



Universidad Nacional de Río Negro

Int. Partículas, Astrofísica & Cosmología - 2017

- **Unidad** 01 – Relatividad
- **Clase** U01 C02 – 02
- **Fecha** 15 Ago 2017
- **Cont** Relatividad especial
- **Cátedra** Asorey
- **Web**
github.com/asoreyh/unrn-ipac
www.facebook.com/fisicareconocida/
- **Archivo** ipac-2017-U01-C02-0815-relatividad-2



Contenidos: un viaje en el tiempo

HOW DID OUR UNIVERSE BEGIN?

Some 13.8 billion years ago our entire visible universe was contained in an unimaginably hot, dense point, a billion times the size of a nuclear particle. Since then it has expanded—a lot—fighting gravity all the way.

Inflation
In less than a nanosecond a repulsive energy field inflates space exponentially until it's a soup of subatomic particles called quarks.

Age: 10^{-3} milliseconds
Size: Infinitesimal to golf ball

Early building blocks
Quarks clump into protons and neutrons, creating blocks of atomic nuclei. Perhaps dark matter forms.

Age: .01 milliseconds
Size: 0.1-million present size

First nuclei
As the universe continues to cool, the lightest nuclei of hydrogen and helium arise. A thick fog of particles blocks all light.

Age: .01 to 200 seconds
Size: 1-billionth present size

First atoms, first light
As electrons begin orbiting nuclei, creating atoms, the glow from their infalling orbits is unveiled. This light is as far back as our instruments can see.

Age: 380,000 years
Size: .0009 to 0.1 present size

The "dark ages"
For 300 million years this combination of density and light is the only light. Clumps of dark matter will eventually form galaxies and stars. Nuclear fusion lights up the stars.

Age: 300 million years
Size: 0.1 present size

Gravity wins: first stars
Dense gas clouds collapse under their own gravity and attract dark matter that will become galaxies and stars. Nuclear fusion lights up the stars.

Age: 300 years
Size: .77 present size

Antigravity wins
After being slowed for billions of years by gravity, cosmic expansion accelerates again. The culprit: dark energy. Its nature: unclear.

Age: 10 billion years
Size: Present size

Today
The universe continues to expand, becoming ever less dense. As a result, fewer new stars and galaxies are forming.

Age: 13.8 billion years
Size: Present size



COSMIC QUESTIONS

In the 20th century the universe became a story—a scientific one. It had always been seen as static and eternal. Then astronomers observed other galaxies flying away from ours, and Einstein's general relativity theory implied space itself was expanding—which meant the universe had once been denser. What had seemed eternal now had a beginning and an end. But what beginning? What end? Those questions are still open.

WHAT IS OUR UNIVERSE MADE OF?

Stars, dust, and gas—the stuff we can discern—make up less than 5 percent of the universe. Their gravity can't account for how galaxies hold together. Scientists figure about 23 percent of the universe is a mysterious dark matter—perhaps exotic particles formed right after inflation. The rest is dark energy, an unknown energy field or property of space that counters gravity, providing an explanation for observations that the expansion of space is accelerating.



WHAT IS THE SHAPE OF OUR UNIVERSE?

Einstein discovered that a star's gravity curves space around it. But is the whole universe curved? Might space close up on itself like a sphere or curve the other way, opening out like a saddle? By studying cosmic background radiation, scientists have found that the universe is poised between the two: just dense enough with just enough gravity to be almost perfectly flat, at least the part we can see. What lies beyond we can't know.

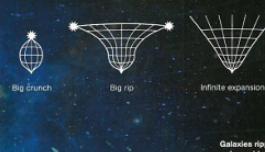


DO WE LIVE IN A MULTIVERSE?

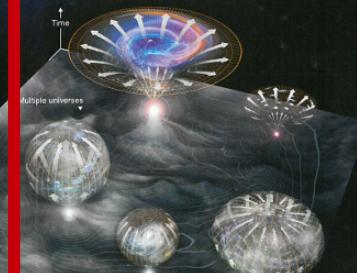
What came before the big bang? Maybe other big bangs. The uncertainty principle holds that even the vacuum of space has quantum energy fluctuations. Inflation theory suggests universes exploded from such a fluctuation—a random event that, odds are, had happened many times before. Our cosmos may be one in a sea of others just like ours—or nothing like ours. These other cosmos will very likely remain forever inaccessible to observation; their possibilities limited only by our imagination.

HOW WILL IT END?

Which will win in the end, gravity or antigravity? Is the density of matter enough for gravity to halt or even reverse cosmic expansion, leading to a big crunch? It seems unlikely—especially given the power of dark energy, a kind of antigravity. Perhaps the acceleration in expansion caused by dark energy will trigger a big rip that shreds everything, from galaxies to atoms. If not, the universe may expand for hundreds of billions of years, long after all stars have died.



Unidad 1 Partículas 1 *todo es relativo*

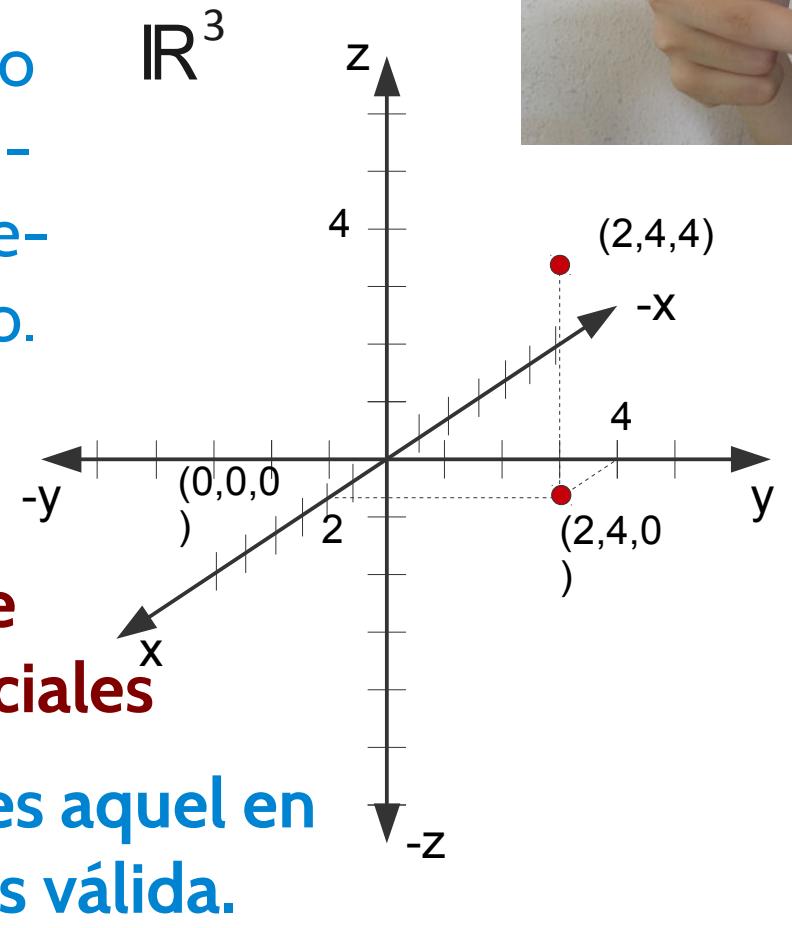


Fly through the universe on our digital edition.
LONDON PHOTOS: ANDREW STONE; FERNE GOLDBECK; ART: WOLFGANG DEGEN; SOURCES: CHARLES BENNETT, JOHN HESKETH, ANDREW LAMBERT, ANDREW LISTER, UNIVERSITY OF CHICAGO; COURTESY OF NATIONAL GEOGRAPHIC SOCIETY

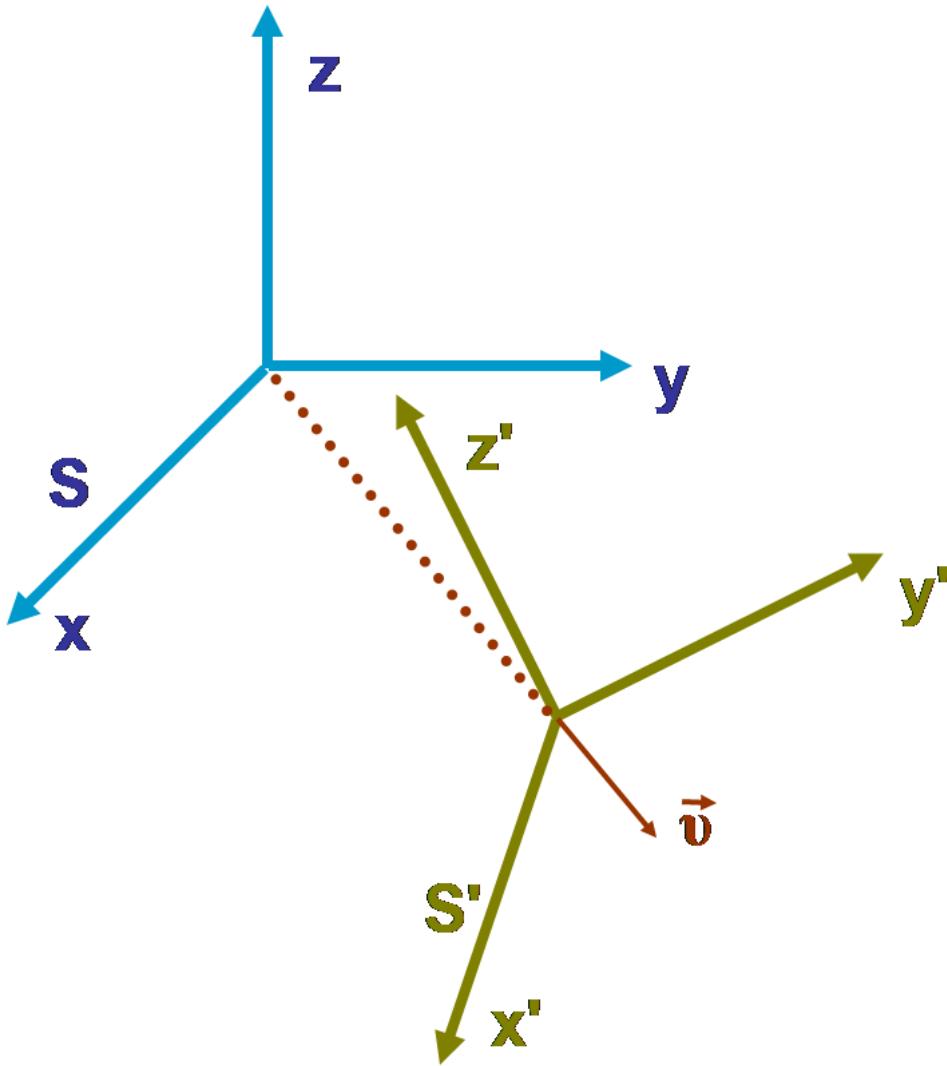
Marco de referencia inercial

- **Marco de referencia inercial**

- Describe el espacio homogéneo (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.



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:

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

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

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



Pero entonces... Invariancia de Galileo

- Este último resultado es crucial, ya que si

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

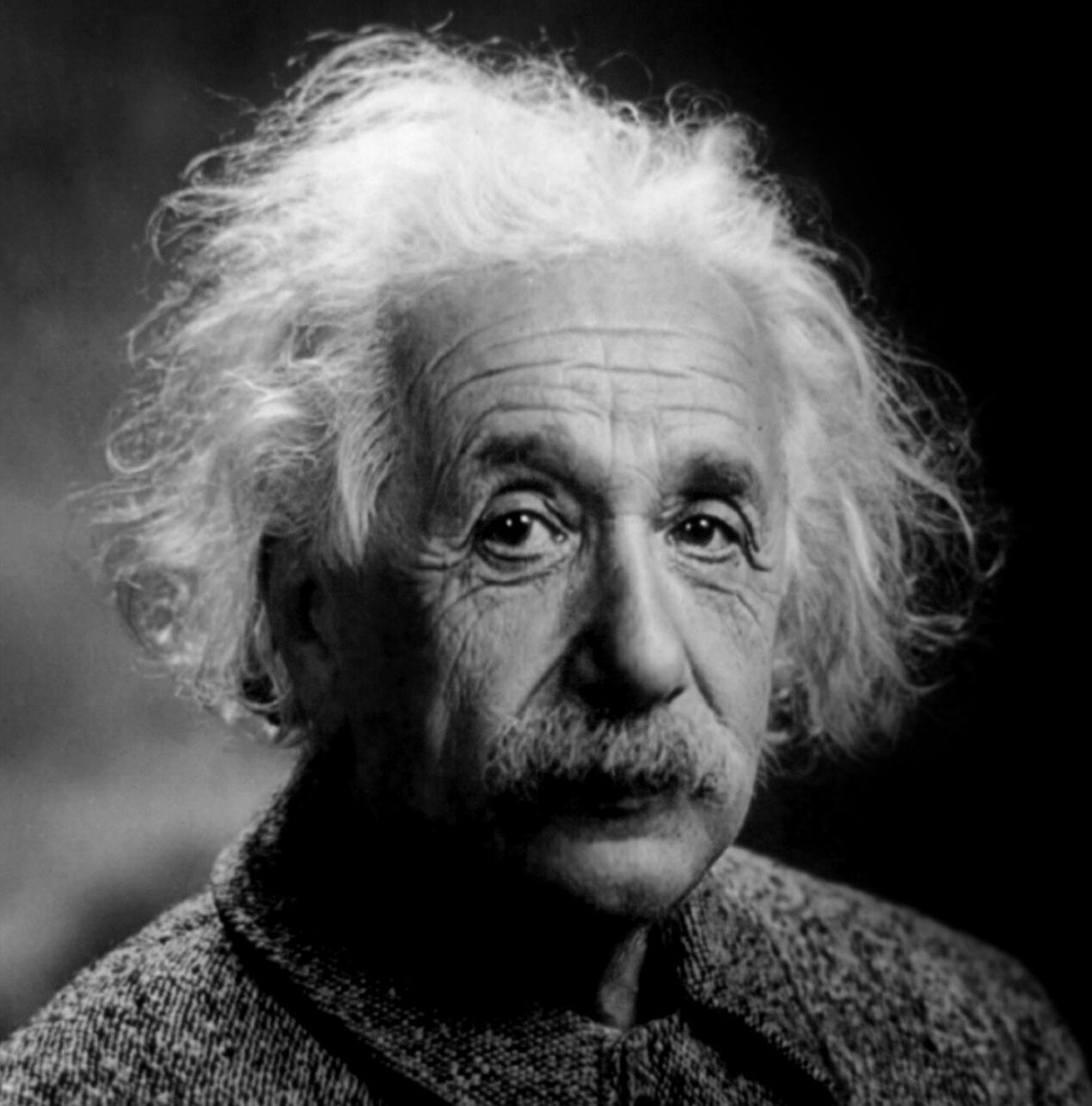
- Y suponemos que la masa m es un invariante, $m=m'$

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

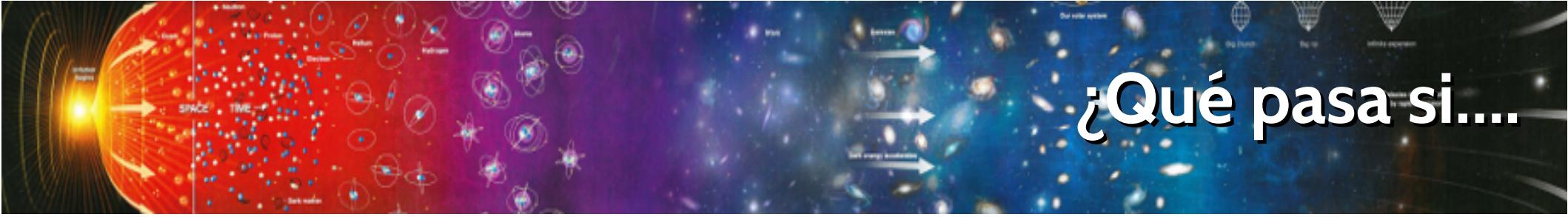
- ¡La segunda ley de Newton no cambia frente a cambios entre sistemas de referencias inerciales! (la primera ya valía)
- **Si las leyes de la mecánica valen en un marco inercial, valen en todos**



El genial Albert Einstein



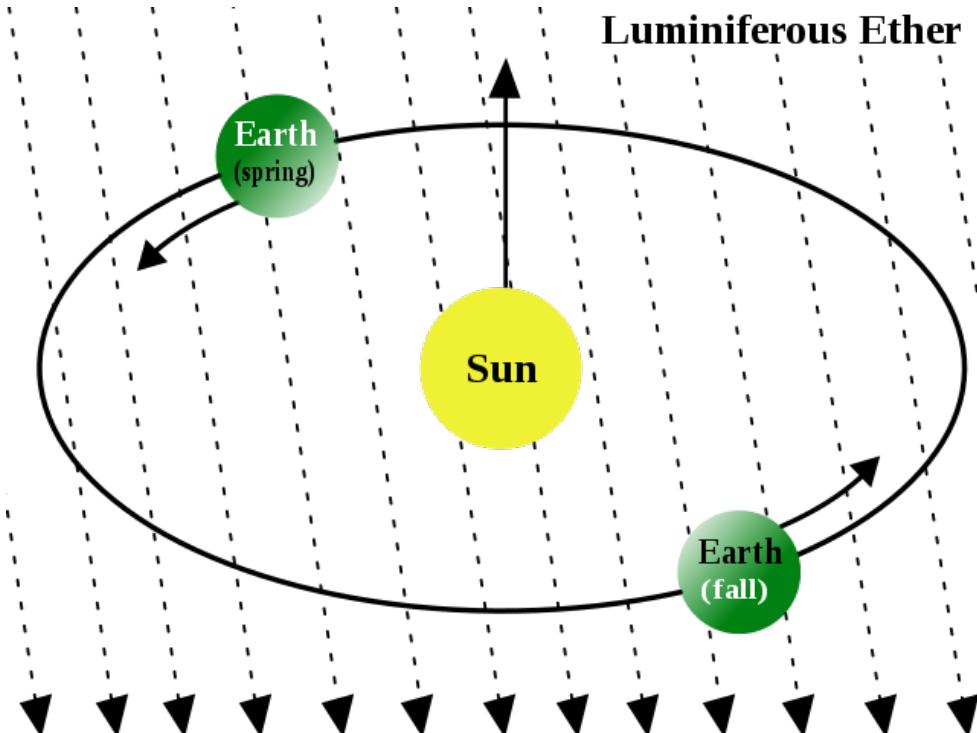
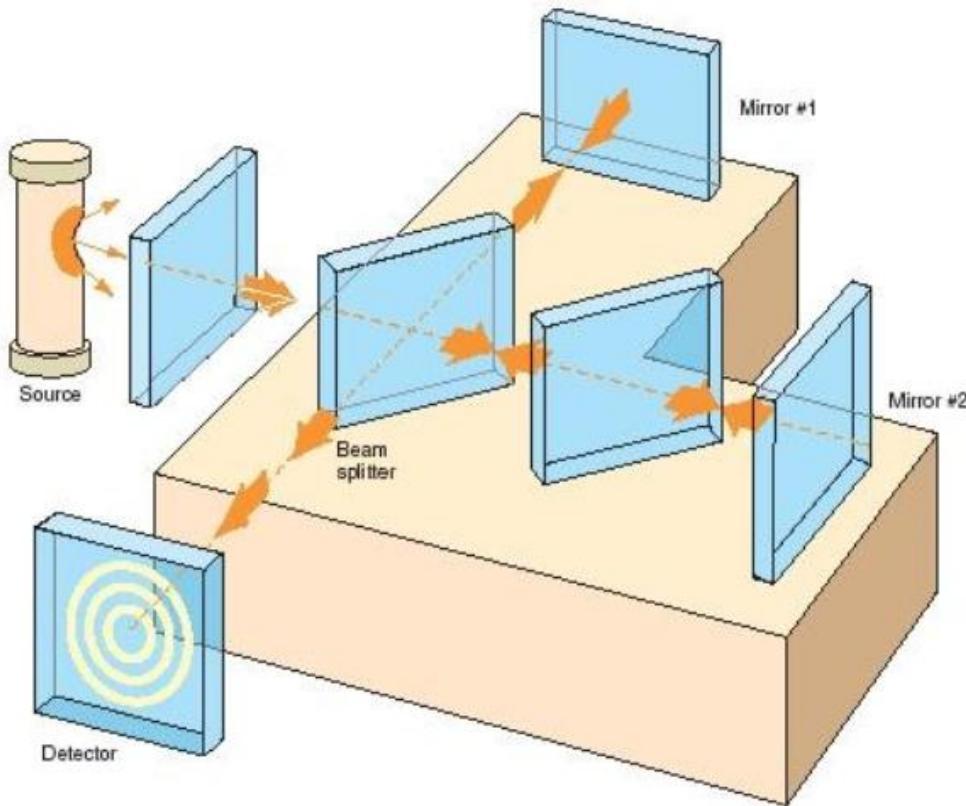
Albert Einstein



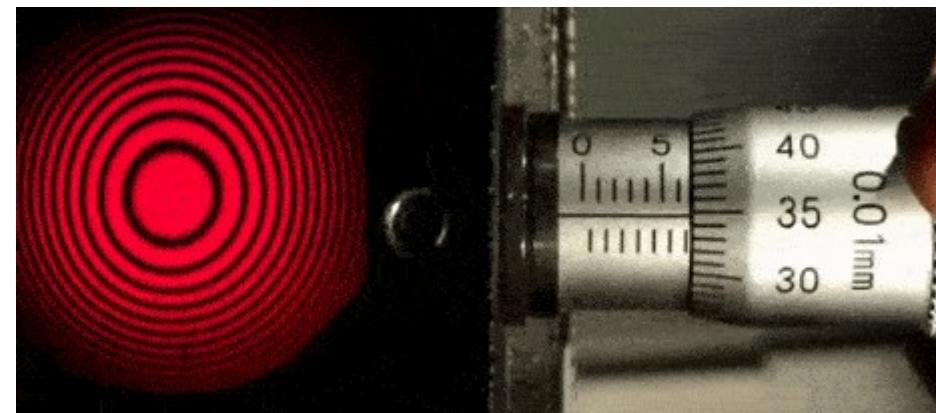
¿Qué pasa si....

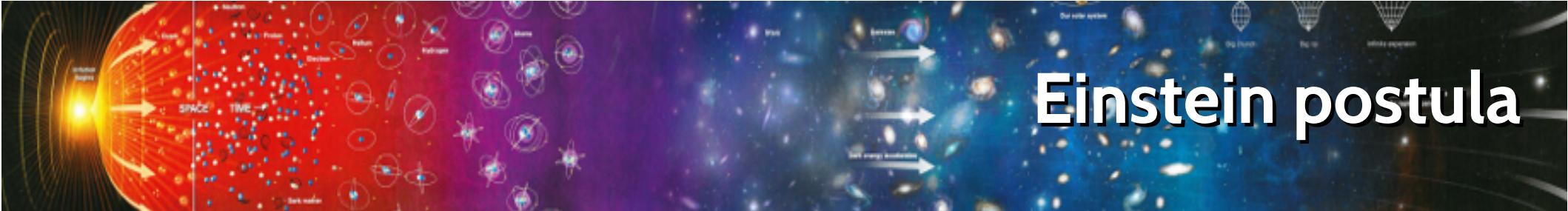
- Ondas mecánicas necesitan un medio
→ Ondas electromagnéticas también → Éter
- Hay una fuerte inconsistencia entre las leyes de Newton y las leyes de Maxwell
- Michelson & Morley (1887) querían medir la velocidad del “viento del éter” (la Tierra se mueve a una velocidad de 30km/s ~ 0.0001 c) → **fallan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

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.





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 invariancia de la velocidad de la luz**

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



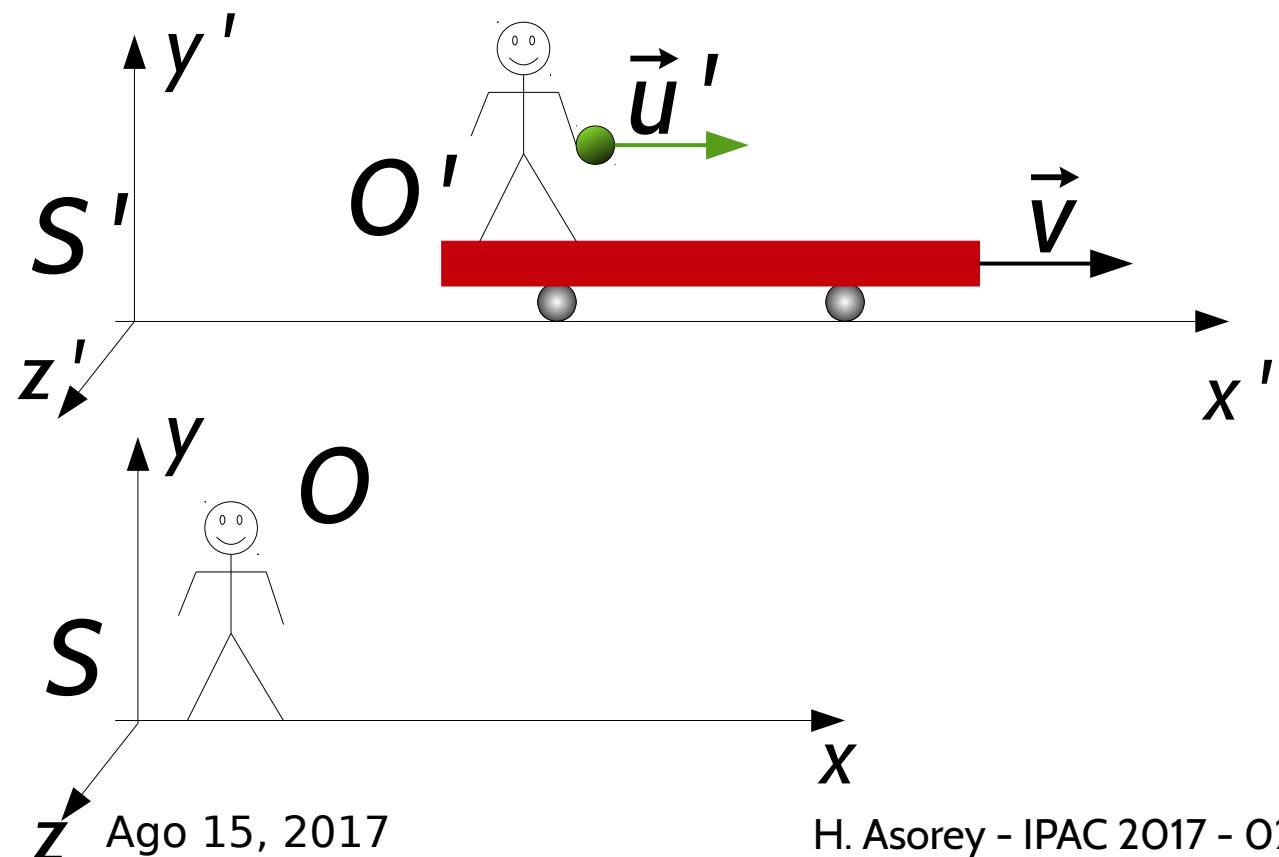
Cambio de paradigma 1

- **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.



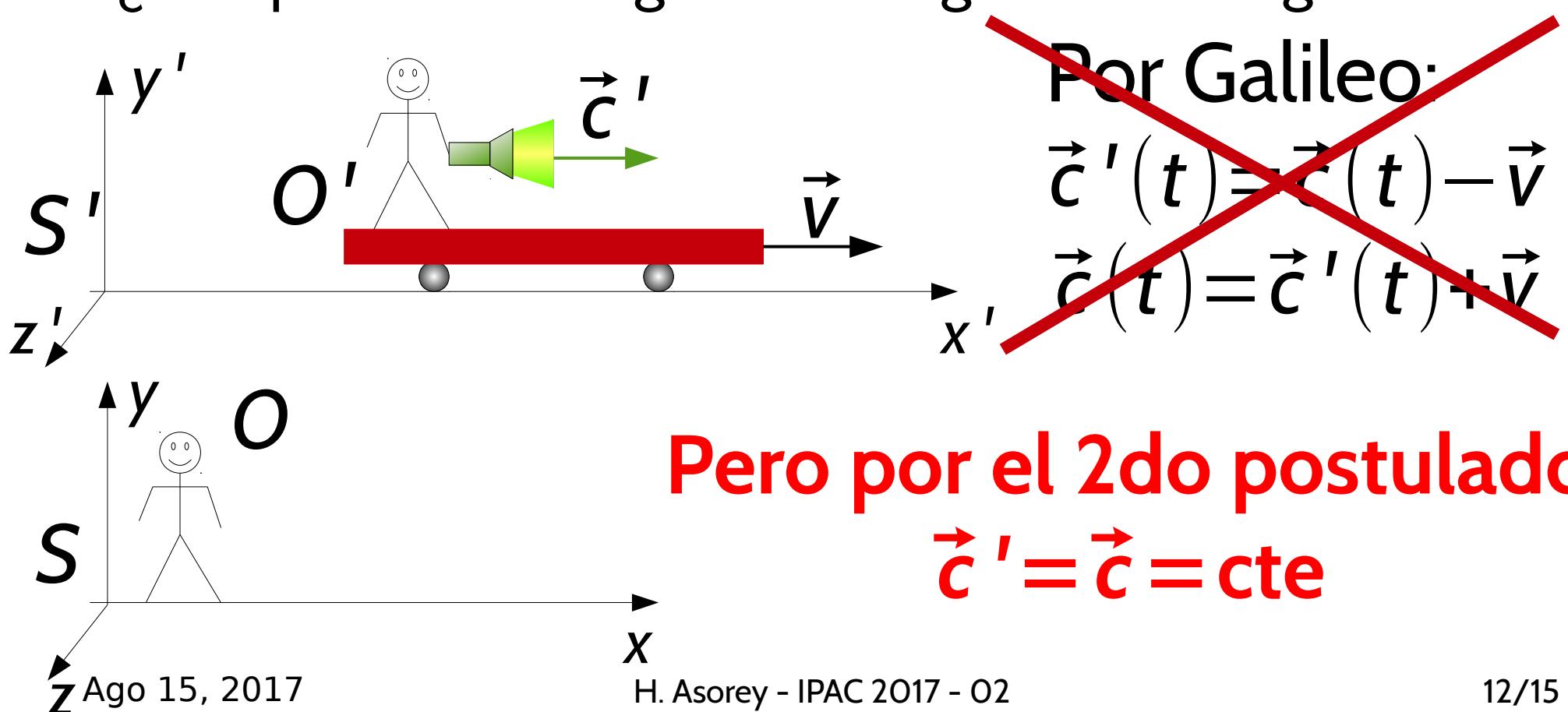
Por Galileo:

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

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:



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:

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

- 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

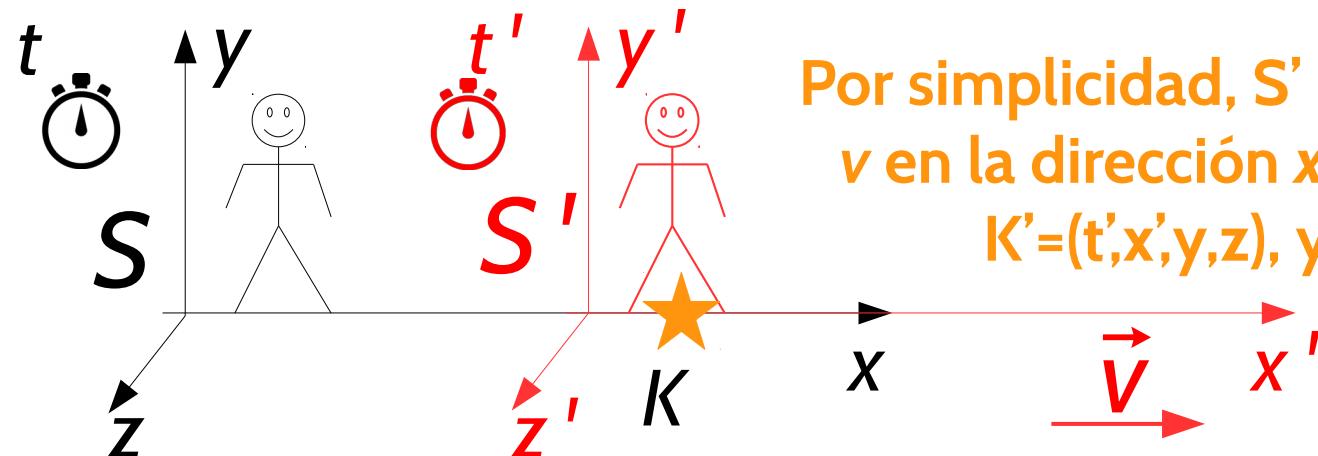
- **Marco de Referencia**

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 $y'=y$