

# El Misterio de la Masa

Benjamin Koch<sup>a</sup>

bkoch@fis.puc.cl

<sup>a</sup> PUC, Chile

Física para las tardes de invierno  
Santiago  
Septiembre 2013



- I La Masa Clásica
- II La Masa en el Mundo Cuántico
- III Las Masas en el Universo
- IV Resumen: Los 4 Misterios de la Masa



# I

# La Masa clásica



I

# Masa Clásica

I-A

# La Masa en Gravitación



# La Masa en Gravitación

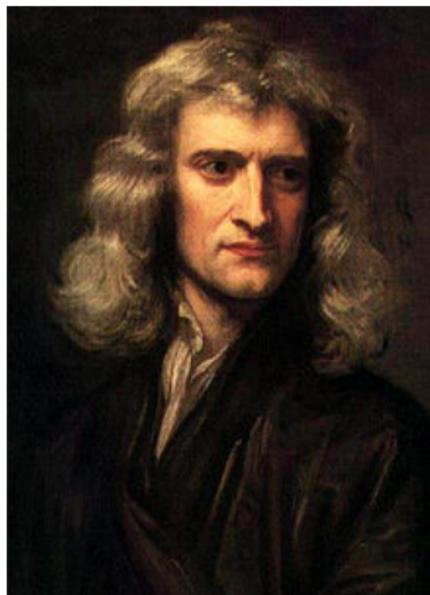
## Masa Clásica

### Gravitación

Isaac Newton

Ley de gravitación:

$$F_G = m \frac{MG_N}{r^2} \quad (1)$$



# La Masa en Gravitación

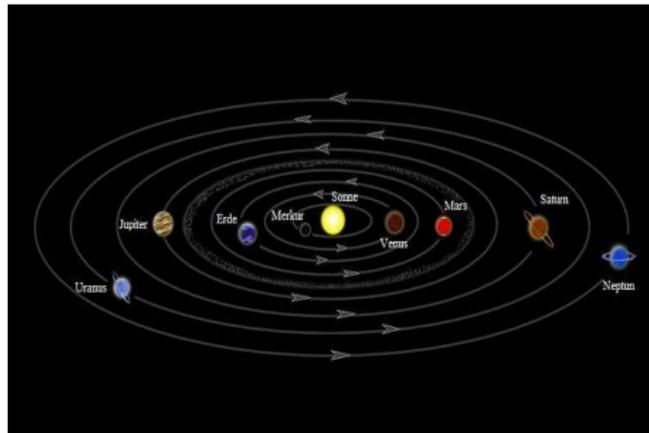
## Masa Clásica

### Gravitación

Masas se atraen



Entre peso y tierra



Entre estrella y planetas



# La Masa en Gravitación

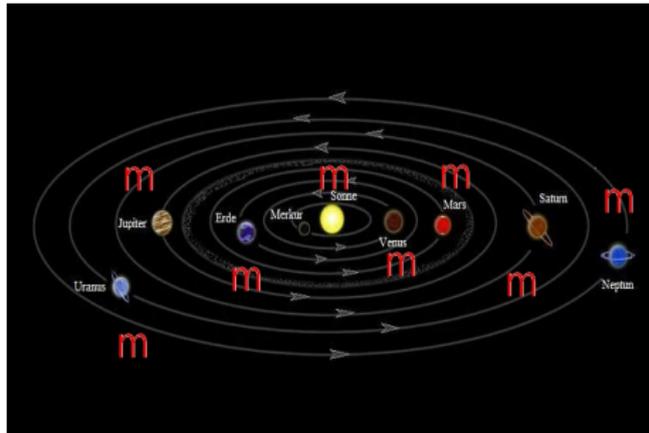
## Masa Clásica

### Gravitación

Masas se atraen



Entre peso y tierra



Entre estrella y planetas



# La Masa en Gravitación

## Masa Clásica

Concluimos:

La masas gravitacionales  $m$  se atraen una a otra



# I

## La Masa clásica

### I-B

## Mecánica



# La Masa en Mecánica

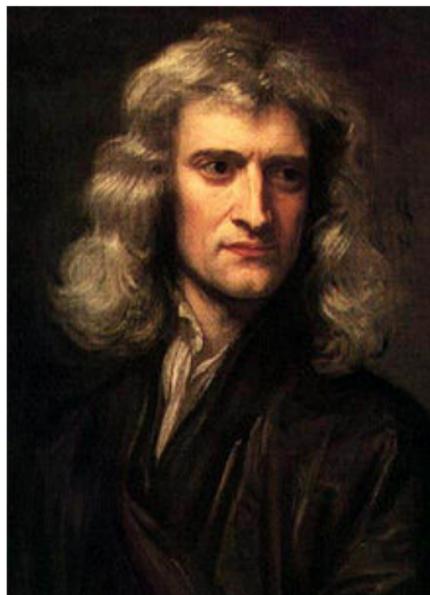
## Masa Clásica

### La Masa en Mecánica

Isaac Newton

Segunda ley de mecánica:

$$\vec{F} = m \vec{a} \quad (2)$$



# La Masa en Mecánica

Masa Clásica

Mecánica



# La Masa en Mecánica

## Masa Clásica

Mecánica



# La Masa en Mecánica

## Masa Clásica

Mecánica



# La Masa en Mecánica

## Masa Clásica

### Mecánica



# La Masa en Mecánica

## Masa Clásica

Concluimos:

- La masas gravitacionales  $m$  se atraen una a otra
- Masa Mecánica  $m$  es lo que resiste fuerza

Primer misterio de la masa:

¿Porque  $m$  y  $m$  son iguales?



I

# Masa Clásica

I-C

# La Masa en Relatividad



# La Masa en relatividad

## Masa Clásica

### Relatividad

Albert Einstein

toma en serio el primer misterio de la masa y lo resuelve

⇒

Masa es energía

$$E = mc^2 \quad (3)$$

y

$$\text{o} \text{tras} = \dots \quad (4)$$



# La Masa en relatividad

## Masa Clásica

### Relatividad

Albert Einstein:  $E = mc^2$

- Masa gravitatoria **m** es energía
- Energía curva espacio
- Esto explica masa mecánica **m**



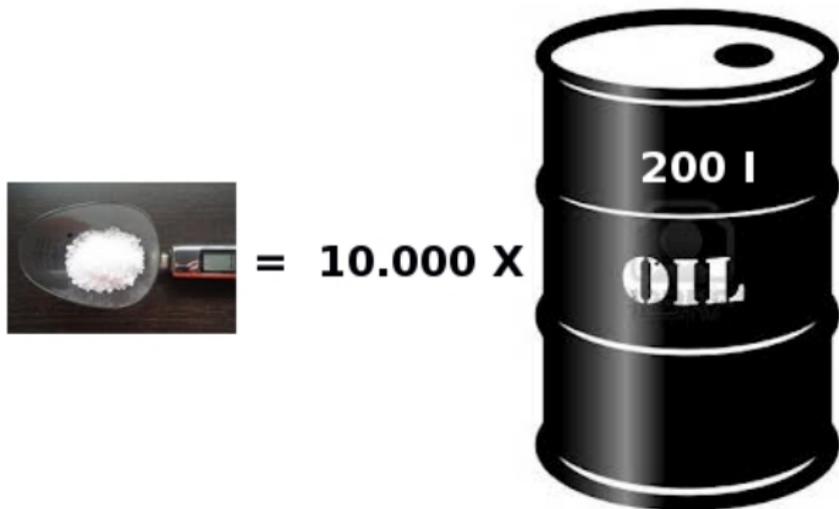
Resolver el primer misterio de la masa  $\Rightarrow$  muchos descubrimientos



# La Masa en relatividad

## Masa Clásica

Relatividad: muchas implicancias



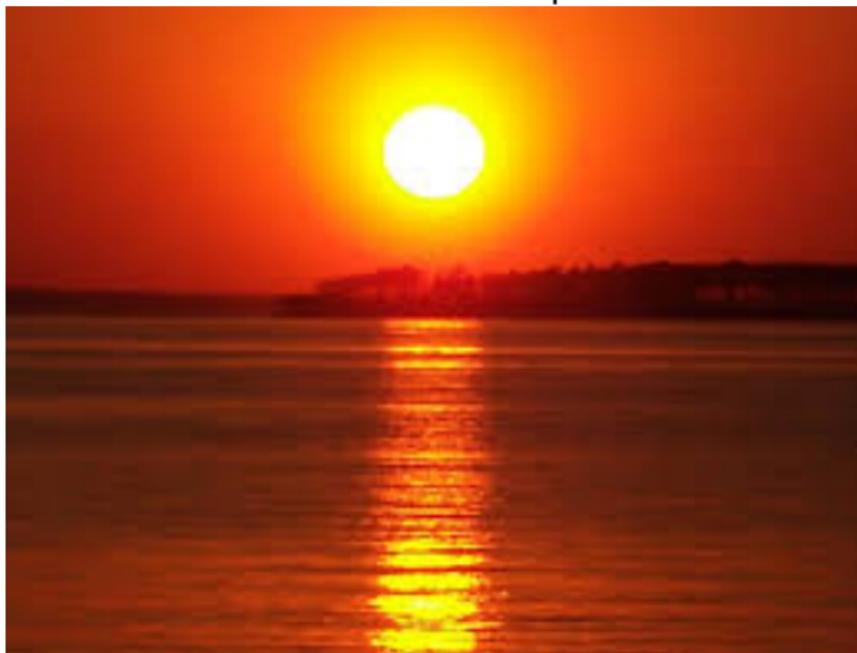
0.1 g de sal equivale energía química en 10 mil barriles de gas,  
(porque velocidad de luz  $c$  es grande)



# La Masa en relatividad

Masa Clásica

Relatividad: muchas implicancias



Energía del sol



# La Masa en relatividad

## Masa Clásica

Relatividad: muchas implicancias



Energía nuclear



# La Masa en relatividad

## Masa Clásica

Relatividad: muchas implicancias



Energía nuclear



# La Masa en relatividad

## Masa Clásica

Relatividad: muchas implicancias



GPS



# La Masa en relatividad

## Masa Clásica

Misterio resuelto, descubrimientos hechos

Podría estar contento, pero la historia no termina aquí ...



# II La Masa Cuantica



# La Masa Cuántica

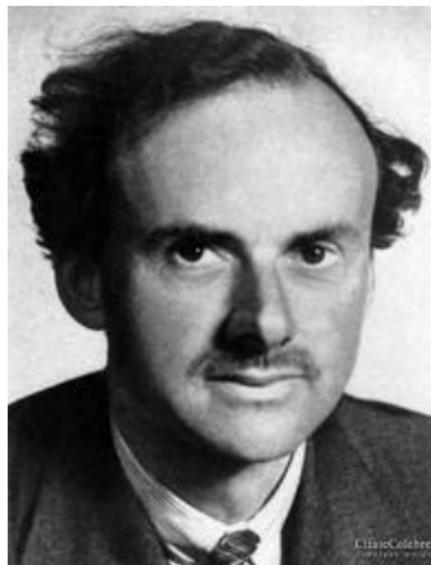
Cuántica

Cuántica

Paul Dirac (y otros)

Masa en cuantica

$$i\hbar c \partial \psi = mc^2 \psi \quad (5)$$



# La Masa Cuántica

Cuántica

Cuántica está en todo



Electronica



# La Masa Cuántica

Cuántica

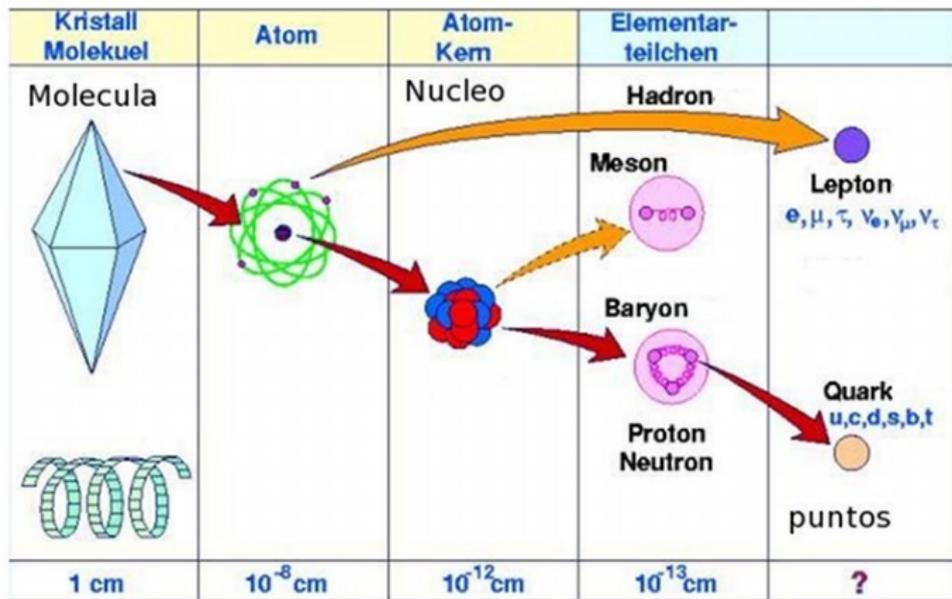
Cuántica está en todo



# La Masa Cuántica

Cuántica

Cuántica está en todo



Estructura de materia



# La Masa Cuántica

Cuántica

Cuántica está en todo

Kristall Molekuel	Atom	Atom-Kern	Elementar-teilchen	
Molecula  $m$	 $m$	Nucleo  $m$	Hadron Meson  $m$ Baryon  $m$ Proton Neutron	 $m$ Lepton $e, \mu, \tau, \nu_e, \nu_\mu, \nu_\tau$  $m$ Quark $u, c, d, s, b, t$ puntos
1 cm	$10^{-8}$ cm	$10^{-12}$ cm	$10^{-13}$ cm	?

También la masa esta en todo!



Segundo misterio de la masa:

¿Como adquieren las partículas fundamentales cuánticas su masa?

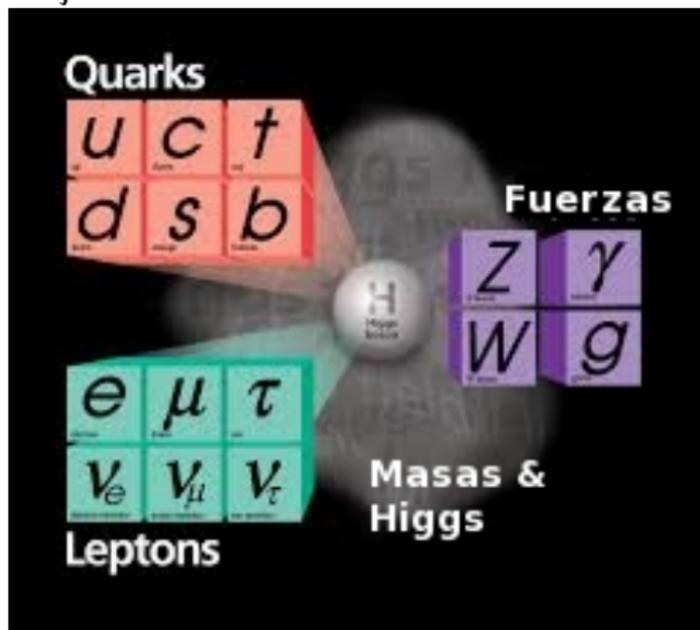


# La Masa Cuántica

## Cuántica

Esta pregunta nos llevó a

Mejor teoría cuántica: Modelo Standard



El Higgs da masa



# La Masa Cuántica

Cuántica

Peter Higgs y otros

El mecanismo de Higgs da masa



# La Masa Cuántica

Cuántica

## LHC: Búsqueda del Higgs



2012: El Higgs, finalmente se encontro



# La Masa Cuántica

## Cuántica

Hasta aquí llegamos con teorías actuales sobre la masa en física:

- Primer misterio ( ¿ $m = m$ ?)  
⇒ Relatividad
- Segundo misterio ( ¿ $m$  para partículas fundamentales?)  
⇒ Higgs
- Entendemos masas en la tierra

¿Que tal en el espacio?



### III

## El Universo

### III-A

## La masa en el Universo



# La Masa en el Universo

El Universo

“Contar”  
estrellas



# La Masa en el Universo

El Universo

Estrellas en galaxias



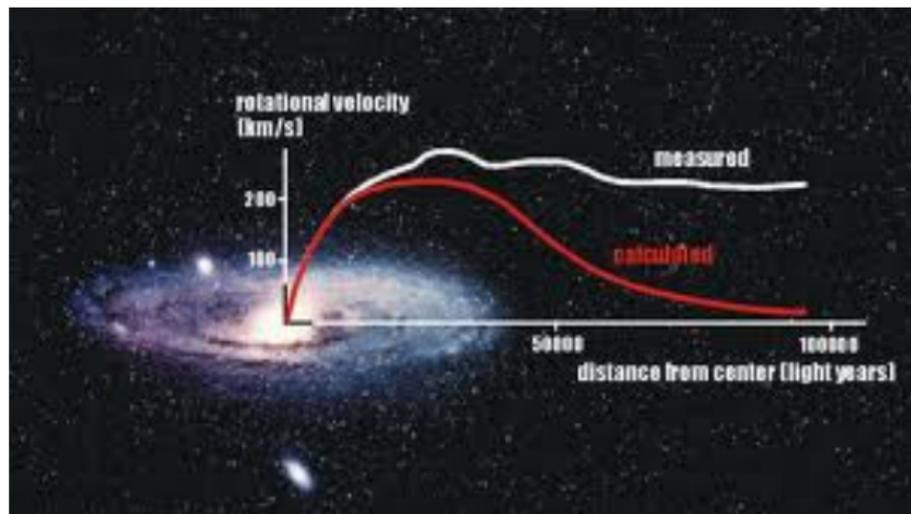
Medir posiciones y velocidades



# La Masa en el Universo

## El Universo

Estrellas en galaxias



Hay mas masa  $m$  que actualmente vemos!



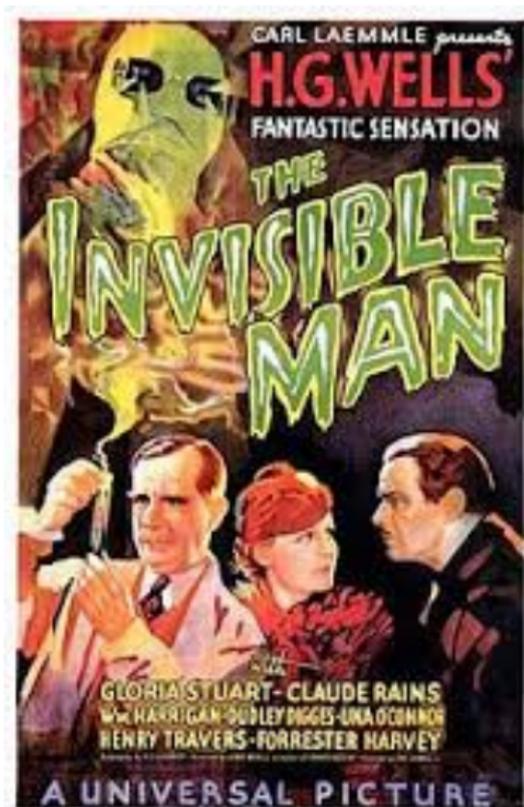
# La Masa en el Universo

El Universo

¿Como ver lo invisible?

⇒

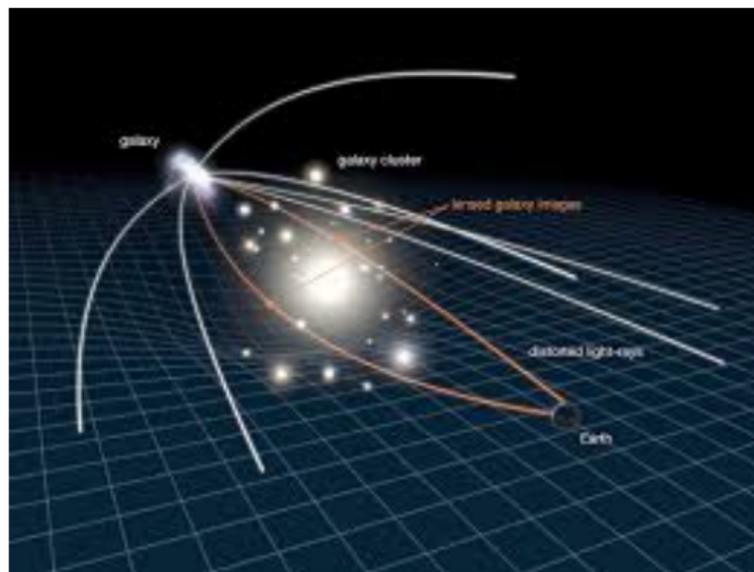
Marcas en alfombra



# La Masa en el Universo

## El Universo

“Marcas en alfombra”  
⇒  
Lentes gravitacionales



# La Masa en el Universo

## El Universo

“Marcas en alfombra”  
⇒  
Lentes gravitacionales



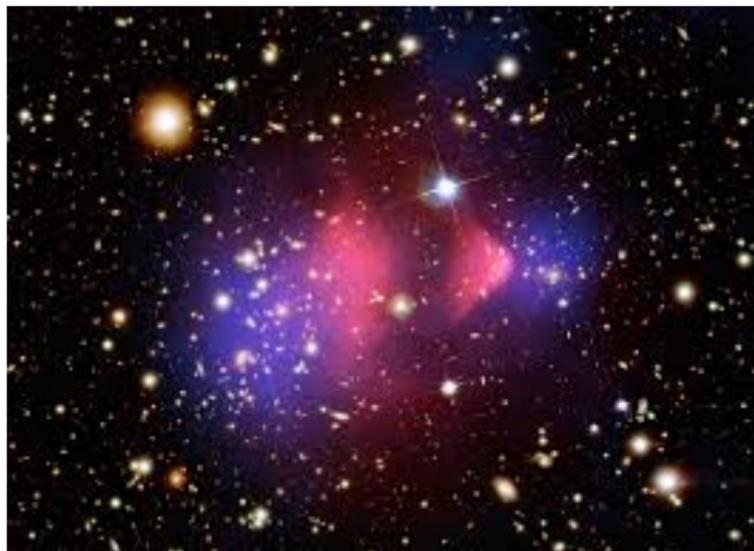
# La Masa en el Universo

## El Universo

Lentes gravitacionales

⇒

También masa invisible  
“materia oscura”

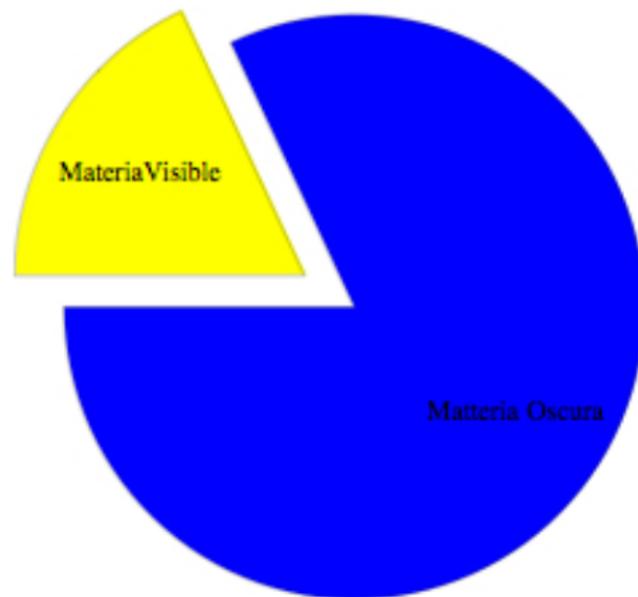




# La Masa en el Universo

## El Universo

“materia oscura”



Gran parte de la masa conocida es de un tipo desconocido

82% de la masa observada es sin explicación



# La Masa en el Universo

## El Universo

Tercer misterio de la masa:

¿Que es la materia oscura?

Sabemos  $Energía = Masa$ ,  
¿se puede medir energía en universo?



### III

## El Universo

### III-B

## La Energía en el Universo

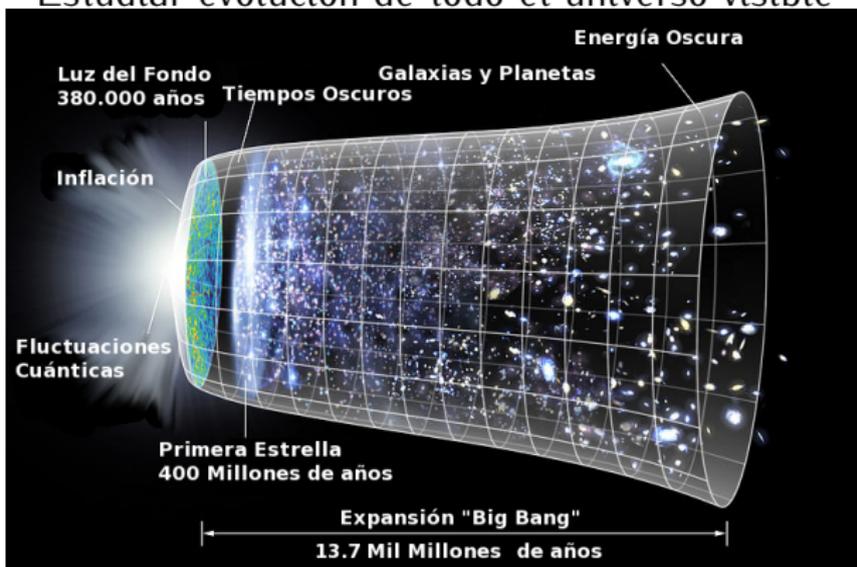


# La Energía en el Universo

El Universo

## La energía en el Universo

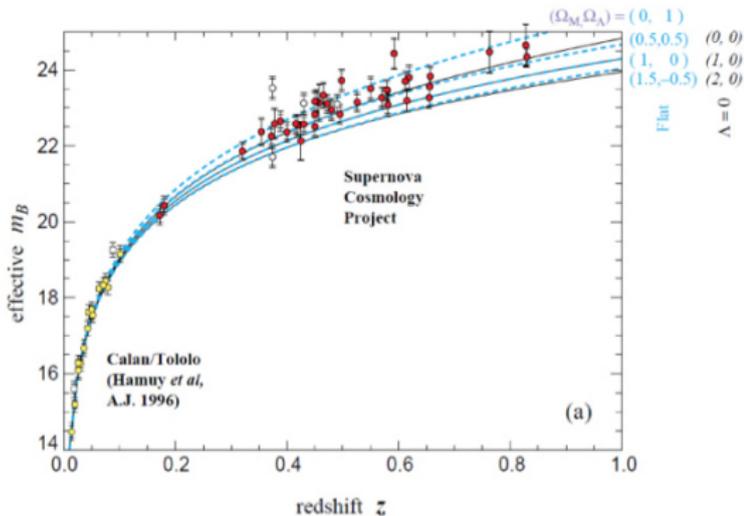
Estudiar evolución de todo el universo visible



# La Energía en el Universo

El Universo

## La energía en el Universo



Explosiones mas grandes:  
Supernova

Universo acelera!

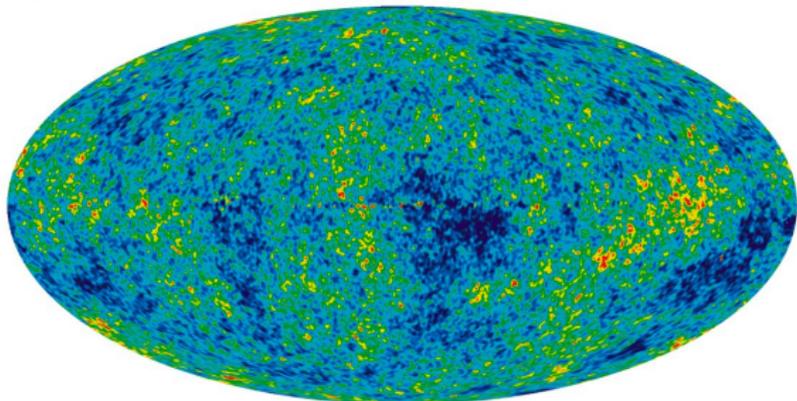


# La Energía en el Universo

El Universo

La energía en el Universo

Explosion mas antigua:  
Fondo de radiación cosmica



Confirma: Universo acelera!

⇒

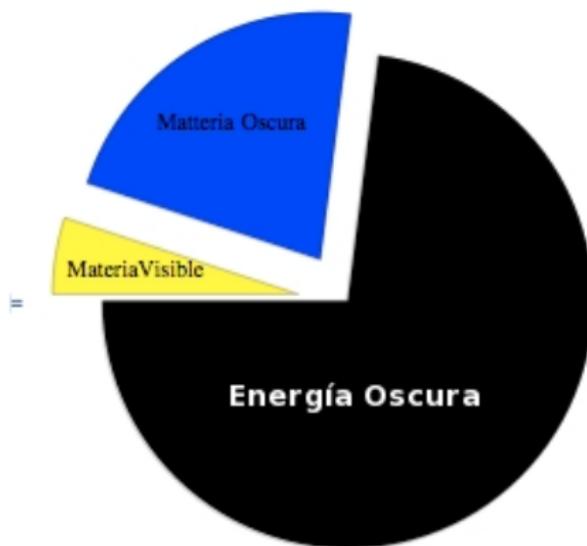
Hay una forma energía desconocida **energía oscura**



# La Energía en el Universo

El Universo

Distribución de materia y energía en el universo



# La Energía en el Universo

El Universo

Cuarto misterio de la masa:

¿Que es la energía oscura?



# Los 4 Misterios de la Masa

## Resumen

### Resumen de los 4 misterios de la Masa

- Primer misterio: ¿Porque es  $m = m$ ?  
⇒ Relatividad
- Segundo misterio: ¿Quién da  $m$  para partículas fundamentales?  
⇒ Higgs
- Tercer misterio: ¿Que es la materia oscura?  
⇒ ¿Nuevas partículas?
- Cuarto misterio: ¿Que es la energía oscura?  
⇒ ???



# Los 4 Misterios de la Masa

## Resumen

### Resumen de los 4 misterios de la Masa



# Los 4 Misterios de la Masa

## Resumen



Gracias

