

Velocidades Extremas

W. Luis Mochán Backal

Centro de Ciencias Físicas, UNAM
Cuernavaca, Morelos

Caracol

$$V \approx 1\text{cm/s} \approx 40\text{m/h}$$



Tortuga

$$V \approx 14\text{cm/s} \approx 0.4\text{km/h}$$



Hormiga

$$V \approx 20\text{cm/s} \approx 0.7\text{km/h}$$



Hombre

$$V \approx 9m/s \approx 30km/h$$



Liebre

$$V \approx 20m/s \approx 70km/h$$



Guepardo

$$V \approx 28m/s \approx 100km/h$$



Pez Vela

$$V \approx 30m/s \approx 110km/h$$



Vencejo

$$V \approx 45m/s \approx 160km/h$$



Transporte

< 1800

40 km/día



Transporte

< 1800

40 km/día

1900

200 km/día



Transporte

< 1800	40 km/día
1900	200 km/día
2000	1000 km/día



Transporte

< 1800	40 km/día
1900	200 km/día
2000	1000 km/día
2100	¿5000 km/día?



Transporte

< 1800	40 km/día
1900	200 km/día
2000	1000 km/día
2100	¿5000 km/día?
2200	¿25000 km/día?



Algunas velocidades

Sonido

1200 km/h



Algunas velocidades

Sonido	1200 km/h
Rot. Tierra	1700 km/h



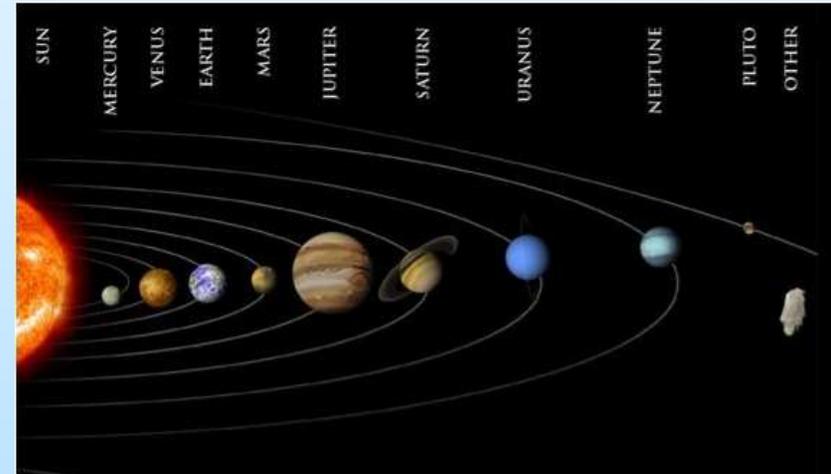
Algunas velocidades

Sonido	1200 km/h
Rot. Tierra	1700 km/h
He a 20C	4×10^3 km/h



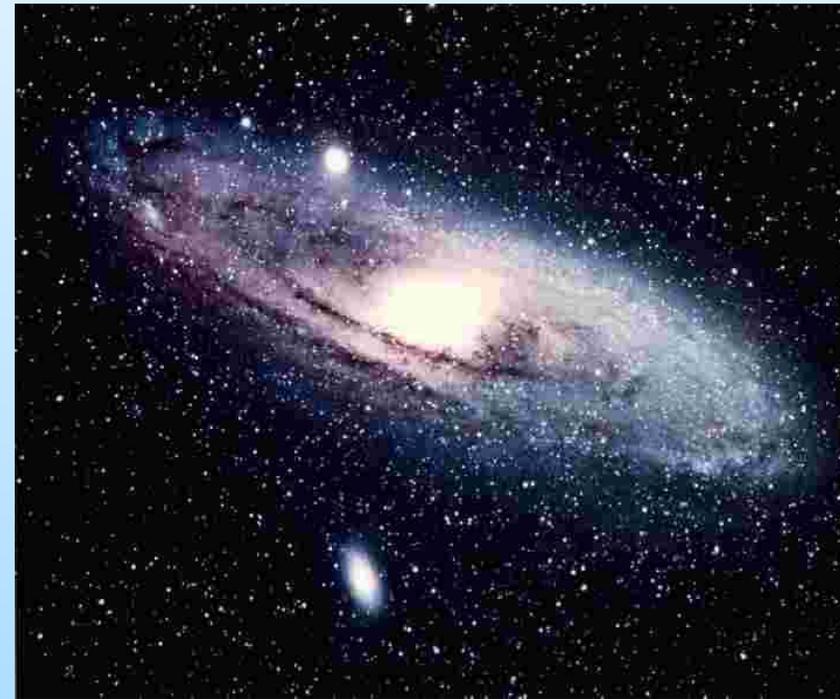
Algunas velocidades

Sonido	1200 km/h
Rot. Tierra	1700 km/h
He a 20C	4×10^3 km/h
Tr. Tierra	10^5 km/h



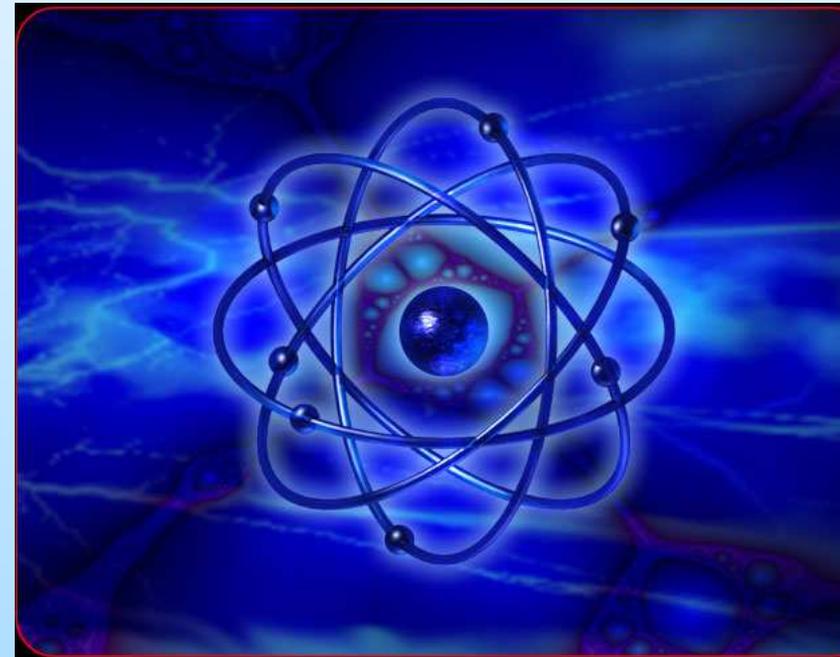
Algunas velocidades

Sonido	1200 km/h
Rot. Tierra	1700 km/h
He a 20C	4×10^3 km/h
Tr. Tierra	10^5 km/h
Sol	9×10^5 km/h



Algunas velocidades

Sonido	1200 km/h
Rot. Tierra	1700 km/h
He a 20C	4×10^3 km/h
Tr. Tierra	10^5 km/h
Sol	9×10^5 km/h
e^- en H	8×10^6 km/h



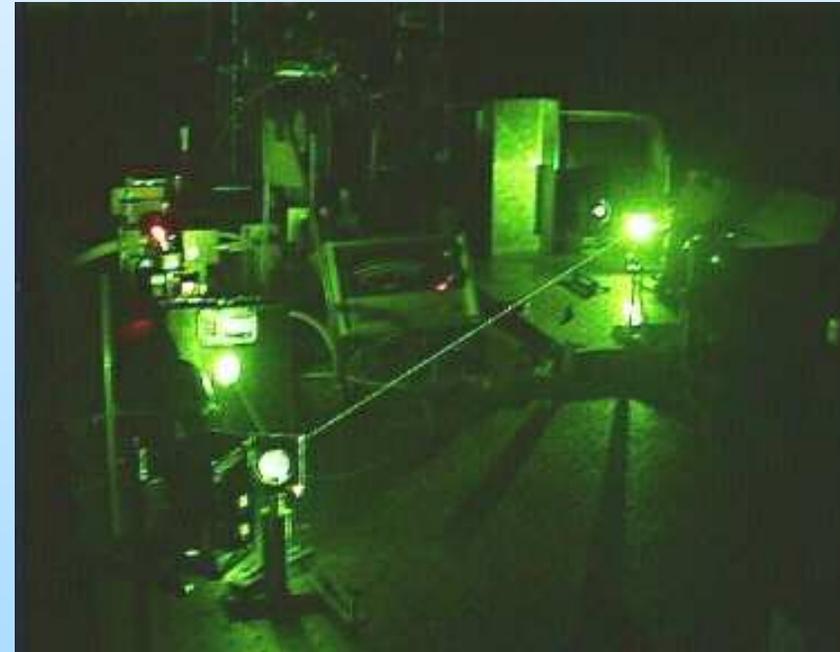
Algunas velocidades

Sonido	1200 km/h
Rot. Tierra	1700 km/h
He a 20C	4×10^3 km/h
Tr. Tierra	10^5 km/h
Sol	9×10^5 km/h
e^- en H	8×10^6 km/h
p (LHC '07)	1, 079, 252, 839 km/h



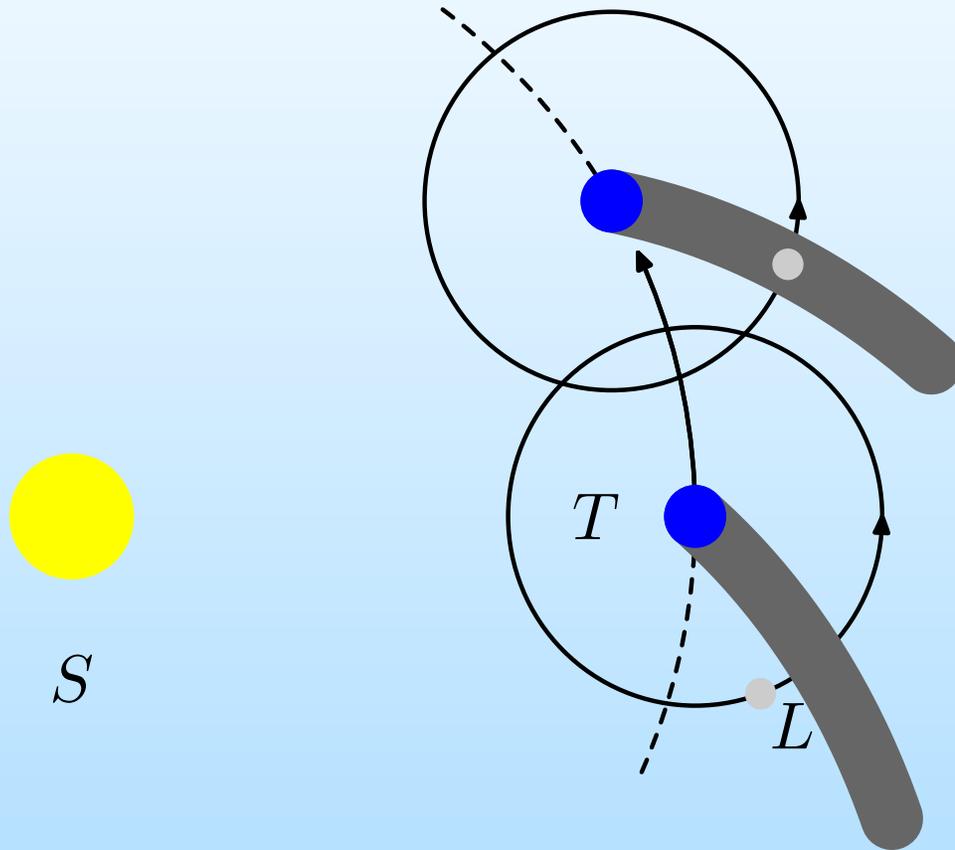
Algunas velocidades

Sonido	1200 km/h
Rot. Tierra	1700 km/h
He a 20C	4×10^3 km/h
Tr. Tierra	10^5 km/h
Sol	9×10^5 km/h
e^- en H	8×10^6 km/h
p (LHC '07)	1, 079, 252, 839 km/h
Luz	1, 079, 252, 849 km/h



La luz, ¿se mueve?

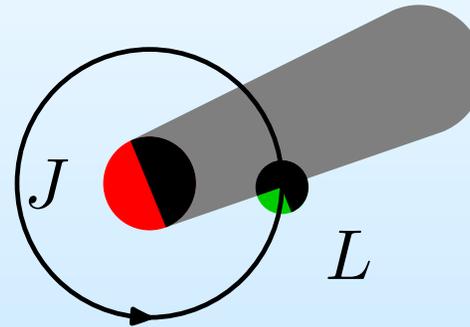
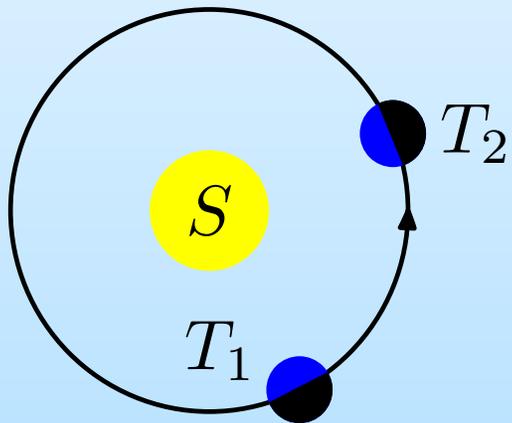
Descartes (s. XVII): ... observemos los cielos...



¿ $c = \infty$?

pero alejándonos más...

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

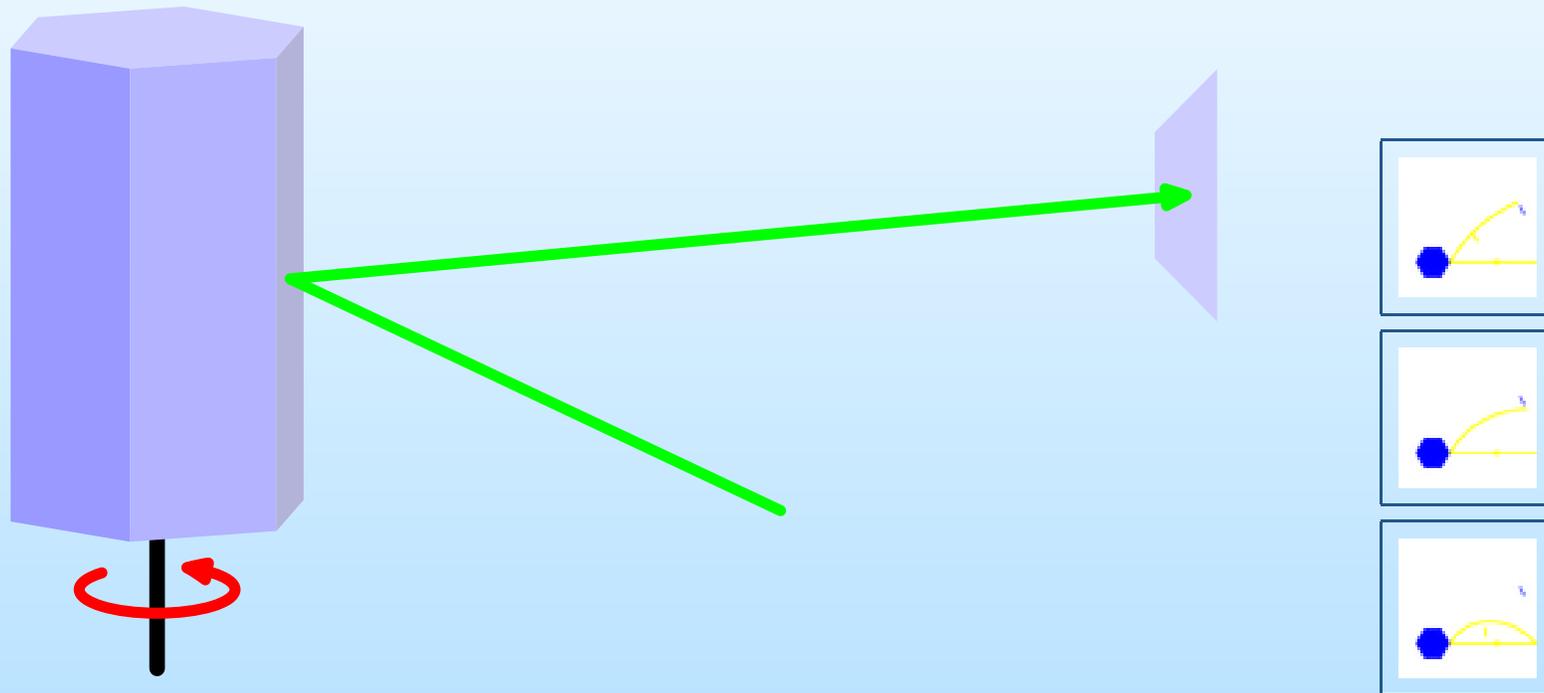


$$c \approx 3000000000m/s$$



Sistema de unidades

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



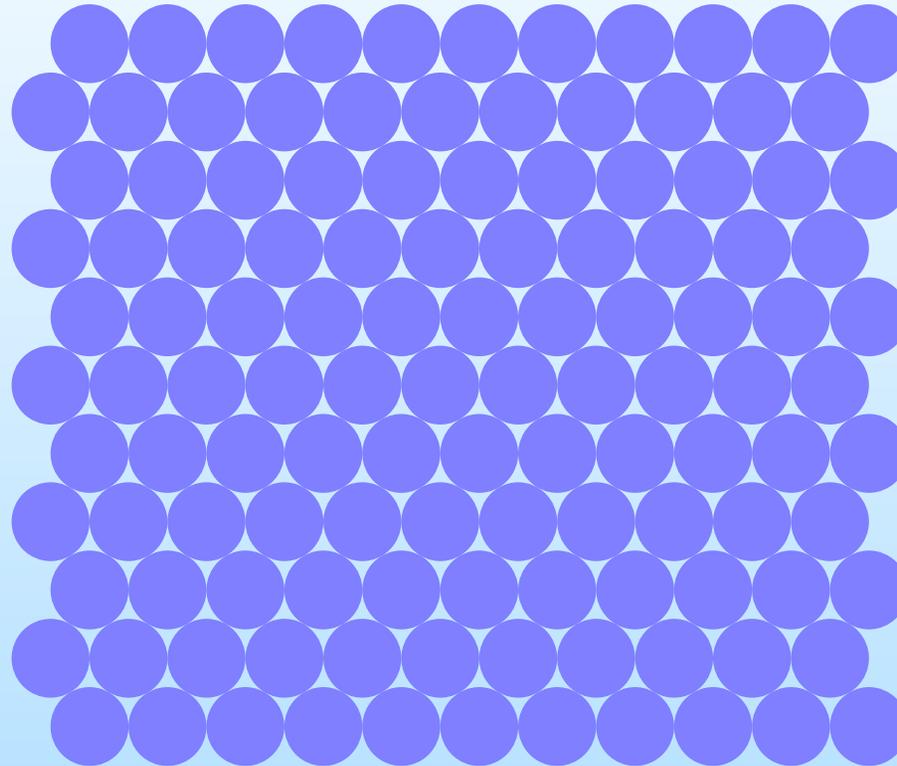
Ahora... $c \equiv 299,792,458 \text{ m/s}$ (SI)

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

$1 \text{ m} = 1/299,792,458$ veces la distancia que recorre la luz en 1 s .

¿Qué se podría mover tan rápido?

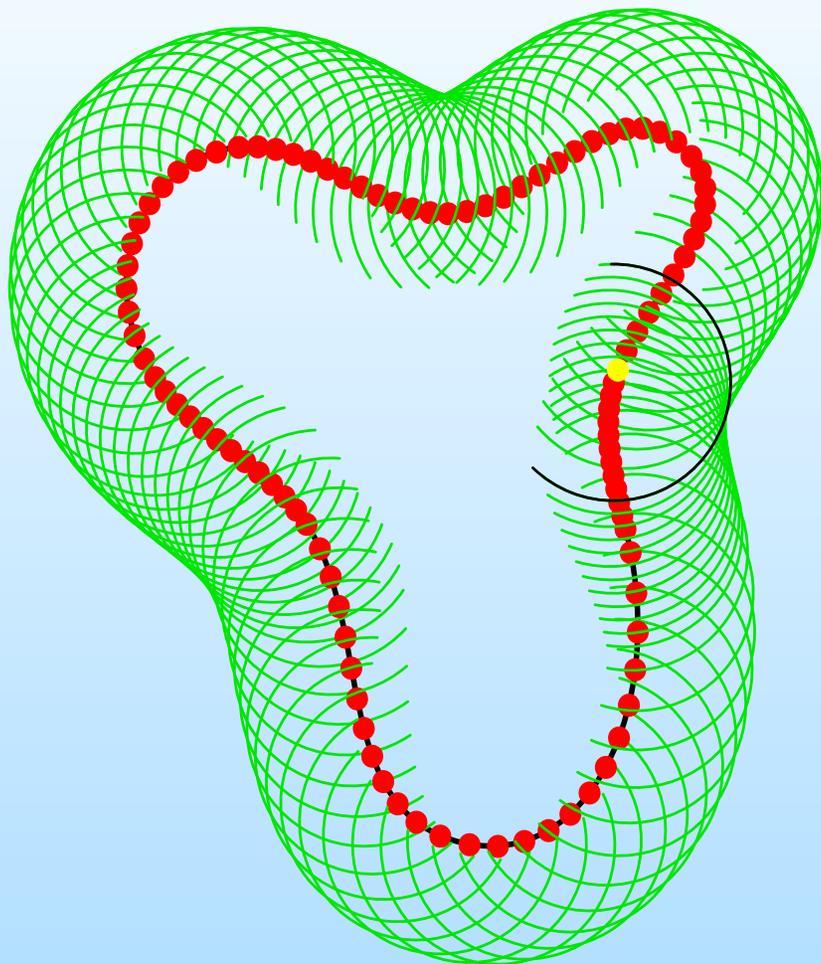
Huygens (s. XVII):



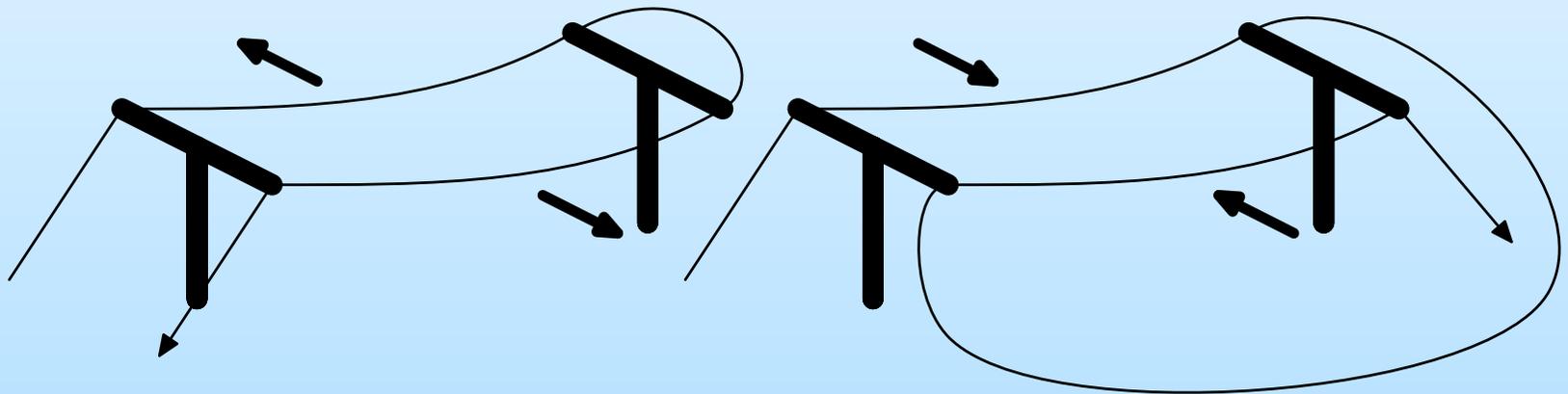
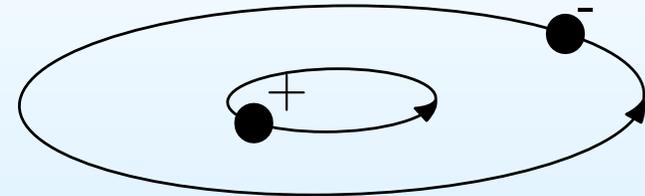
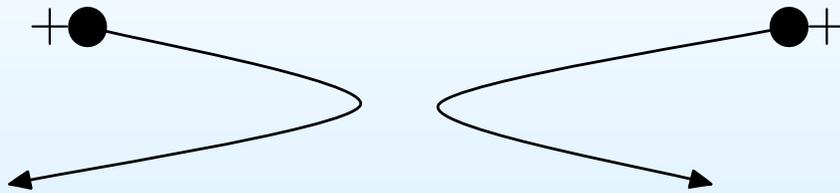
... ¡el movimiento!



Principio de Huygens

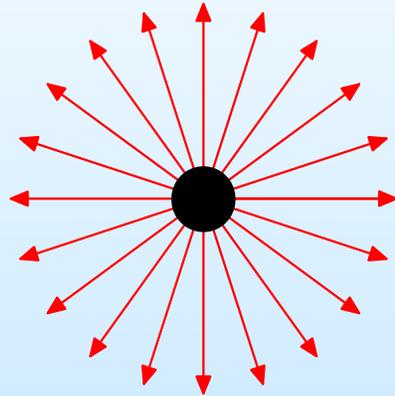


Interacción eléctrica y magnética

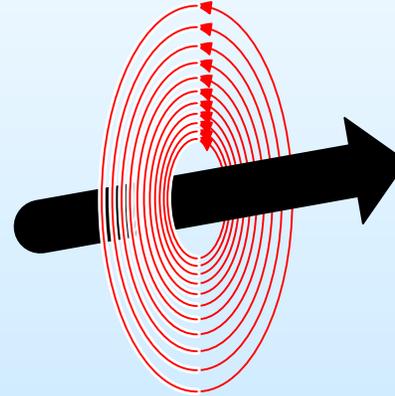


Campos eléctricos y magnéticos

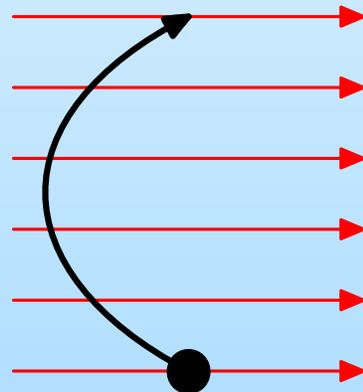
Campo Eléctrico



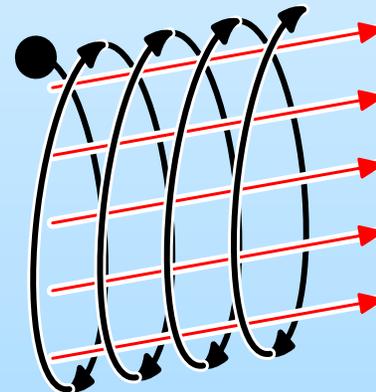
Campo Magnético



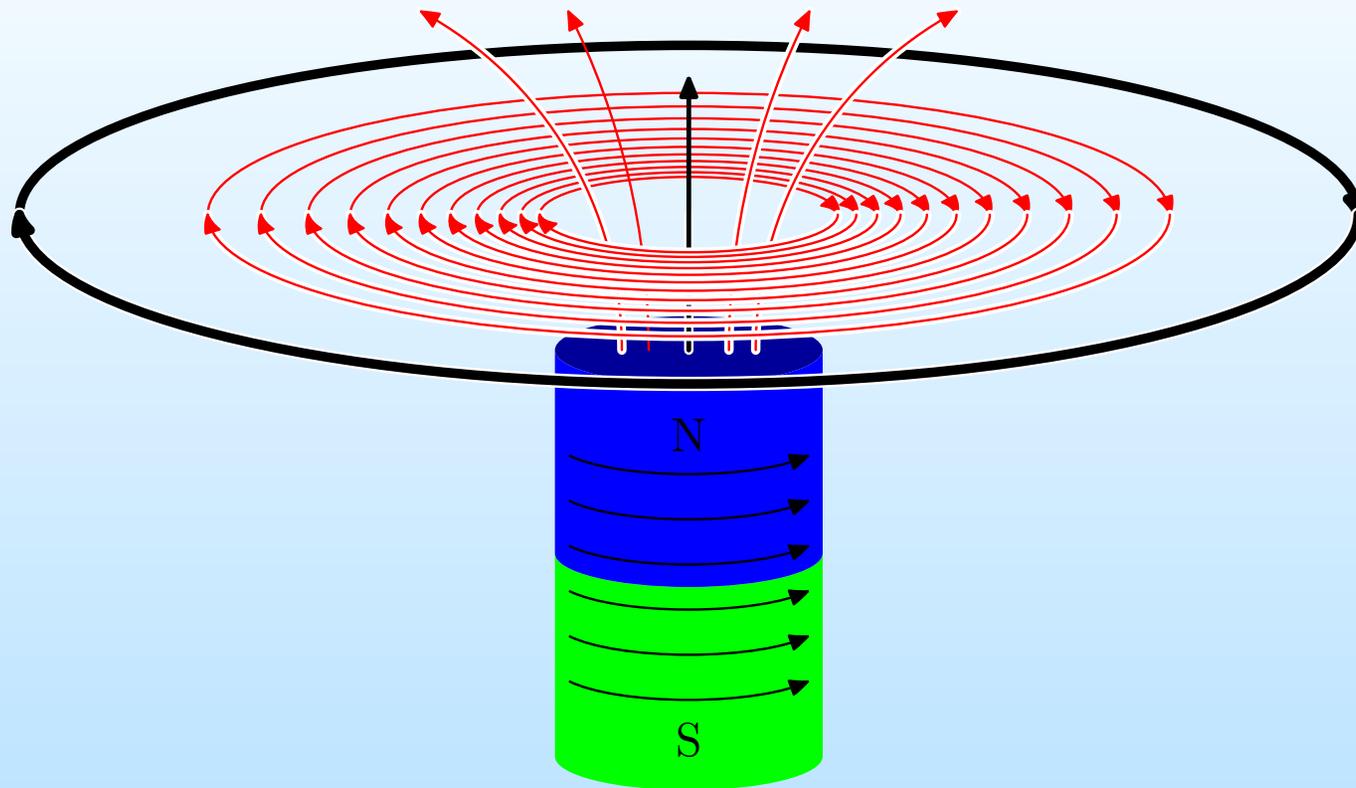
Fuerza Eléctrica



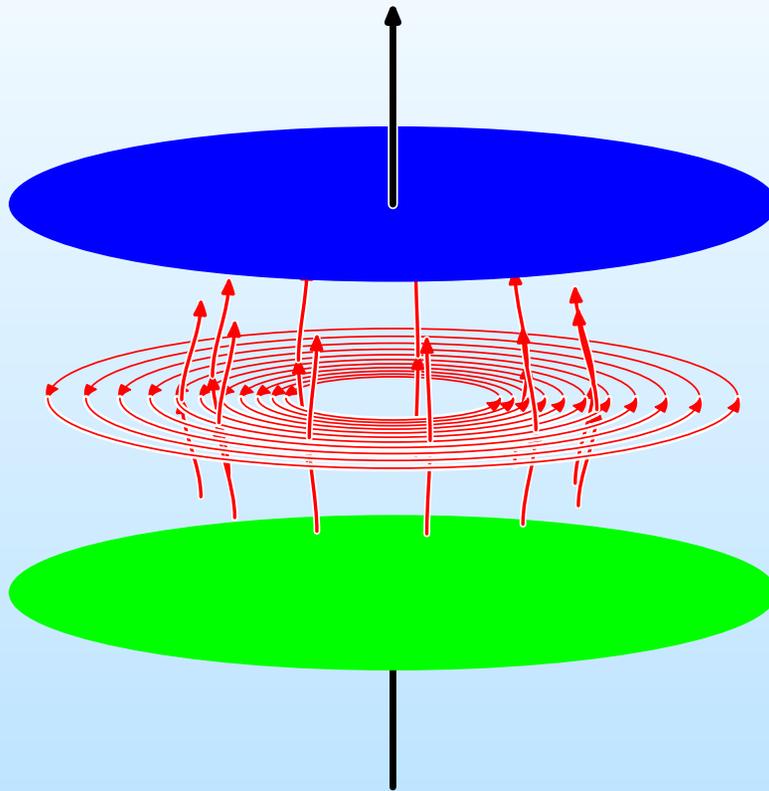
Fuerza Magnética



Inducción



Ampere-Maxwell

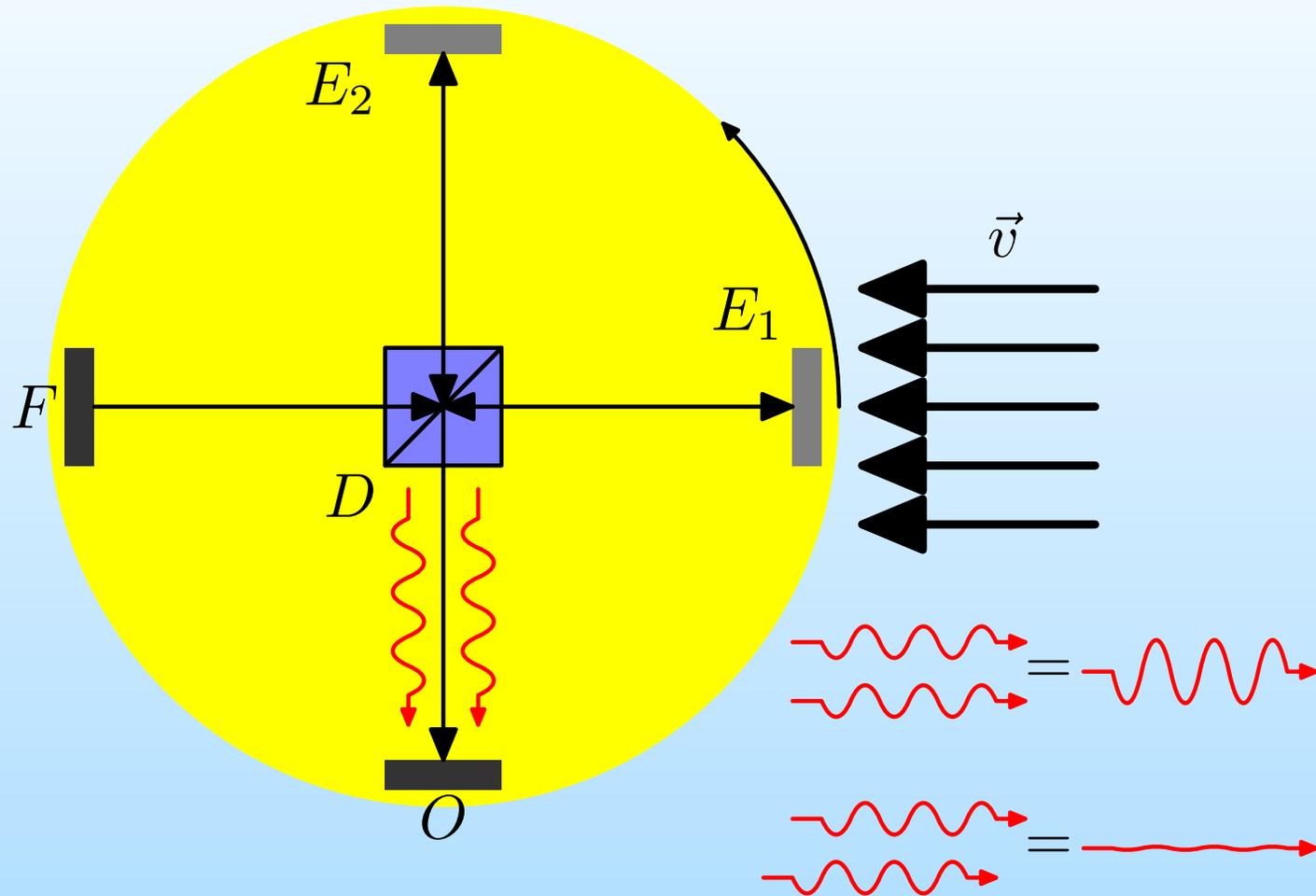


y Dios dijo...

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

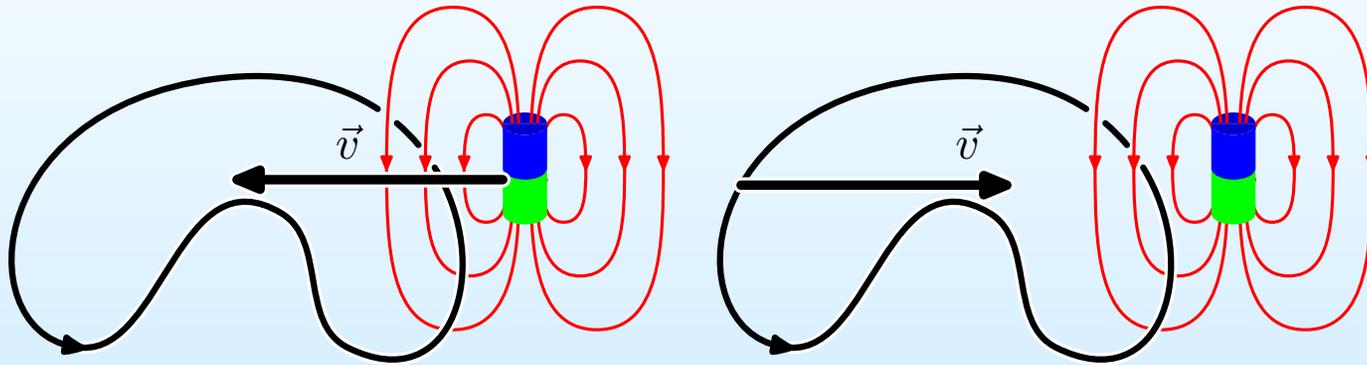
... y se hizo la luz

¿Pero qué *ondula*?



$v =$, , ,

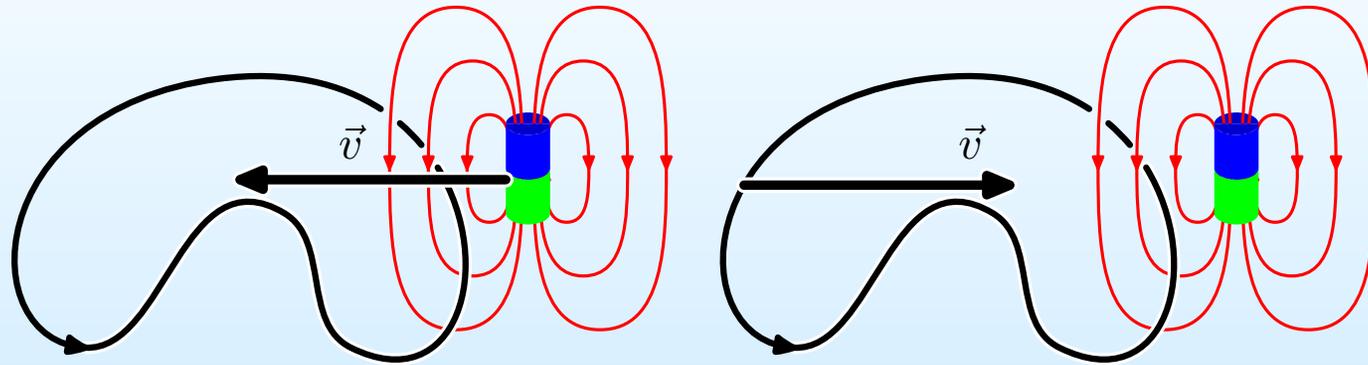
Nada...



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

$v =$, , ,

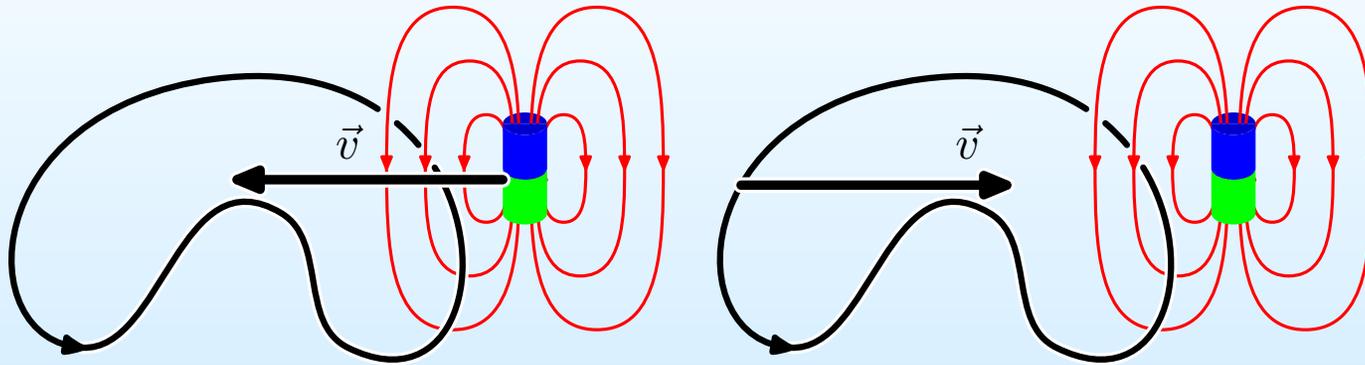
Nada...



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

$v =$, , ,

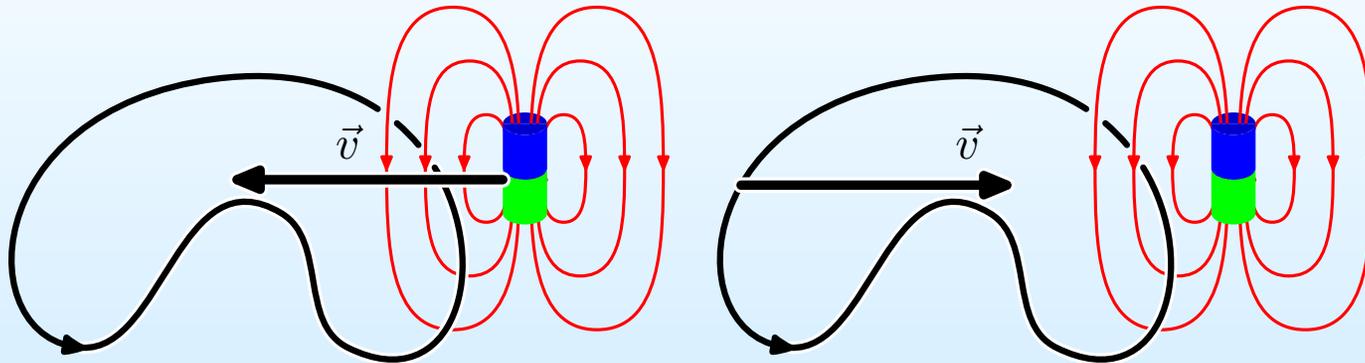
Nada...



- 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!

$$v = \boxed{0.1}, \boxed{0.2}, \boxed{0.5}, \boxed{0.9}$$

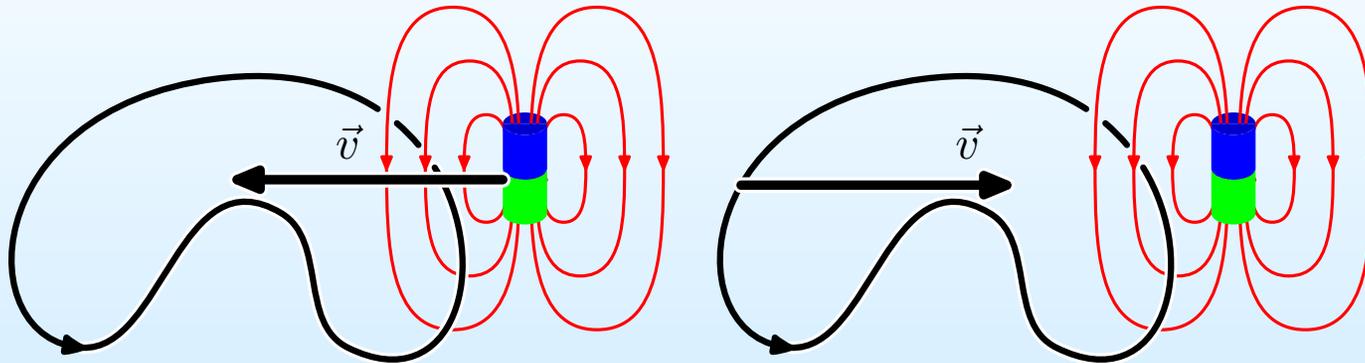
Nada...



- 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*; ¡ $0.5c + c = c$, $0.9c + 0.9c < c$,...!

$$v = \boxed{0.1}, \boxed{0.2}, \boxed{0.5}, \boxed{0.9}$$

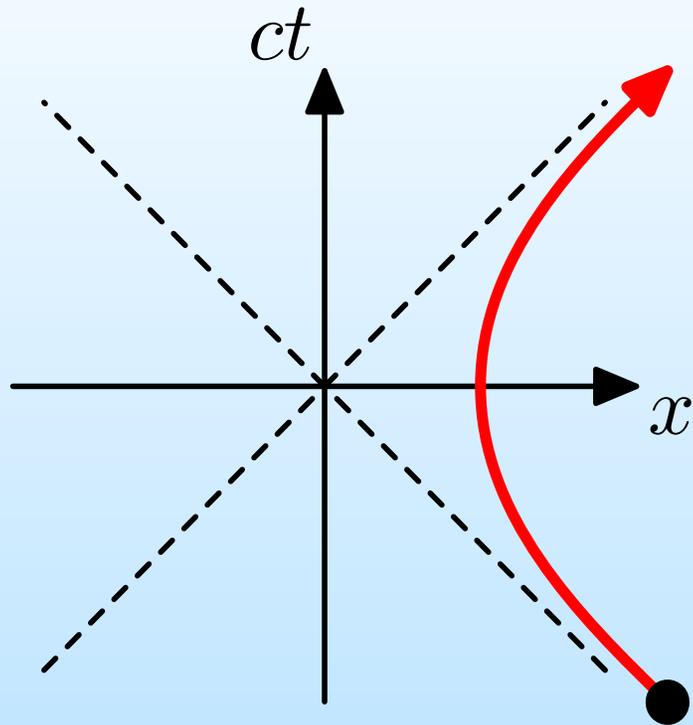
Nada...



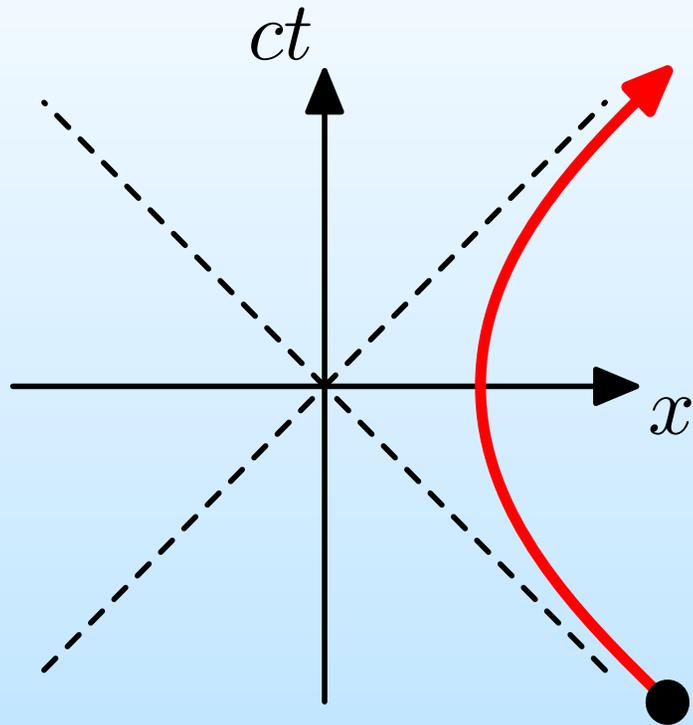
- Las leyes de la física deben ser las mismas para todos.
- Las propiedades electromagnéticas del vacío deben ser las mismas para todos.
- ¡La velocidad de la luz debe ser la misma para todos!
- La velocidad no es *aditiva*; ¡ $0.5c + c = c$, $0.9c + 0.9c < c$,...!
- El tiempo, como la posición, son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

$$v = \boxed{0.1}, \boxed{0.2}, \boxed{0.5}, \boxed{0.9}$$

Movimiento *uniformemente* acelerado



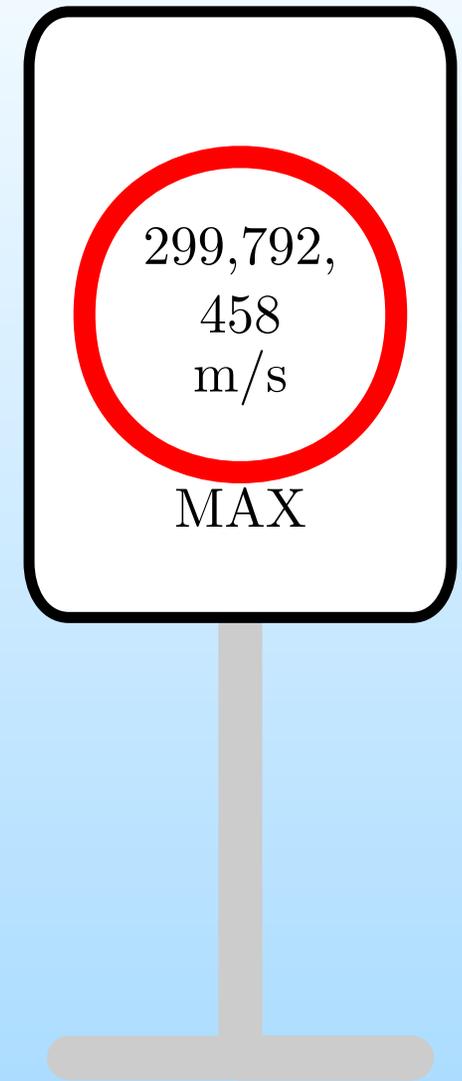
Movimiento *uniformemente* acelerado



... 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?

La velocidad es la forma de éxtasis que la tecnología ha brindado al hombre

Milán Kundera

- Alfa centauri está a 4.5 años luz de nosotros.

¿Y? ¿Cual es la prisa?

La velocidad es la forma de éxtasis que la tecnología ha brindado al hombre

Milán Kundera

- 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?

La velocidad es la forma de éxtasis que la tecnología ha brindado al hombre

Milán Kundera

- 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?

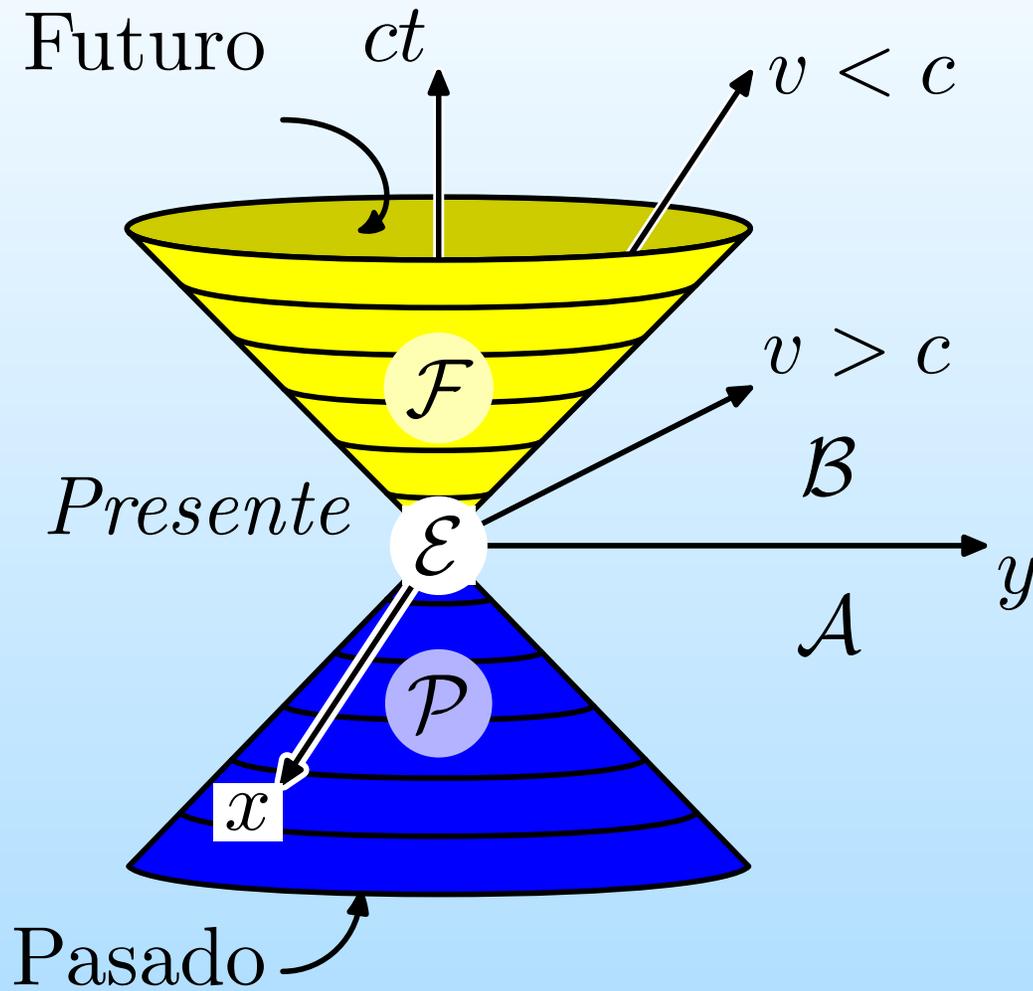
¿Y? ¿Cual es la prisa?

La velocidad es la forma de éxtasis que la tecnología ha brindado al hombre

Milán Kundera

- 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?

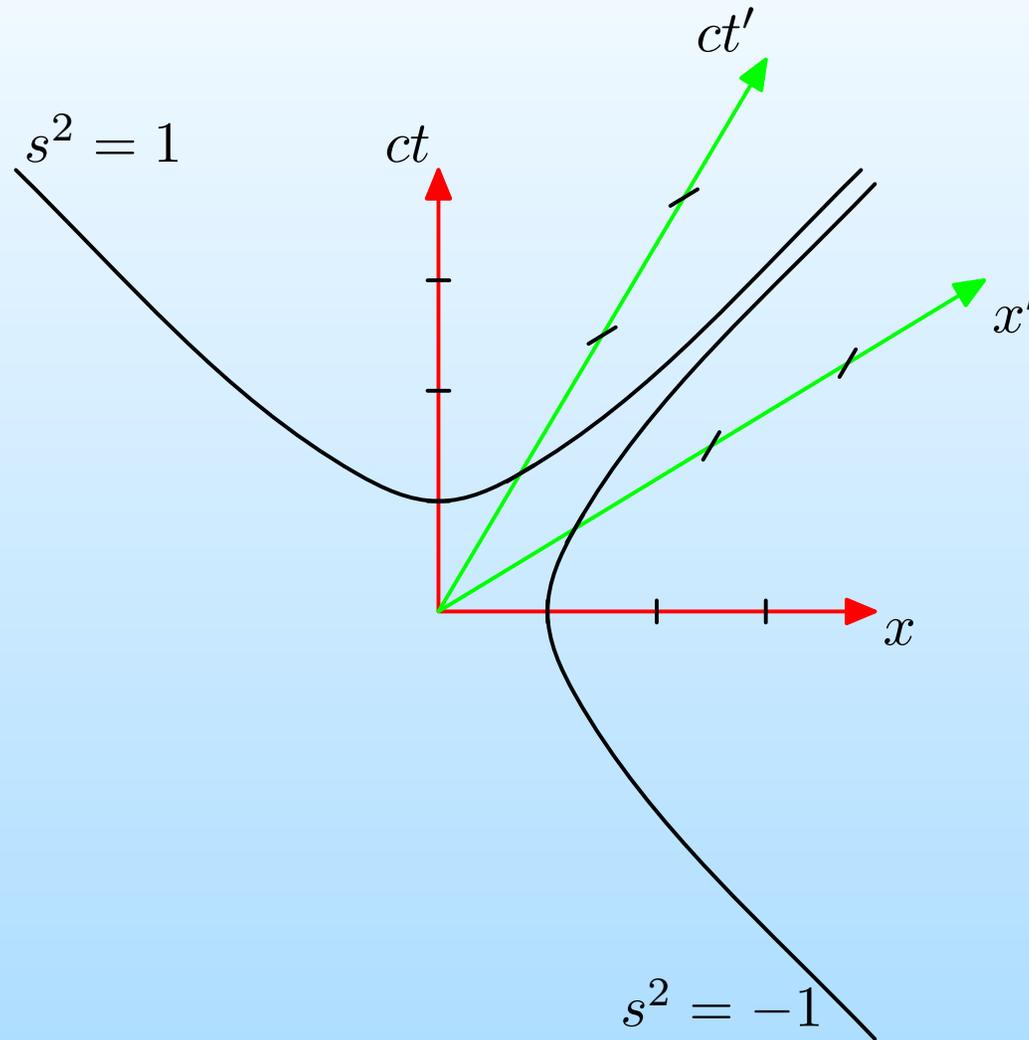
Espacio-tiempo



Espacio-tiempo

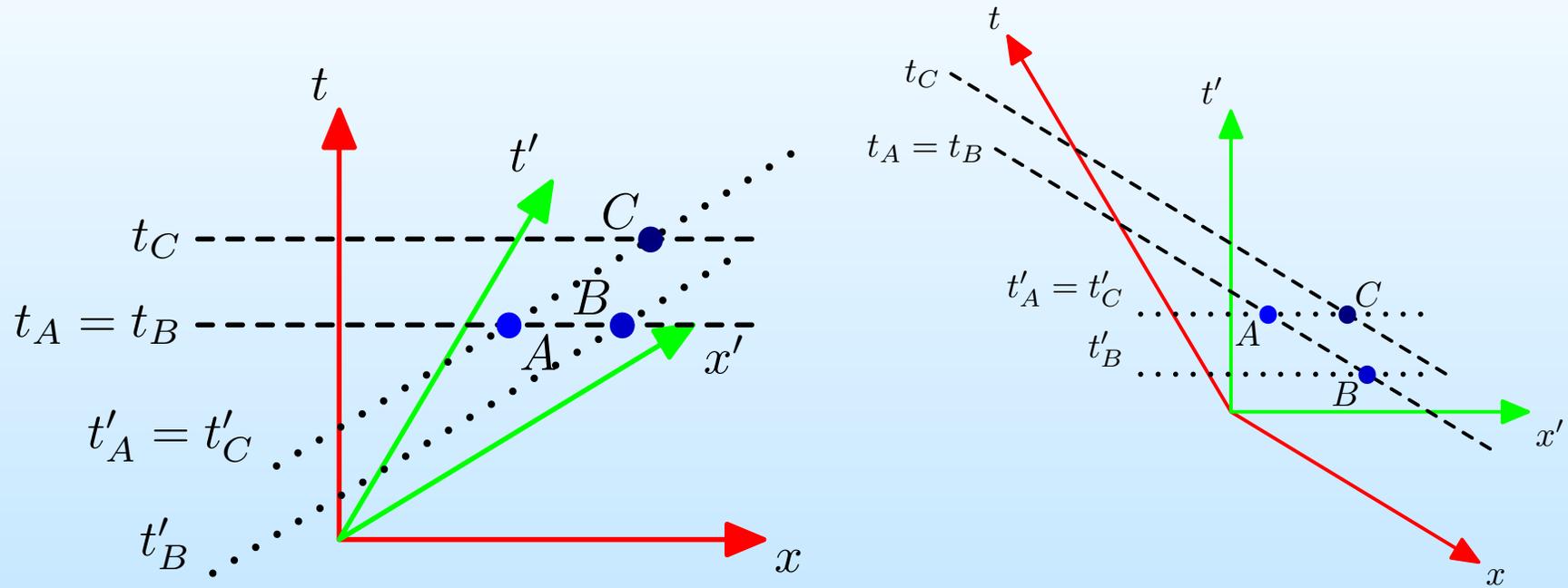


Transformaciones de Lorentz

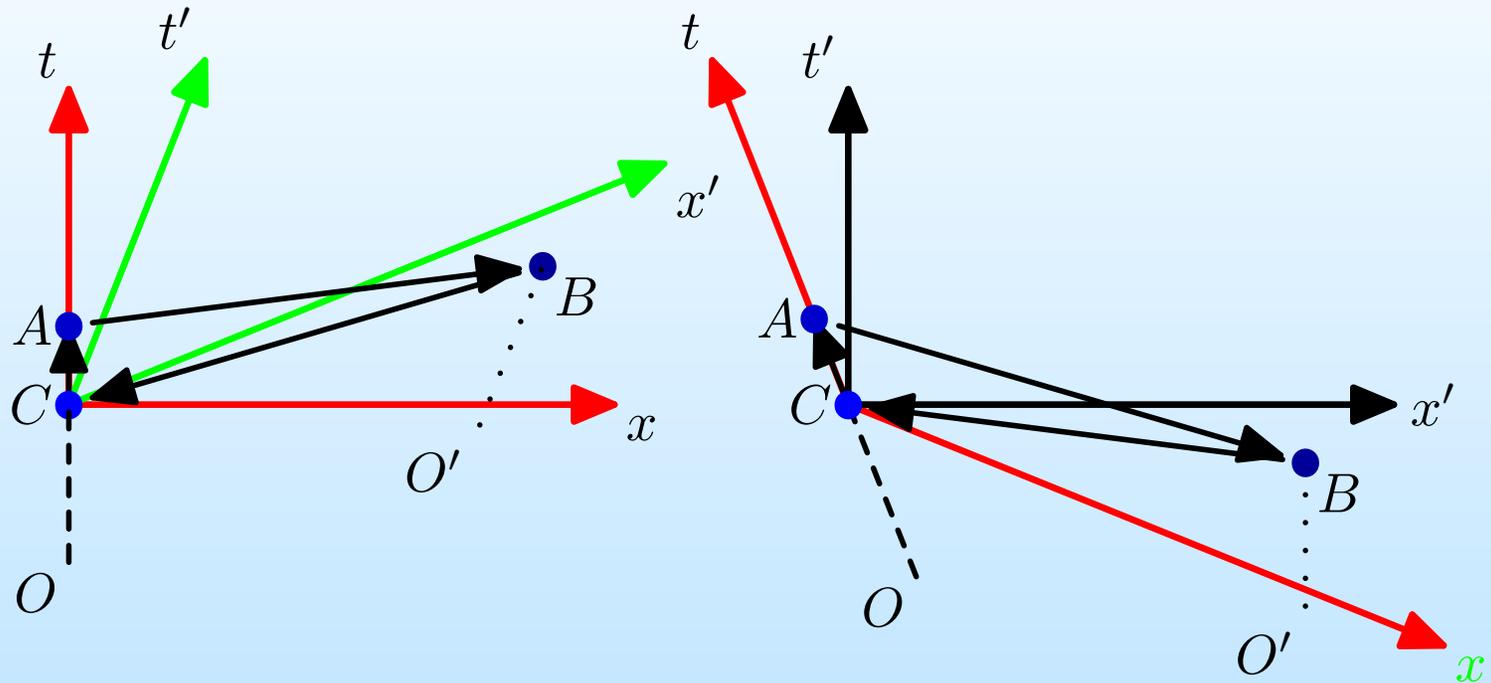


Evento visto en el lab., cohete $v = 0.6c$

Relatividad de la simultaneidad



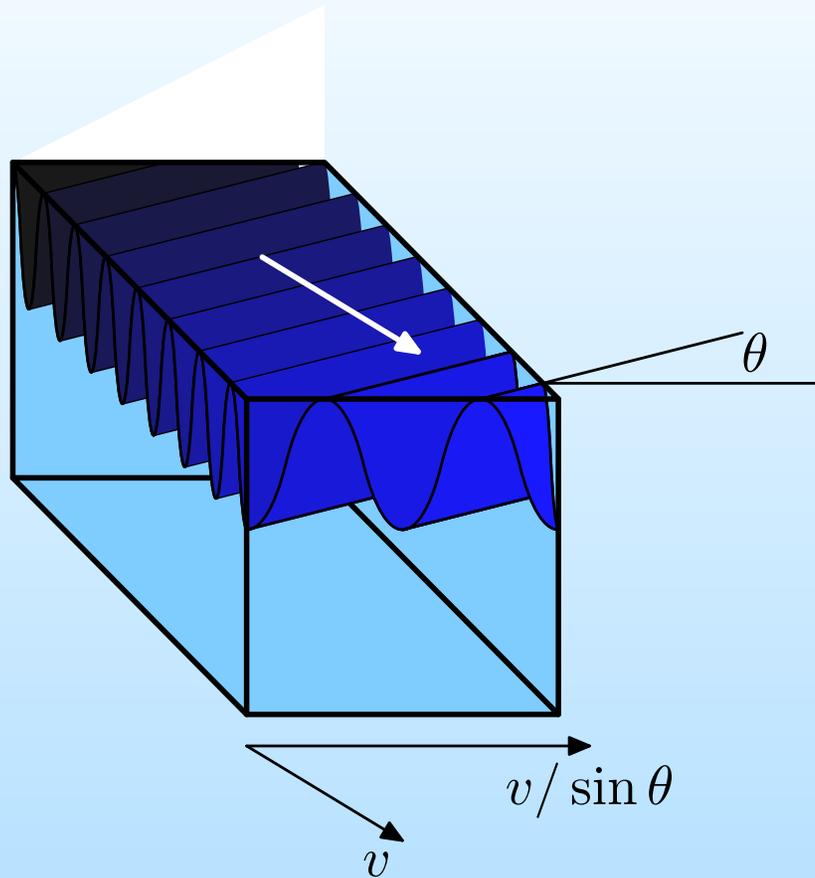
Causalidad



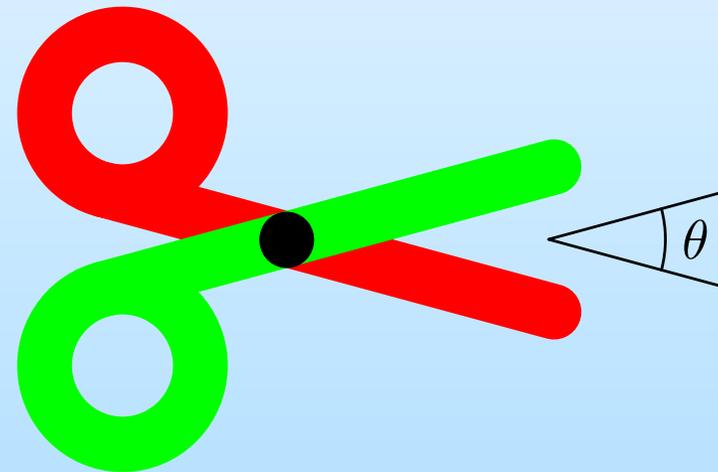
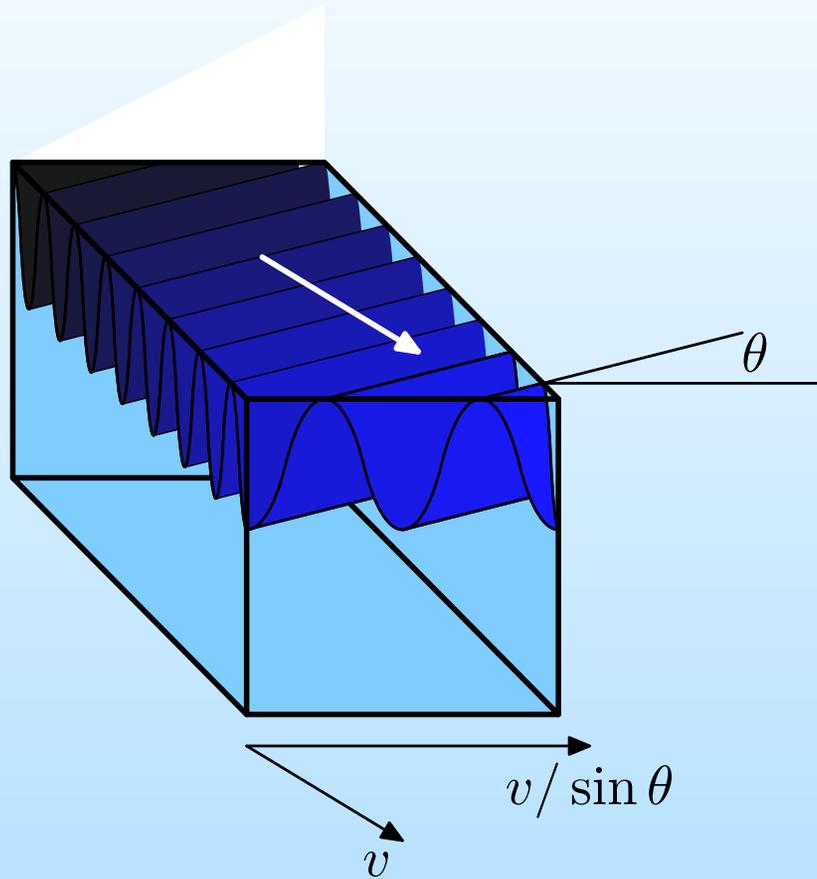
$V_B = 0.4c$, $V = 8c$ (ida), $V = 8c$ (regreso).

Nada puede ir más rápido que la luz.

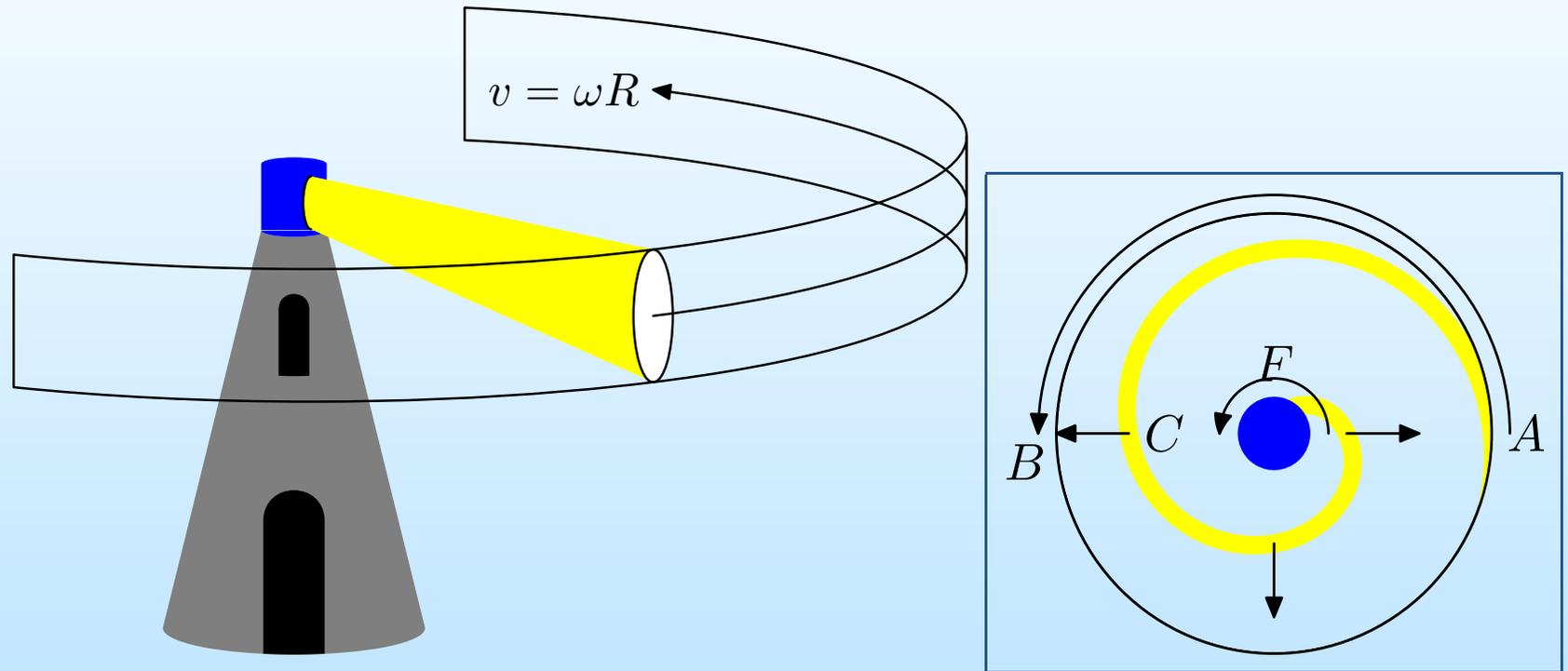
Contraejemplos



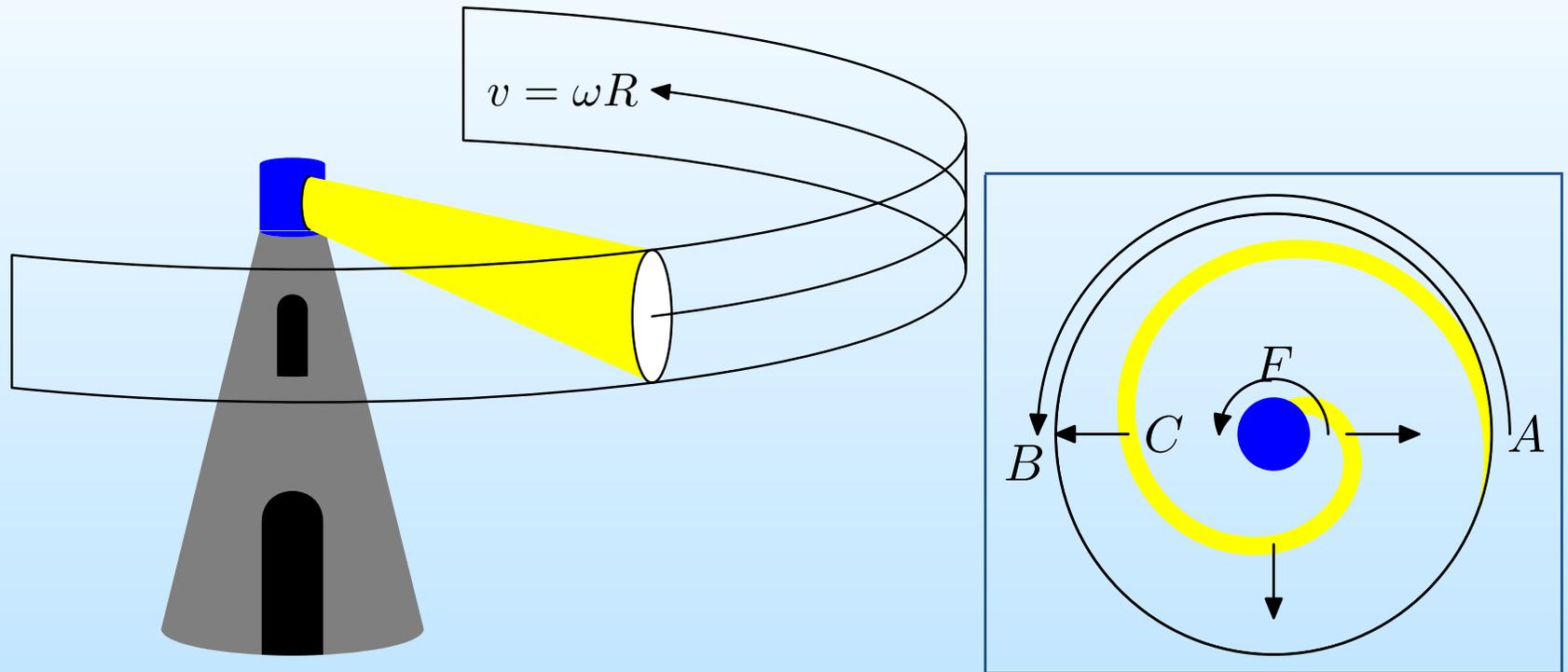
Contraejemplos



Contraejemplos



Contraejemplos



No se puede transmitir *información* a velocidad superluminal

Ondas

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

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

Grupos de ondas

superposicion

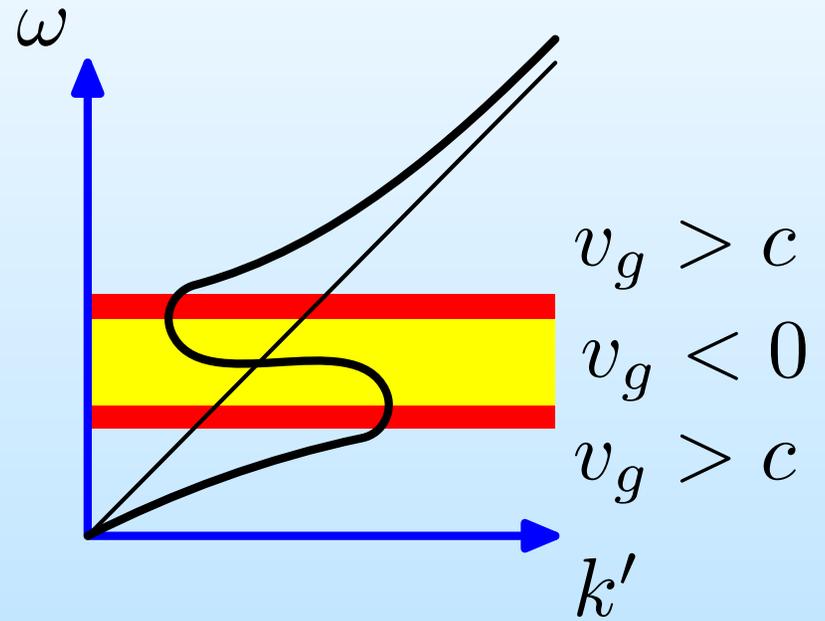
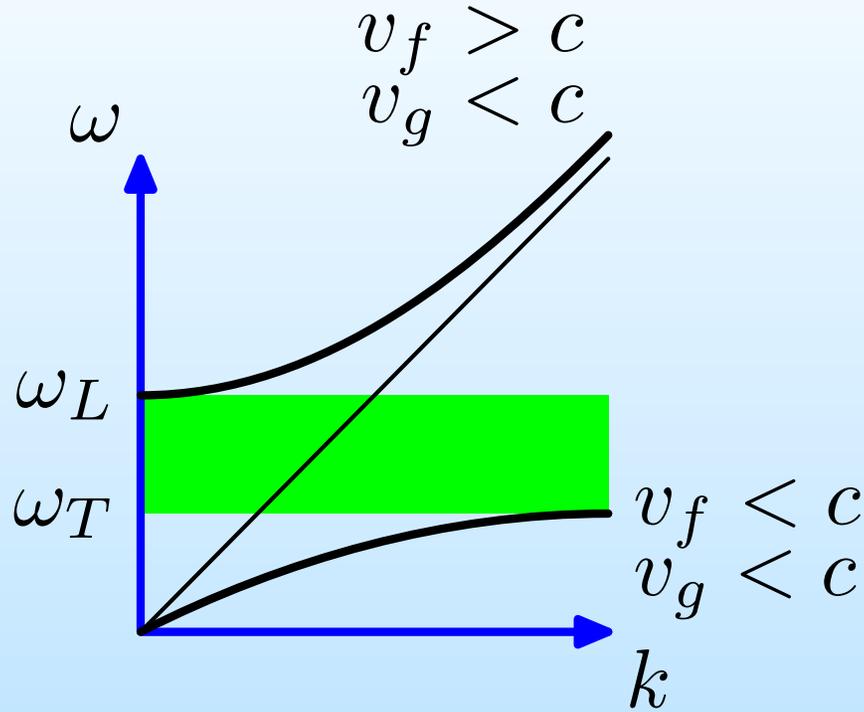
fase

grupolento

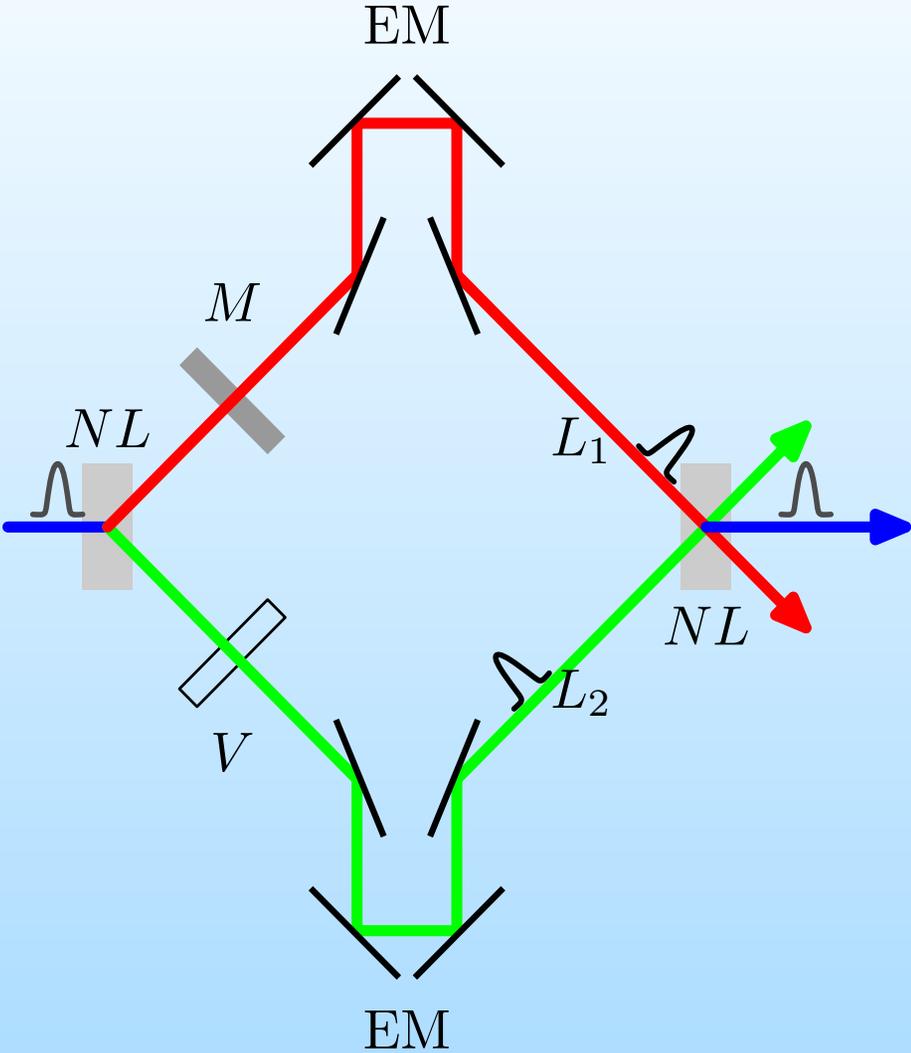
gruporapido

gruponegativo

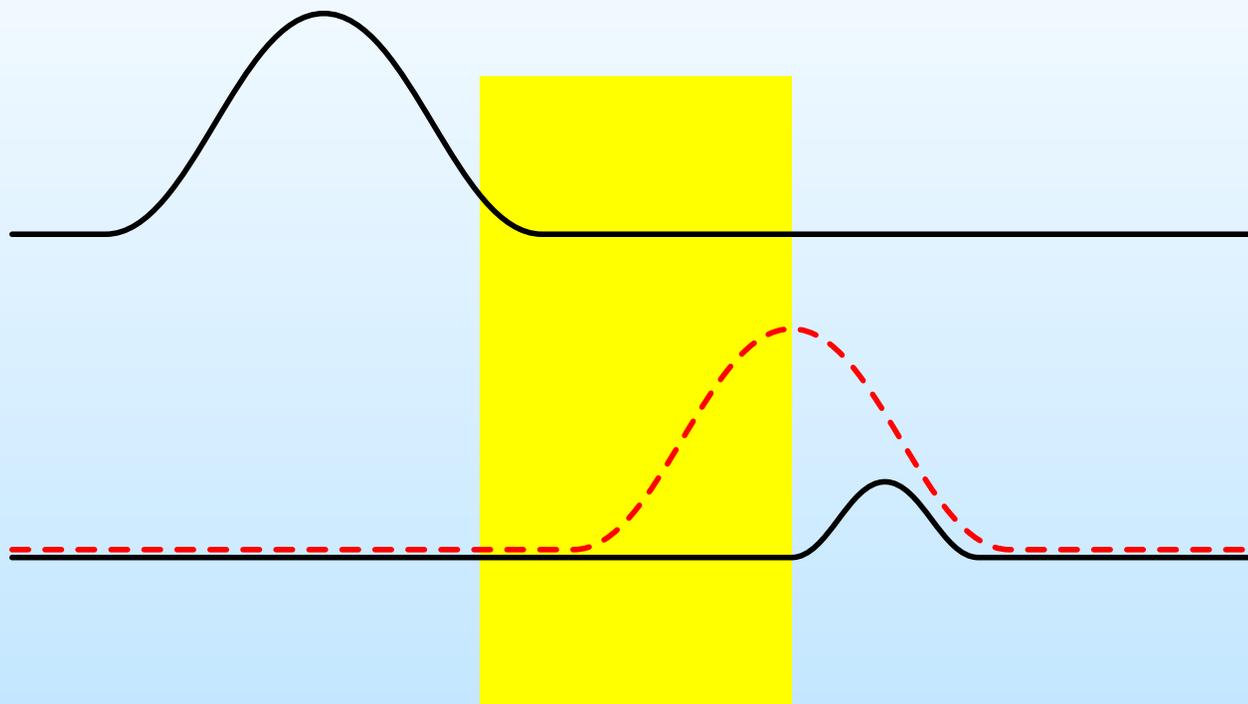
Relación de dispersión



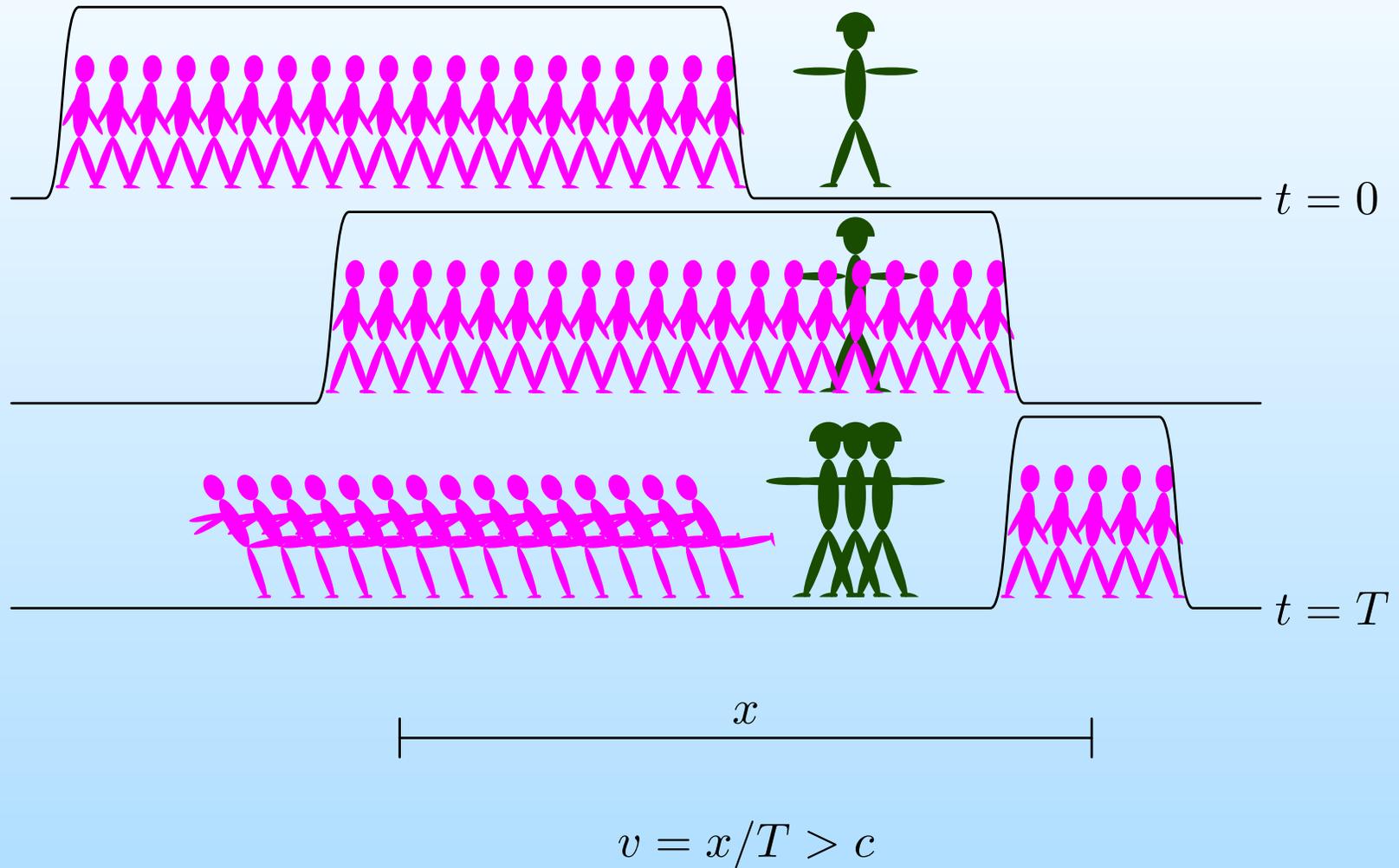
Experimentos



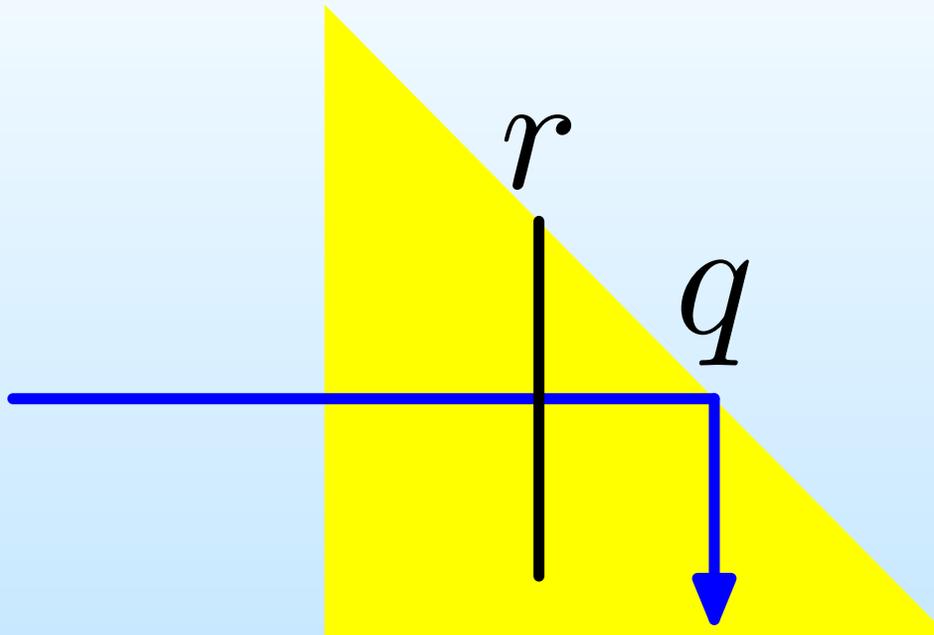
Resultados



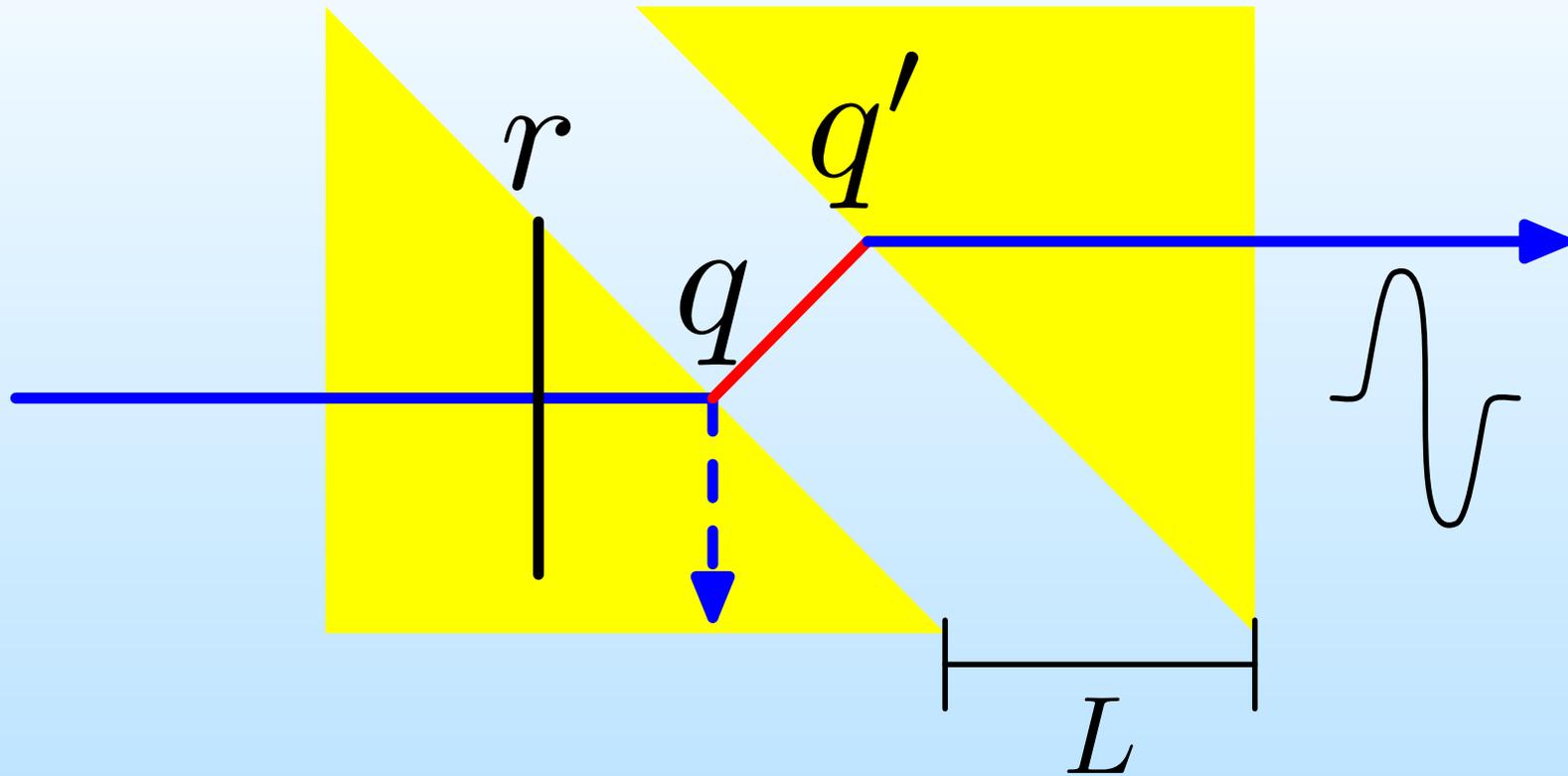
Manifestación superluminal



Reflexión Interna Total Frustrada



Reflexión Interna Total Frustrada



Modo propagante ($n = 2, \theta = 27^\circ$) evanescente ($n = 2, \theta = 34^\circ$)

Conclusiones

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

Esta fue una presentación *microsoft free*.

Large Hadron Collider, 2007



Lugar	Ginebra (Suiza y Francia)
Circunferencia	27kms
Partículas	Protones y iones pesados (plomo)
Energía inicial	450GeV
Velocidad inicial	1,079,250,504 km/h
Energía de salida	7TeV
Velocidad final	1,079,252,839 km/h
Consumo	120MW

Regresa

Eclipses Io



Periodo 42.5hrs
Retraso 16m 40s
(22m)

Regresa