Universidad Nacional de Río Negro
Int. Partículas, Astrofísica & Cosmología - 2016

- **Unidad** 01 – Relatividad
- **Clase** U01 C01
- **Fecha** 16 Ago 2018
- **Cont** Presentación, introducción, relatividad
- **Cátedra** Asorey
- **Web** https://asoreyh.github.io/unrn-ipac/
- **Youtube** https://goo.gl/UZJzLk

Presentación

Colegas contando algunas experiencias

- Hernán Asorey
  <hasorey@unrn.edu.ar> <asoreyh@gmail.com>
  - Centro Atómico Bariloche e Instituto Balseiro:
    líneas: Aplicaciones de Detectores de Partículas: Meteorología Espacial, Muongafía de Volcanes, Física Médica
  - UNRN
    Profesor Asociado, Física Moderna A; **Introducción a la Física de Partículas, Astrofísica y Cosmología (IPAC)**

Charla abierta

Objetivos y metodología

- **Objetivos**
  - **Adquirir una perspectiva del estado actual de la Física de Partículas, la Astrofísica y la Cosmología, a un nivel introductorio y que produzca las herramientas para su implementación en el aula de escuelas medias.**
- **Metodología (orientada al trabajo grupal)**
  - Clases interactivas, virtuales y presenciales
  - Prácticas en clase y en casa

Puntos de contacto

- **Las clases:**
  - Jueves 20 a 23
  - Una hora a definir
- **La Bibliografía:**
  - Depende de la unidad
  - Apuntes de clase
  - Wikipedia


View on GitHub

unrn-ipac

El curso de Astrofísica y Cosmología de la UNRN

Introducción a Partículas, Astrofísica y Cosmología - Segundo semestre de 2018

Asignatura del cuarto año de la carrera de Profesorado en Física Universidad Nacional de Río Negro

Las clases fueron realizados en LibreOffice Impress, la herramienta de presentaciones de LibreOffice. Para poder visualizar correctamente las clases, por favor descarguelo siguiendo el este enlace: **Descargue LibreOffice**. En Windows, puede ser necesario descargar también la fuente Cabin. Para facilitar la difusión, se incluyen también versiones de las clases en formato pdf. Para visualizarlo, podría necesitar descargar Acrobat Reader.

Clases

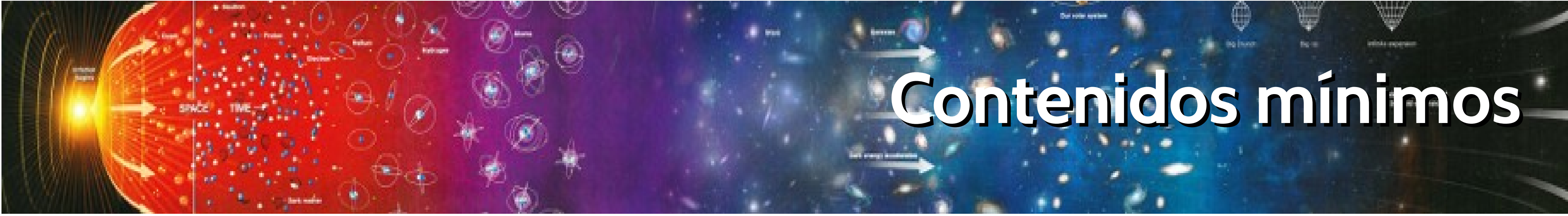
Guías de ejercicios

https://asoreyh.github.io/unrn-ipac/

IPAC2018

Formas de Aprobación...

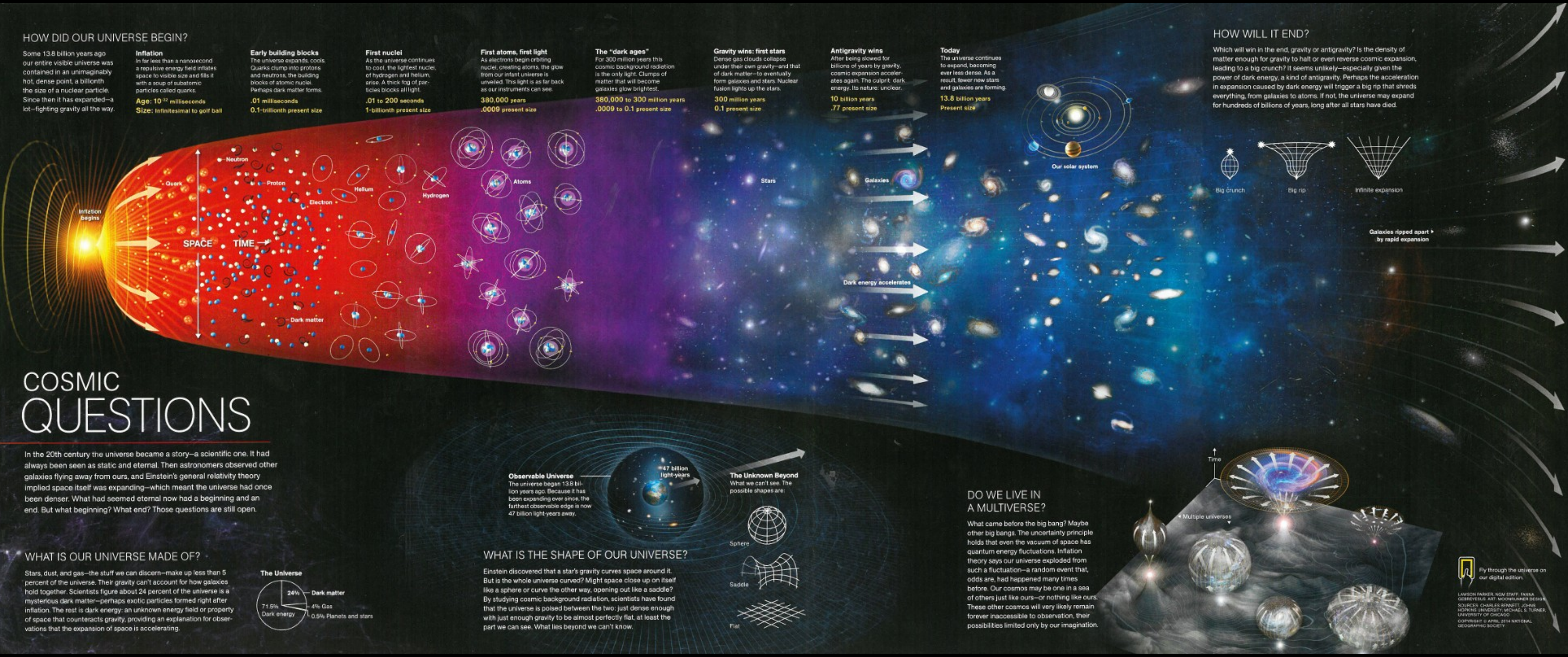
- **Evaluación continua (60%)**
  - Participación en clases y laboratorios
  - Entrega de prácticos
  - Charla presentando un tema a elección
- **Final integrador (40%)**
- **Promoción, cumpliendo todas estas condiciones:**
  - Entrega del 100% de los prácticos en tiempo y forma, cumpliendo con las fechas pactadas
  - Entrega del 100% de los informes en tiempo y forma, cumpliendo con las fechas pactadas
  - Nota Evaluación Continua > 7.9
  - Dispone de un (y sólo un) "comodín" para las entregas



Contenidos mínimos

- **Los contenidos mínimos según su plan:**
  Estrellas y galaxias. Evolución de las estrellas nacimiento y muerte de las estrellas. Relatividad general: gravedad y la curvatura del espacio. El universo en expansión. El Big-Bang y el fondo cósmico de microondas. El modelo estándar cosmológico. Los primeros tiempos del universo

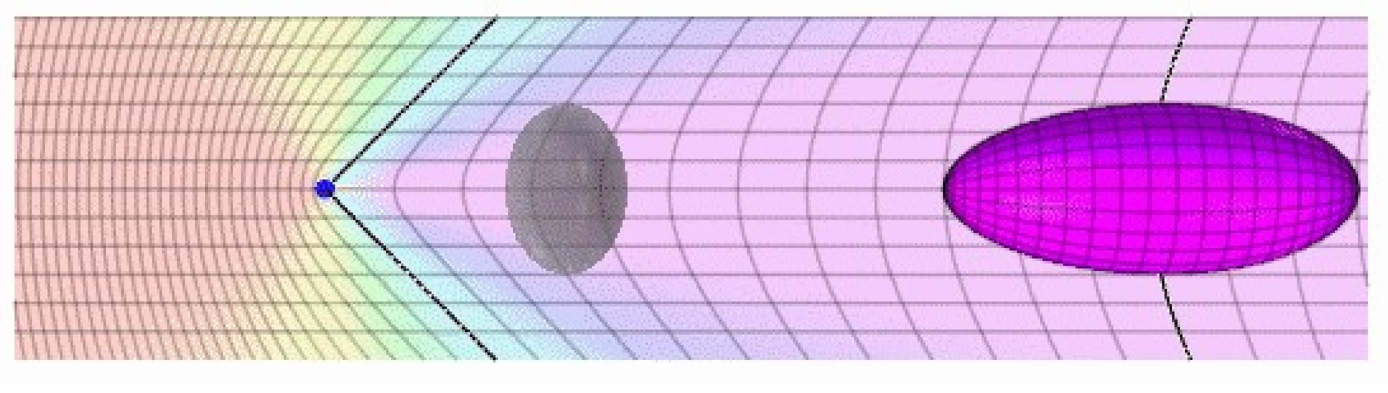
Contenidos: un viaje en el tiempo



Contenidos: un viaje en el tiempo

U1: Todo es relativo
4 encuentros: del 08/Ago al 30/Ago

- Relatividad Especial
  - Introducción
  - Cinemática y Dinámica Relativista
- Física de Partículas, 1ra parte
  - Radiactividad
  - Planck, Bosones y Fermiones
  - Interacciones fundamentales



U2: Cálido y Frío
5 encuentros: del 06/Sep al 04/Oct

- Estrellas
  - Astronomía Observacional: sistemas de coordenadas y mapas estelares
  - Radiación de Cuerpo Negro
  - Ley de Eddington, Clasificación estelar, Diagrama H-R
  - Objetos Compactos y evolución estelar
- Planetas
  - Planetas y Exoplanetas
  - Vida en el Universo: Astrobiología
- Galaxias
  - Modelos y formación
  - Ejemplos: La Vía Láctea, Otras Galaxias, GalaxyZoo(*)

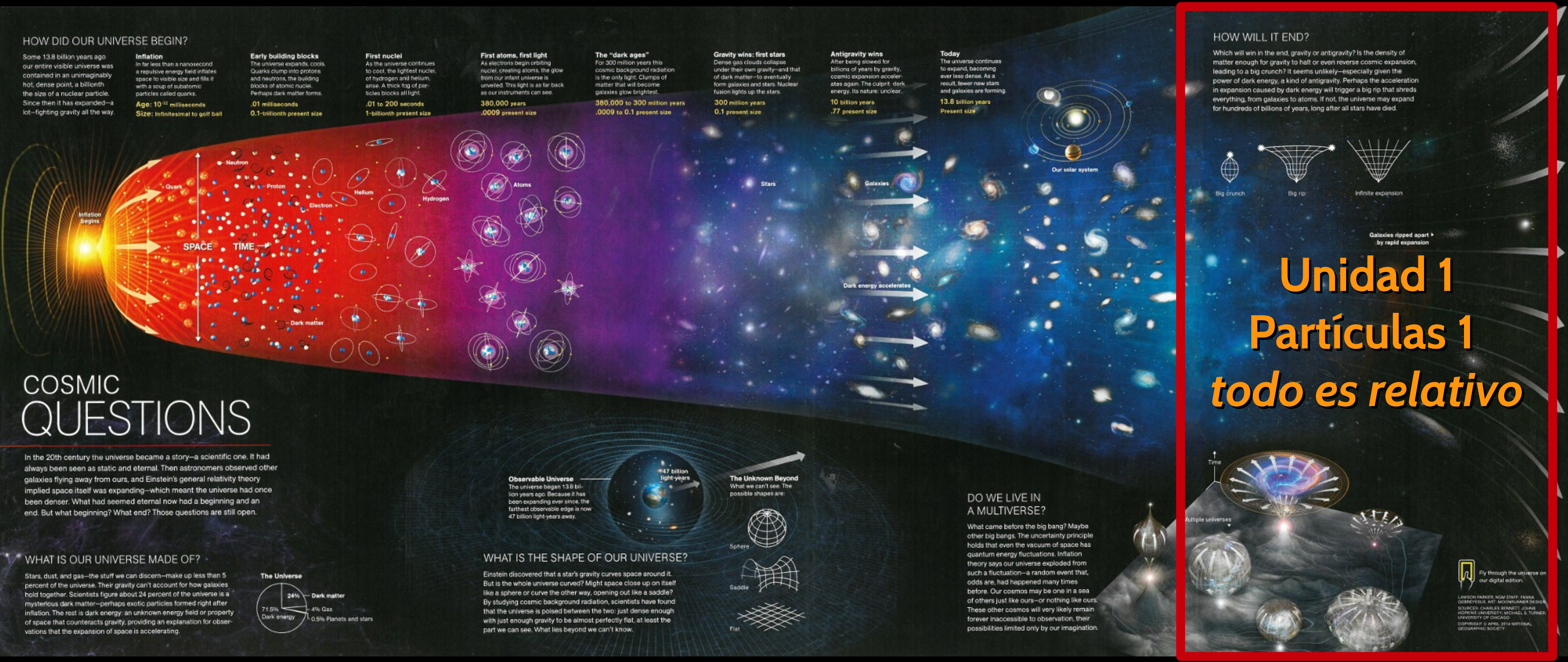
U3: no es lo que se ve, sino lo que se palpa
3 encuentros: del 11/Oct al 25/Oct

- Relatividad General
  - Introducción y conceptos básicos,
  - Modelo de Friedman-Lemaître-Robertson-Walker
  - El error de Einstein
- Modelos del Universo
  - Formación de estructuras
  - Midiendo distancias
  - Corrimiento al rojo
  - El universo en expansión

U4: Allá lejos y hace tiempo
4 encuentros: del 01/Nov al 22/Nov

- El modelo cosmológico estándar
  - Modelo de Alpher, Bethe & Gamow
  - El fondo de microondas
  - Modelo ΛCDM
- Historia térmica del universo
  - El Big Bang
  - Primeros segundos del universo
  - Épocas térmicas de tiempo, inflación, recombinación
  - Evolución futura del universo
  - ¿El fin?

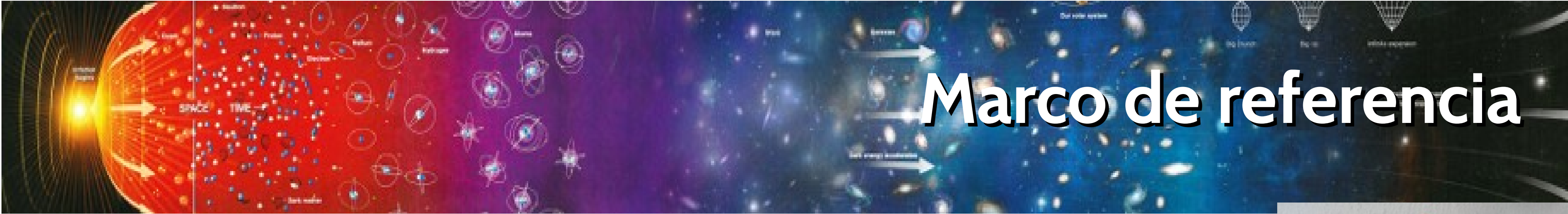
Contenidos: un viaje en el tiempo



U1: Todo es relativo (08/Ago - 30/Ago)

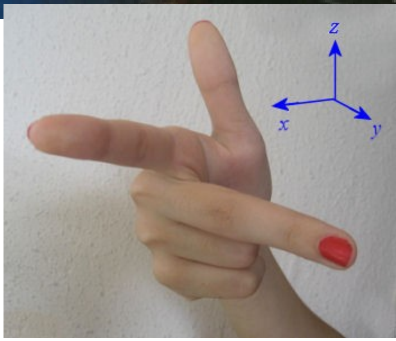
- ¿Marco de referencia?

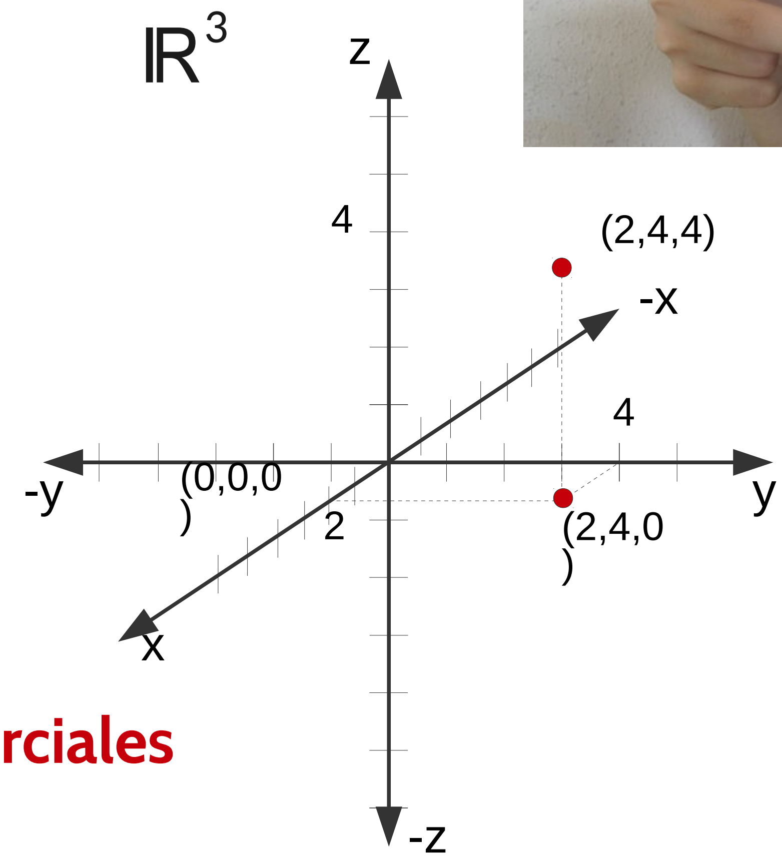
- ¿Marco de referencia inercial?



Marco de referencia

- **Marco de referencia**
  - Sistema de coordenadas que fija la posición de objetos físicos de manera unívoca (localización y orientación)
  - Existe un conjunto de medidas estandarizadas (una regla)
  - Distintos tipos:
    - Fijos al cuerpo, fijos al espacio, **inerciales** y no inerciales

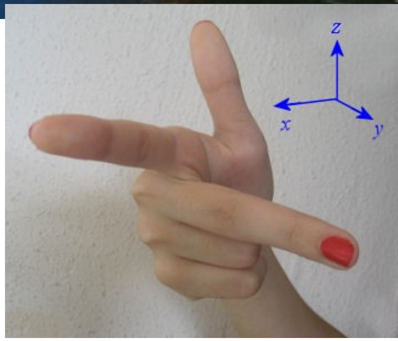


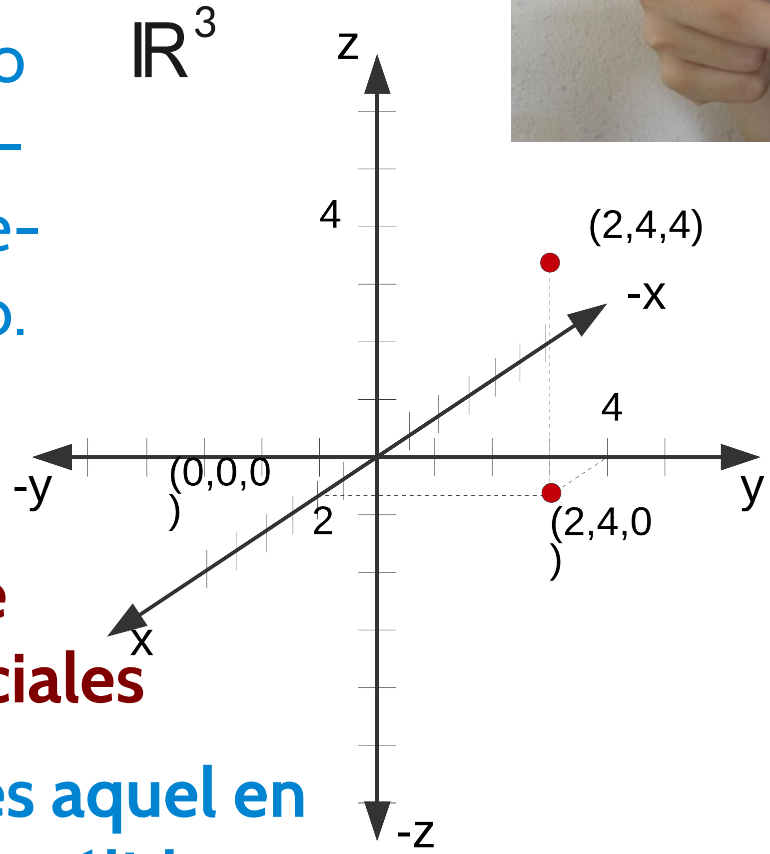


3-tupla: (x,y,z)

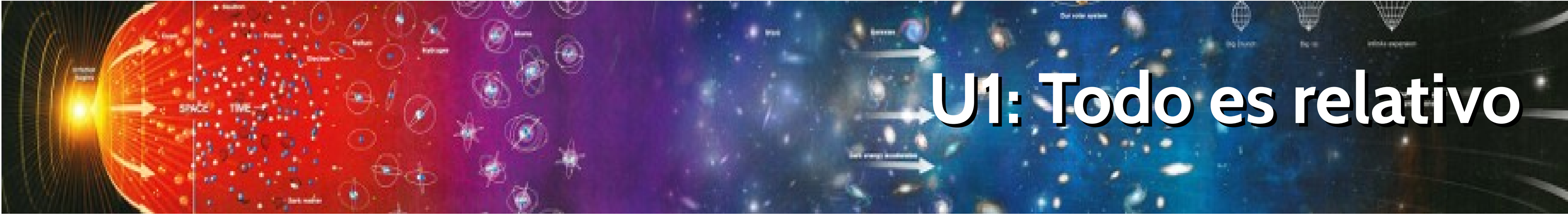
Marco de referencia inercial

- **Marco de referencia incercial**
  - Describe el espacio homogenea (no hay lugares privilegiados) e isotrópicamente (no hay direcciones privilegiadas) e independiente del tiempo.
  - Las leyes físicas tienen la “misma forma” en todo sistema inercial. Decimos que la física es **covariante frente a cambios de sistemas inerciales**
  - **Un sistema de referencia inercial es aquel en el que la primera ley de Newton es válida.**





3-tupla: (x,y,z)



U1: Todo es relativo

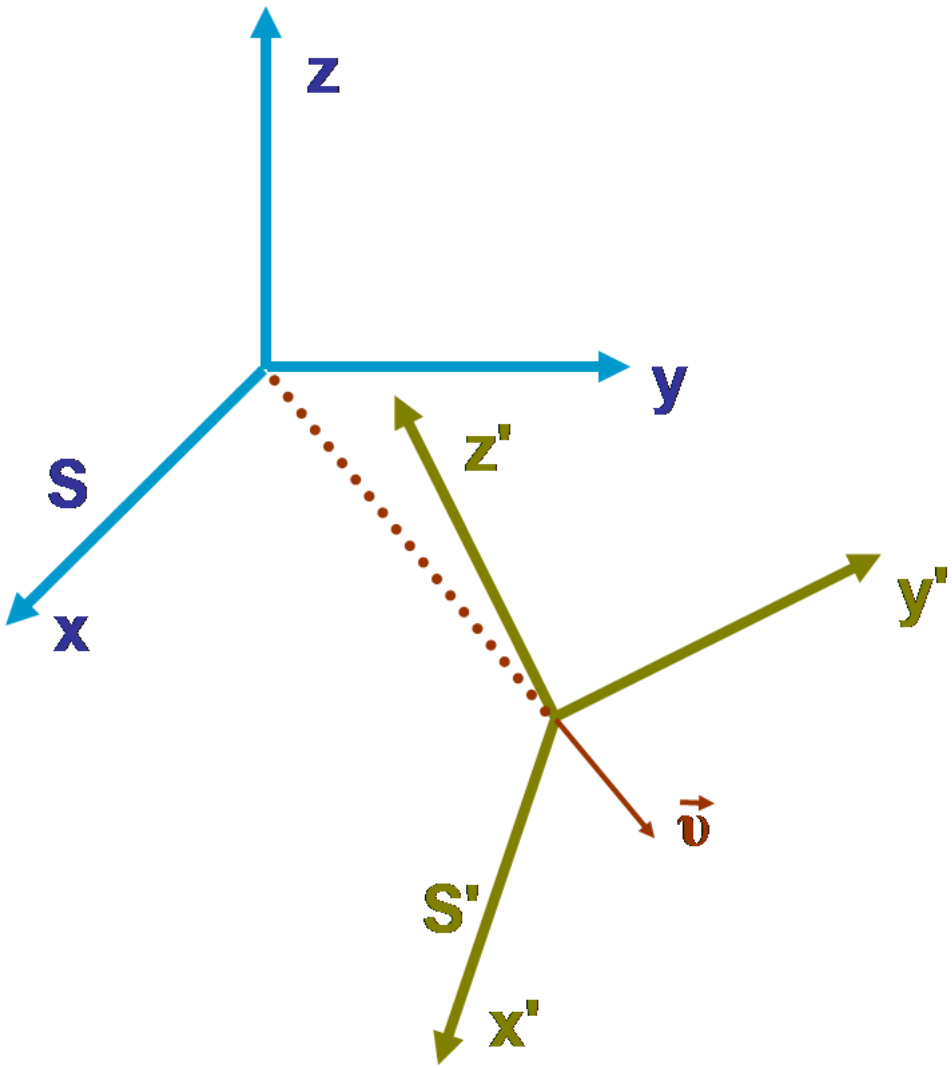
- ¿Qué es la relatividad?

- ¿Quién la descubrió?

Relatividad de Galileo

- Si la ley de la inercia es válida, las aceleraciones son provocadas sólo por fuerzas internas, no externas (p. ej. un sistema rotante)
- No hay forma de "saber" si estamos en movimiento
  - Propongan un ejemplo ahora
- El tiempo y el espacio están claramente desacoplados (¡vida diaria!)
- Las leyes de la mecánica son invariantes en el tiempo
  - → El espacio es absoluto
  - → Todos los sistemas inerciales comparten el mismo tiempo

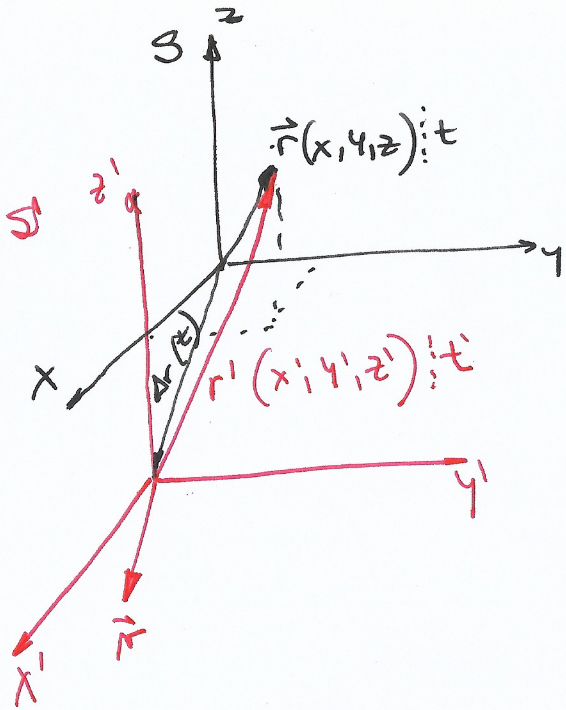
Relatividad de Galileo



- Sea un sistema S' que se mueve con velocidad constante v respecto a otro sistema S.
- Luego, un objeto en r, a tiempo t en S, tendrá posición r'(t) dada por:

$$\vec{r}\,'(t)=\vec{r}(t)-\vec{v}\,t$$

Derivación



Ahora bien, por (2º) postulado

$$t = t'$$

y por (1) en algún momento t_0

$$\vec{O}(t_0) = \vec{O}'(t_0) \Rightarrow \vec{r}(t_0) = \vec{r}'(t_0)$$

Eso ocurrió hace un tiempo $(t - t_0)$

$\Rightarrow$ En ese tiempo, S' se desplazó $\Delta\vec{r}(t) = \vec{v}\cdot(t - t_0)$

Luego a tiempo t, y visto desde S

$$\vec{r}(t) - \vec{r}'(t) = \Delta\vec{r}(t)$$

$$\Rightarrow \vec{r}'(t) = \vec{r}(t) - \Delta\vec{r}(t)$$

$$\Rightarrow \vec{r}'(t) = \vec{r}(t) - \vec{v}(t - t_0)$$

Haciendo $t_0 = 0 \Rightarrow$

$$\boxed{\vec{r}'(t) = \vec{r}(t) - \vec{v}\,t}$$

$$\vec{r}\,'(t) = \vec{r}(t) - \vec{v}\,t$$

Y luego

Entonces.

Si el objeto en $r(t)$ se está moviendo, en S' será:

Recordar $\vec{v} = cte$

$$\vec{u}'(t) = \frac{d}{dt} r'(t) = \frac{d}{dt}\left(\vec{r}(t) - \vec{v}\,t\right) = \frac{d\vec{r}(t)}{dt} - \vec{v}$$

$$\Rightarrow u'(t) = \vec{u}(t) - \vec{v} \Rightarrow \boxed{u'(t) = \vec{u}(t) - \vec{v}}$$

Regla de velocidades

$$\vec{u}\,'(t) = \vec{u}(t) - \vec{v}$$

Si el objeto se acelera $\Rightarrow$ Su aceleración $\vec{a}(t)$ vista desde S' será: $= \vec{a}(t)$

$$\vec{a}'(t) = \frac{d}{dt}\vec{u}'(t) = \frac{d}{dt}\left(\vec{u}(t) - \vec{v}\right) = \frac{d\vec{u}(t)}{dt} - \cancelto{0}{\frac{d\vec{v}}{dt}}$$

$$\Rightarrow \boxed{\vec{a}'(t) = \vec{a}(t)}$$

Aceleración iguales !!

$$\vec{a}\,'(t) = \vec{a}(t)$$

Pero entonces... Invariancia de Galileo

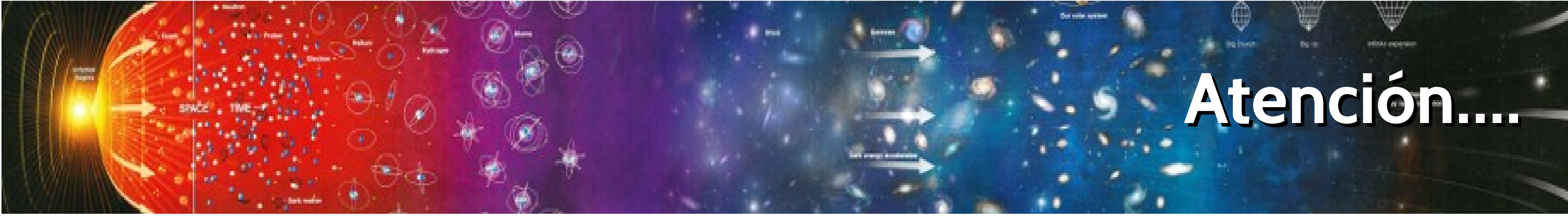
- Este último resultado es crucial, ya que si

$$\vec{a}\,'(t)=\vec{a}(t)$$

- Y suponemos que la masa *m* es un invariante, *m=m'*

$$m\vec{a}\,'(t)=m\vec{a}(t)\Rightarrow\vec{F}\,'(t)=\vec{F}(t)$$

- ¡La segunda ley de Newton no cambia frente a cambios entre sistemas de referencias inerciales! (la primera ya valía)
- **Si las leyes de la mecánica valen en un marco inercial, valen en todos**



Atención....

- Para llegar a este importante resultado, dimos por sentado algo que no es trivial:

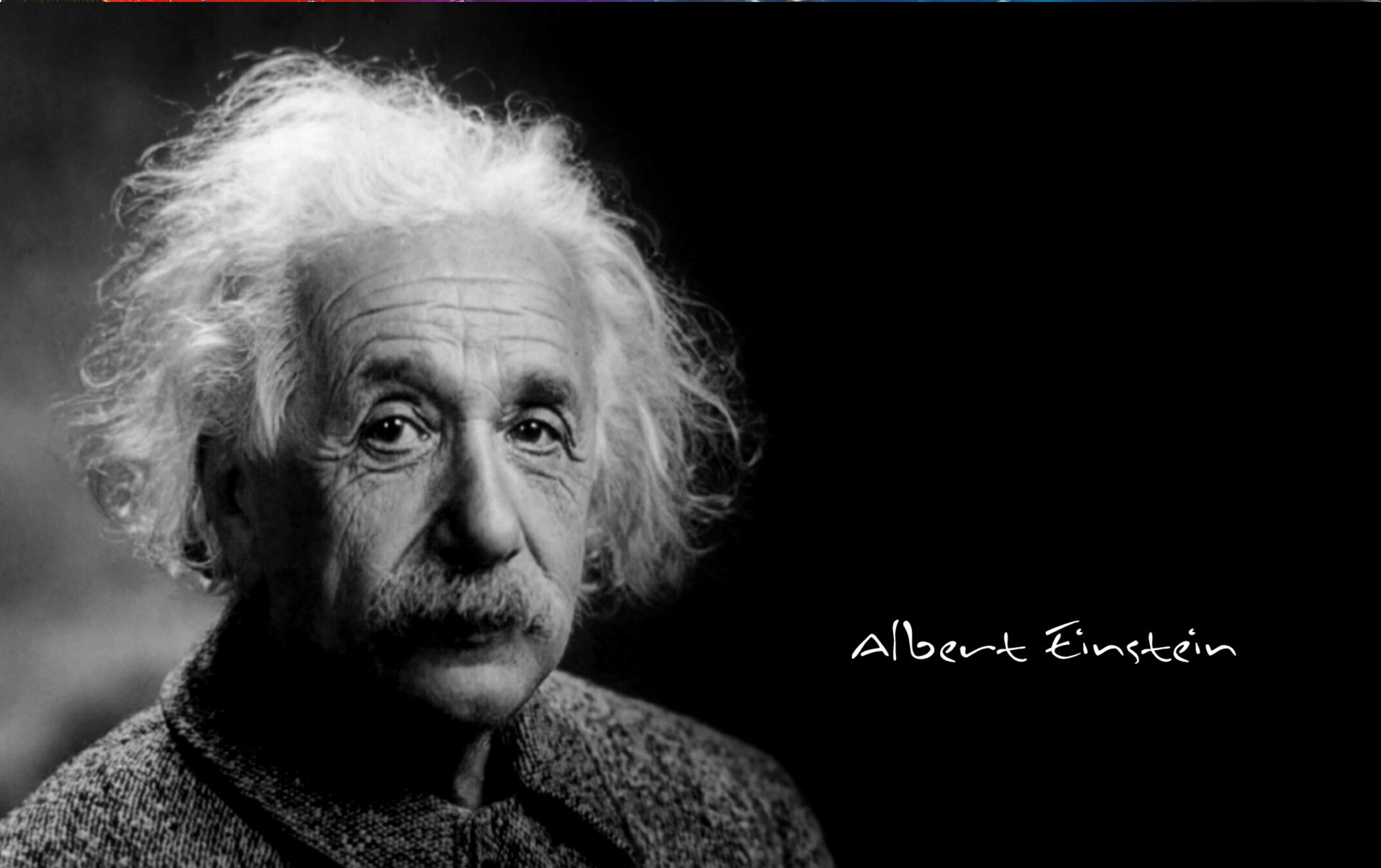
En todos los casos, derivamos respecto a t, ya que en Galileo,

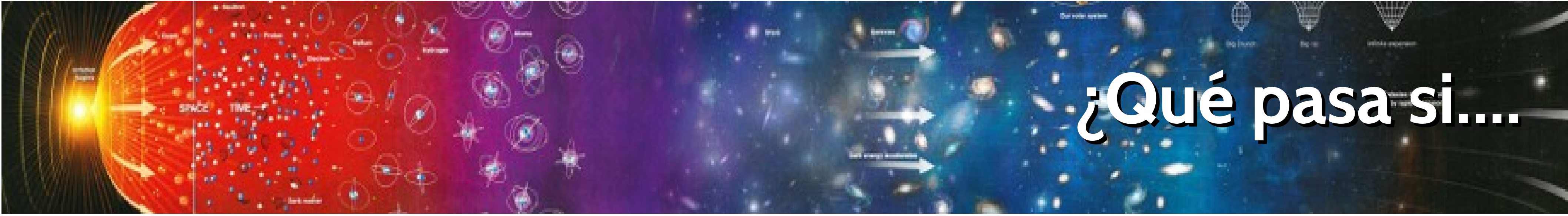
$$t=t' \rightarrow dt = dt'$$

- Esto parece obvio, pero ¡no lo es!
- Y además, sólo vale para las leyes de Newton, en el electromagnetismo, esto no vale (→ F-4B)

→ Transformaciones de Lorentz (ya vienen)

El genial Albert Einstein

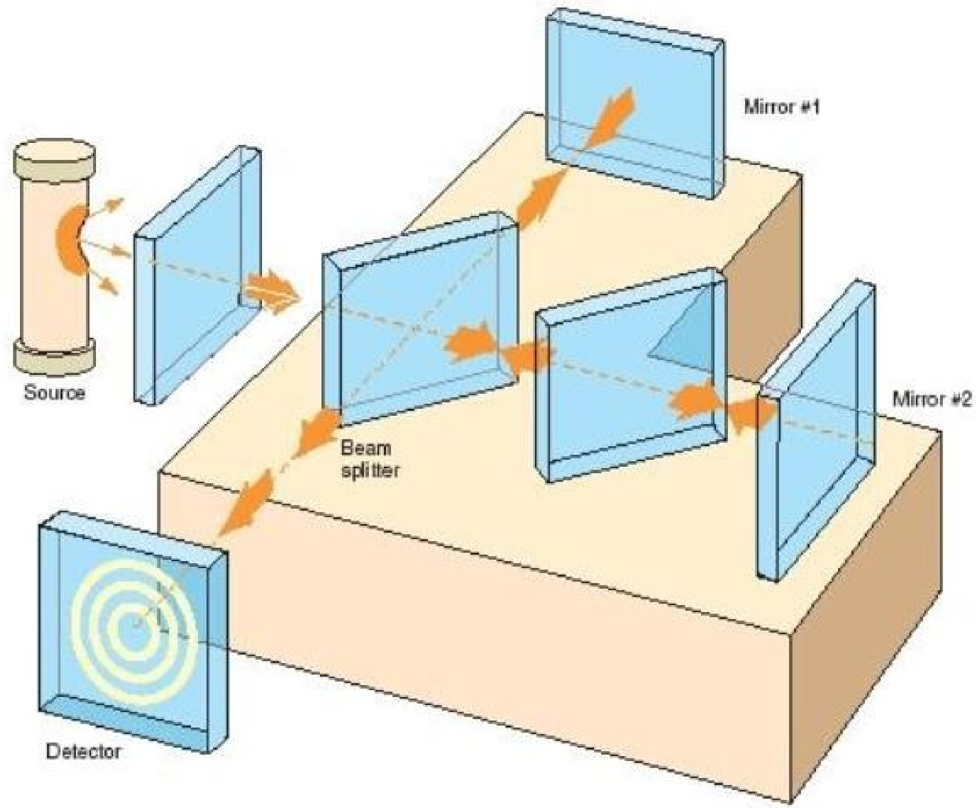


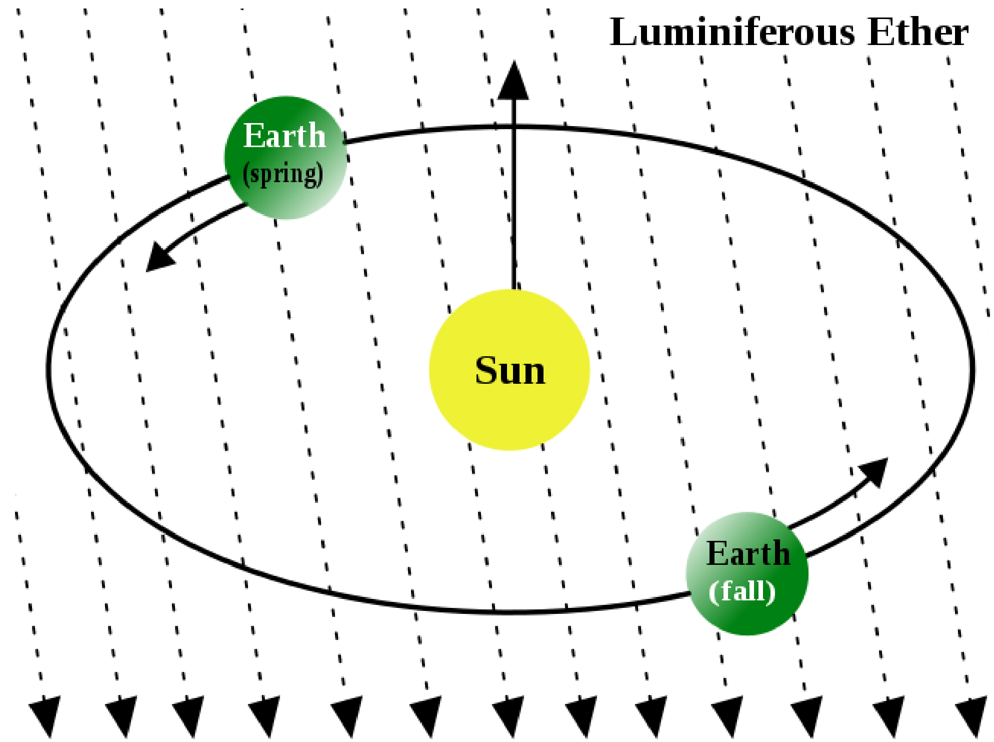


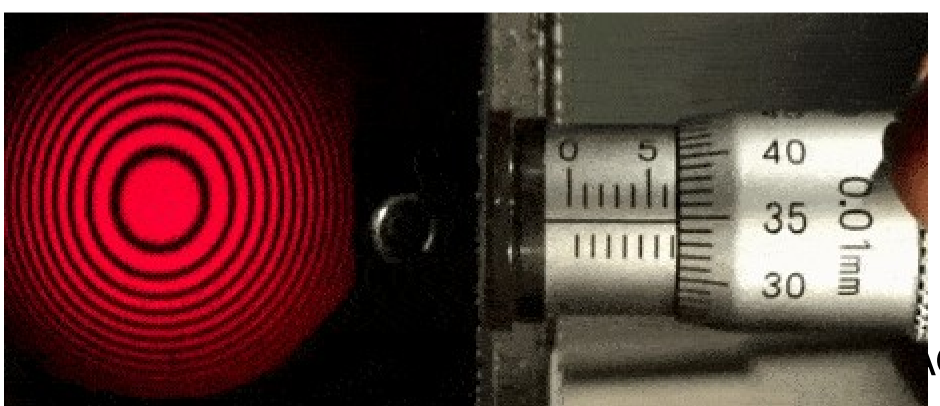
¿Qué pasa si....

- Ondas mecánicas necesitan un medio
  → Ondas electromagnéticas también → Éter
- Hay una fuerte inconsistencia entre las leyes de Newton y las leyes de Maxwell
- Michelson & Morley (1887) querían medir la velocidad del "viento del éter" (la Tierra se mueve a una velocidad de 30km/s ~ 0.0001 c)...

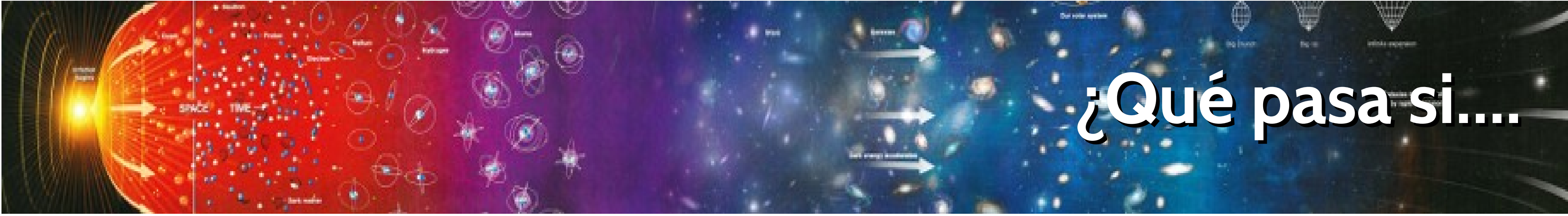
El experimento de Michelson&Morley





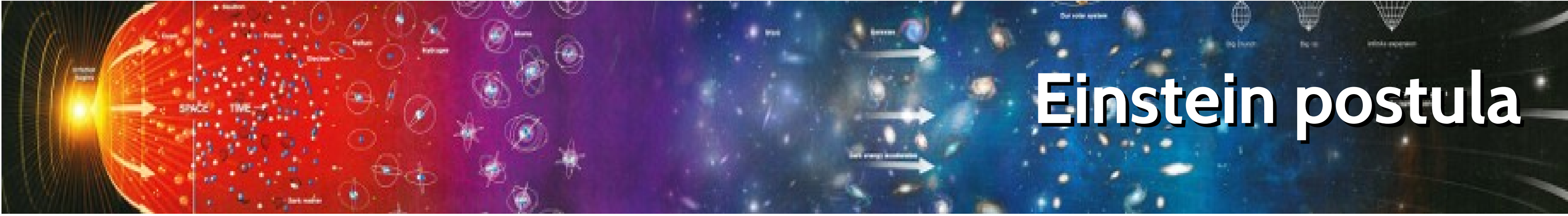


En diferentes momentos del año, la velocidad de la luz medida en los brazos del interferómetro sería diferente, teniendo en cuenta la velocidad de propagación de la Tierra respecto al eter (viento del eter), que era donde se suponía se desplazaba la luz.



¿Qué pasa si....

- Ondas mecánicas necesitan un medio
  → Ondas electromagnéticas también → Éter
- Hay una fuerte inconsistencia entre las leyes de Newton y las leyes de Maxwell
- Michelson & Morley (1887) querían medir la velocidad del "viento del éter" (la Tierra se mueve a una velocidad de 30km/s ~ 0.0001 c) → **fallan estrepitósamente...**
- ... y esto es un **éxito rotundo**: demuestran que no hay necesidad de plantear la existencia del éter
- **Pero además, vieron que la velocidad de la luz era la misma en cualquier dirección!!!**



Einstein postula

- **El principio de la relatividad:**

  Las leyes que gobiernan los cambios en los estados de los sistemas físicos son iguales para todos los observadores inerciales

- **El principio de la invarianza de la velocidad de la luz**

  La luz se propaga en el vacío siempre con la misma velocidad, sin importar la velocidad de la fuente emisora de luz

... y paso a la historia

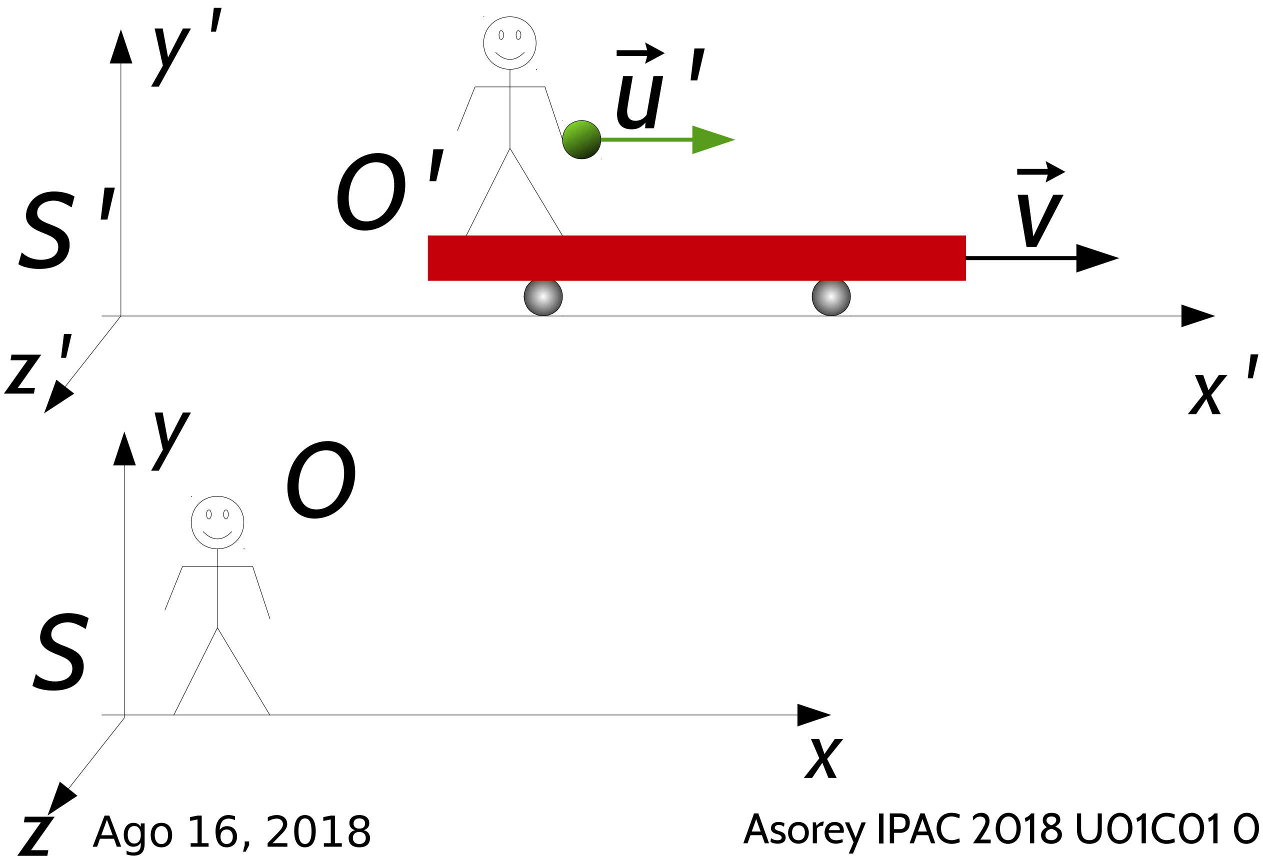
Cambio de paradigma 1

- **El primer postulado modifica la definición de sistema inercial: ya no importa la inercia**

"La debilidad del principio de inercia se encuentra en el hecho de que el mismo implica un argumento circular: una masa se mueve sin aceleración si está suficientemente lejos de otros cuerpos; y sabemos que la masa está suficientemente lejos de otros cuerpos sólo por el hecho de que se mueve sin aceleración" Albert Einstein, El significado de la relatividad

Entonces hagamos una prueba

- El primer postulado es claro, es lo que venimos haciendo con Galileo sobre la invariancia.



Por Galileo:

$$\vec{u}'(t) = \vec{u}(t) - \vec{v}$$

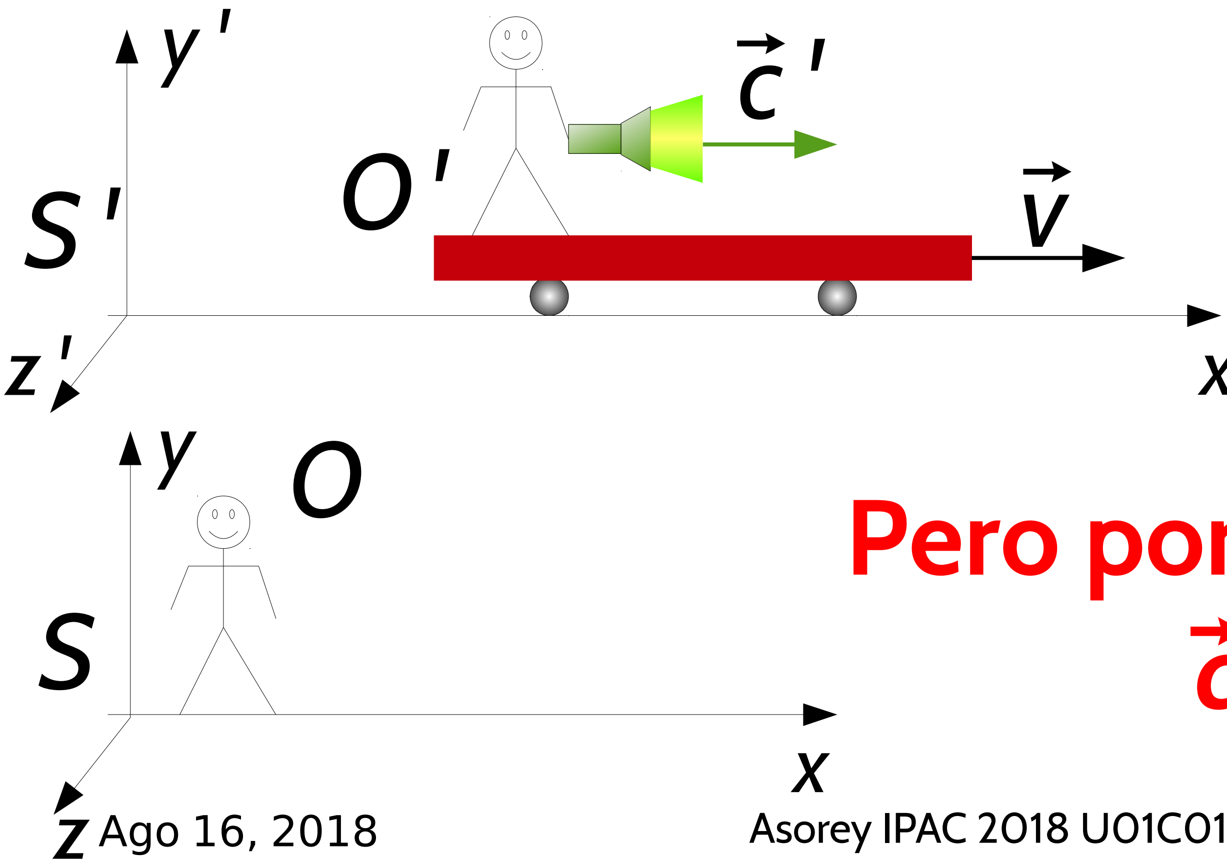
$$\vec{u}(t) = \vec{u}'(t) + \vec{v}$$

Claramente

$$\vec{u}'(t) \neq \vec{u}(t)$$

Cambio pelota por linterna verde...

- El primer postulado es claro, es lo que venimos haciendo con Galileo sobre la invariancia.
- ¿Qué pasa con el segundo? Imaginemos lo siguiente:



~~Por Galileo:~~

$$\cancel{\vec{c}\,'(t)=\vec{c}(t)-\vec{v}}$$

$$\cancel{\vec{c}(t)=\vec{c}\,'(t)+\vec{v}}$$

Pero por el 2do postulado

$$\vec{c}\,'=\vec{c}=\text{cte}$$

Cambio de paradigma 2

- Dado que la velocidad de la luz debe ser igual en ambos sistemas inerciales
- Y dado que uno se mueve respecto al otro, se anticipan problemas con la visión usual (de Galileo) de las cosas:

$$\vec{u}=\frac{\Delta\vec{r}}{\Delta t} \text{ y } \vec{u}'=\frac{\Delta\vec{r}'}{\Delta t}\Rightarrow\vec{u}'\neq\vec{u}\rightarrow\frac{\Delta\vec{r}}{\Delta t}\neq\frac{\Delta\vec{r}'}{\Delta t}$$

- Esto no puede valer para la velocidad de la luz:

$$\vec{c}=\vec{c}'$$

en todos los sistemas inerciales

Cambio de paradigma 2

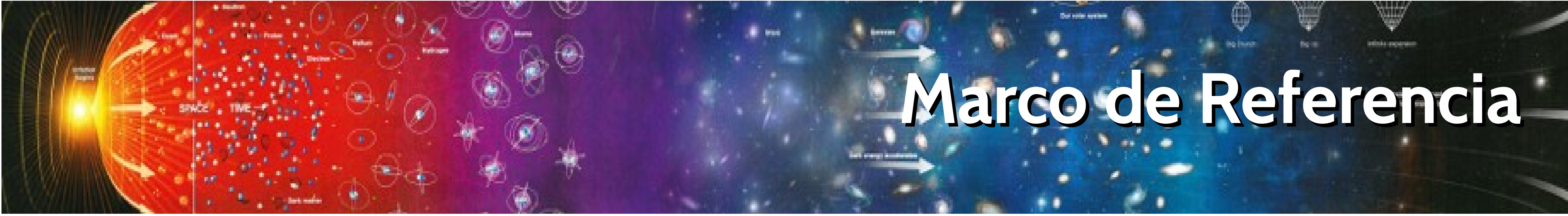
- La luz también se mueve en el espacio, entonces:

$$\vec{c}=\frac{\Delta\vec{r}}{\Delta t} \text{ y } \vec{c}\,'=\frac{\Delta\vec{r}\,'}{\Delta t}$$

- Pero por el segundo postulado

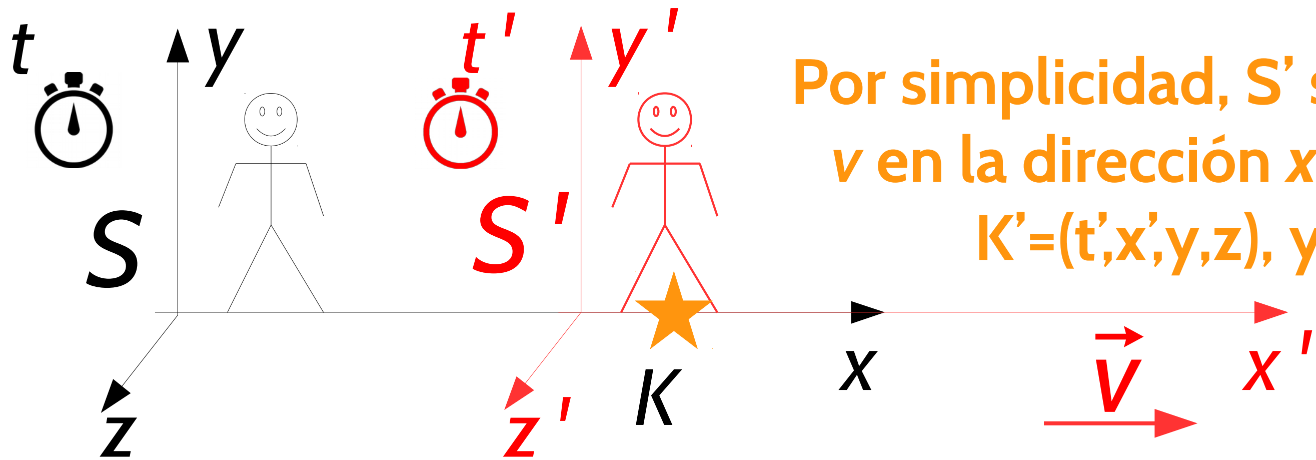
$$\vec{c}=\vec{c}\,'\rightarrow\frac{\Delta\vec{r}}{\Delta t}=\frac{\Delta\vec{r}\,'}{\Delta t}$$

- Pero los desplazamientos "no deberían" ser iguales, ya que un sistema se mueve respecto al otro...
- ... o los intervalos temporales... (!!!)



Marco de Referencia

- **Marco de Referencia**
  sistema de referencia inercial donde existe la habilidad de medir intervalos temporales mediante un reloj
- Espacio (3D) y tiempo → **espaciotiempo**
- **Evento**
  es un punto en el espaciotiempo *K=(t,x,y,z)*



Por simplicidad, S' se mueve con velocidad *v* en la dirección *x*, entonces K=(t,x,y,z) y K'=(t',x',y,z), ya que z'=z e y'=y