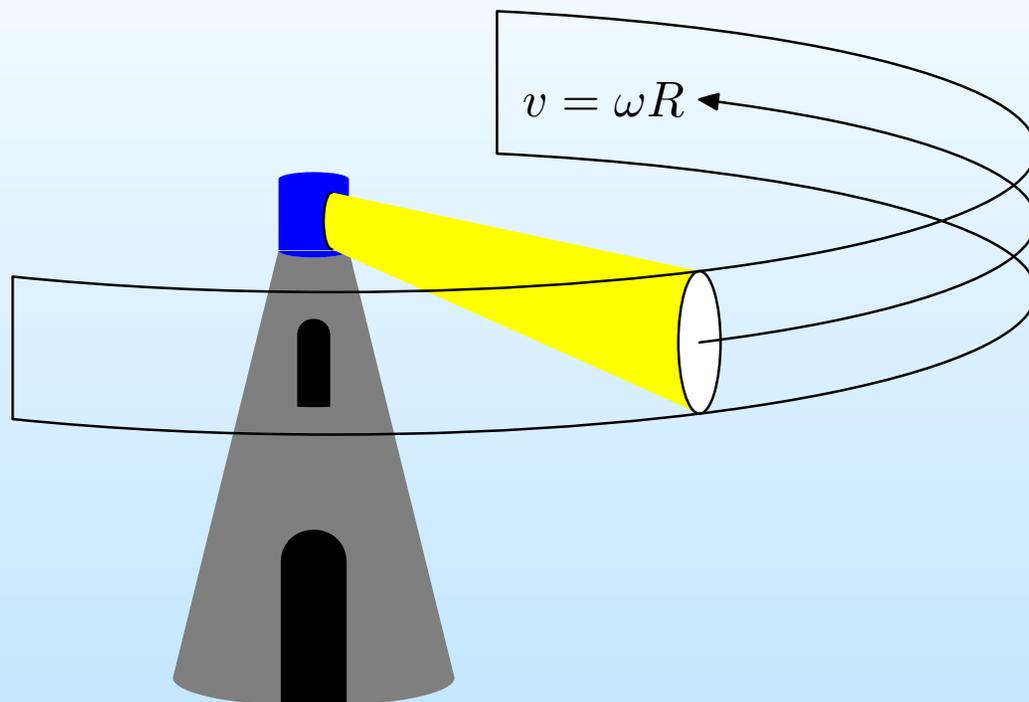
Contraejemplos



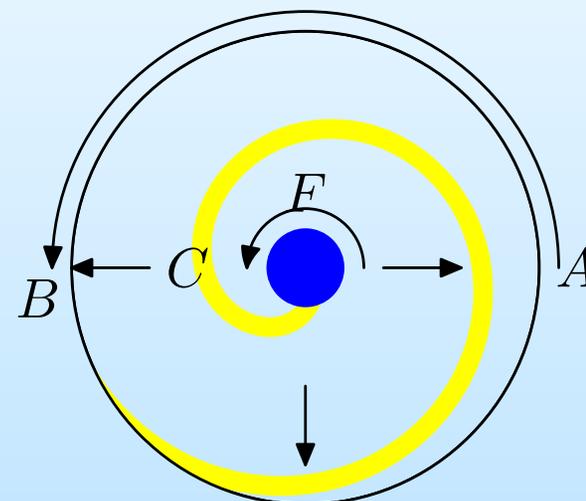
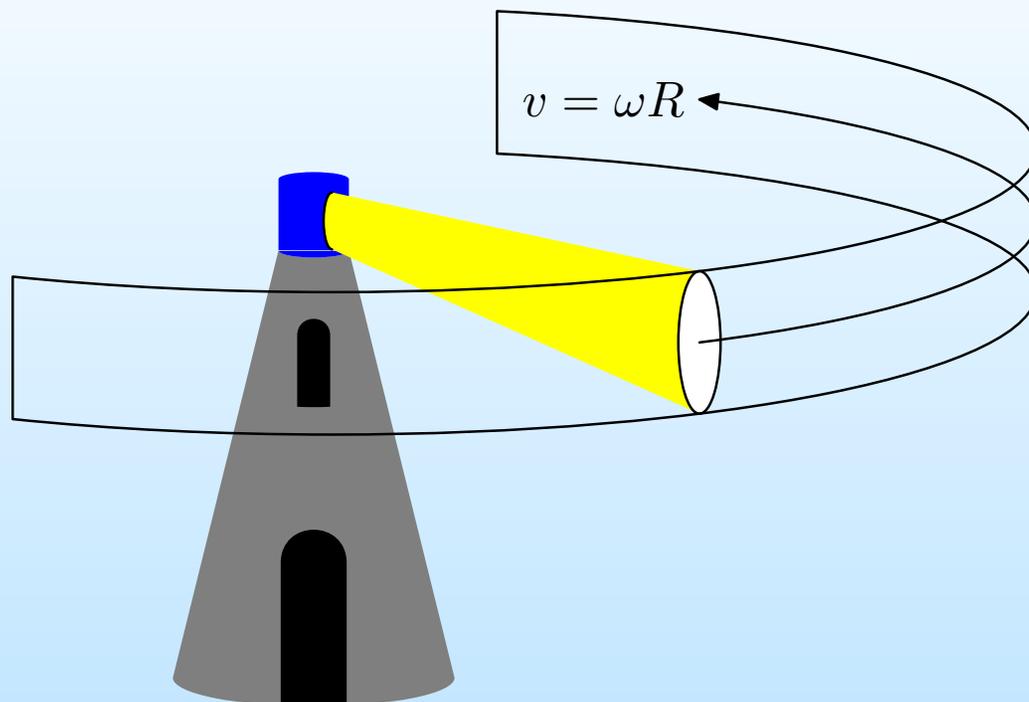
Contraejemplos



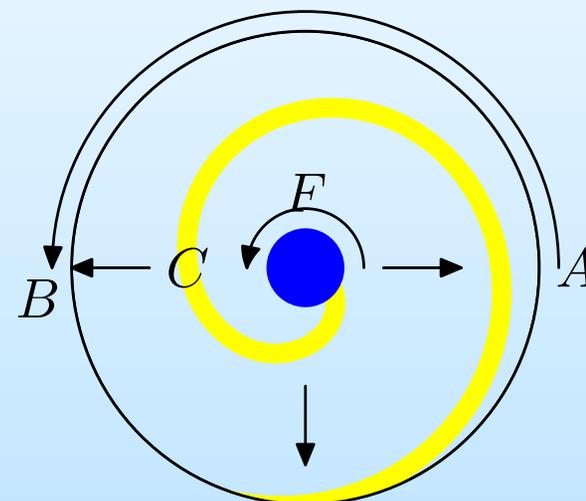
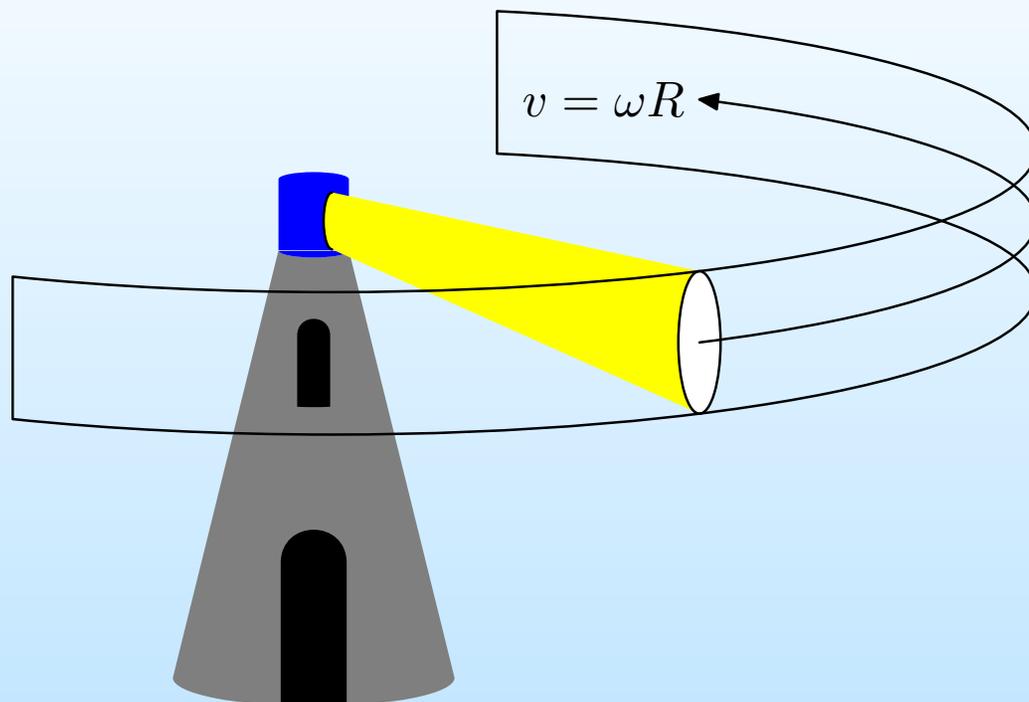
Contraejemplos



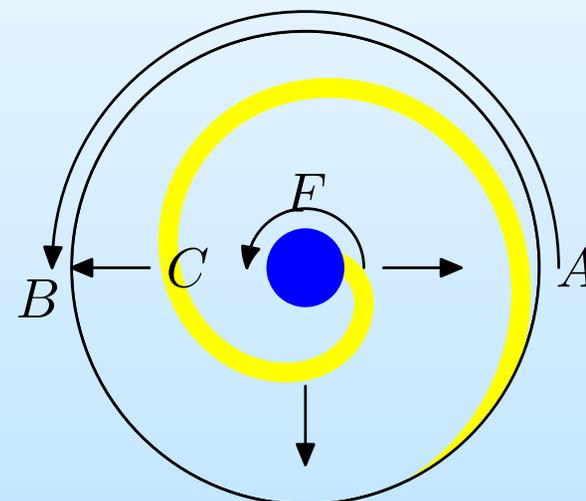
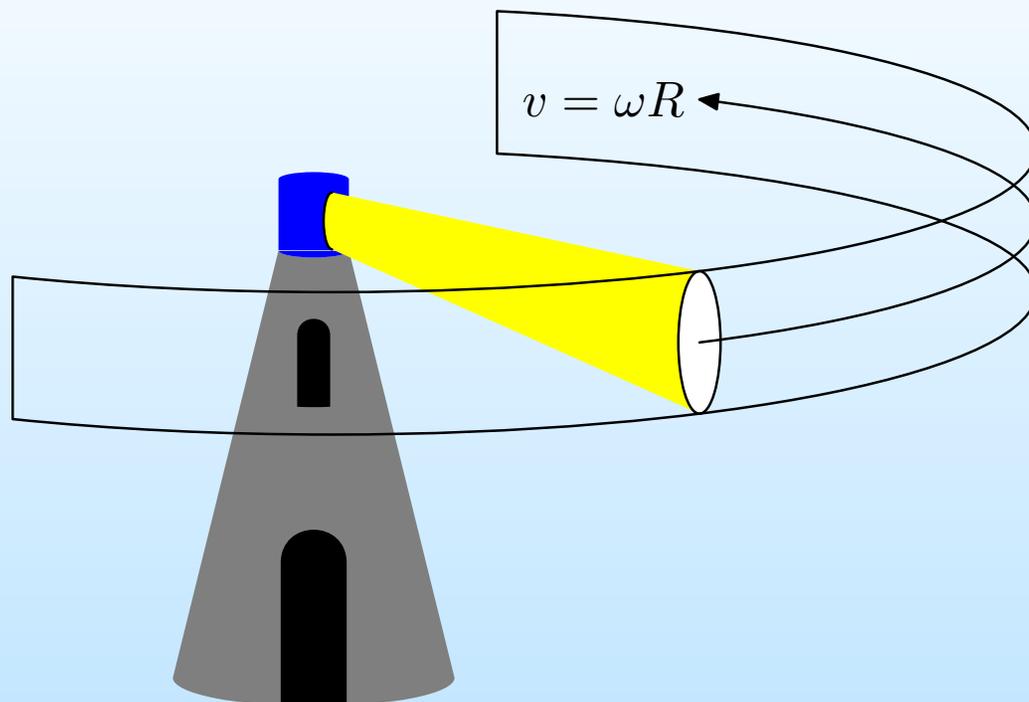
Contraejemplos



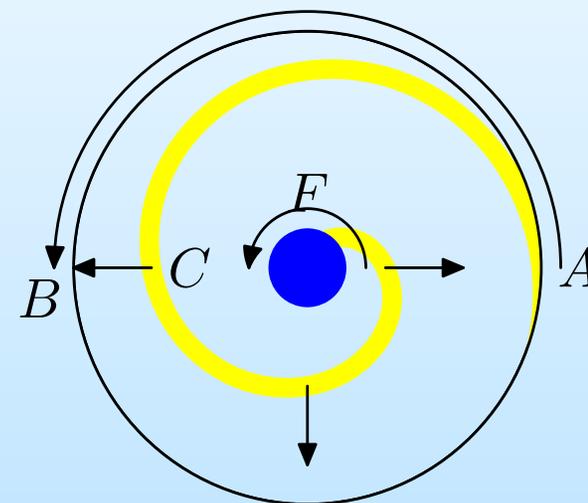
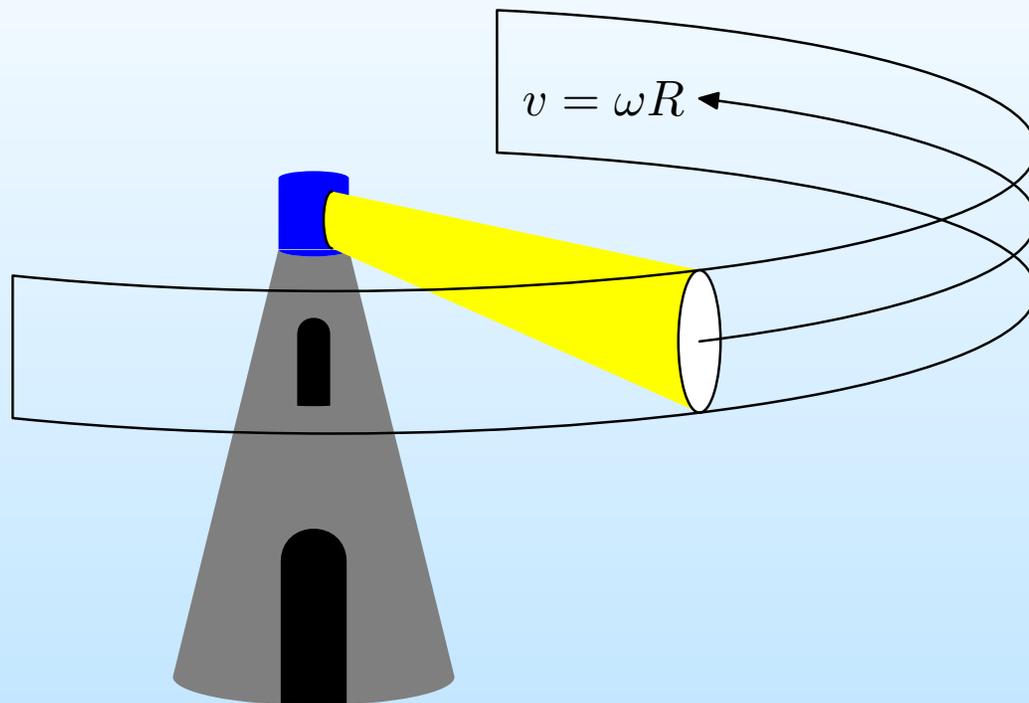
Contraejemplos



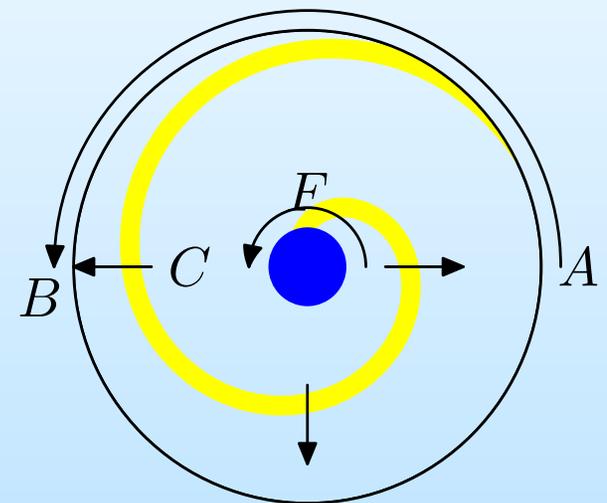
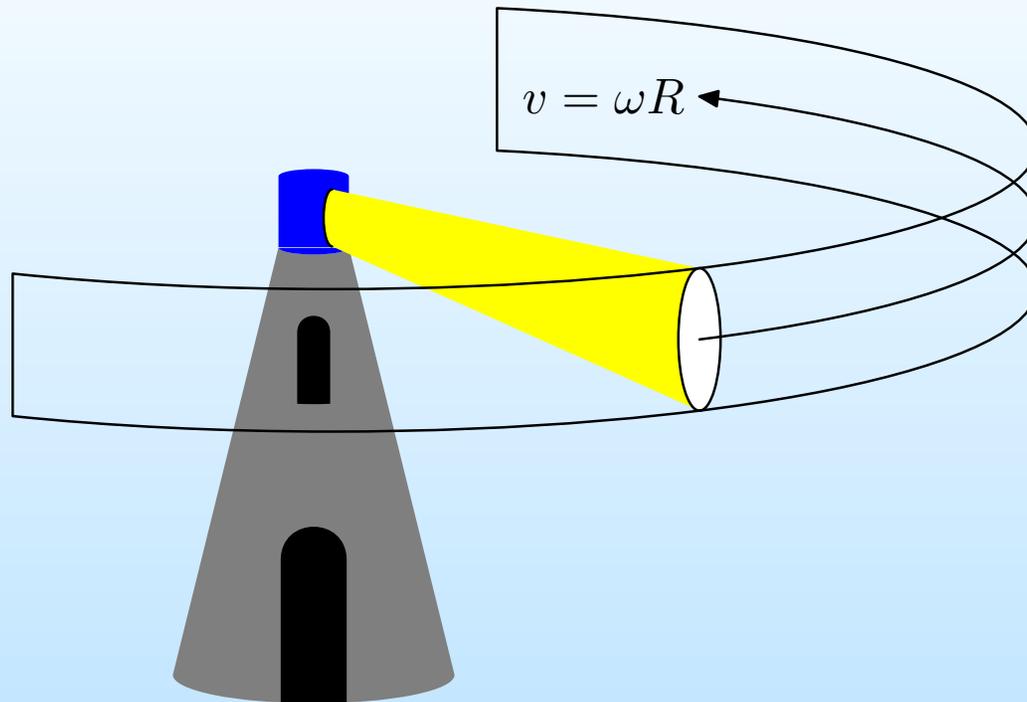
Contraejemplos



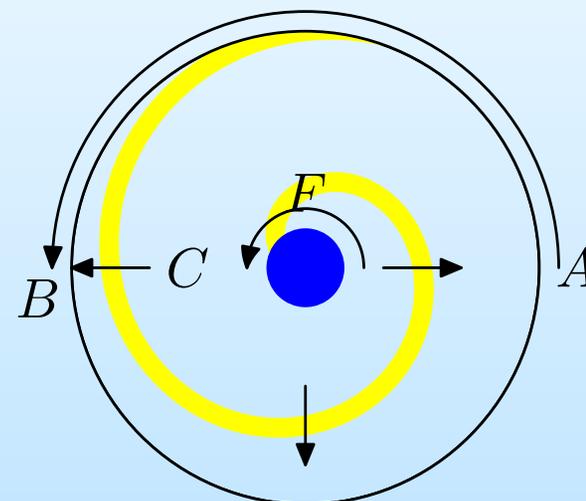
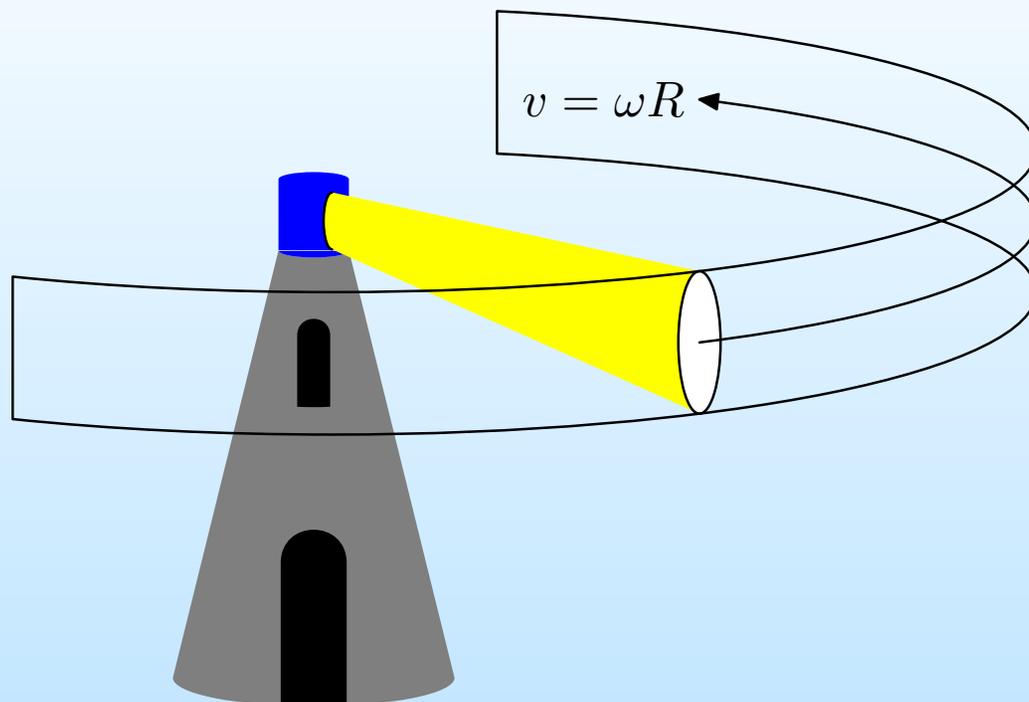
Contraejemplos



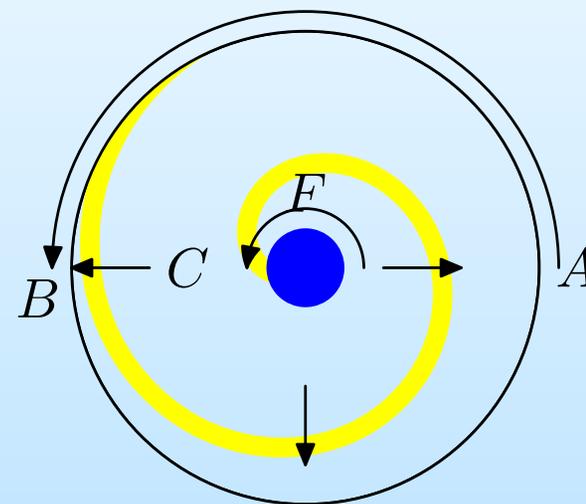
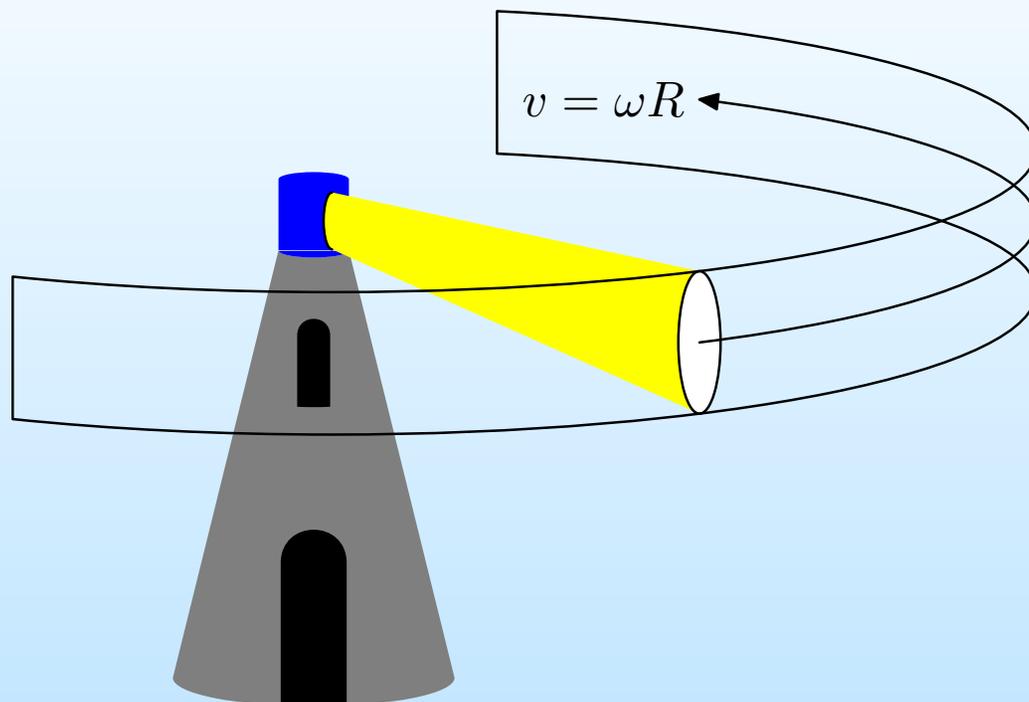
Contraejemplos



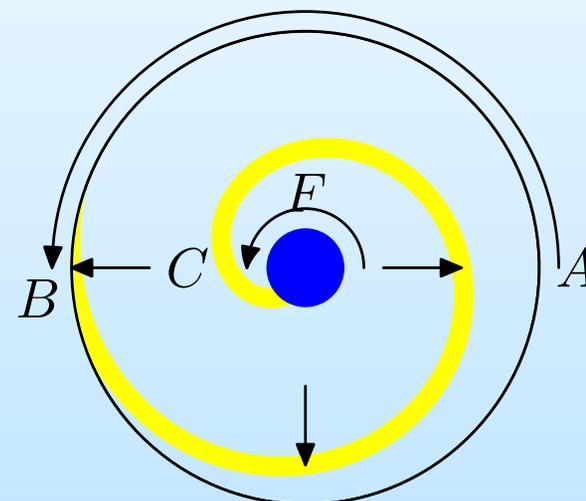
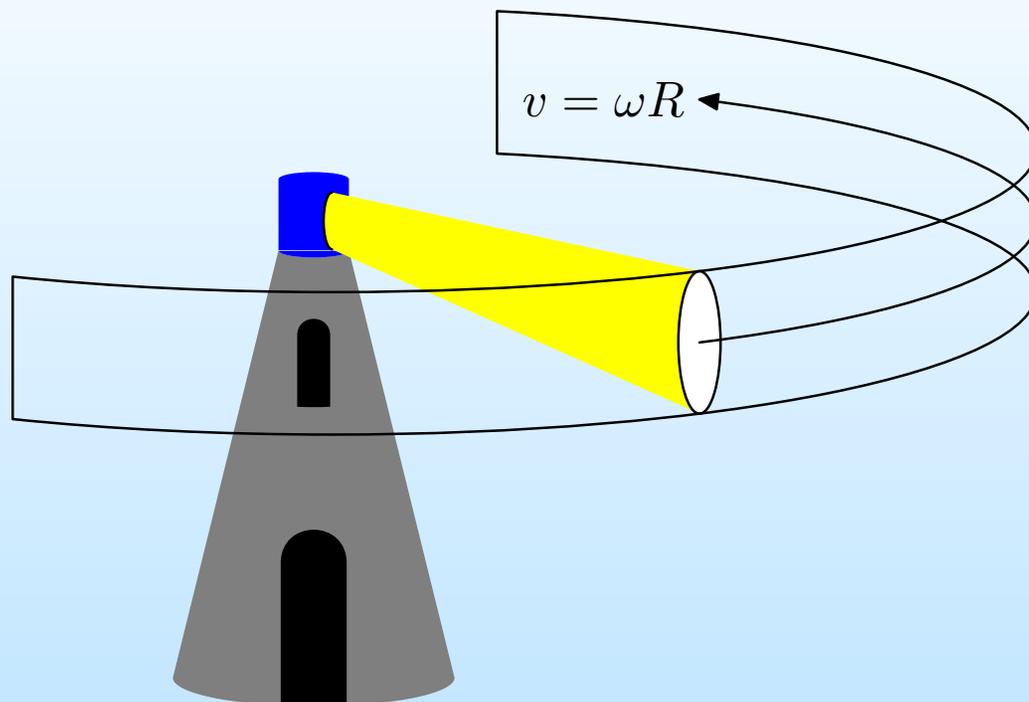
Contraejemplos



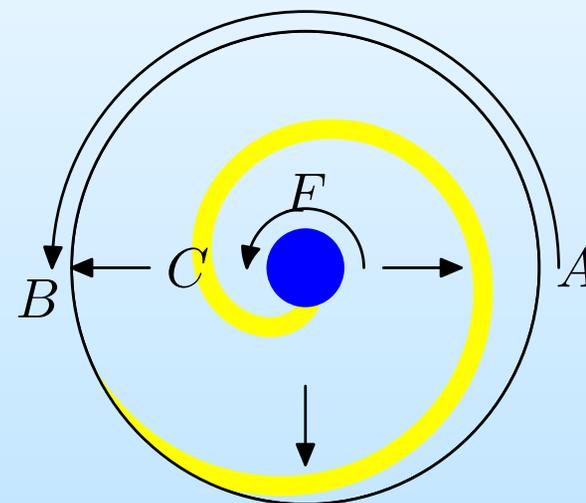
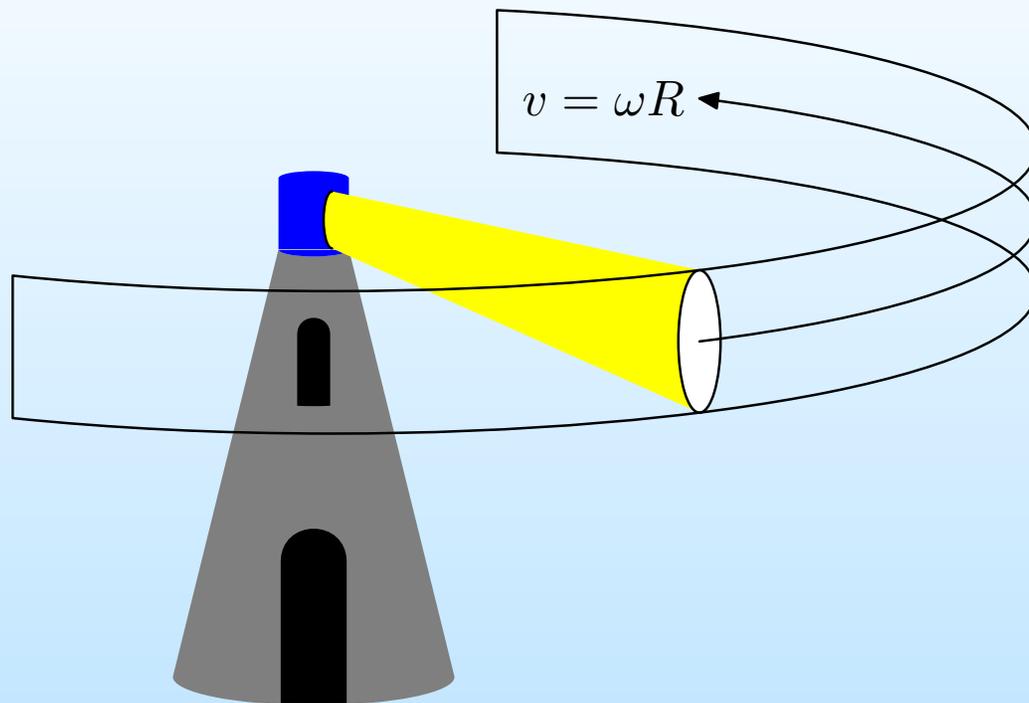
Contraejemplos



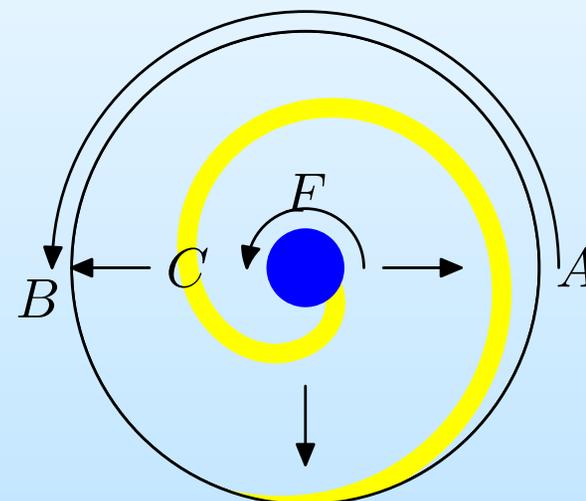
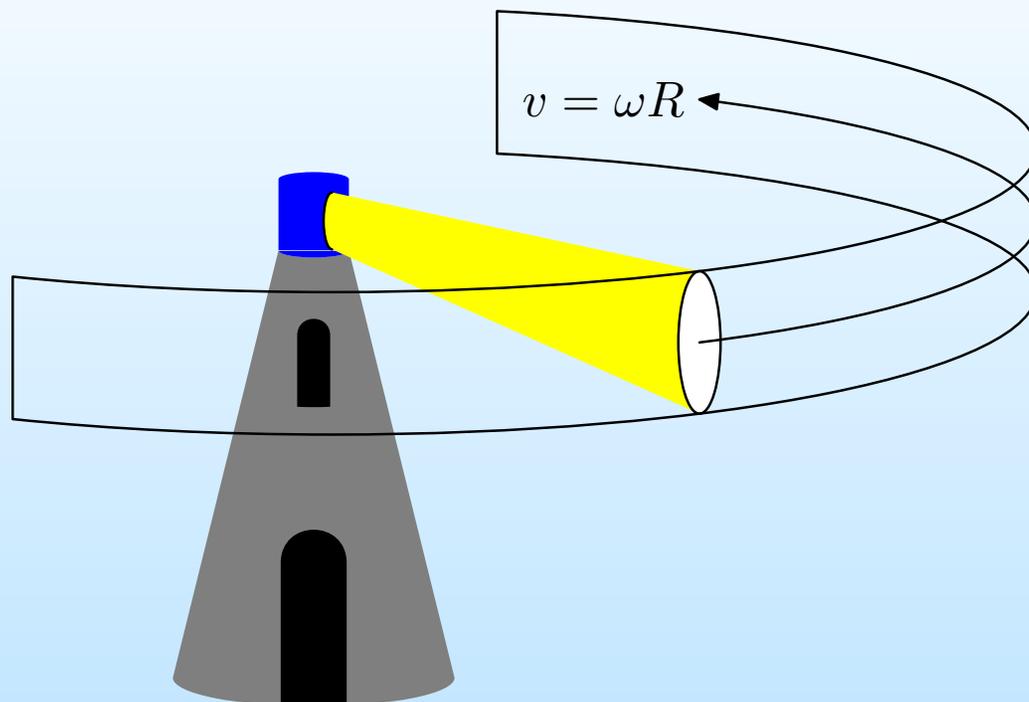
Contraejemplos



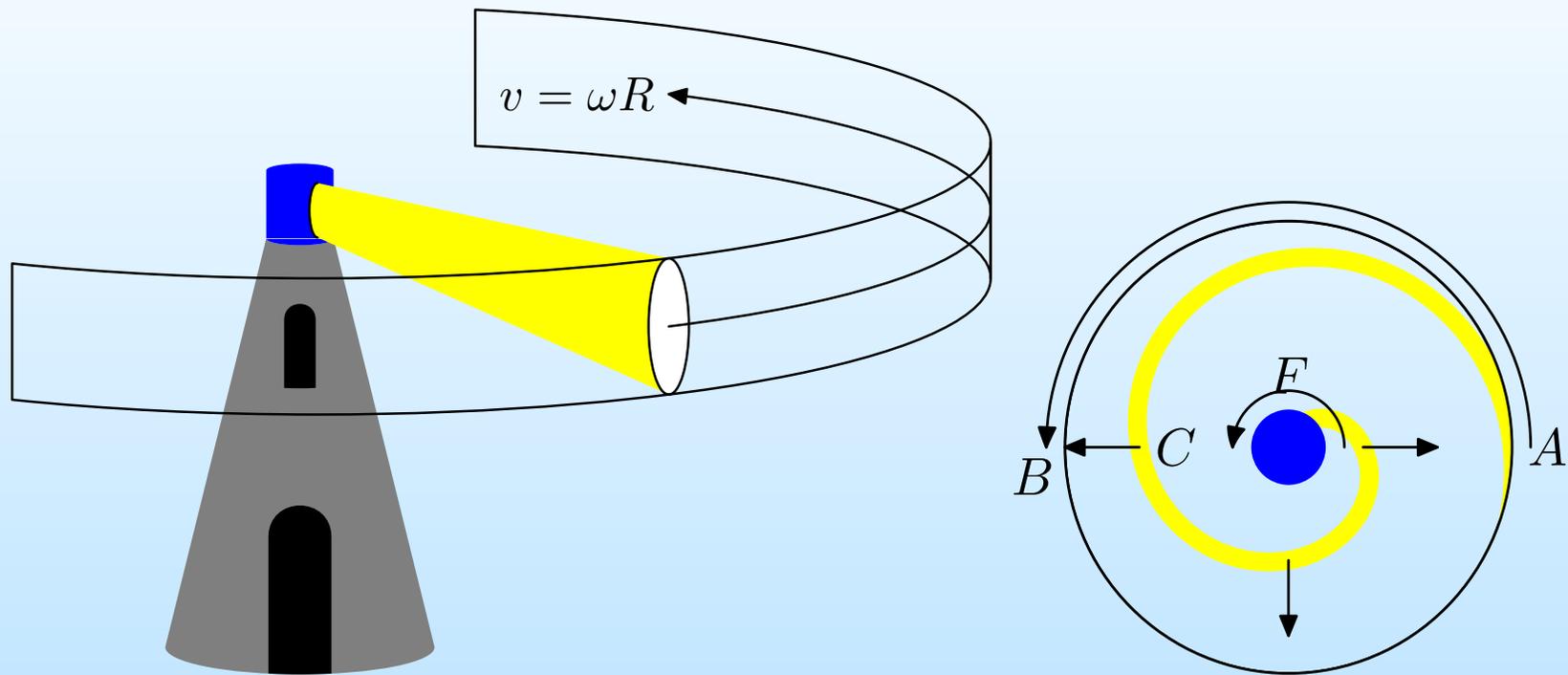
Contraejemplos



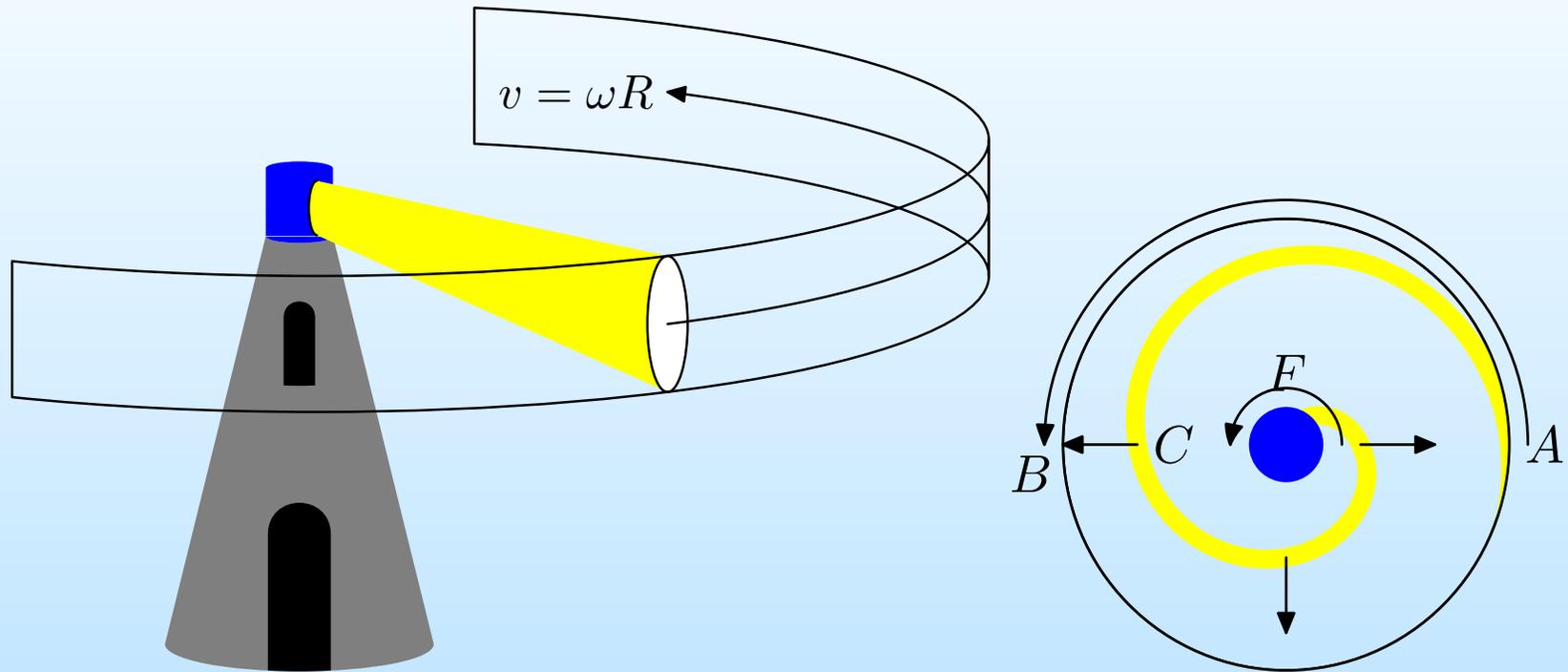
Contraejemplos



Contraejemplos



Contraejemplos



No se puede transmitir *información* a velocidad superluminal

Ondas

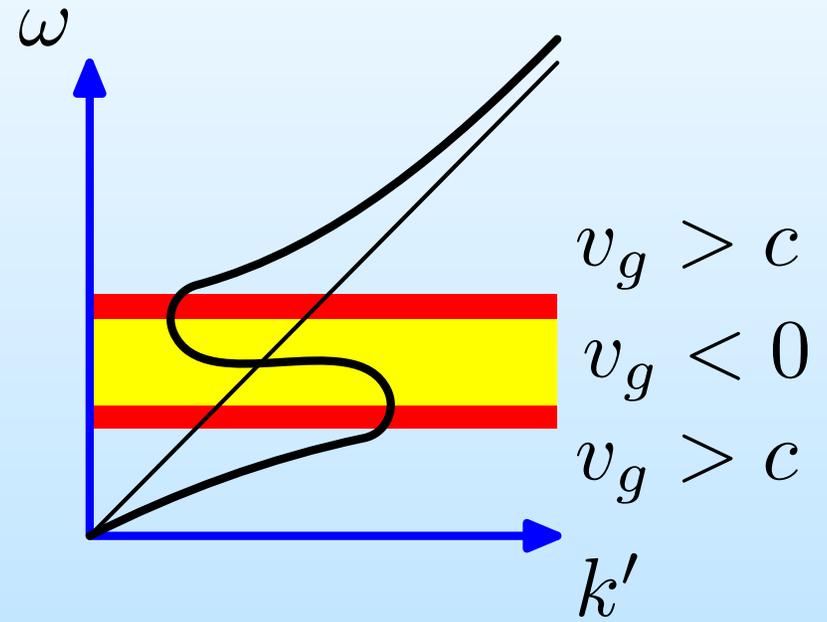
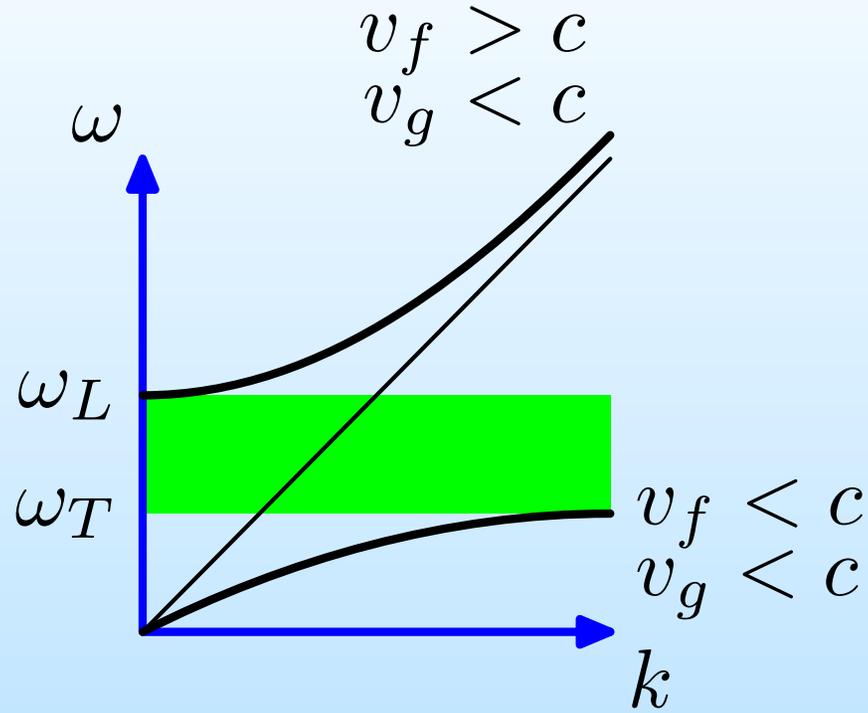
$$v_f = \lambda/T = \omega/k$$

$$v_g = \Delta\omega/\Delta k$$

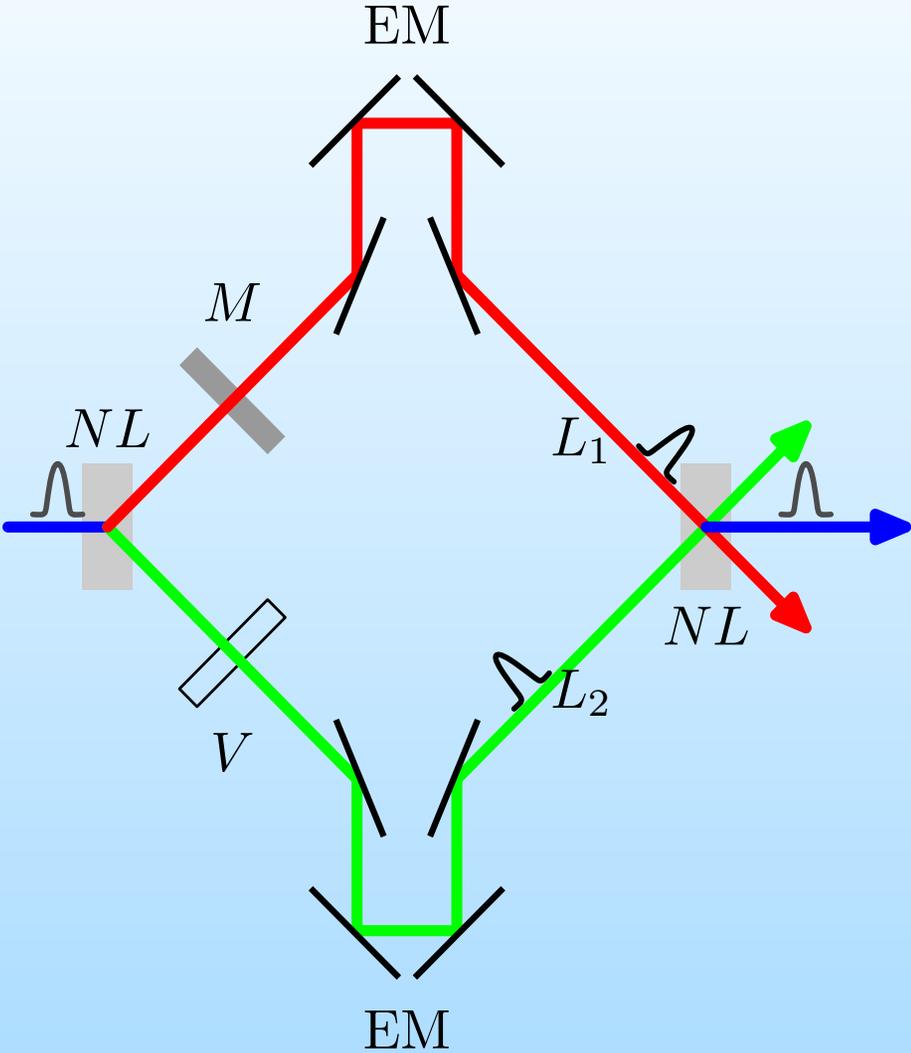
Paréntesis de grupos de ondas

gnuplot fase.gnu, grupolento.gnu, gruporapido.gnu y gruponegativo.gnu

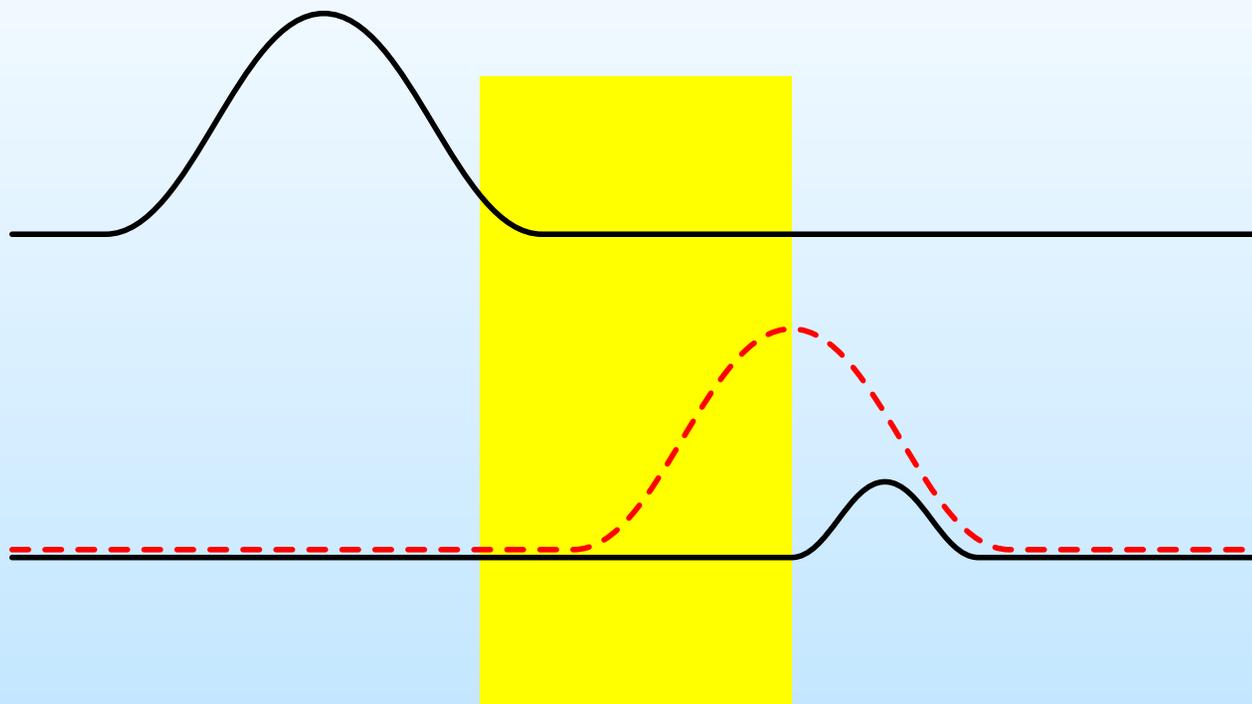
Relación de dispersión



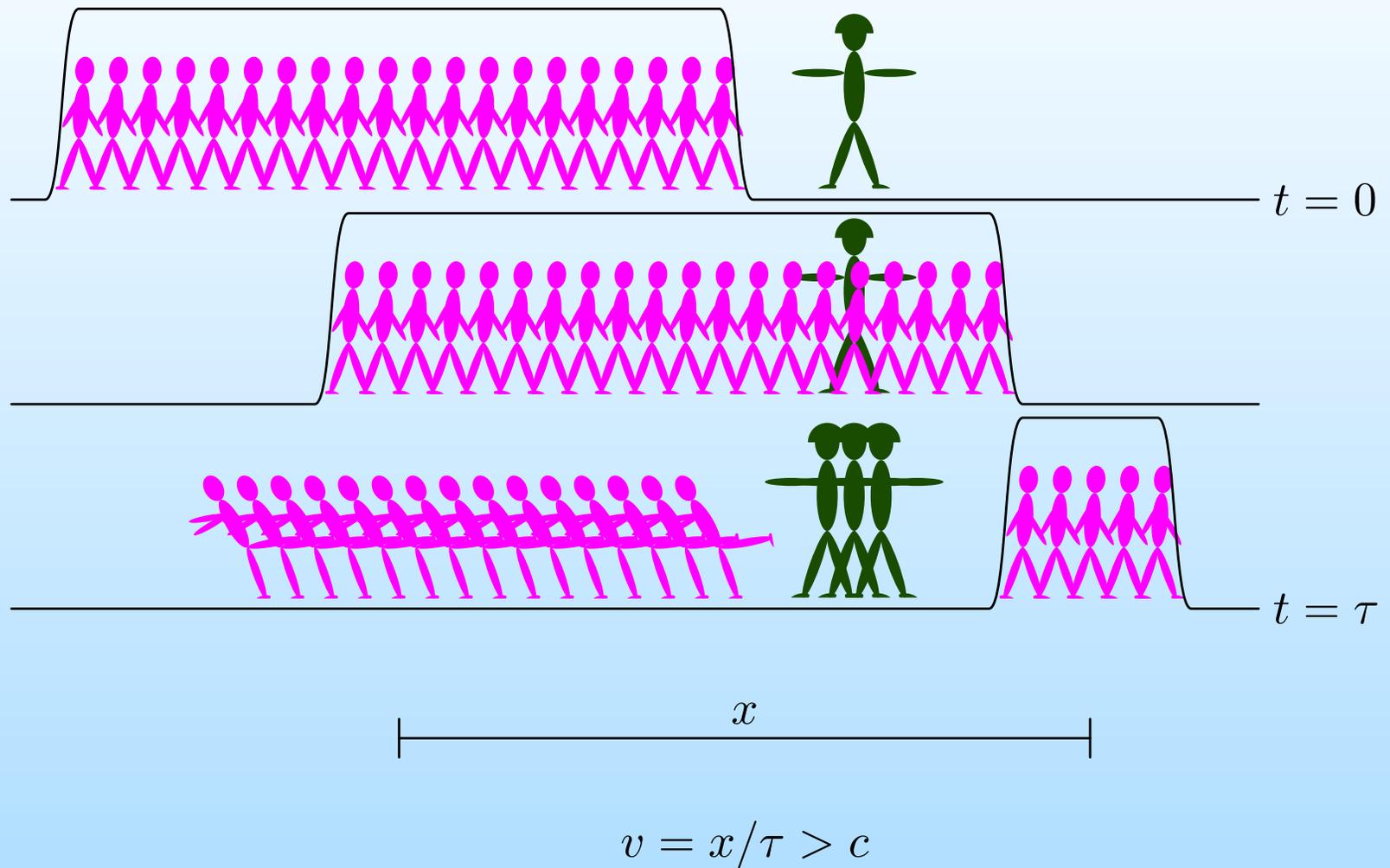
Experimentos



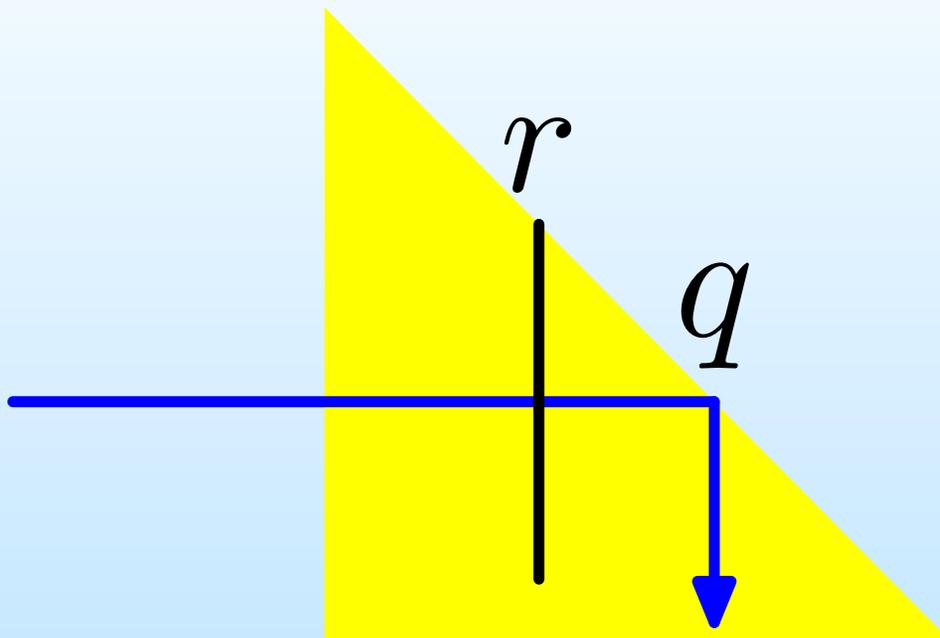
Resultados



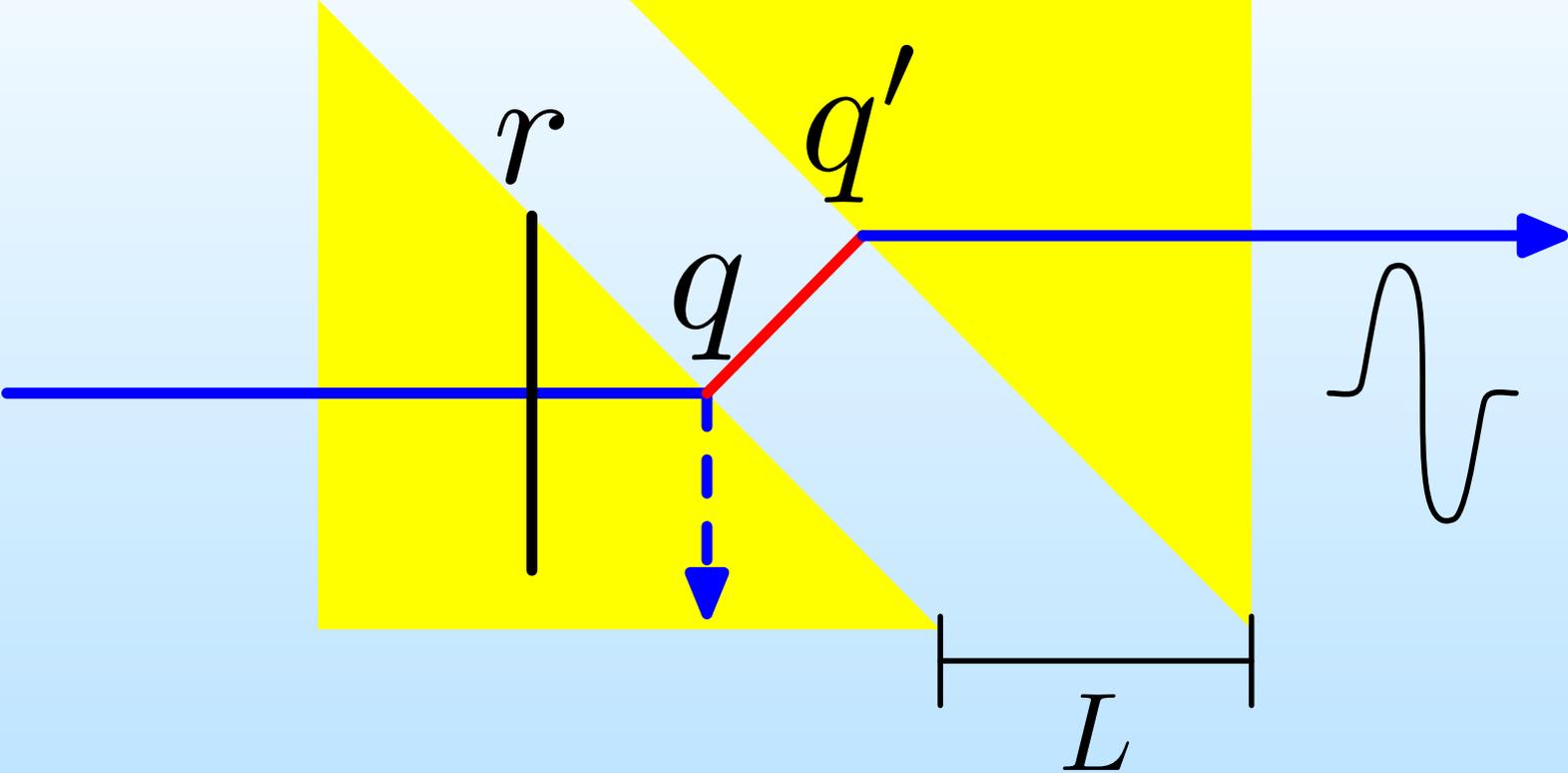
Manifestación superluminal



Reflexión Interna Total Frustrada



Reflexión Interna Total Frustrada



Paréntesis de FTIR

mpeg_play prop.mpg evanes.mpg

Conclusiones

- La teoría de la relatividad impide que la materia se mueva a velocidades superluminales.
- Existen fenómenos superluminales, pero no permiten transmitir información ni energía a velocidades mayores a c .
- Para entender la propagación superluminal de pulsos luminosos debemos tomar en cuenta su extensión no solo a lo largo de su dirección de propagación, sino también en la dirección perpendicular.
- El estudio de la luz *ultrarápida* y *ultralenta* ha adquirido un gran auge recientemente por sus implicaciones y posibles aplicaciones.

<http://em.fis.unam.mx/ñochan>