



# Relatividad Especial: la simetría del movimiento



**Bert Janssen**

Dpto de Física Teórica y del Cosmos

# Interrumpidme cuando queráis

Las preguntas tontas no existen.  
Solo existen las respuestas tontas.



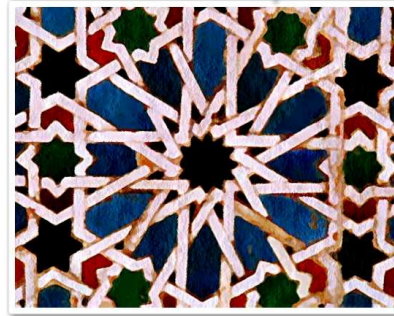
# Índice

## 1. Simetrías:



# Índice

1. Simetrías:

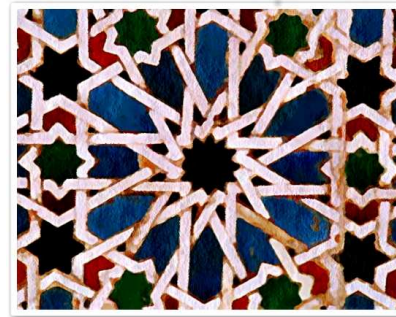


2. Principio de Relatividad:



# Índice

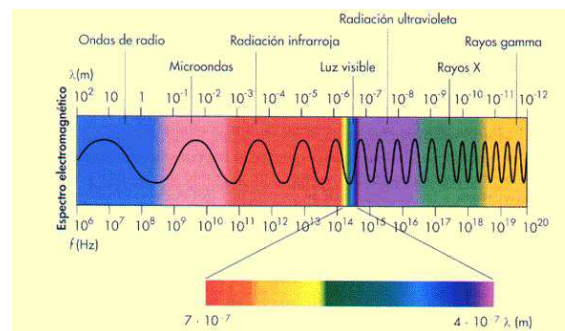
1. Simetrías:



2. Principio de Relatividad:



3. Maxwell y la velocidad de la luz



## 4. Teoría de la Relatividad Especial



## 4. Teoría de la Relatividad Especial



## 5. Espacio de Minkowski





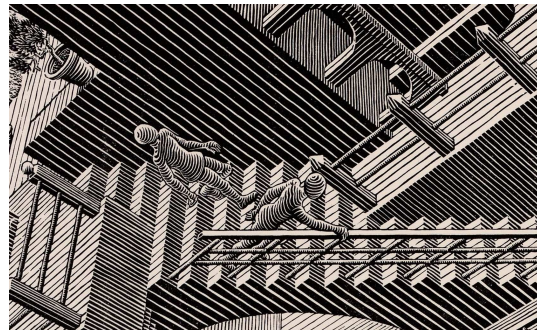
## 4. Teoría de la Relatividad Especial



## 5. Espacio de Minkowski



## 6. Resumen

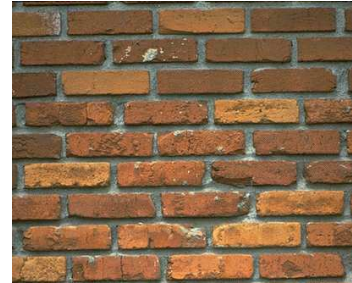




# 1. Simetrías

Simetría = operación que deja sistema invariante

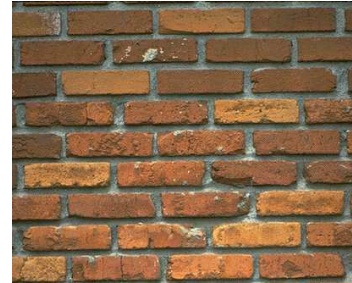
- traslaciones:



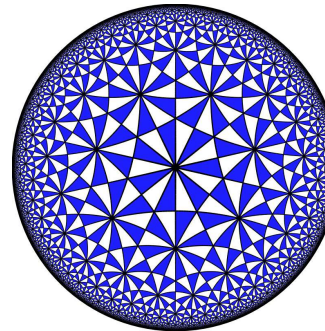
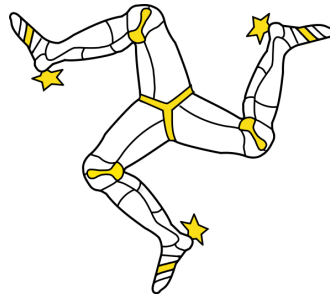
# 1. Simetrías

Simetría = operación que deja sistema invariante

- traslaciones:



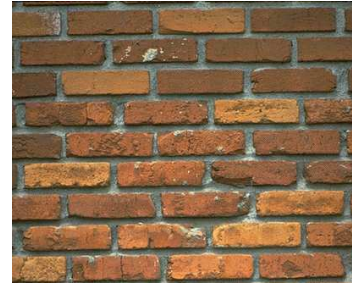
- rotaciones:



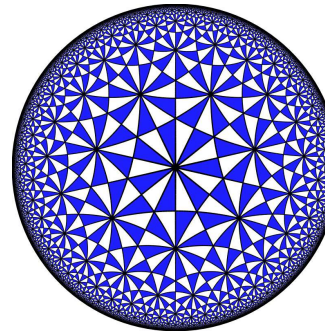
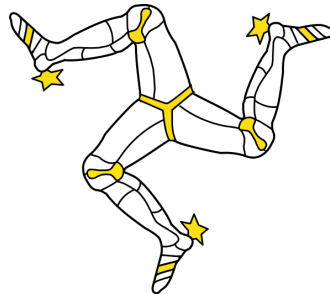
# 1. Simetrías

Simetría = operación que deja sistema invariante

- traslaciones:



- rotaciones:

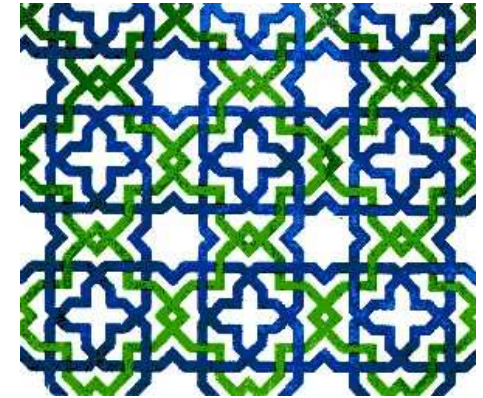
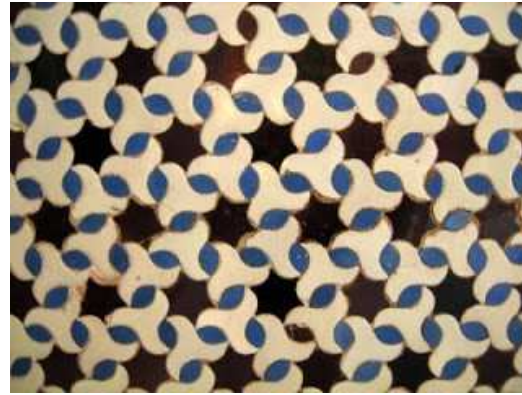
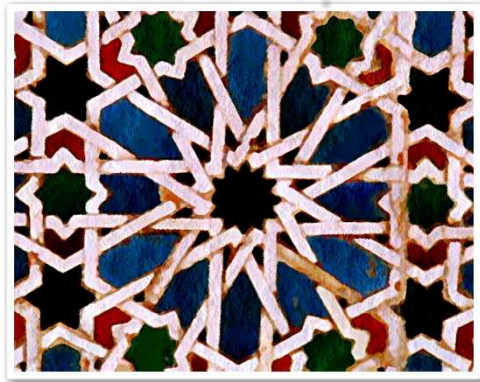


- reflexiones:



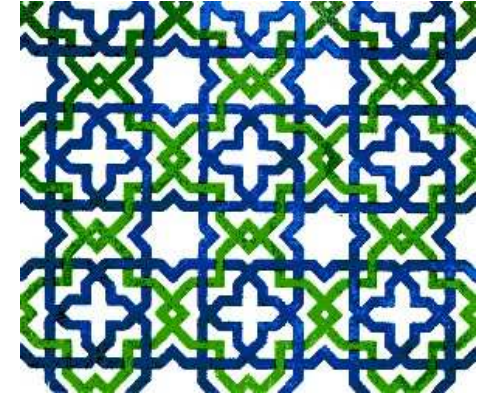
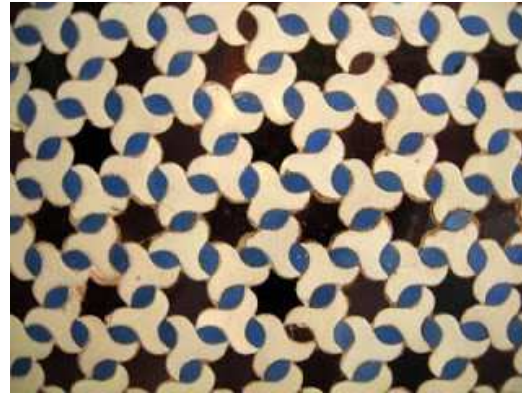
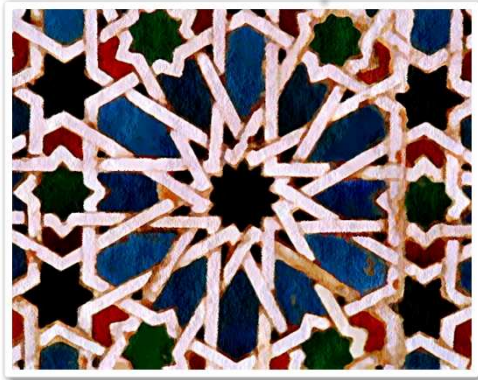


- Combinaciones:



NB: La alhambra es conocida por sus decoraciones simétricas!

- Combinaciones:



NB: La alhambra es conocida por sus decoraciones simétricas!

- Simetrías abstractas:

$$\mathcal{L} = i\hbar \bar{\psi}^A \gamma^\mu \left( \delta^A_B \partial_\mu - ig A_\mu^a (J_a)^A_B \right) \psi^B - \frac{1}{4} F_{\mu\nu}^a F^{\mu\nu a}$$



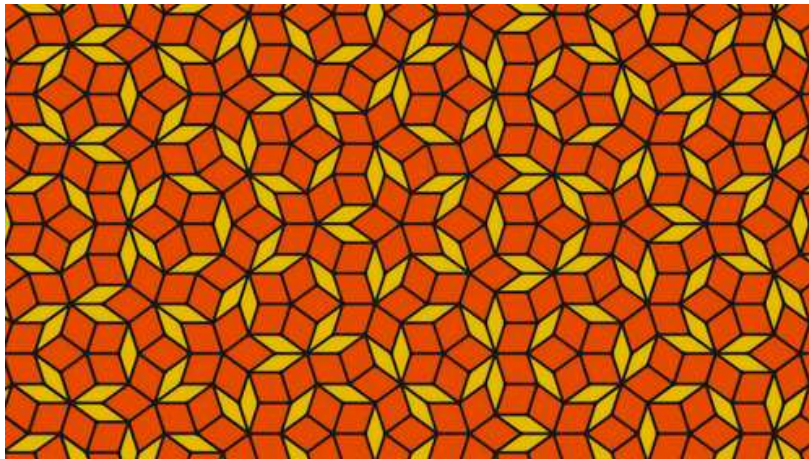
La simetría nos resulta estética y placentera...



La simetría nos resulta estética y placentera...



... en contraste con:

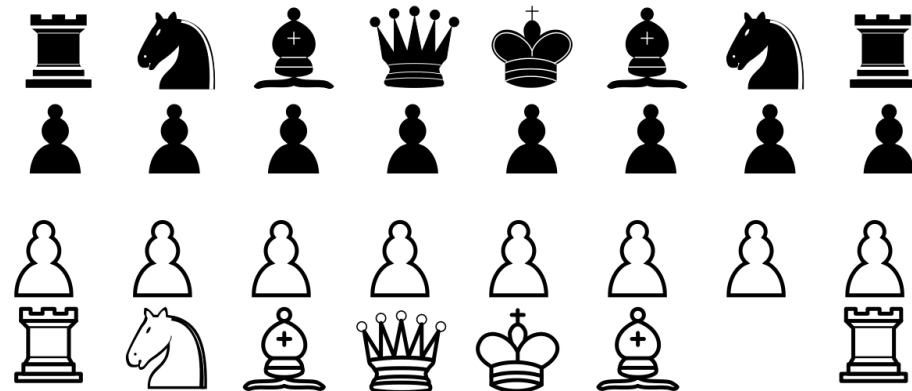
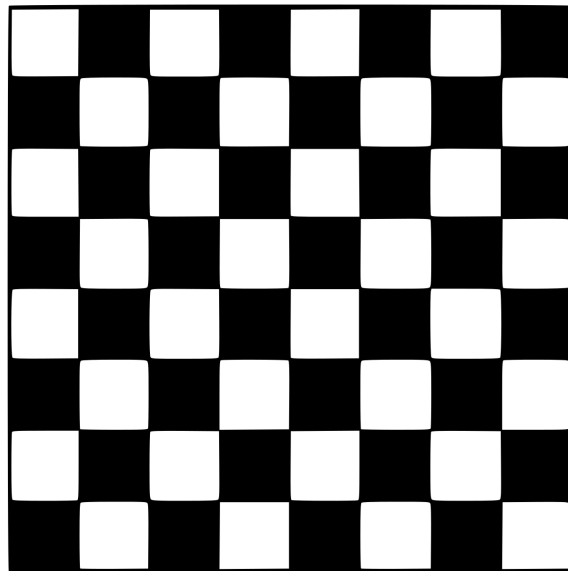




La simetría nos ayuda a completar la imagen...



# La simetría nos ayuda a completar la imagen...



# Ejemplo histórico: propiedades de elementos desconocidos

## Tabla Periódica de los Elementos

<http://chemistry.about.com>  
© 2012 Todd Helmenstine  
About Chemistry

1A																	8A						
1 <b>H</b> 1.00794 Hidrógeno																	2 <b>He</b> 4.002602 Helio						
3 <b>Li</b> 6.941 Litio	4 <b>Be</b> 9.012182 Berilio																	5 <b>B</b> 10.811 Boro	6 <b>C</b> 12.0107 Carbono	7 <b>N</b> 14.0067 Nitrógeno	8 <b>O</b> 15.9994 Oxígeno	9 <b>F</b> 18.9984032 Fluor	10 <b>Ne</b> 20.1797 Neón
11 <b>Na</b> 22.989769 Sodio	12 <b>Mg</b> 24.3050 Magnesio																	13 <b>Al</b> 26.9815386 Aluminio	14 <b>Si</b> 28.0855 Silicio	15 <b>P</b> 30.973762 Fósforo	16 <b>S</b> 32.065 Azufre	17 <b>Cl</b> 35.453 Cloro	18 <b>Ar</b> 39.948 Argón
19 <b>K</b> 39.0983 Potasio	20 <b>Ca</b> 40.078 Calcio	21 <b>Sc</b> 44.955912 Escandio	22 <b>Ti</b> 47.867 Titanio	23 <b>V</b> 50.9415 Vanadio	24 <b>Cr</b> 51.9961 Cromo	25 <b>Mn</b> 54.938045 Manganeso	26 <b>Fe</b> 55.845 Hierro	27 <b>Co</b> 58.933195 Cobalto	28 <b>Ni</b> 58.6934 Níquel	29 <b>Cu</b> 63.546 Cobre	30 <b>Zn</b> 65.38 Zinc	31 <b>Ga</b> 69.723 Galio	32 <b>Ge</b> 72.64 Germanio	33 <b>As</b> 74.92160 Arsénico	34 <b>Se</b> 78.96 Selenio	35 <b>Br</b> 79.904 Bromo	36 <b>Kr</b> 83.798 Kriptón						
37 <b>Rb</b> 85.4678 Rubidio	38 <b>Sr</b> 87.62 Estroncio	39 <b>Y</b> 88.90585 Itrio	40 <b>Zr</b> 91.224 Zirconio	41 <b>Nb</b> 92.90638 Niobio	42 <b>Mo</b> 95.96 Molibdeno	43 <b>Tc</b> [98] Tecnecio	44 <b>Ru</b> 101.07 Rutenio	45 <b>Rh</b> 102.90550 Rodio	46 <b>Pd</b> 106.42 Paladio	47 <b>Ag</b> 107.8682 Plata	48 <b>Cd</b> 112.411 Cadmio	49 <b>In</b> 114.818 Indio	50 <b>Sn</b> 118.710 Estaño	51 <b>Sb</b> 121.760 Antimonio	52 <b>Te</b> 127.60 Telurio	53 <b>I</b> 126.90447 Yodo	54 <b>Xe</b> 131.293 Xenón						
55 <b>Cs</b> 132.9054519 Cesio	56 <b>Ba</b> 137.327 Bario	57-71 Lantánidos	72 <b>Hf</b> 178.49 Hafnio	73 <b>Ta</b> 180.94788 Tantalio	74 <b>W</b> 183.84 Wolframio	75 <b>Re</b> 186.207 Renio	76 <b>Os</b> 190.23 Osmio	77 <b>Ir</b> 192.217 Iridio	78 <b>Pt</b> 195.084 Platino	79 <b>Au</b> 196.966569 Oro	80 <b>Hg</b> 200.59 Mercurio	81 <b>Tl</b> 204.3833 Talio	82 <b>Pb</b> 207.2 Plomo	83 <b>Bi</b> 208.98040 Bismuto	84 <b>Po</b> [209] Polonio	85 <b>At</b> [210] Astatio	86 <b>Rn</b> [222] Radón						
87 <b>Fr</b> [223] Francio	88 <b>Ra</b> [226] Radio	89-103 Actínidos	104 <b>Rf</b> [267] Rutherfordio	105 <b>Db</b> [268] Dubnio	106 <b>Sg</b> [271] Seaborgio	107 <b>Bh</b> [272] Bohrio	108 <b>Hs</b> [270] Hassio	109 <b>Mt</b> [276] Meitnerio	110 <b>Ds</b> [281] Darmstadtio	111 <b>Rg</b> [280] Roentgenio	112 <b>Cn</b> [285] Copernicio	113 <b>Uut</b> [284] Ununtrio	114 <b>Fl</b> [289] Flerovio	115 <b>Uup</b> [288] Ununpentio	116 <b>Lv</b> [293] Livermorio	117 <b>Uus</b> [294] Ununseptio	118 <b>Uuo</b> [294] Ununoctio						

57 <b>La</b> 138.90547 Lantano	58 <b>Ce</b> 140.116 Cerio	59 <b>Pr</b> 140.90765 Praseodimio	60 <b>Nd</b> 144.242 Neodimio	61 <b>Pm</b> [145] Prometio	62 <b>Sm</b> 150.36 Samario	63 <b>Eu</b> 151.964 Europio	64 <b>Gd</b> 157.25 Gadolinio	65 <b>Tb</b> 158.92535 Terbio	66 <b>Dy</b> 162.500 Disprobio	67 <b>Ho</b> 164.93032 Holmio	68 <b>Er</b> 167.259 Erbio	69 <b>Tm</b> 168.93421 Tulio	70 <b>Yb</b> 173.054 Iterbio	71 <b>Lu</b> 174.9668 Lutecio
89 <b>Ac</b> [227] Actinio	90 <b>Th</b> 232.03806 Torio	91 <b>Pa</b> 231.03588 Protactinio	92 <b>U</b> 238.02891 Uranio	93 <b>Np</b> [237] Neptunio	94 <b>Pu</b> [244] Plutonio	95 <b>Am</b> [243] Americio	96 <b>Cm</b> [247] Curio	97 <b>Bk</b> [247] Berkelio	98 <b>Cf</b> [251] Californio	99 <b>Es</b> [252] Einsteinio	100 <b>Fm</b> [257] Fermio	101 <b>Md</b> [258] Mendelevio	102 <b>No</b> [259] Nobelio	103 <b>Lr</b> [262] Laurencio

Alcalino	Alcalinotérreo	Metales del bloque p	Halógeno	Gas noble
No metal	Metal de transición	Metaloides	Lantánidos	Actínidos

Hoy vamos a hablar de una simetría particular:  
**Simetría entre reposo y movimiento uniforme rectilíneo**





Hoy vamos a hablar de una simetría particular:  
**Simetría entre reposo y movimiento uniforme rectilíneo**



¿Cómo podemos saber si estamos en reposo o en movimiento?



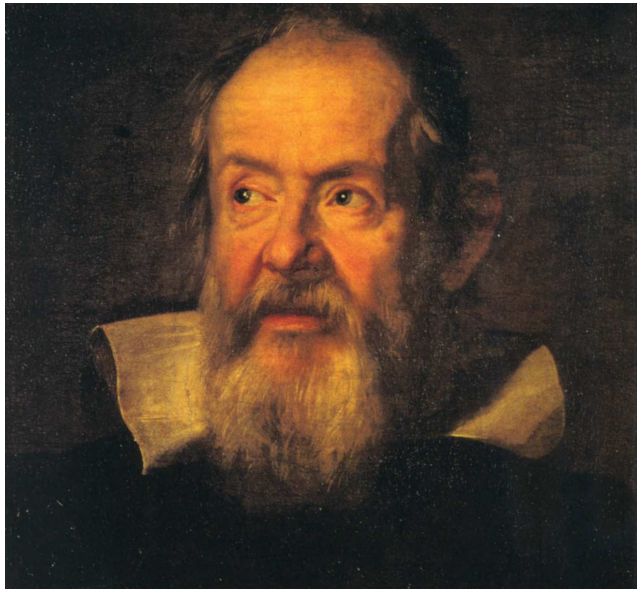
NB: La simetría solo es entre reposo y movimiento uniforme rectilíneo  
Los cambios de velocidad son fácilmente detectables



→ Hoy solo consideraremos movimiento uniforme rectilíneo...  
...sino deberíamos recurrir a la [Relatividad General](#)



## 2. Principio de la Relatividad



Es imposible determinar a base de experimentos físicos si un sistema de referencia está en reposo o en movimiento uniforme rectilíneo.

Galileo Galilei, ca. 1600



?  
←

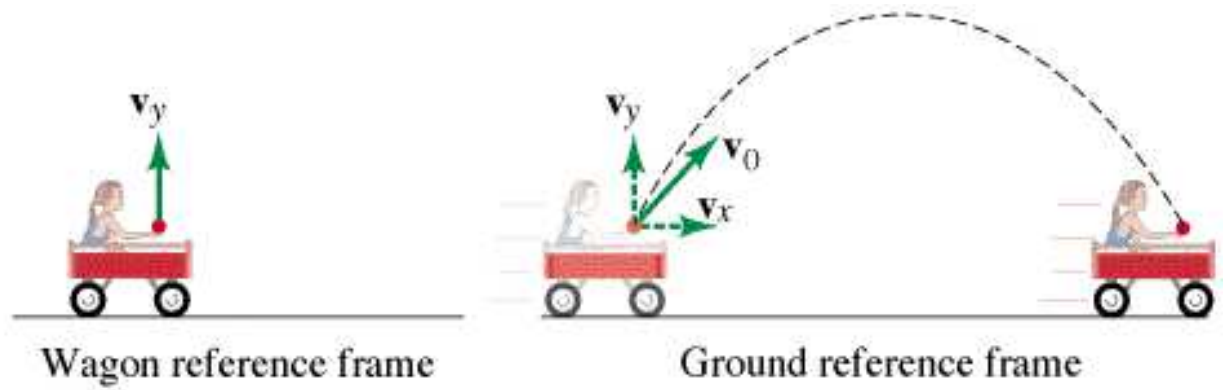
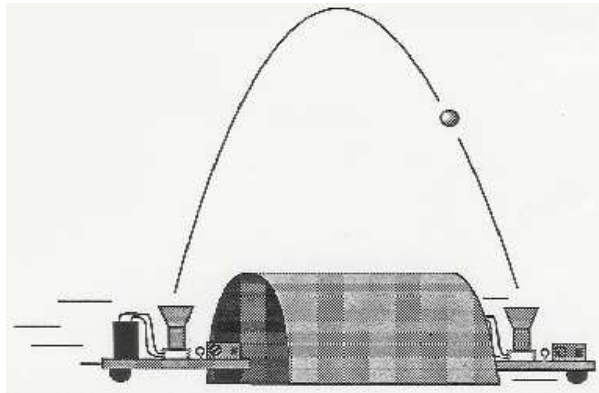


?  
→

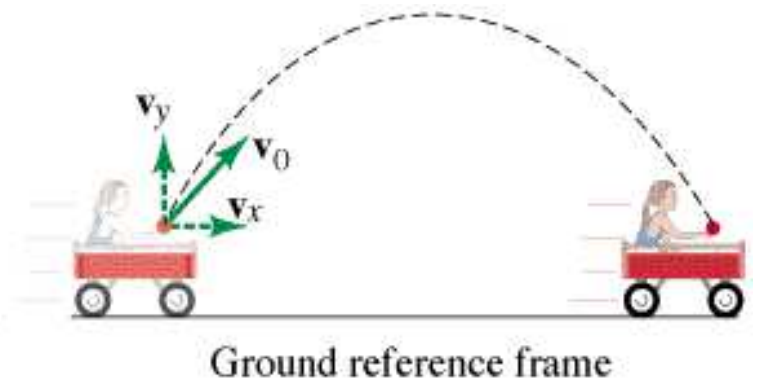
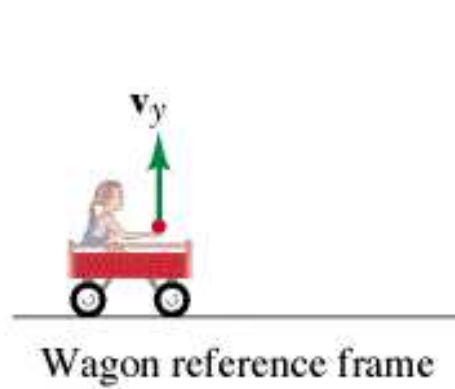
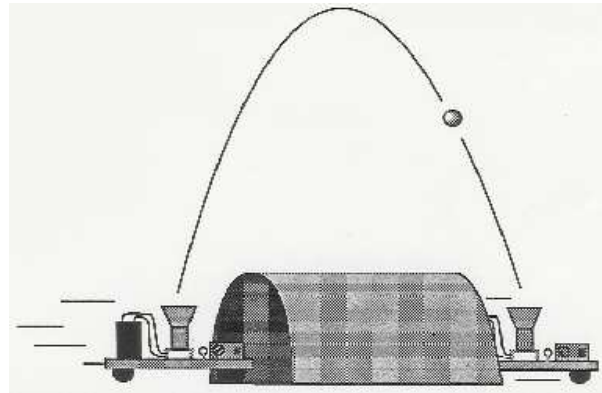




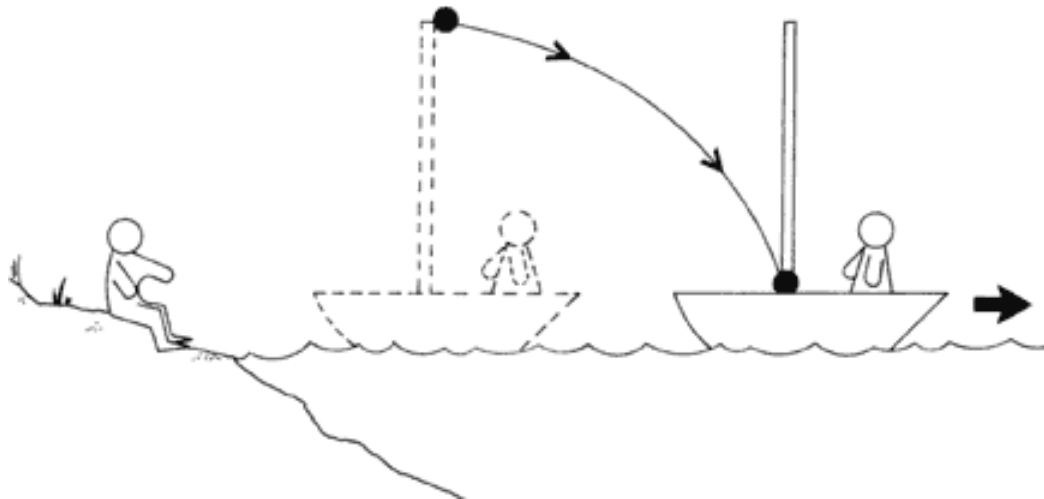
Una  $m$  mantiene su estado MUR, hasta que  $\vec{F}$  actúe sobre ella



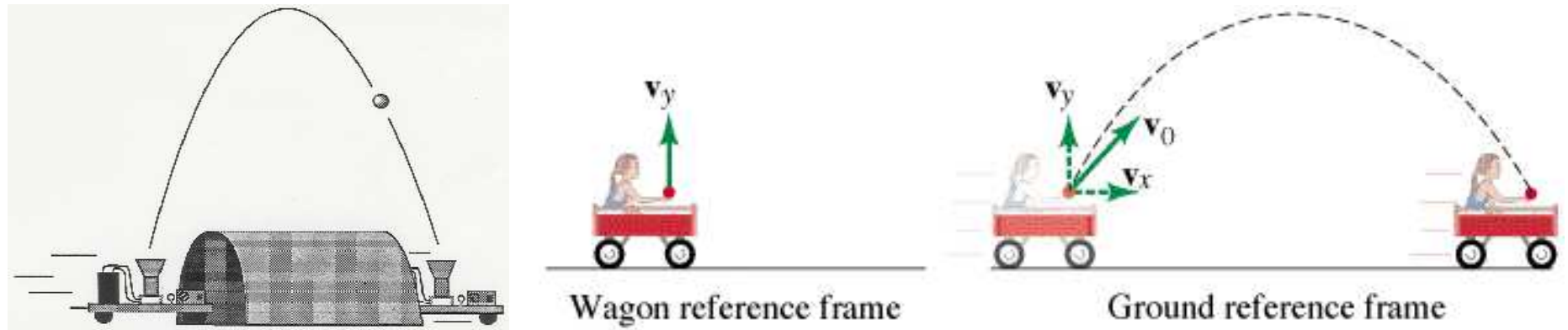
Una  $m$  mantiene su estado MUR, hasta que  $\vec{F}$  actúe sobre ella



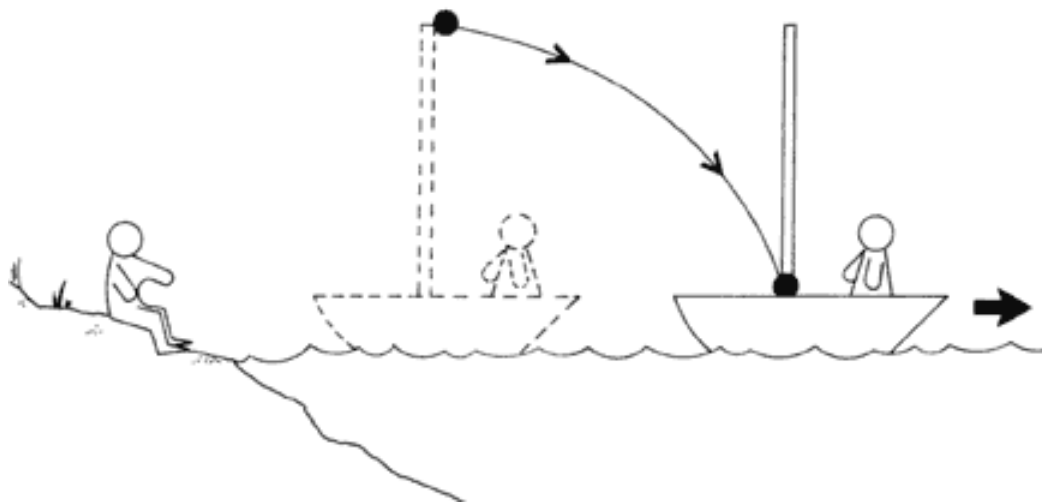
—> Lanzamiento vertical y tiro parabólico son **distintos puntos de vista**



Una  $m$  mantiene su estado MUR, hasta que  $\vec{F}$  actúe sobre ella

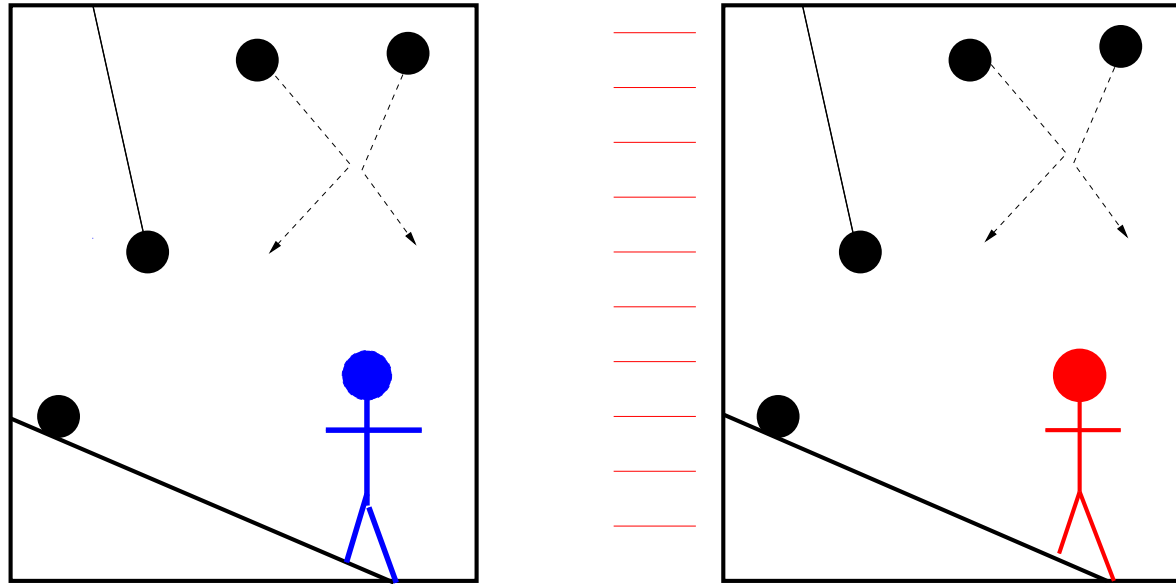


→ Lanzamiento vertical y tiro parabólico son **distintos puntos de vista**

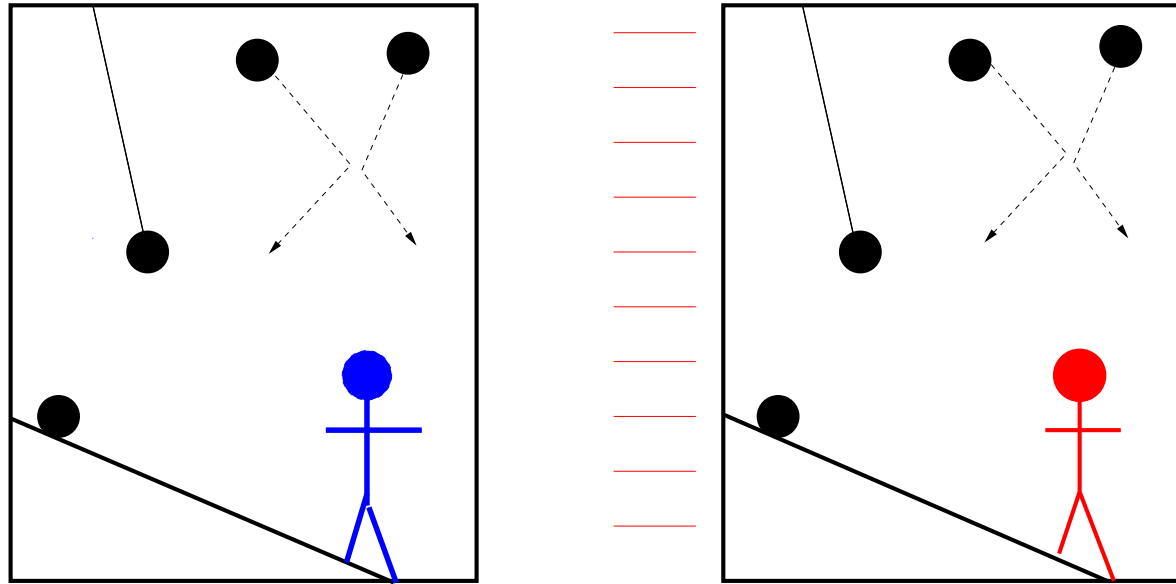


→ Un observador en MUR **ve la misma física** que en reposo

—→ Los resultados experimentales son idénticos en reposo o en MUR



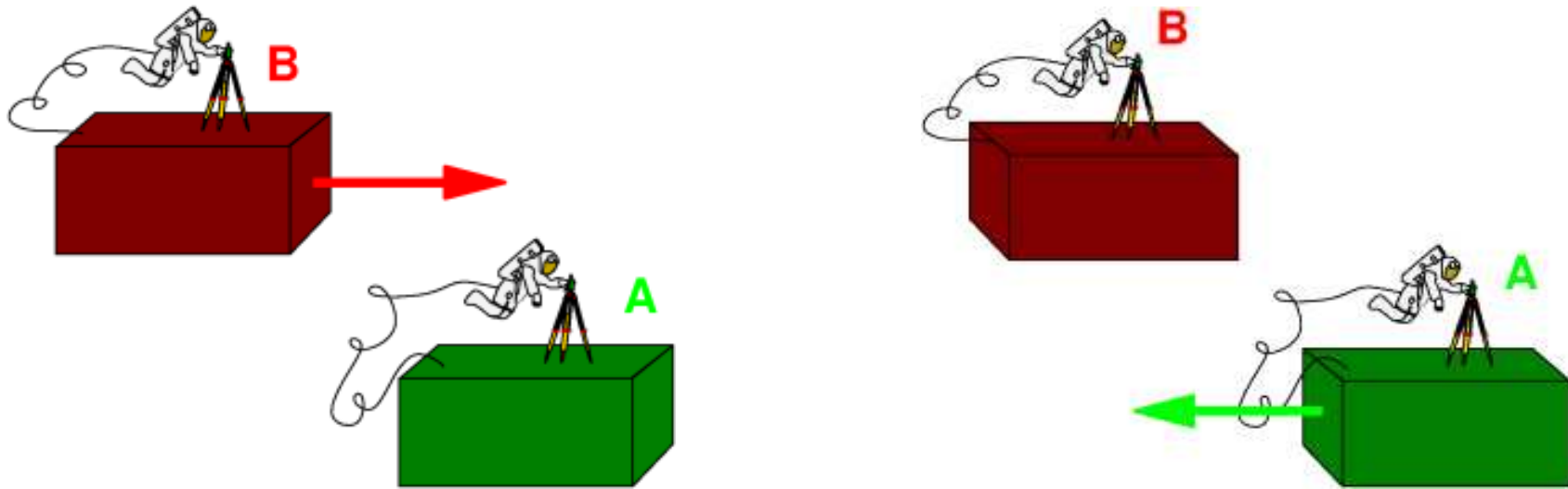
—→ Los resultados experimentales son idénticos en reposo o en MUR



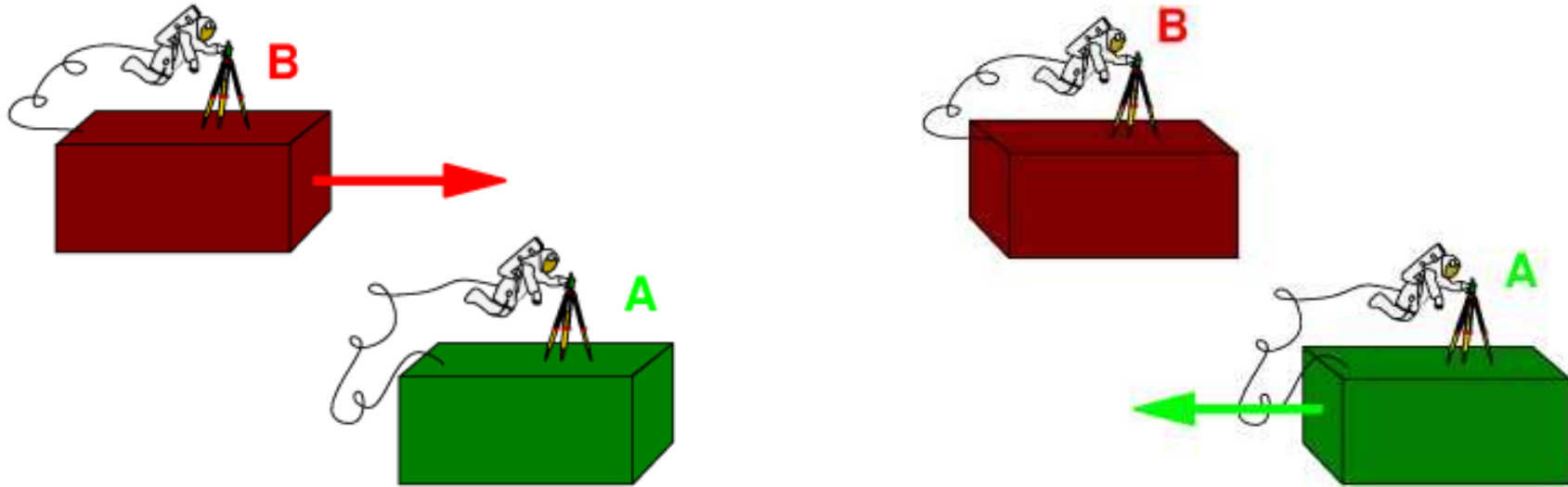
Pero... ¿habrá alguna manera de decidir quién está en reposo y quién no?



—→ Si no hay manera de medir la diferencia, es que **no hay diferencia**  
(cualquier otra definición es un convenio)



—→ Si no hay manera de medir la diferencia, es que **no hay diferencia**  
(cualquier otra definición es un convenio)

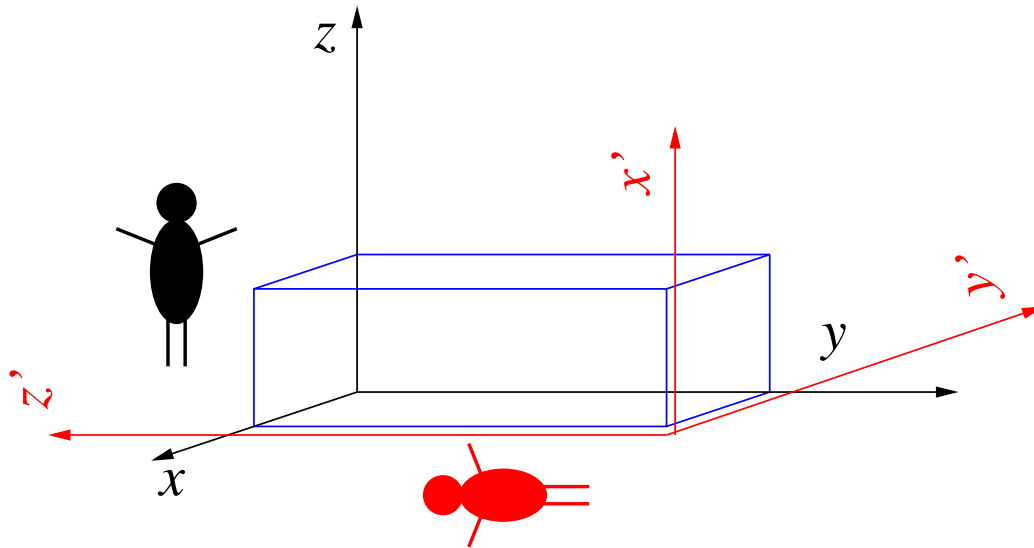


—→ Reposo absoluto y movimiento absoluto no existen  
**Sólo existen reposo relativo y movimiento relativo**





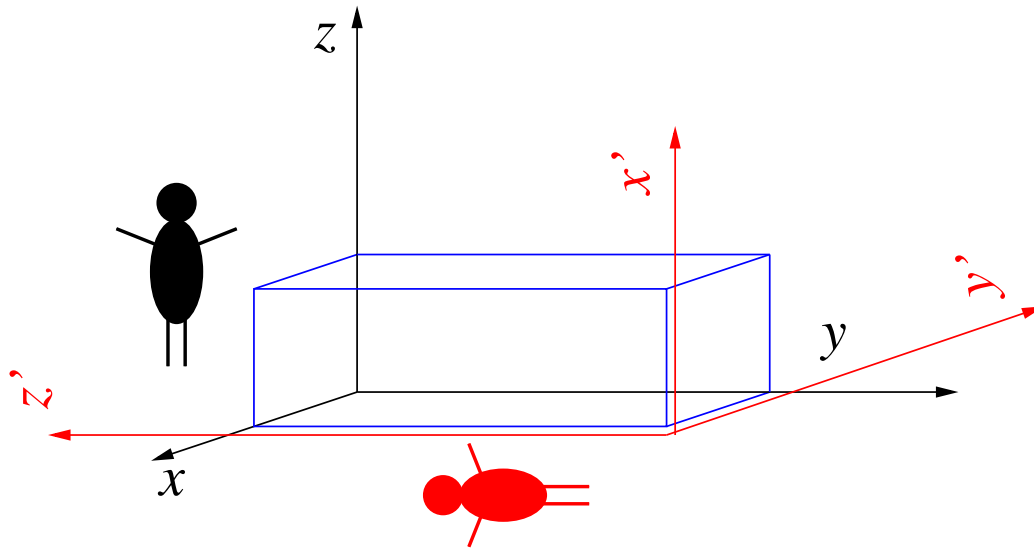
Muy similar a una rotación:



Observador negro: caja es más ancha que alta

Observador rojo: caja es más alta que ancha

Muy similar a una rotación:



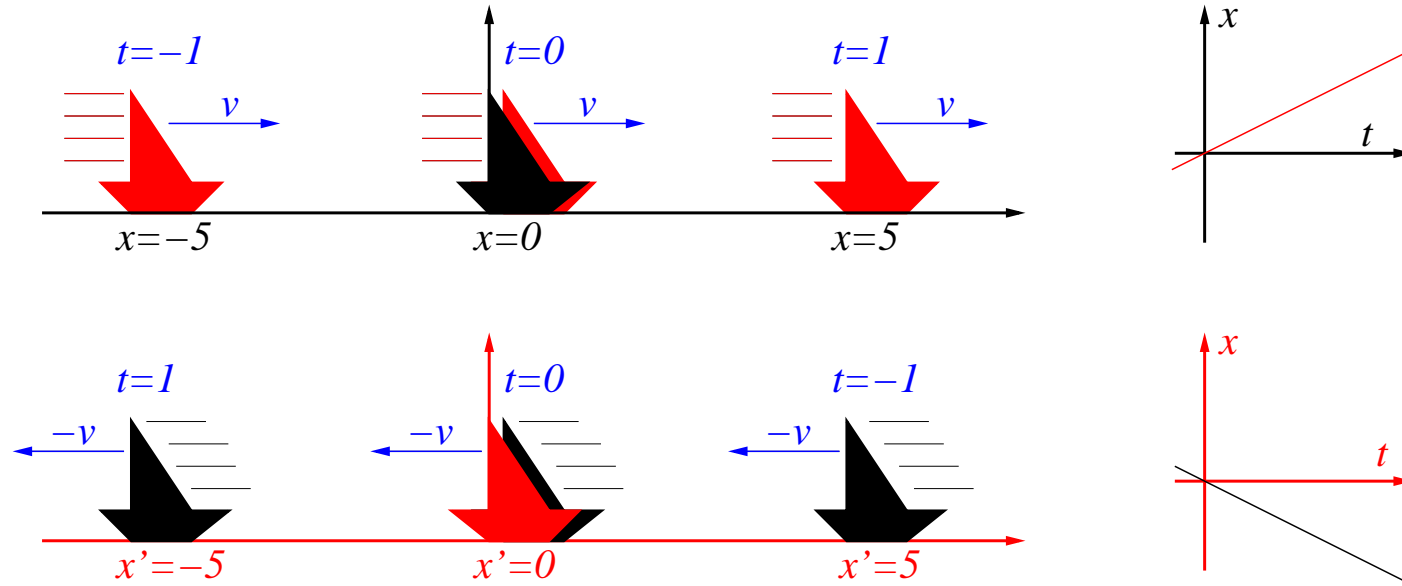
Observador negro: caja es más ancha que alta

Observador rojo: caja es más alta que ancha



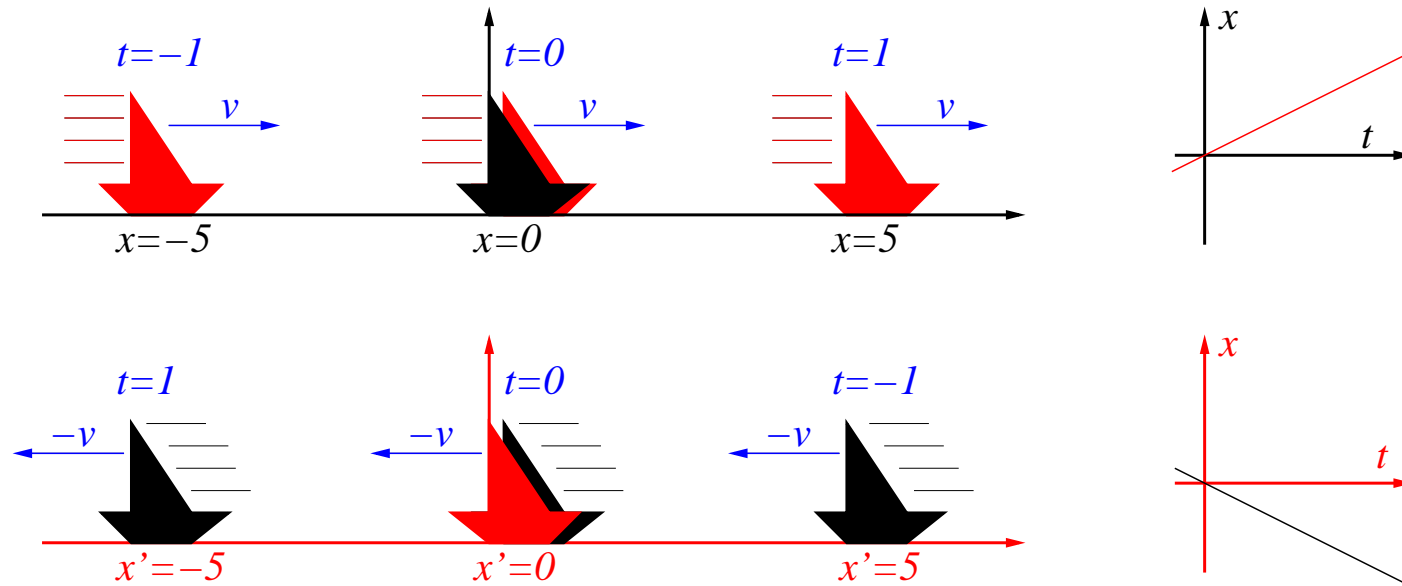
delante y detras, arriba y abajo, izquierda y derecha son **conceptos relativos**

# Relación con coordenadas:



- Cada observador cree que está en reposo

## Relación con coordenadas:

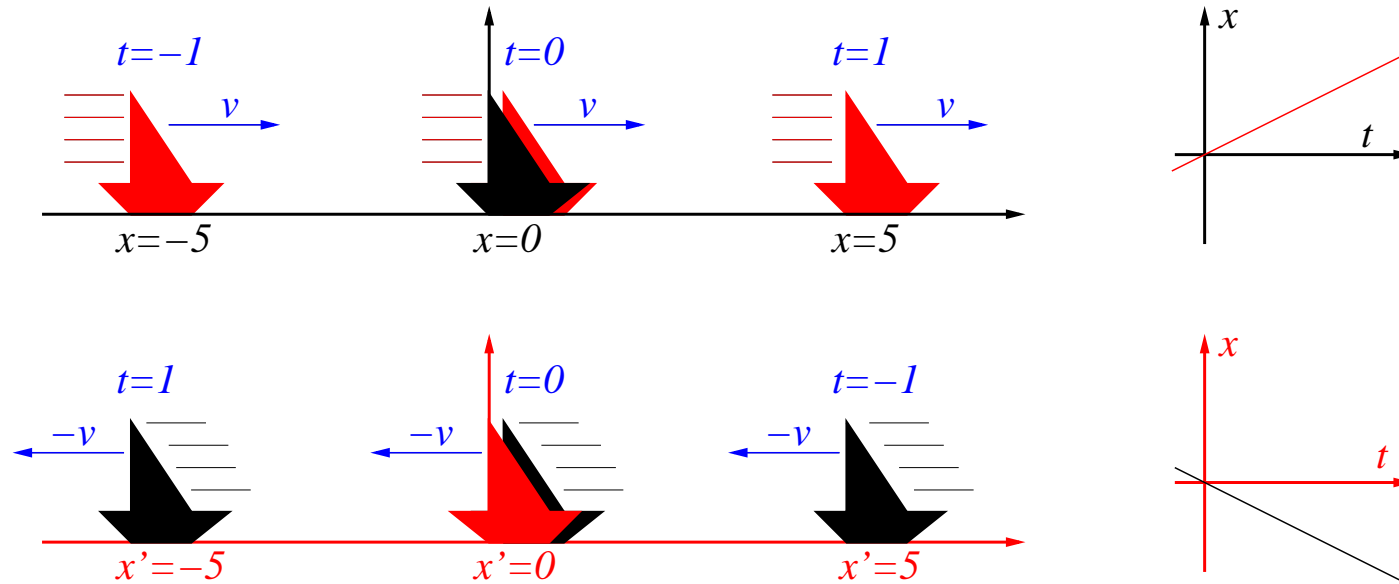


- Cada observador cree que está en reposo
- Cada observador elige su propia posición como origen de sus coordenadas

$$\mathcal{O} : x(t) = x_0 + vt,$$

$$\mathcal{O}' : x'(t) = x'_0 - vt$$

## Relación con coordenadas:



- Cada observador cree que está en reposo
- Cada observador elige su propia posición como origen de sus coordenadas

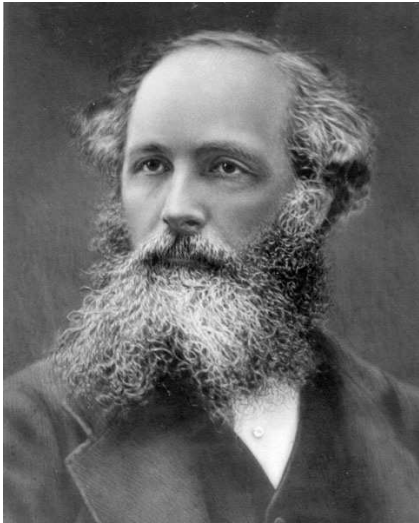
$$\mathcal{O} : x(t) = x_0 + vt, \quad \mathcal{O}' : x'(t) = x'_0 - vt$$

- Dos sistemas relacionados por una transformación de Galilei

$$x' = x + vt$$

- > Manera de traducir los resultados de dos observadores
- > **Simetría: Física invariante** bajo transformación de Galilei

### 3. Maxwell y la velocidad de la luz



Maxwell (1865):

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

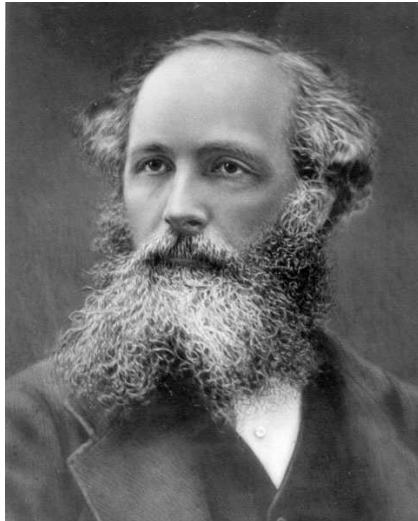
$$\vec{\nabla} \cdot \vec{B} = 0$$

$$\vec{\nabla} \times \vec{E} = -\frac{1}{c} \partial_t \vec{B}$$

$$\vec{\nabla} \times \vec{B} = \frac{1}{c} \partial_t \vec{E}$$

donde  $c = 300\,000 \text{ km/s} = \text{velocidad de la luz}$

# 3. Maxwell y la velocidad de la luz



Maxwell (1865):

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

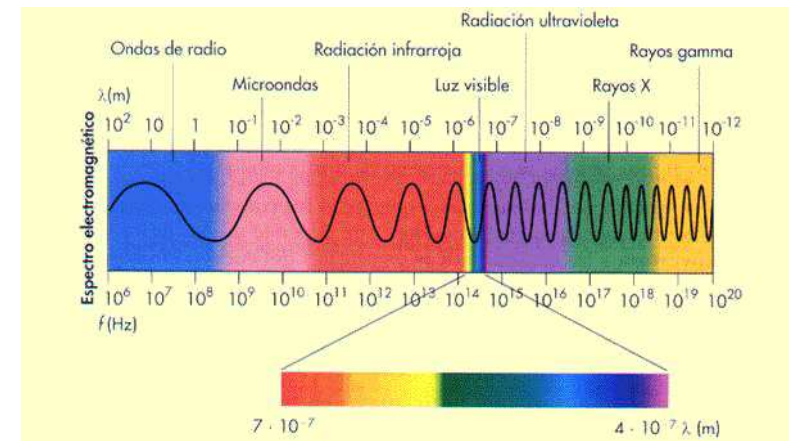
$$\vec{\nabla} \cdot \vec{B} = 0$$

$$\vec{\nabla} \times \vec{E} = -\frac{1}{c} \partial_t \vec{B}$$

$$\vec{\nabla} \times \vec{B} = \frac{1}{c} \partial_t \vec{E}$$

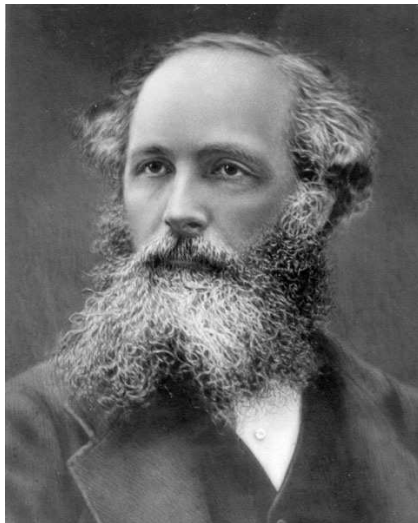
donde  $c = 300\,000 \text{ km/s} = \text{velocidad de la luz}$

Luz = ondas electromagnéticas  
= paquetes de campo electromagnético  
que se mueven por el espacio  
a  $300\,000 \text{ km/s}$





# 3. Maxwell y la velocidad de la luz



Maxwell (1865):

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

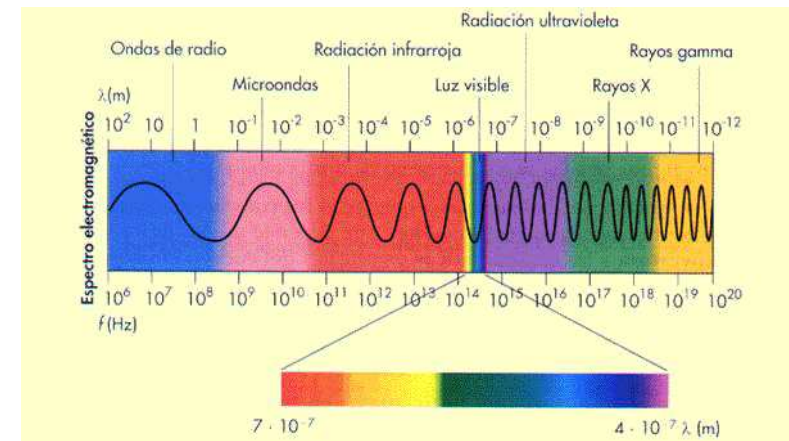
$$\vec{\nabla} \cdot \vec{B} = 0$$

$$\vec{\nabla} \times \vec{E} = -\frac{1}{c} \partial_t \vec{B}$$

$$\vec{\nabla} \times \vec{B} = \frac{1}{c} \partial_t \vec{E}$$

donde  $c = 300\,000 \text{ km/s} = \text{velocidad de la luz}$

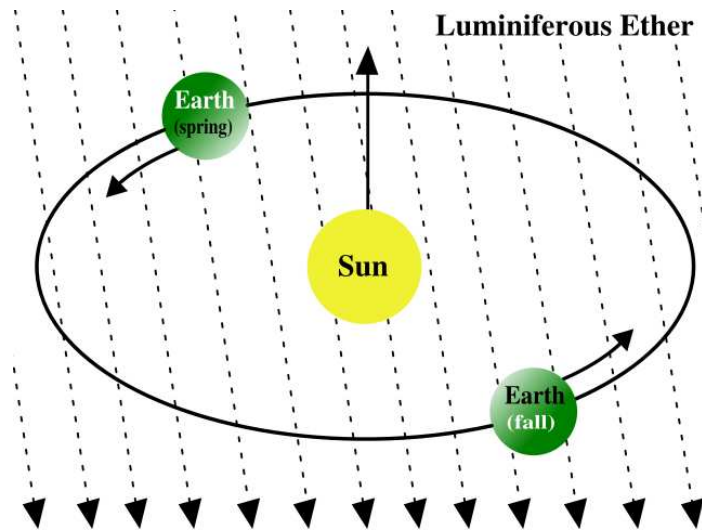
Luz = ondas electromagnéticas  
= paquetes de campo electromagnético  
que se mueven por el espacio  
a  $300\,000 \text{ km/s}$



→ “ $300\,000 \text{ km/s}$  ¿Con respecto a QUÉ?” (hubiera dicho Galilei...)

Respuesta del Siglo XIX: “con respecto al aether luminifero...”

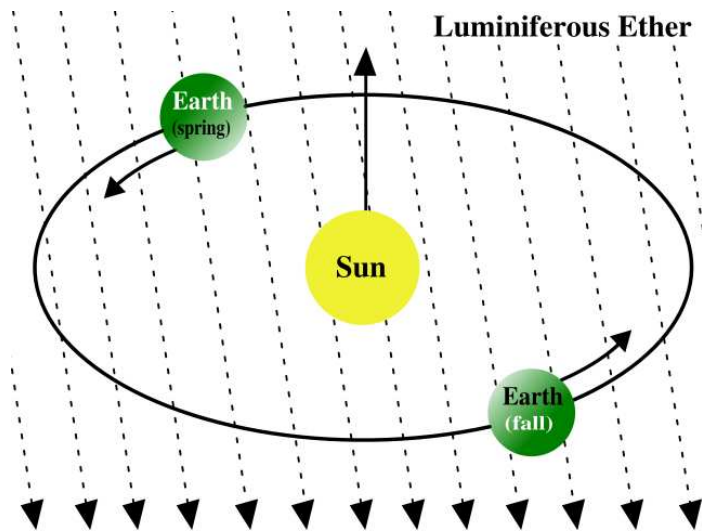
Aether = medio en que se propagan las ondas electromagéticas



- omnipresente y uniformemente distribuido
- muy ligero: no hay rozamiento con objetos materiales
- muy denso y muy rígido: suportar velocidades y frecuencias muy altas
- ...

Respuesta del Siglo XIX: “con respecto al aether luminifero...”

Aether = medio en que se propagan las ondas electromagéticas



- omnipresente y uniformemente distribuido
- muy ligero: no hay rozamiento con objetos materiales
- muy denso y muy rígido: suportar velocidades y frecuencias muy altas
- ...

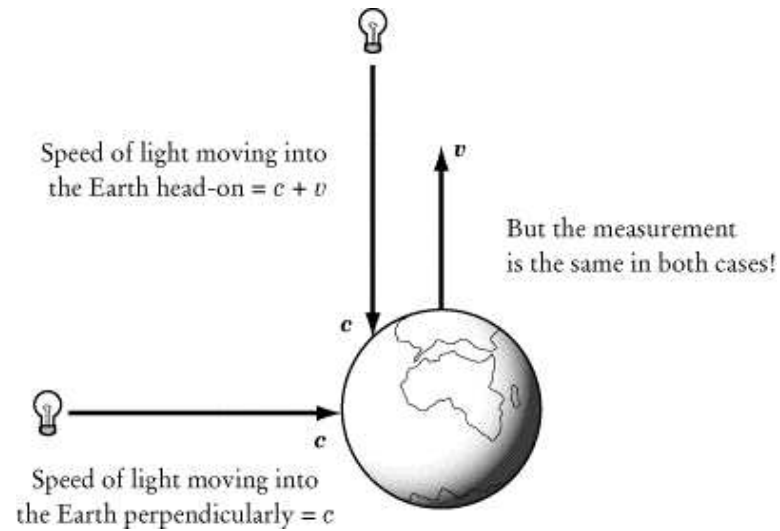
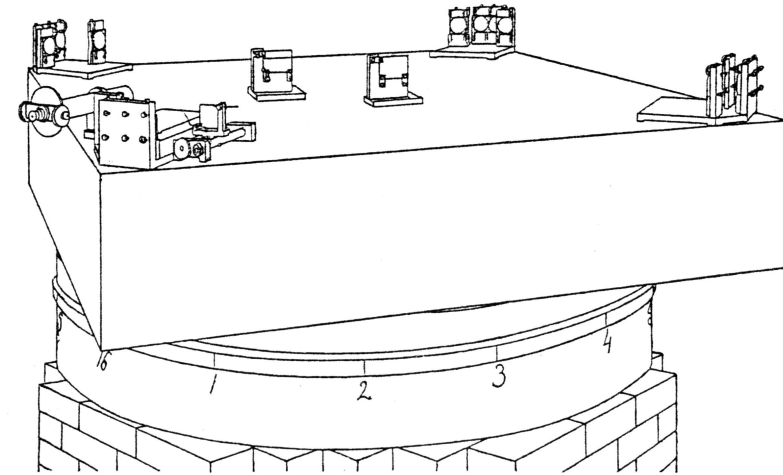
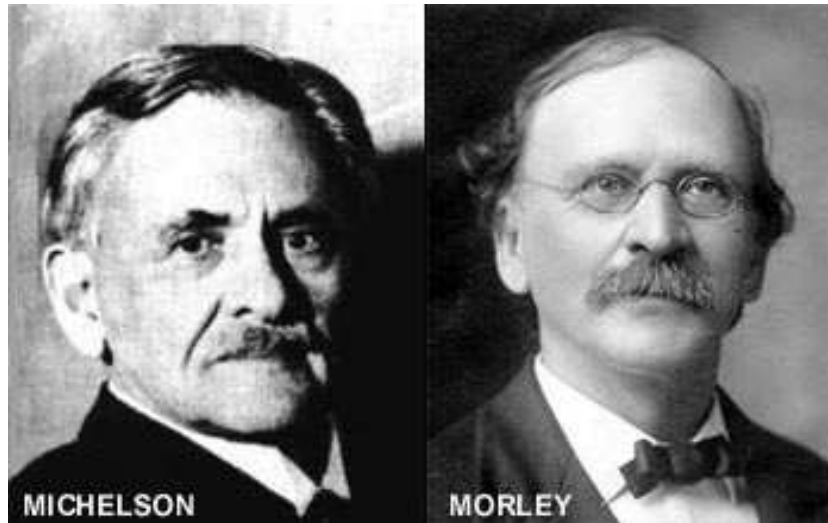
→ Detectar movimiento con respecto al aether!

¿Qué veo en un espejo a la velocidad de la luz?



→ ¡¡Incompatible con el Principio de la Relatividad!!

# El frustrado experimento de Michelson & Morley (1887):



→ No hay resultado medible! ¿¿??



# 4. La teoría de la Relatividad Especial



Einstein (1905):

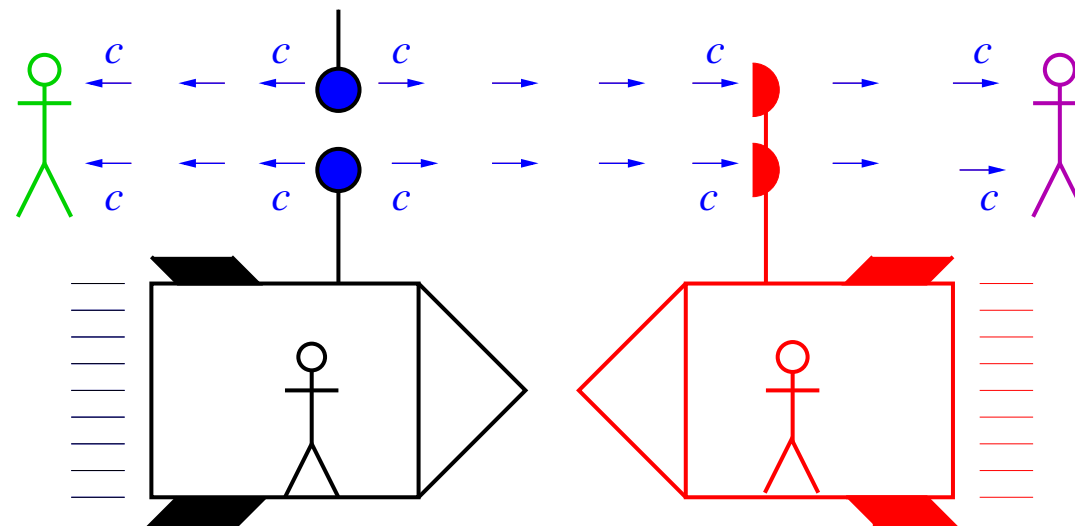
- Todos los observadores inerciales son equivalentes
- La velocidad de la luz es constante, independientemente del estado de movimiento de la fuente o del detector

# 4. La teoría de la Relatividad Especial



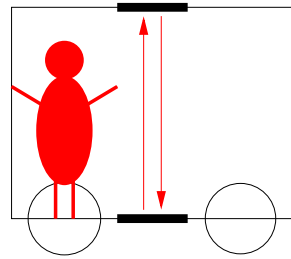
Einstein (1905):

- Todos los observadores inerciales son equivalentes
- La velocidad de la luz es constante, independientemente del estado de movimiento de la fuente o del detector

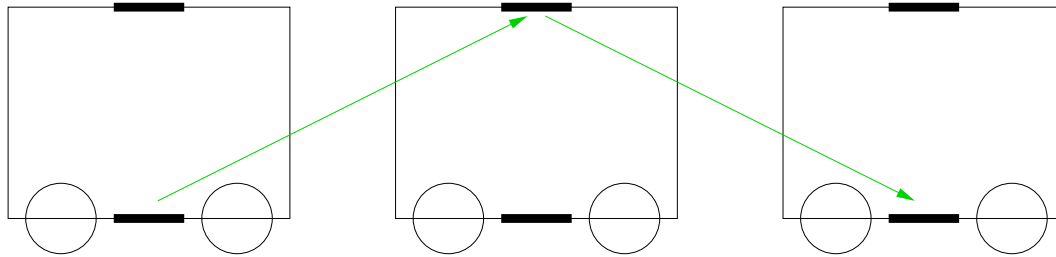
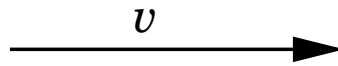


—→ muy extraño, pero no inconsistente...

# El tiempo no fluye igual para todo el mundo



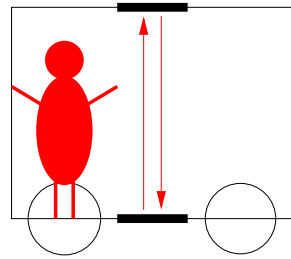
$$c = \Delta s' / \Delta t'$$



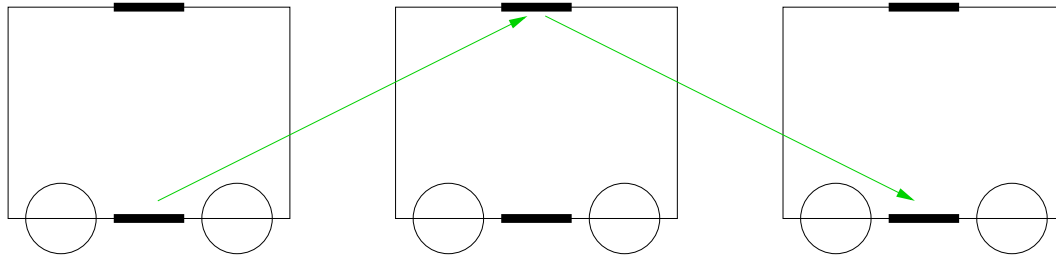
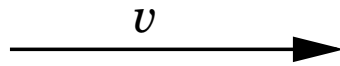
$$c = \Delta s / \Delta t$$



# El tiempo no fluye igual para todo el mundo



$$c = \Delta s' / \Delta t'$$



$$c = \Delta s / \Delta t$$



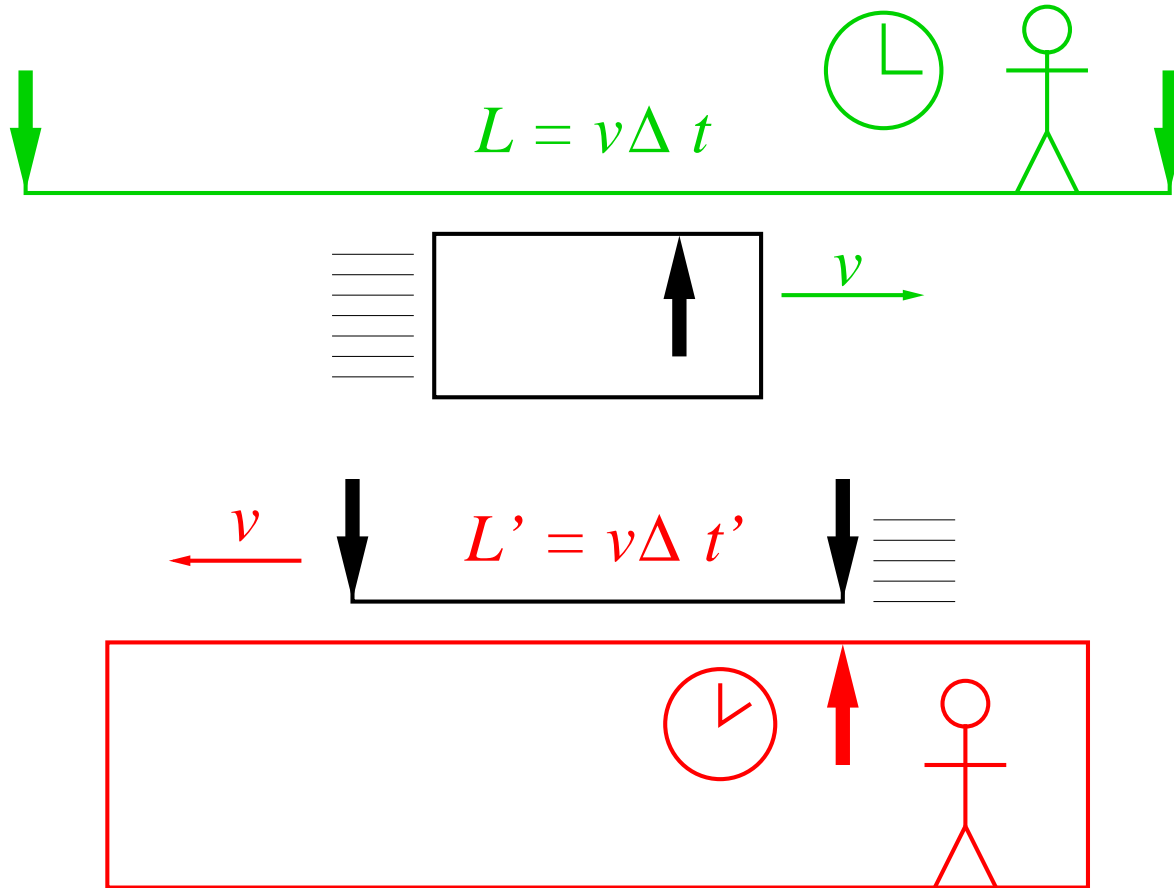
$$\left. \begin{array}{l} c = c \\ \Delta s' < \Delta s \end{array} \right\} \implies \Delta t' < \Delta t$$

$$\Delta t = \frac{\Delta t'}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

Ha pasado más tiempo para el jefe de estación que para el maquinista

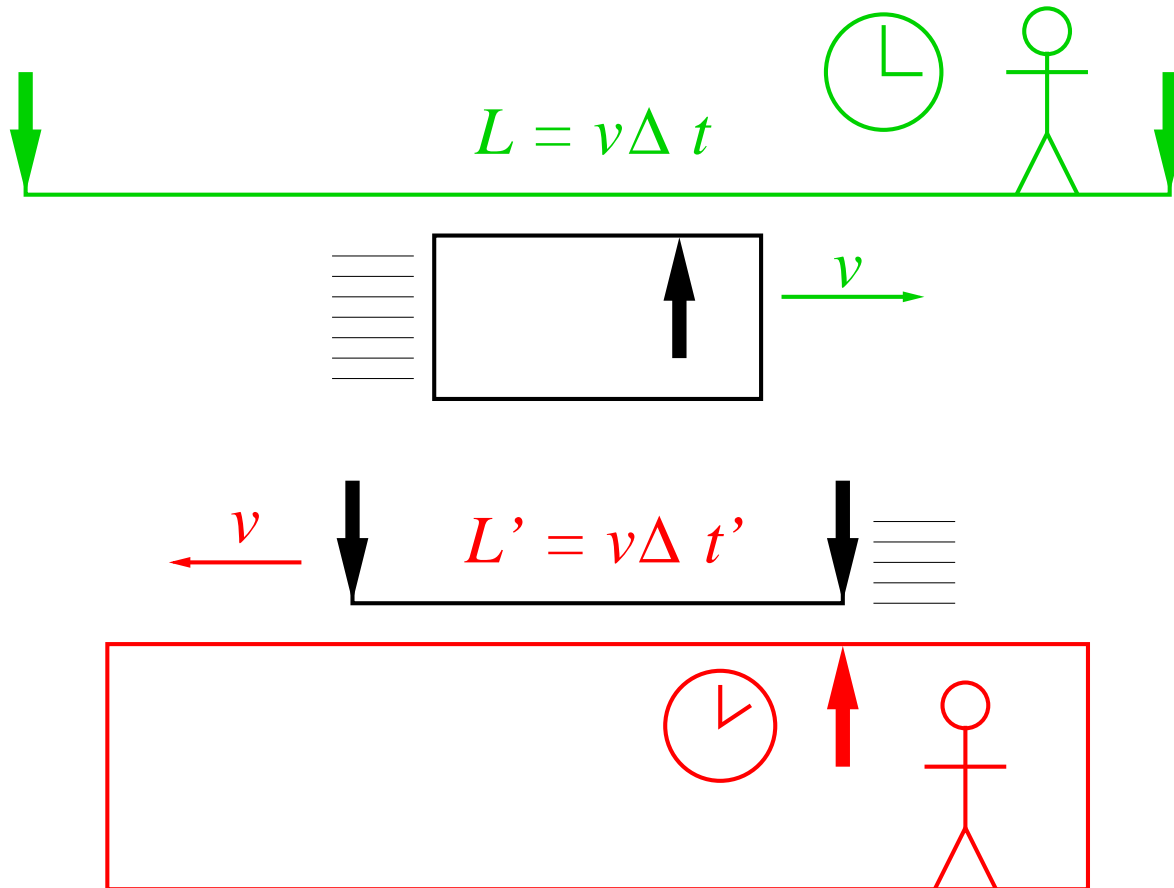
→ Dilatación temporal

—→ Los objetos no son iguales de largos para todo el mundo





→ Los objetos no son iguales de largos para todo el mundo



$$\left. \begin{array}{l} v = v \\ \Delta t' < \Delta t \end{array} \right\} \Rightarrow L' < L \qquad L' = L \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$$

El andén es más corto para el **maquinista** que para el **jefe de estación**

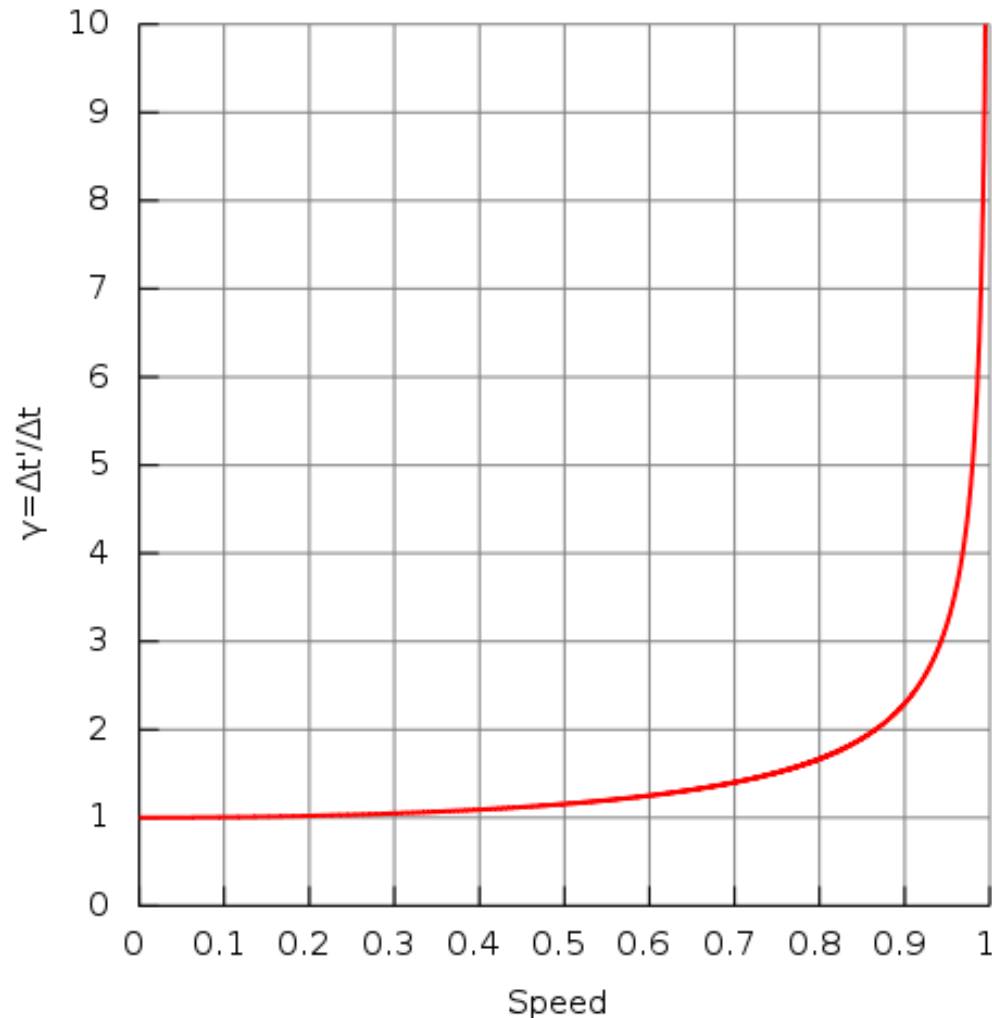
## —→ Contracción de Lorentz

## Dilatación temporal:

el tiempo corre más lento para los observadores en movimiento

## Contracción de Lorentz:

las distancias son más cortas para los observadores en movimiento



$$t' = \frac{t}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

$$L' = L \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$$

$$v \ll c: t' \approx t, \quad L' \approx L$$

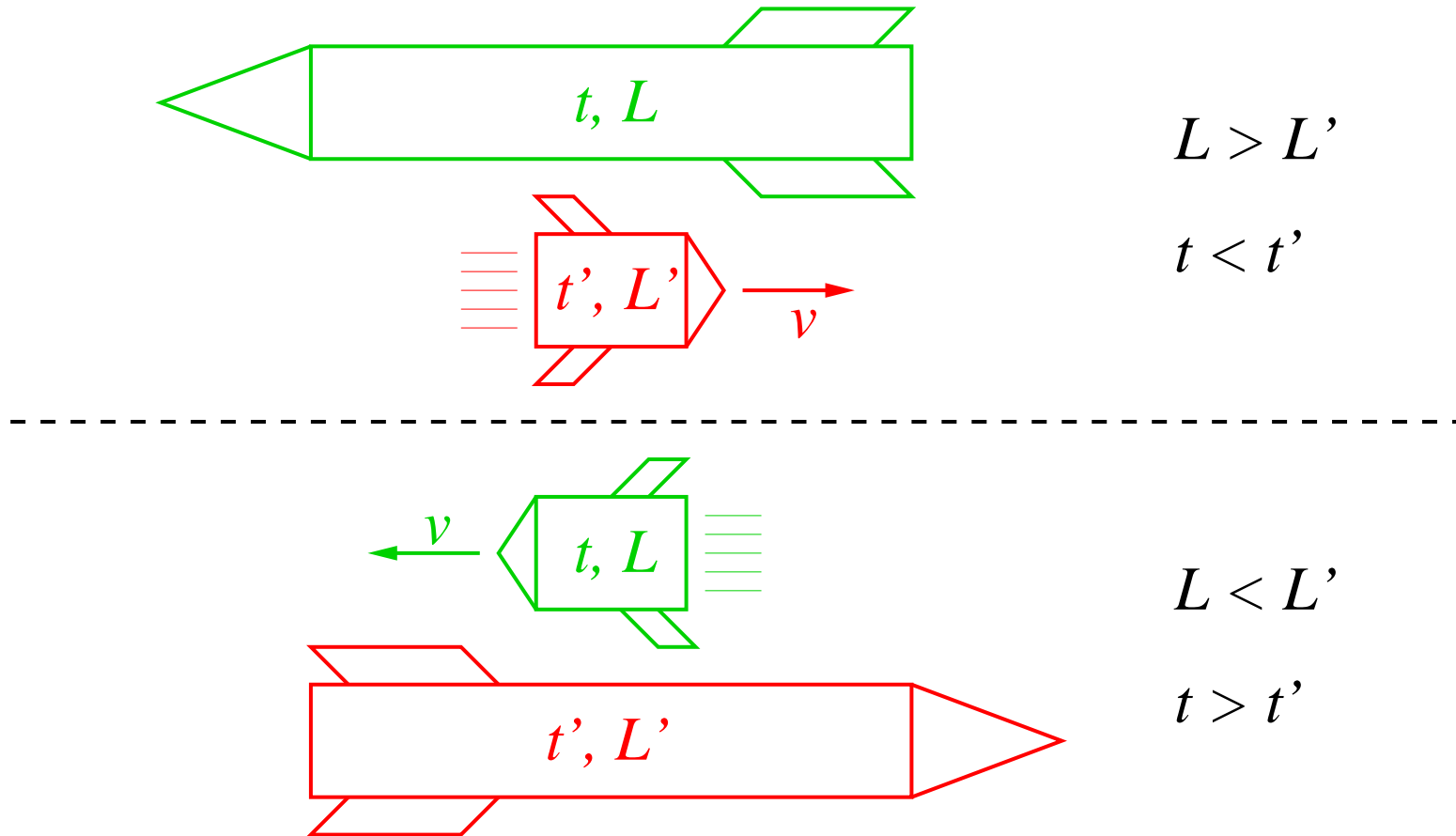
$$v \approx c: t' \gg t, \quad L' \ll L$$

¿Quién realmente está en reposo y quién realmente se mueve?

→ El movimiento es relativo

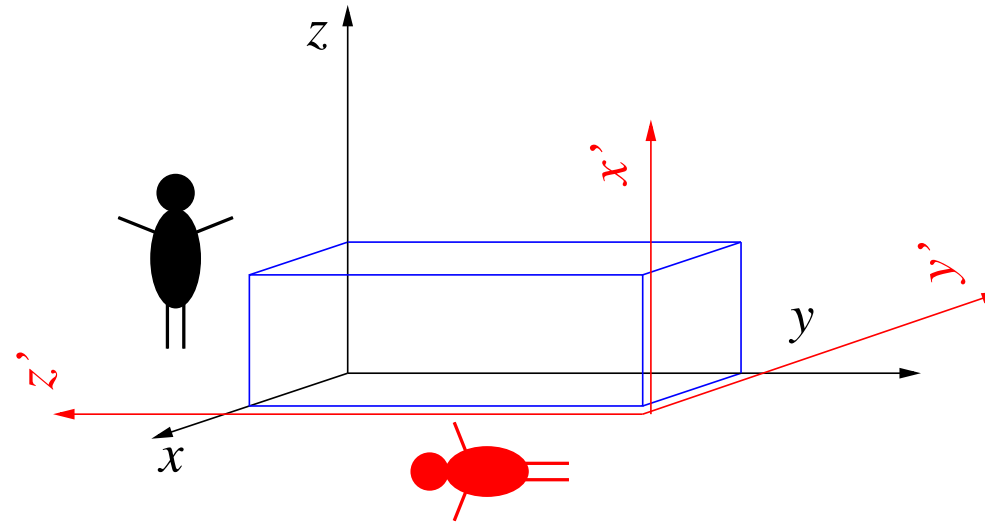
¿Quién realmente está en reposo y quién realmente se mueve?

- El movimiento es relativo
- El tiempo es relativo
- Las distancias son relativas





Recuerda:



Delante y detras, arriba y abajo, izquierda y derecha son conceptos relativos

→ Intervalos de tiempo y longitud de objetos también...

# 5. El espaciotiempo

$N$  dimensiones =  $N$  grados de libertad  
=  $N$  de direcciones en que se puede mover

# 5. El espaciotiempo

$N$  dimensiones =  $N$  grados de libertad

=  $N$  de direcciones en que se puede mover

- Unidimensional: 1 coordenada para especificar la posición



# 5. El espaciotiempo

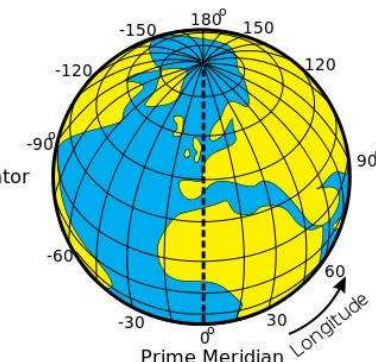
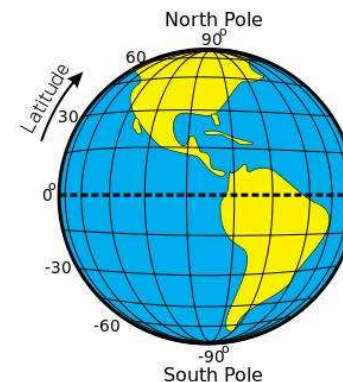
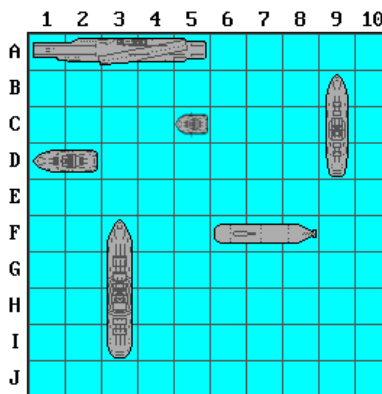
$N$  dimensiones =  $N$  grados de libertad

=  $N$  de direcciones en que se puede mover

- Unidimensional: 1 coordenada para especificar la posición



- Bi-dimensional: 2 coordenadas para especificar la posición



- Tridimensional: 3 coordenadas para especificar la posición





- Tridimensional: 3 coordenadas para especificar la posición

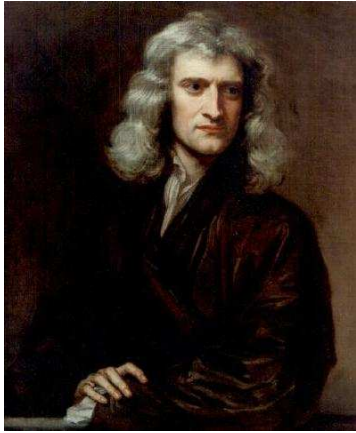


- El tiempo es una cuarta dimensión!

Evento = algo que ocurre en cierto lugar en cierto momento



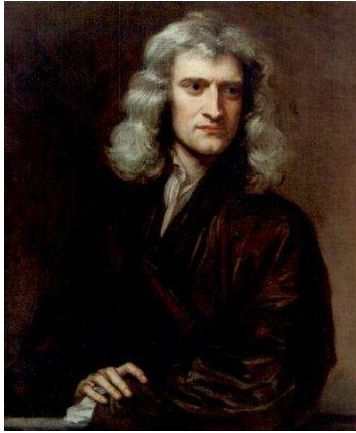
→ 4 coordenadas para especificar evento:  $\{t, x, y, z\}$



Para Newton:

“El tiempo absoluto, verdadero y matemático por sí mismo y su propia naturaleza fluye equitativamente sin referencia a algo externo.”

⇒ Tiempo  $t$  es parámetro externo,  
idéntico para todos los observadores

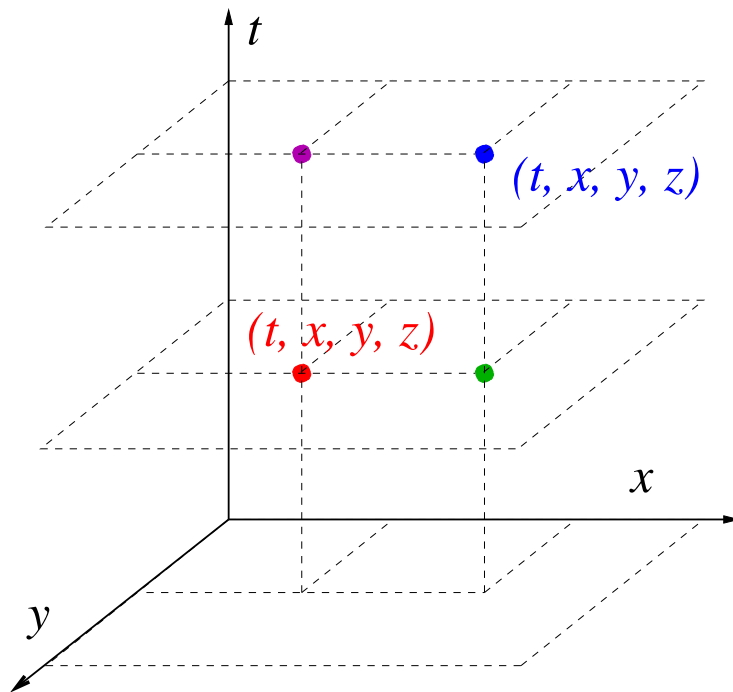


Para Newton:

“El tiempo absoluto, verdadero y matemático por sí mismo y su propia naturaleza fluye equitativamente sin referencia a algo externo.”

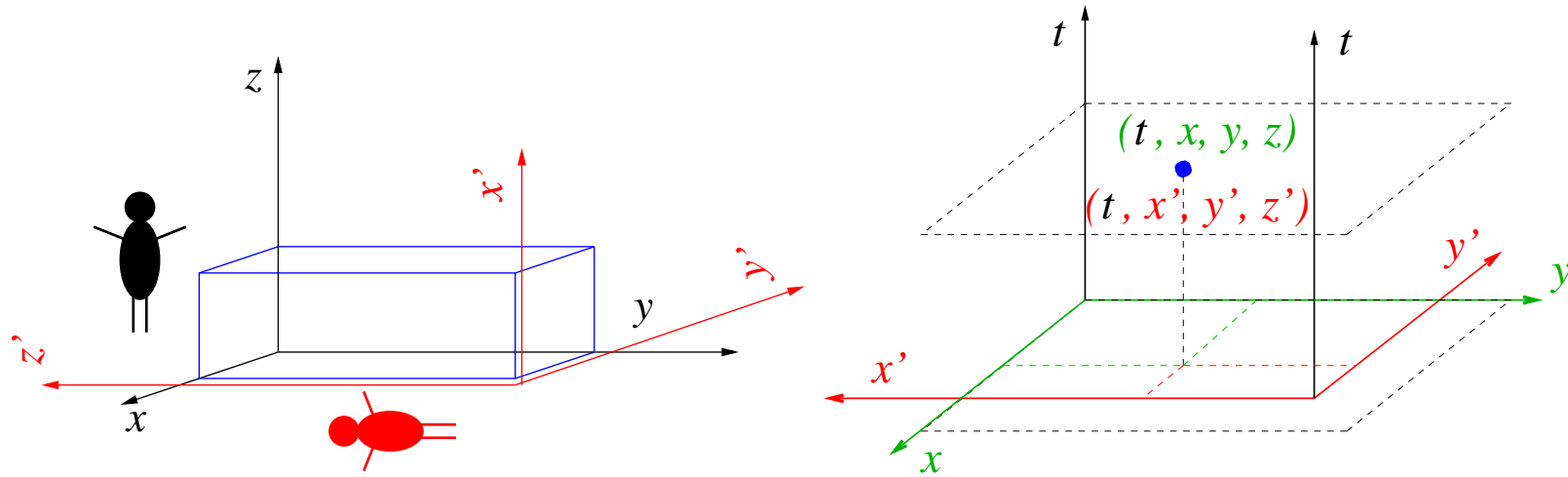
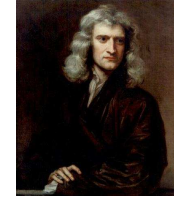
⇒ Tiempo  $t$  es parámetro externo,  
idéntico para todos los observadores

Diagramas de espaciotiempo: ordenar los eventos en esquema global

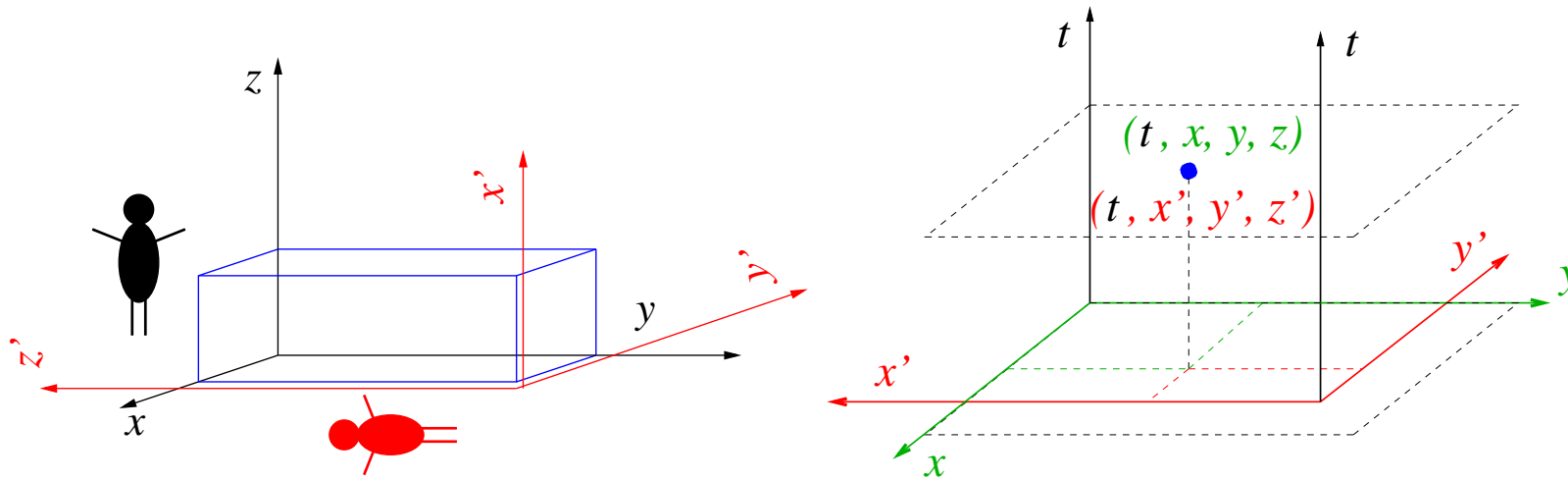
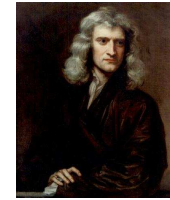


- Tiempo = eje vertical
- Espacio = plano en momento  $t = t_0$   
= “ahora”
- Evento = punto en diagrama  
→ coordenadas  $(t, x, y, z)$
- Tercera coordenada suprimida  
(por razones técnicas)

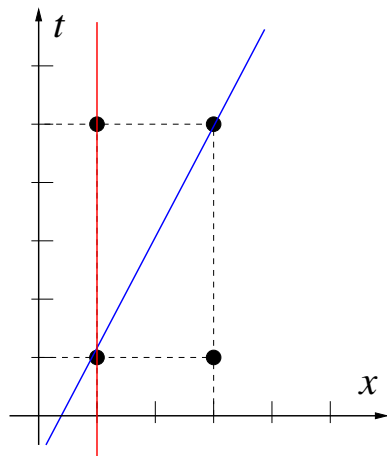
Para Newton: Tiempo es absoluto  
Espacio es absoluto  
Direcciones espaciales son relativas  
→ separación tiempo/espacio muy clara



Para Newton: Tiempo es absoluto  
 Espacio es absoluto  
 Direcciones espaciales son relativas  
 → separación tiempo/espacio muy clara



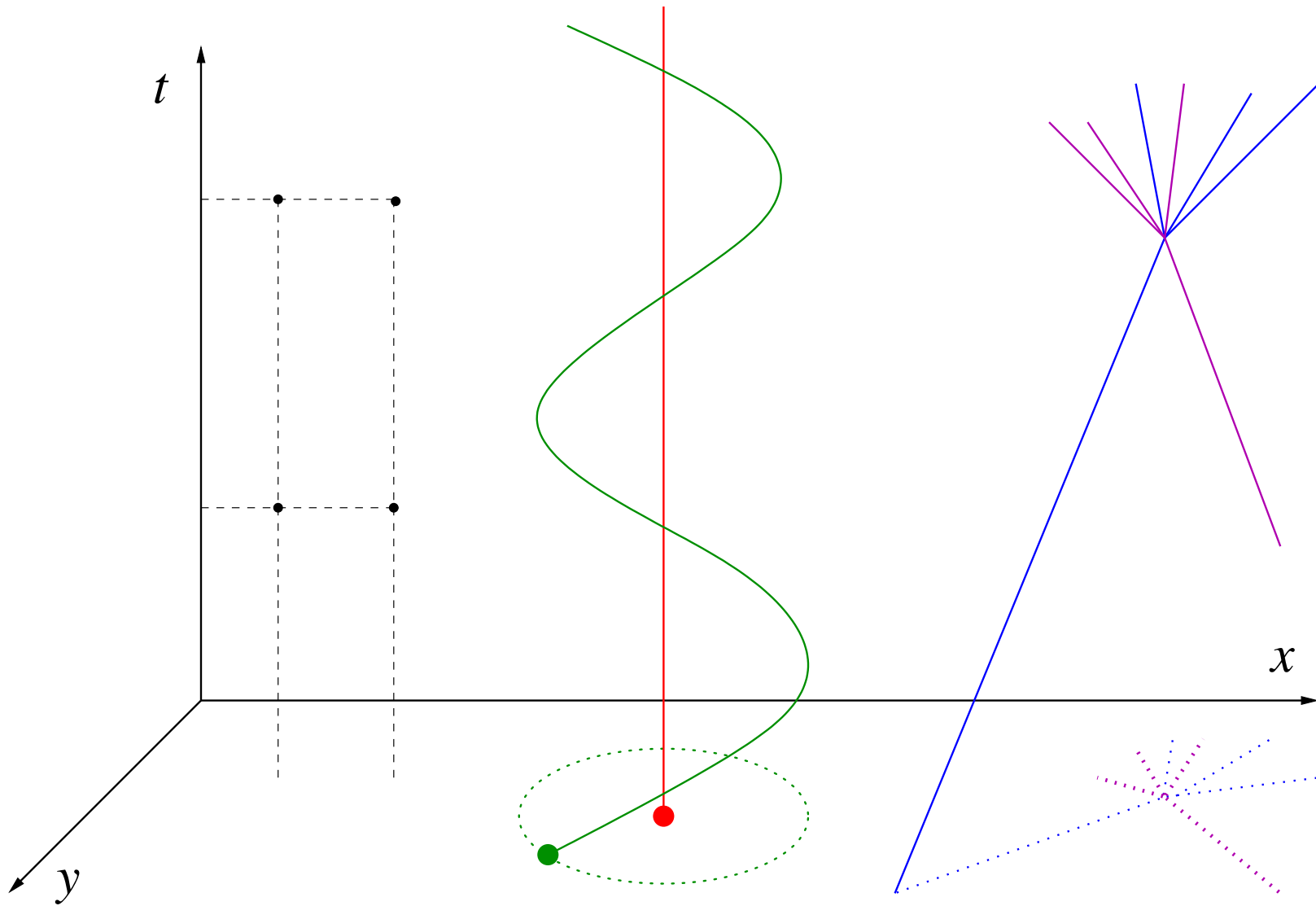
El tiempo fluye  $\implies$  partículas trazan líneas



línea de universo  
 = colección de posiciones  
 = trayectoria en espaciotiempo

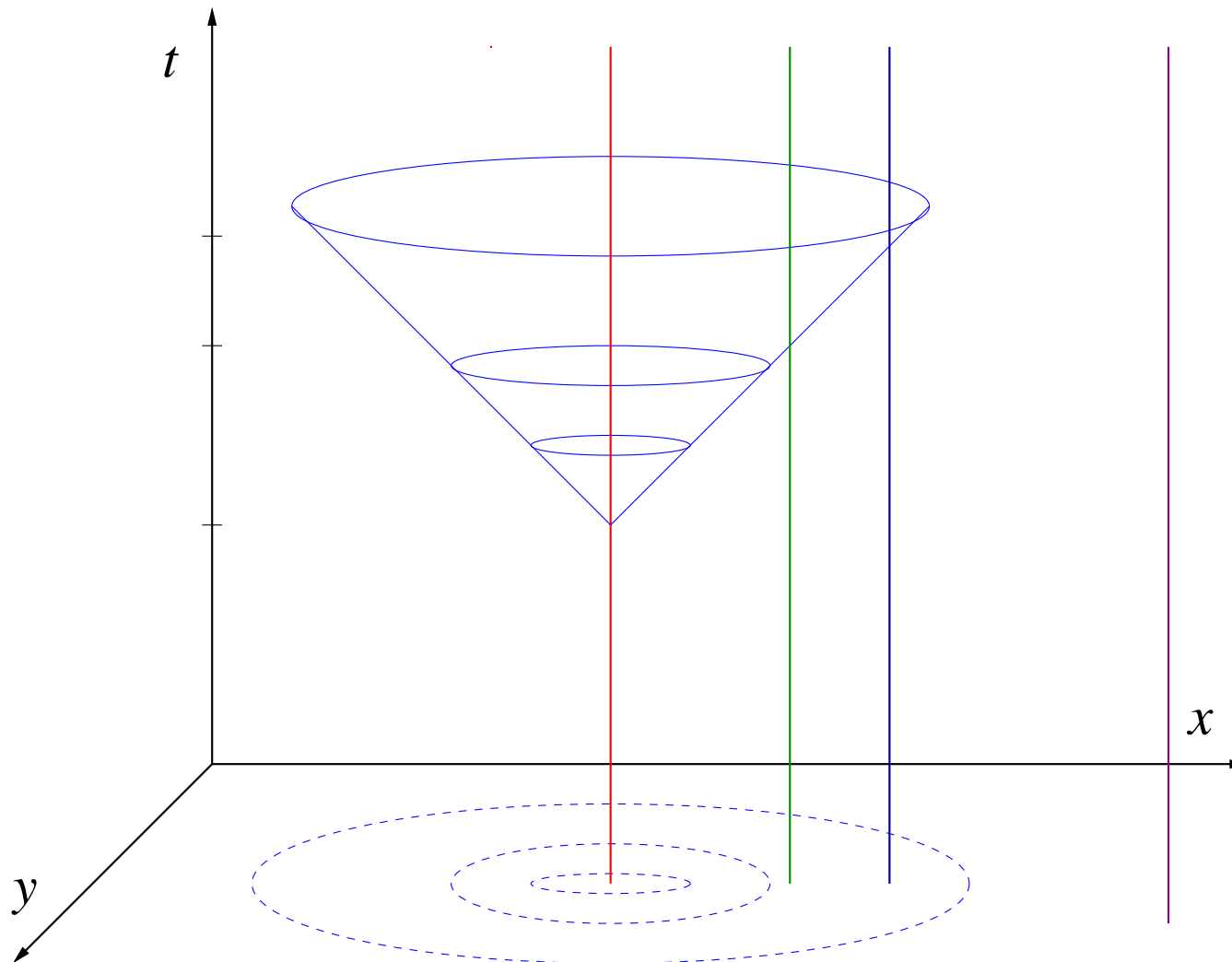


# Examen:



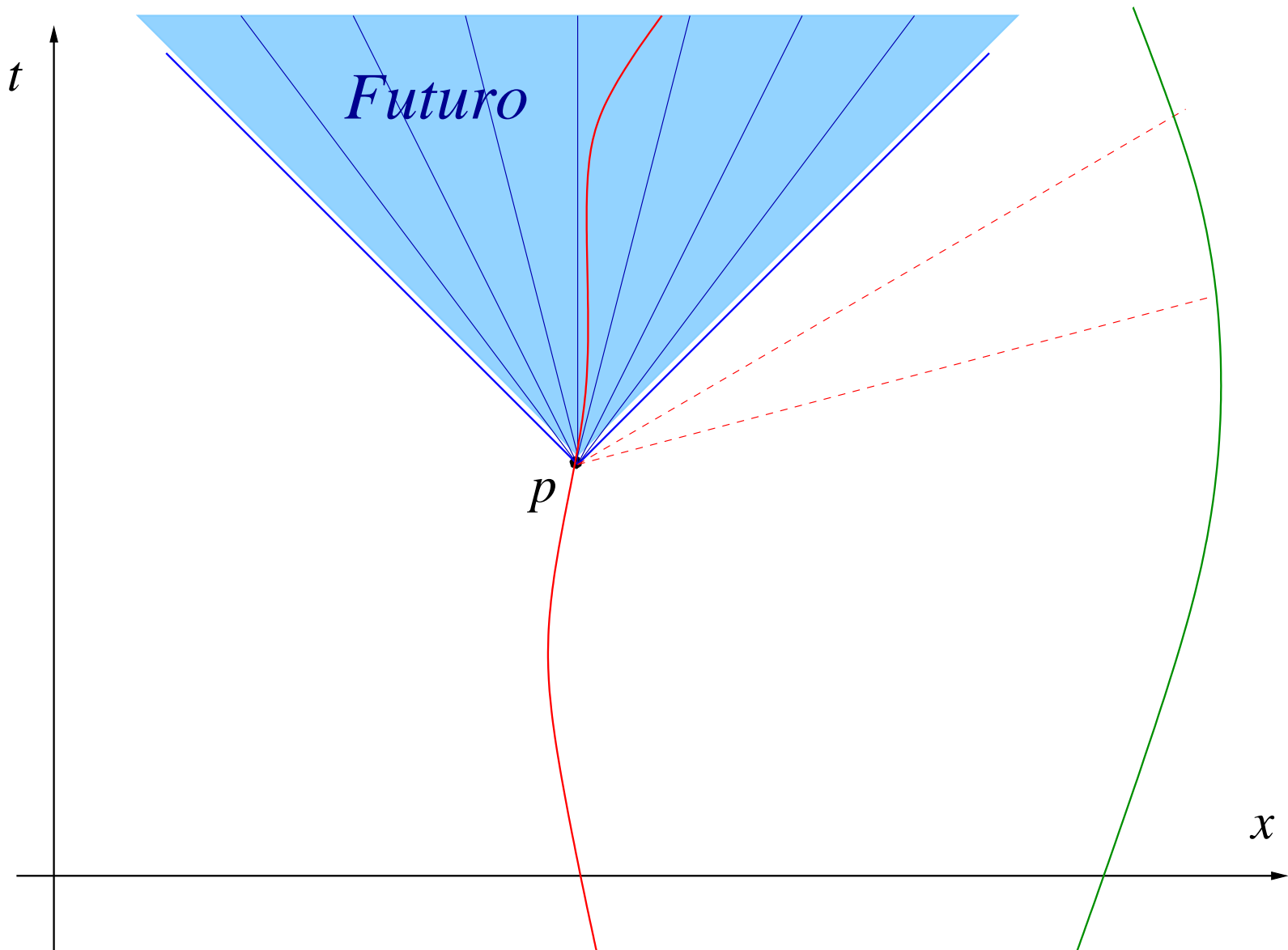
El cono de luz: trayectoria de la luz en todas las direcciones

$c = 300\,000\text{ km/s} \implies$  señales tardan en llegar lejos



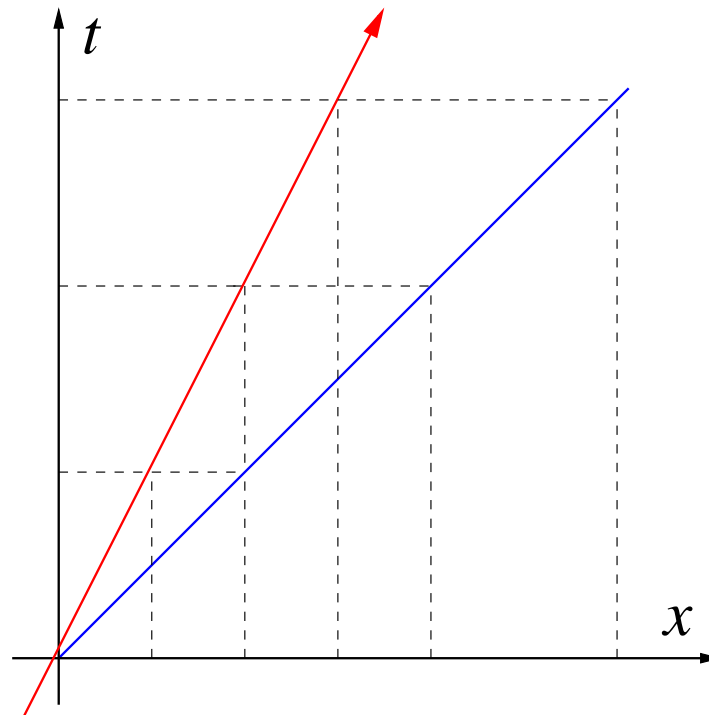
Velocidad de la luz es velocidad máxima

Observadores y mensajes siempre se quedan dentro de cono de luz



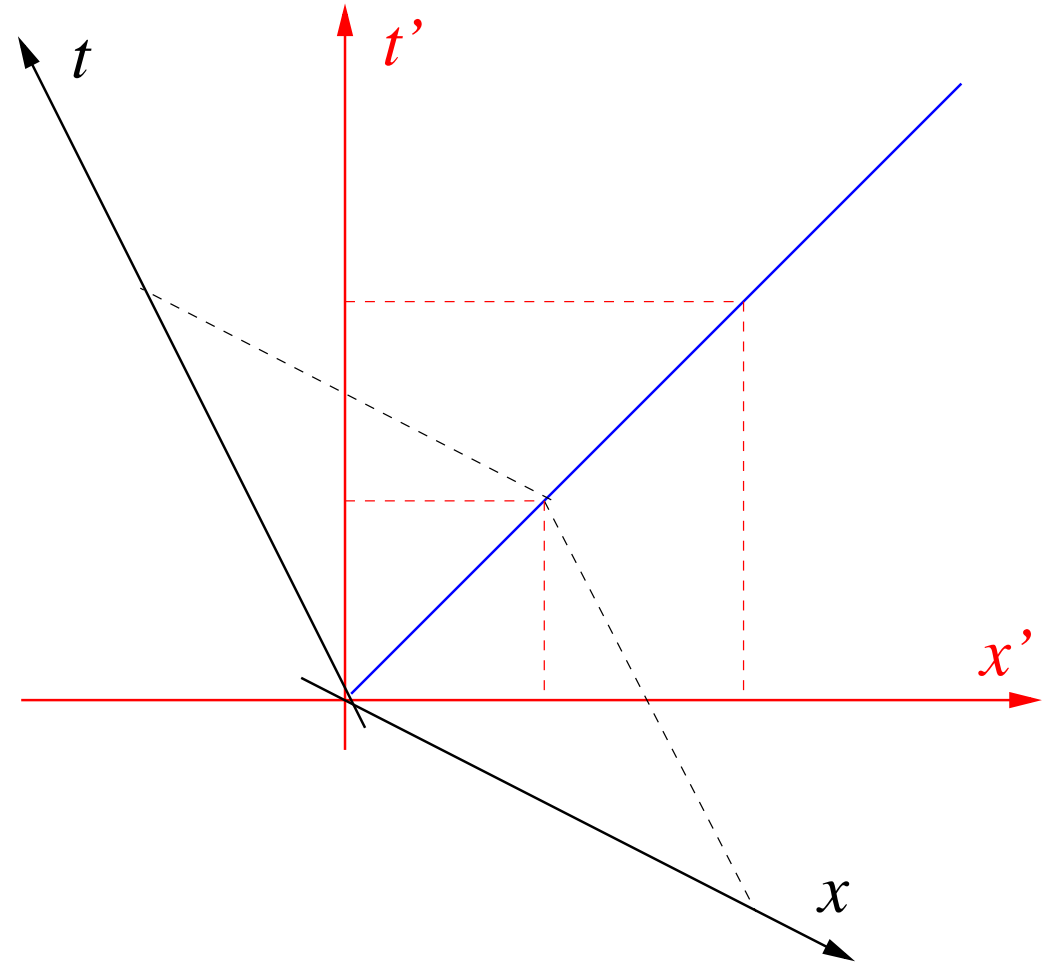
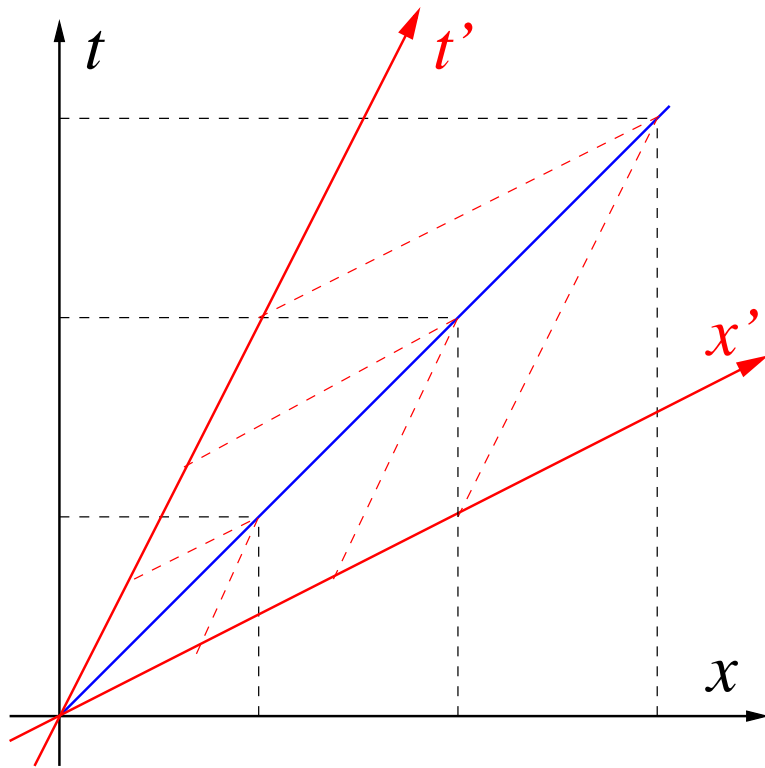
Cada observador cree estar mismo en reposo

→ eje  $t$  en su propia posición



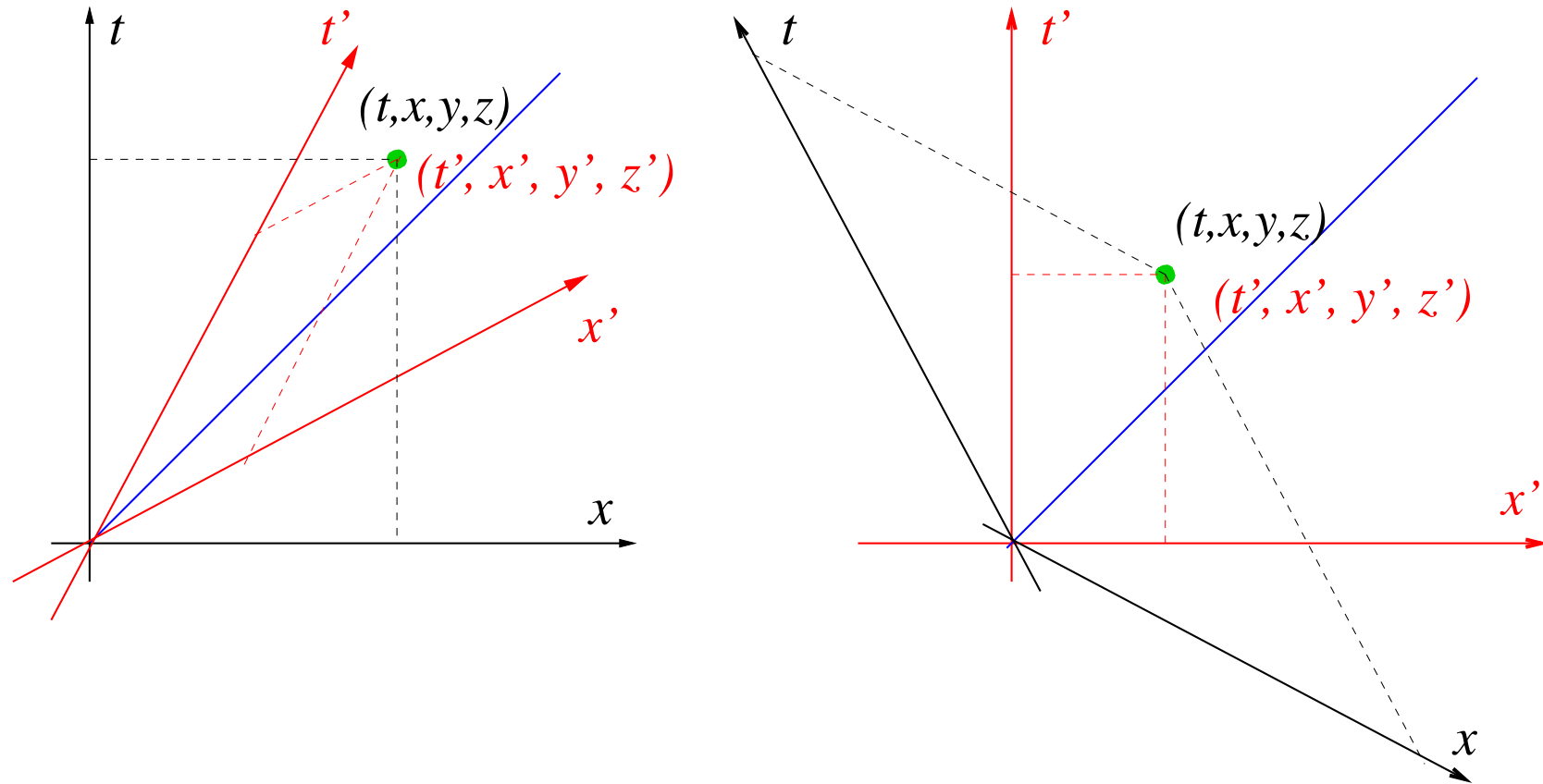
Velocidad de la luz es la misma para todos los observadores

En cada sistema, la luz recorre la misma distancia en el mismo tiempo



→ Todos observadores ven el mismo cono de luz

Dos observadores tienen dos sistemas de coordenadas válidas



Transformaciones de Lorentz: diccionario entre  $\mathcal{O}_1$  y  $\mathcal{O}_2$

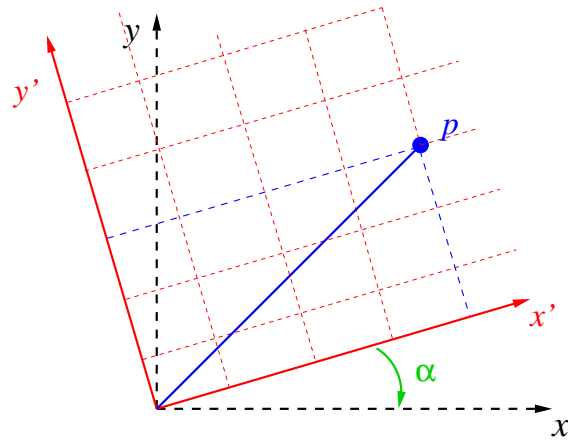
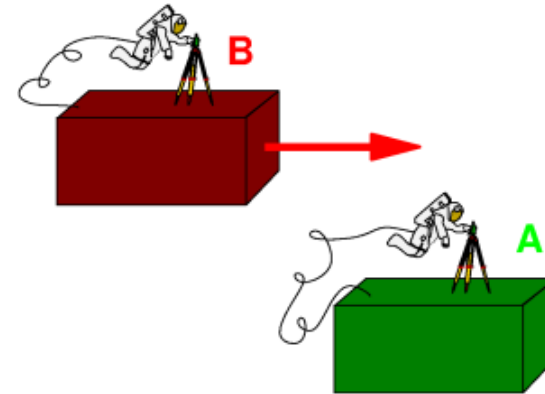
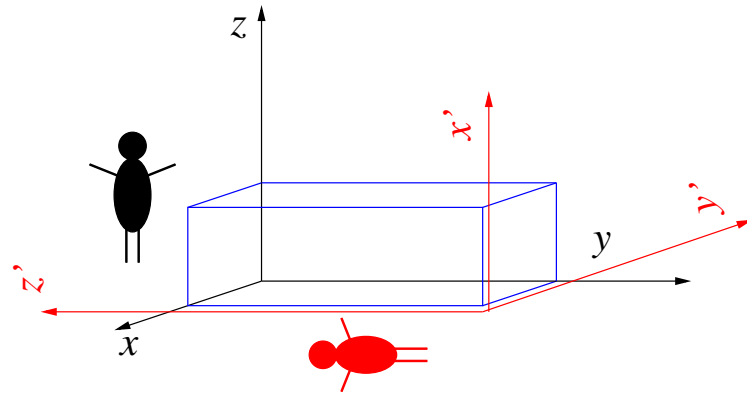
$$t' = \frac{t - vx/c^2}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}, \quad x' = \frac{x - vt}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}},$$

—→ Ambos sistemas son ortogonales!

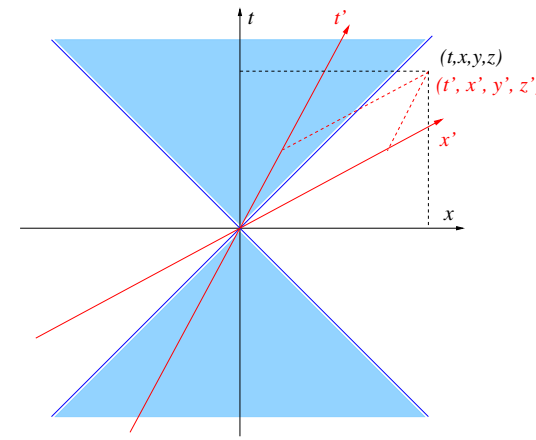


# Transformación de Lorentz $\sim$ rotación espacial

# Transformación de Lorentz ~ rotación espacial



→ rotación en plano  $yz$



→ rotación en plano  $tx$

→  $t$  se comporta como dirección más!!



Hermann Minkowski (1907):

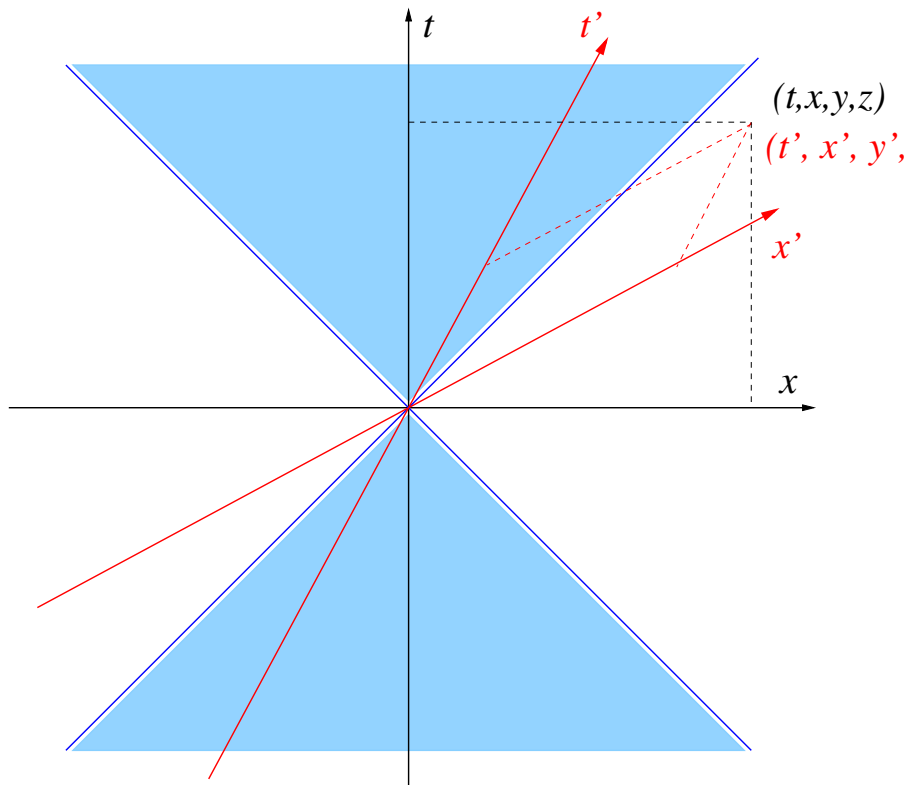
“A partir de ahora el espacio en sí mismo y el tiempo en sí mismo están destinados a diluirse en meras sombras y sólo un tipo de unión de los dos conservará una realidad independiente.”



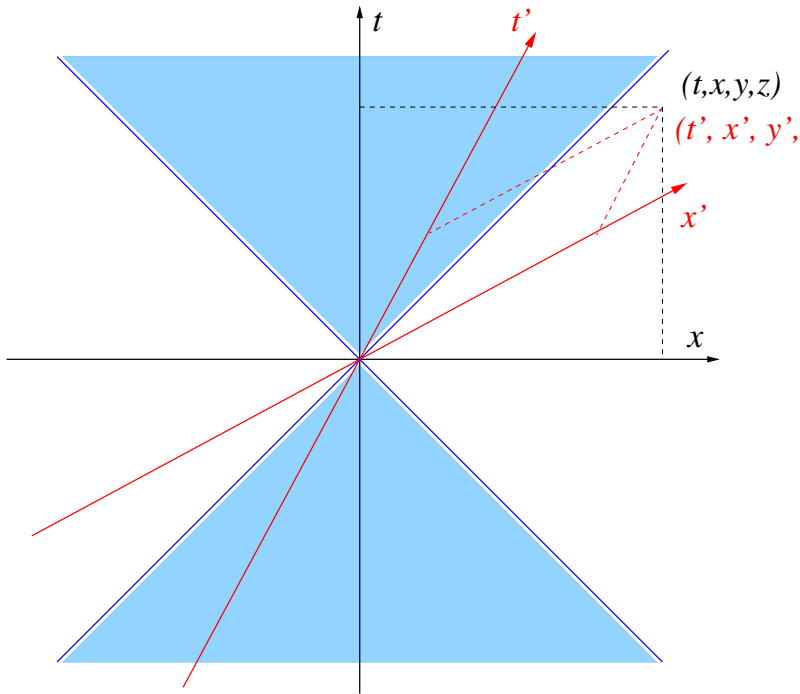
Hermann Minkowski (1907):

“A partir de ahora el espacio en sí mismo y el tiempo en sí mismo están destinados a diluirse en meras sombras y sólo un tipo de unión de los dos conservará una realidad independiente.”

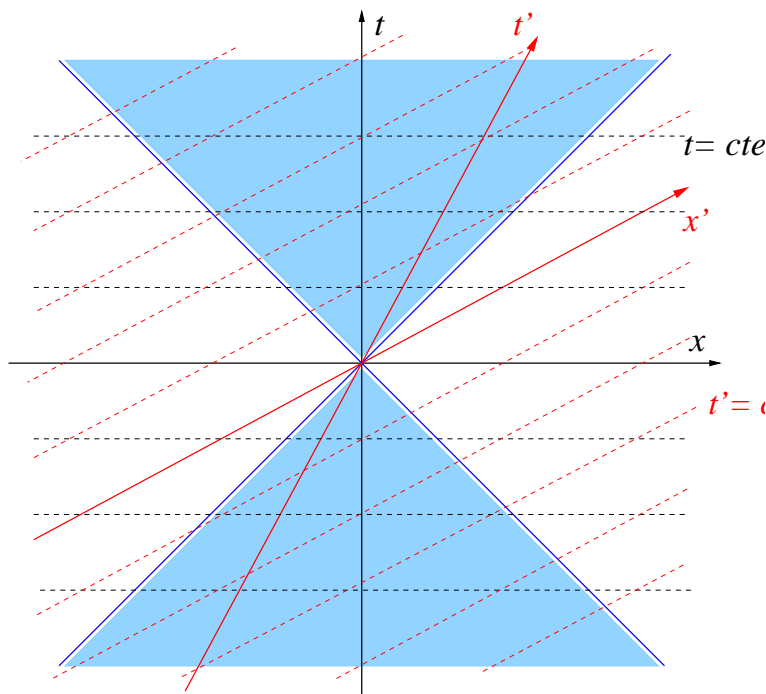
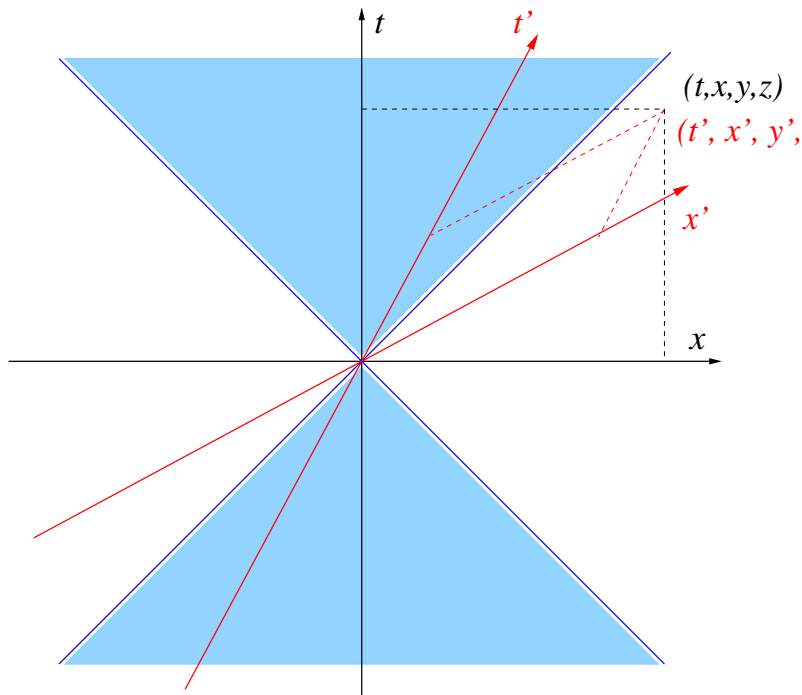
## Espacio de (Lorentz-)Minkowski



- Conjunto de todos los eventos  
→ espacio vectorial
- Rayos de luz = rectas a  $45^\circ$   
→ conos de luz
- **Nuestro espaciotiempo físico!!**



- Observadores inerciales  
     ~ coordenadas cartesianas
- Coordenada temporal dentro de cono de luz
- Ángulo ~ velocidad relativa  
      $v = \operatorname{tgh}\beta$
- Coordenadas espaciales con mismo ángulo  $\beta$



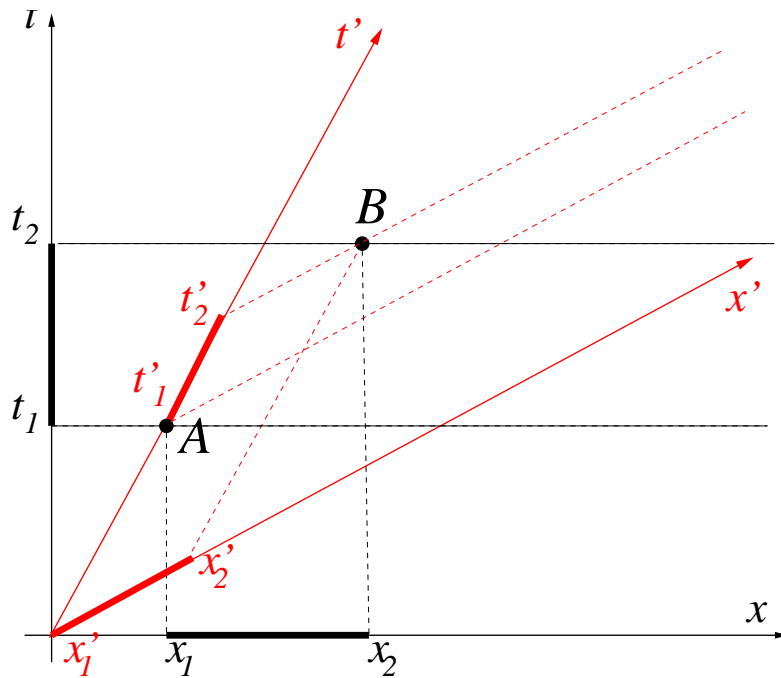
- Observadores inerciales  
~ coordenadas cartesianas
- Coordenada temporal dentro de cono de luz
- Ángulo ~ velocidad relativa  
 $v = \text{tgh}\beta$
- Coordenadas espaciales con mismo ángulo  $\beta$

- Tiempo de  $\mathcal{O}_1$ : eje  $t$
- Tiempo de  $\mathcal{O}_2$ : eje  $t'$

- Ahora de  $\mathcal{O}_1$ : superficie  $t = t_0$
- Ahora de  $\mathcal{O}_2$ : superficie  $t' = t'_0$

- Separación espacio/tiempo depende del observador
- Medidas de longitud y tiempo dependen del observador





■ Para  $\mathcal{O}$ :

$$\Delta t_{AB} = t_2 - t_1, \quad \Delta x_{AB} = x_2 - x_1$$

■ Para  $\mathcal{O}'$ :

$$\Delta t'_{AB} = t'_2 - t'_1, \quad \Delta x'_{AB} = x'_2 - x'_1$$

→ Medidas de longitud y tiempo dependen del observador

# 6. Resumen

- Sabíamos que izquierda y derecha, delante y detras, arriba y abajo son **conceptos relativos**



# 6. Resumen

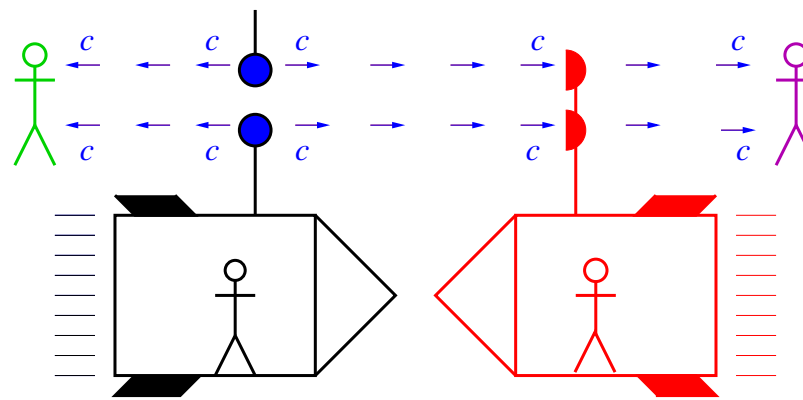
- Sabíamos que izquierda y derecha, delante y detras, arriba y abajo son **conceptos relativos**



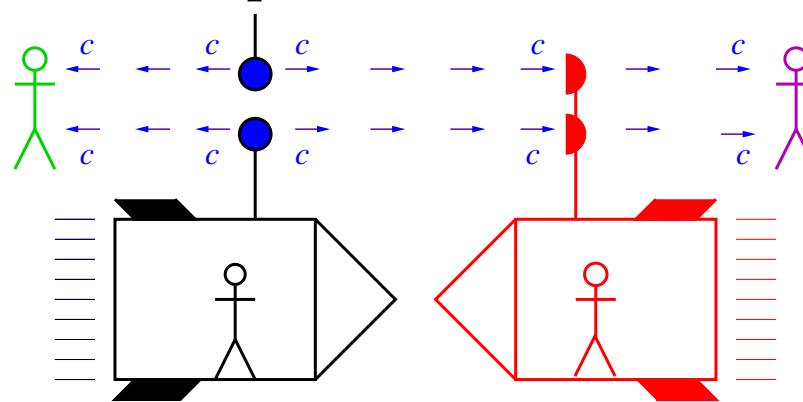
- Hemos visto que **reposo y movimiento uniforme rectilíneo** también



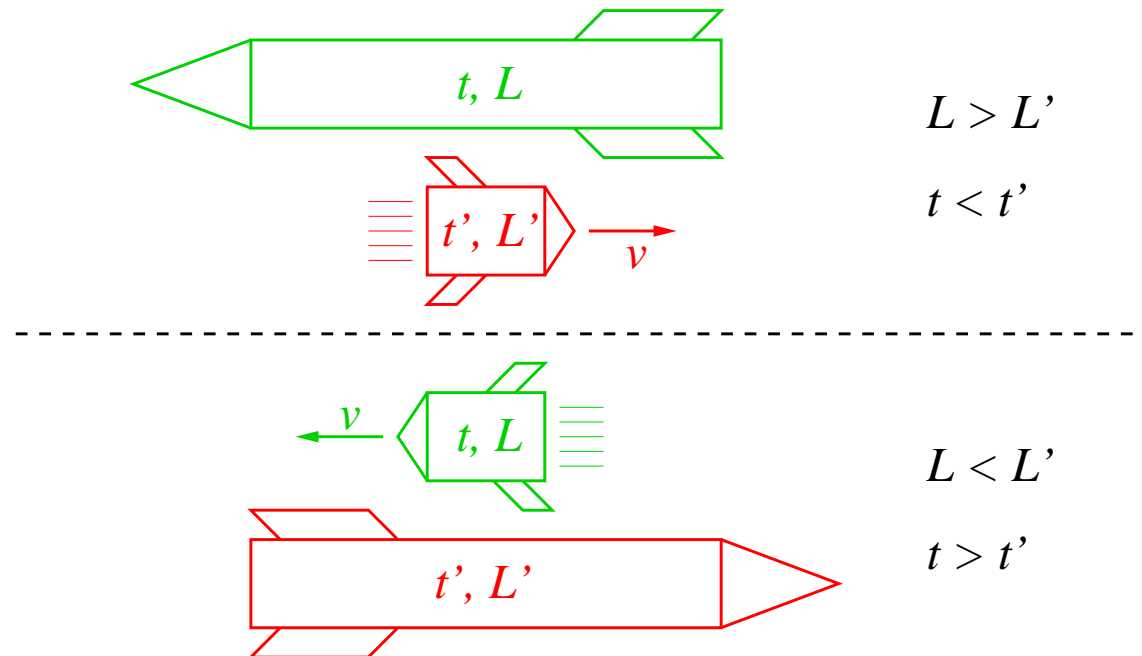
- **Velocidad de la luz** es la misma para todos



- **Velocidad de la luz** es la misma para todos



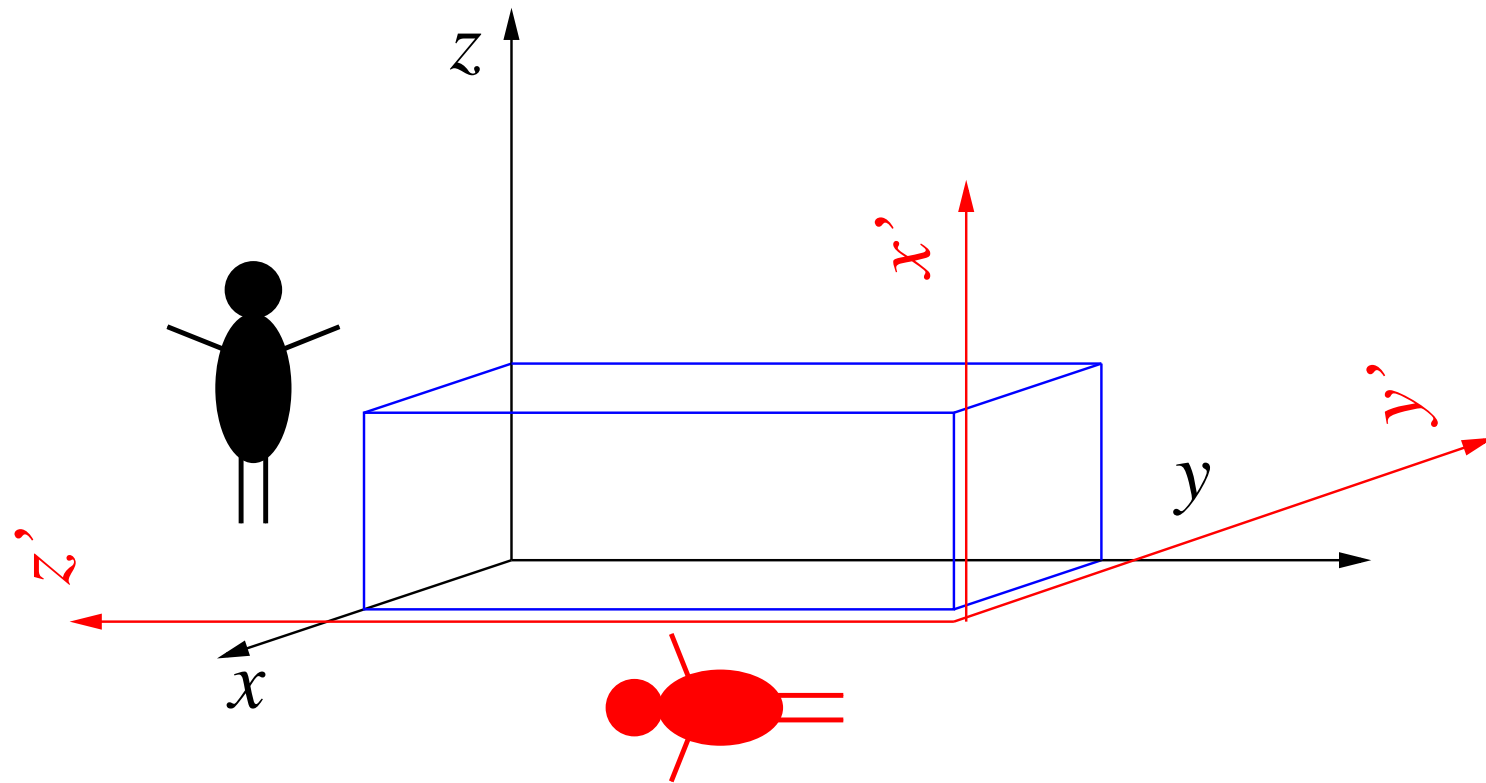
- El **tiempo** y las **longitudes** también se vuelven **relativos**



## Gran lección de la Teoría de la Relatividad:

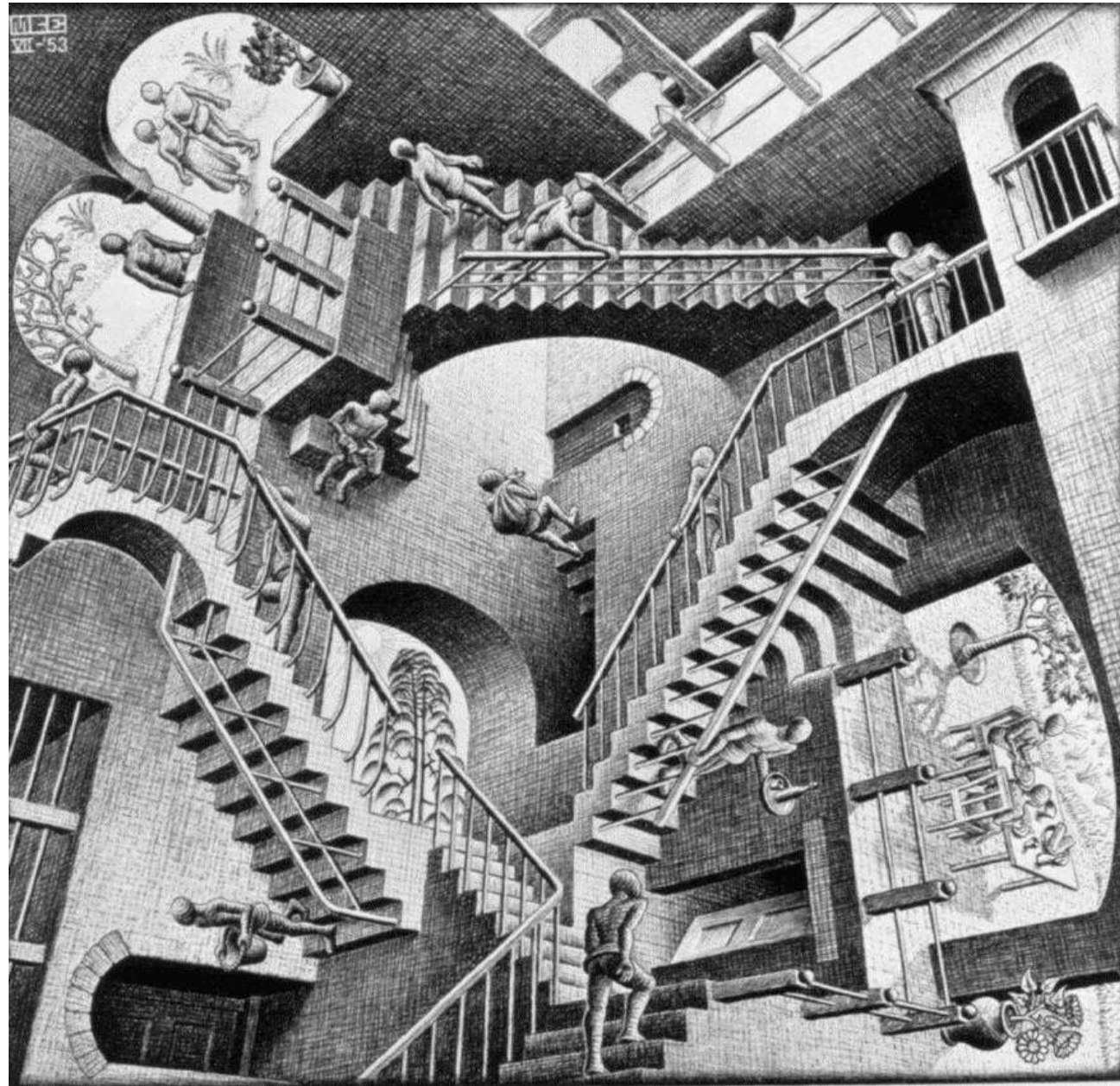
Nuestra visión depende de nuestro sistema de referencia

Hay que intentar ver la realidad objetiva de manera independiente de observadores particulares

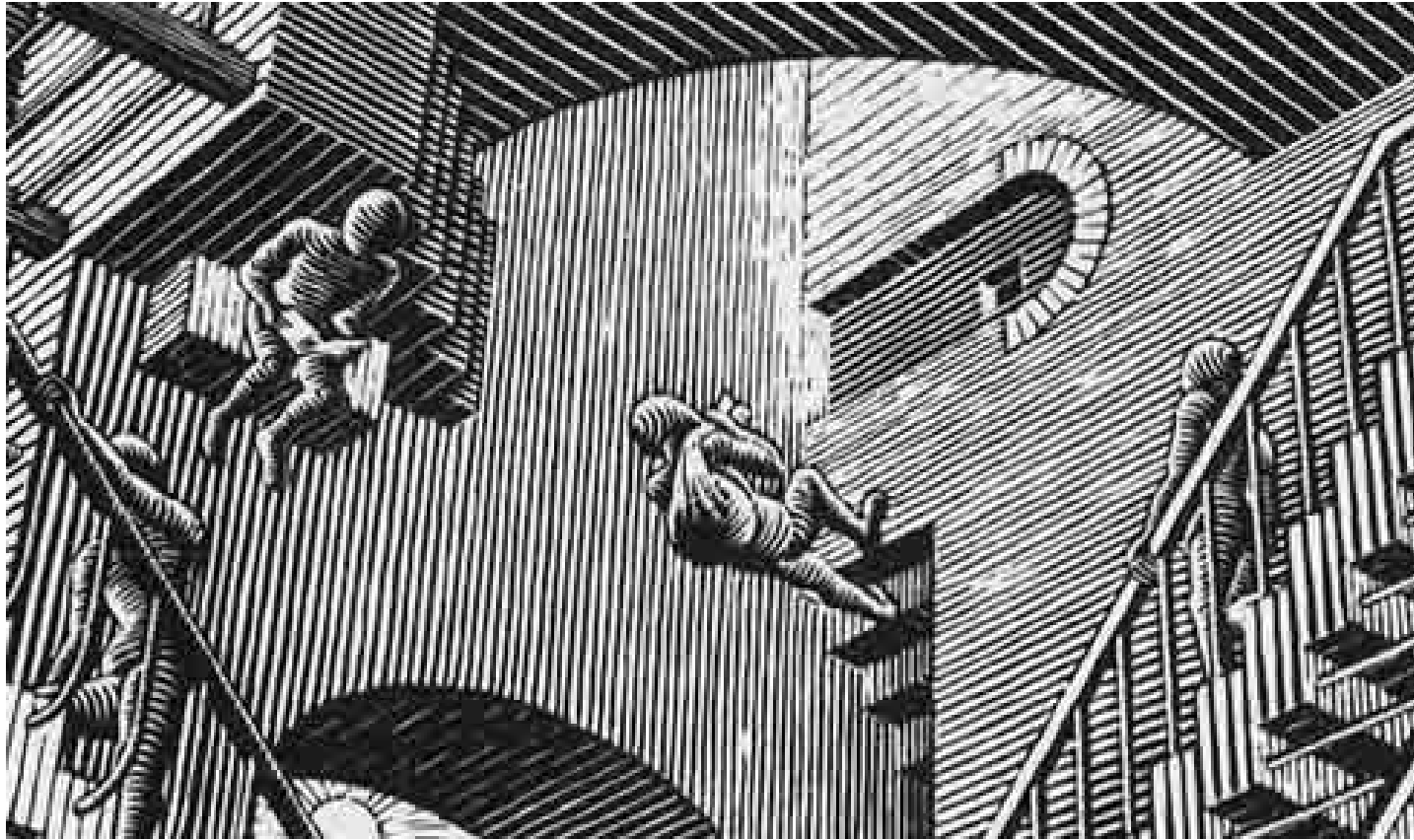


→ El armario *realmente* es más ancho que alto?





M.E.C. Escher: *Relatividad* (1953)



A. Einstein: *La relatividad nos enseña la conexión entre las diferentes descripciones de la misma realidad.*

¡Gracias por vuestra atención!