

Introducción a la Cosmología

Rubén Díez Lázaro¹

¹CLUBE VEGA

24 de Septiembre de 2011



Cosmología

Rubén Díez
Lázaro

Introducción

Historia y generalidades

Cosmología
Astrofísica

Cosmología
Geométrica
(relatividad general)

Cosmología
Cuántica

La divulgación de la cosmología es difícil porque:

- Es una ciencia poco intuitiva.
- Se requieren unos conceptos matemáticos muy avanzados.
- Tiene connotaciones trascendentes que la mistifican.
- **Muy dada a falacias e interpretaciones superficiales.**
- Los ejemplos y explicaciones populares suelen sacarse de contexto.

Cosmología

Rubén Díez
Lázaro

Introducción

Historia y generalidades

Cosmología
Astrofísica

Cosmología
Geométrica
(relatividad
general)

Cosmología
Cuántica

Modelos del universo

- Sostenido por una tortuga. . .
- El cráneo de un gigante. . .

Las diferentes culturas tenían sus cosmogonías

- Universo sale del mar. . .
- Es imaginado por un dios. . .

Cosmología

Rubén Díez
Lázaro

Introducción

Historia y generalidades

Cosmología
Astrofísica

Cosmología
Geométrica
(relatividad
general)

Cosmología
Cuántica

Modelos del universo

- Sostenido por una tortuga. . .
- El cráneo de un gigante. . .
- **Documentarse algo más. . .**

Las diferentes culturas tenían sus cosmogonías

- Universo sale del mar. . .
- Es imaginado por un dios. . .
- **Documentarse algo más. . .**



Hitos I

Cosmología

Rubén Díez Lázaro

Introducción

Historia y generalidades

Cosmología
Astrofísica

Cosmología
Geométrica
(relatividad general)

Cosmología
Cuántica

- **1915-16.** Albert Einstein: Teoría General de la Relatividad.
- **1916-1917.** Willem de Sitter: Universo vacío.
- **1920-21.** Existencia de Galaxias.
- **1922-24.** Alexander Friedmann: Solución de las ecuaciones de Einstein.
- **1929.** Edwin Hubble: Relación entre distancia y corrimiento al rojo.
- **1931.** Milton Humason: Corrimiento al rojo provocado por efecto Doppler.
- **1933.** Fritz Zwicky: Materia oscura. . .



Hitos II

Cosmología

Rubén Díez
Lázaro

Introducción

Historia y generalidades

Cosmología
Astrofísica

Cosmología
Geométrica
(relatividad
general)

Cosmología
Cuántica

- **1948.** George Gamow y Ralph A. Alpher: Nucleosíntesis.
- **1948.** Ralph A. Alpher y Robert Herman: Predicción de la radiación de fondo.
- **1965.** Arno Penzias y Bob Wilson: Constatación de la radiación de fondo: Aceptación del modelo de “Big Bang”.
- **1974.** Jöel Scherk y John Schwarz: Teoría de cuerdas.
- **1984-86.** Teoría de Supercuerdas (Súper Simetría).
- **1995.** Teoría-M

El corrimiento al rojo

Cosmología

Rubén Díez
Lázaro

Introducción

Historia y generalidades

Cosmología
Astrofísica

Cosmología
Geométrica
(relatividad
general)

Cosmología
Cuántica

- Efecto Doppler: $f' = \gamma \frac{c+v}{c} f$
- Milton L. Humason mide corrimientos al rojo de Galaxias.
- Henrietta Swan Leavitt mide distancias de Galaxias (Cefeidas).
- Edwin Hubble ve la relación entre estas dos cosas: la constante de Hubble.

El fenómeno es consistente para la solución de las ecuaciones de Einstein si asumimos un **universo homogéneo e isótropo**.

Abundancia de elementos y nucleosíntesis

Cosmología

Rubén Díez
Lázaro

Introducción

Historia y generalidades

Cosmología
Astrofísica

Cosmología
Geométrica
(relatividad
general)

Cosmología
Cuántica

¿Cómo se formaron los elementos químicos?

Varias etapas:

- Nucleosíntesis del Big Bang.
- Espalación de rayos cósmicos (He^3 , Li , Be y B).
- Nucleosíntesis estelar (elementos menos pesados que el hierro).
- Nucleosíntesis de supernovas (elementos más pesados que el hierro).



Fondo de microondas

Cosmología

Rubén Díez
Lázaro

Introducción

Historia y generalidades

Cosmología
Astrofísica

Cosmología
Geométrica
(relatividad
general)

Cosmología
Cuántica

Radiación de cuerpo negro:

- El universo tiene una temperatura determinada.
- Para cualquier temperatura, hay una emisión electromagnética asociada.
- En el caso del universo: $T = 2,725K \Rightarrow f = 160,2GHz$

El principio cosmológico:

El universo es homogéneo e isótropo **a escalas grandes.**

A pequeña escala:

Hay inhomogeneidades: Se manifiestan (entre otras cosas) en pequeñas diferencias en la frecuencia de la radiación de fondo según la dirección.

Inhomogeneidades en fondo de microondas: COBE

Cosmología

Rubén Díez
Lázaro

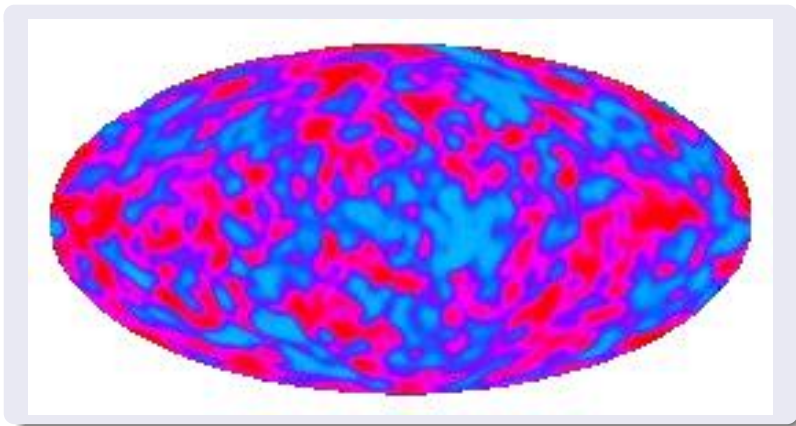
Introducción

Historia y ge-
neralidades

Cosmología
Astrofísica

Cosmología
Geométrica
(relatividad
general)

Cosmología
Cuántica



El Cosmos como concepto geométrico

Cosmología

Rubén Díez
Lázaro

Introducción

Historia y generalidades

Cosmología
Astrofísica

Cosmología
Geométrica
(relatividad
general)

Cosmología
Cuántica

¿Qué matemáticas deben usarse para describir el universo?

Tensores:

- Relacionado con vectores, campos, ...
- Muy usados en físicas de fluidos.
- Viene siendo una "geometría analítica", pero más complicada ...
- Ejemplo: $T^a = d\omega^a + \theta^a_b \wedge \omega^b$



Einstein

- Cosmología
- Rubén Díez Lázaro
- Introducción
- Historia y generalidades
- Cosmología Astrofísica
- Cosmología Geométrica (relatividad general)
- Cosmología Cuántica

Relatividad General:

- 1915 y 1916.
- Teoría del campo gravitatorio (y de más cosas).
 - Principio de equivalencia (aceleración = gravedad).
 - Principio de covariancia.
 - Curvatura del espacio-tiempo (gravedad como manifestación de la “deformación” del espacio-tiempo).
- Ecuación del universo de Einstein:

$$R^{\alpha\beta} - \frac{1}{2}g^{\alpha\beta} R = \frac{8\pi G}{c^4} T^{\alpha\beta}$$

La parábola de la sábana de caucho

Cosmología

Rubén Díez
Lázaro

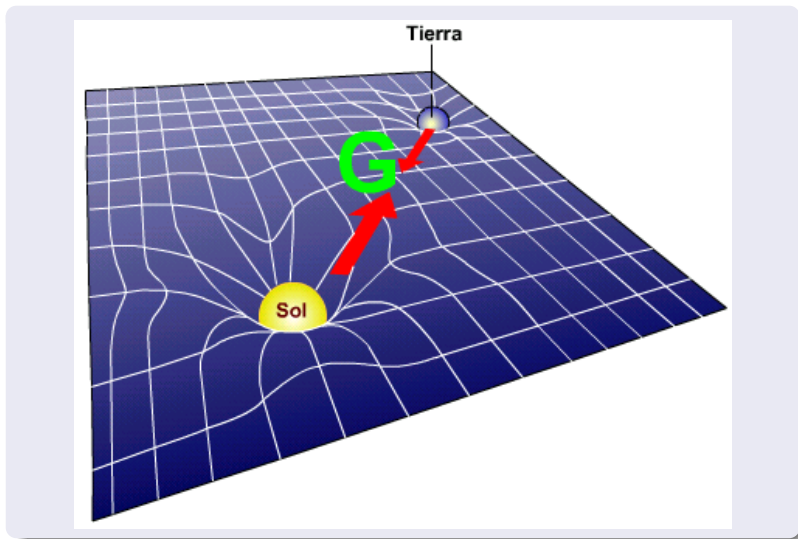
Introducción

Historia y ge-
neralidades

Cosmología
Astrofísica

Cosmología
Geométrica
(relatividad
general)

Cosmología
Cuántica



Soluciones a la ecuación de Einstein y la constante cosmológica

Cosmología

Rubén Díez
Lázaro

Introducción

Historia y generalidades

Cosmología
Astrofísica

Cosmología
Geométrica
(relatividad
general)

Cosmología
Cuántica

- La solución de la ecuación de Einstein depende del valor concreto que toman ciertos parámetros. . .
- Las posibles soluciones llevan en general a un universo “dinámico”.
- Einstein, como casi todos en su época, creía en un universo estático.
- Einstein introdujo la “Constante cosmológica” para *forzar* una solución estática.

La constante cosmológica

$$R^{\alpha\beta} - \frac{1}{2}g^{\alpha\beta} R + \Lambda g^{\alpha\beta} = \frac{8\pi G}{c^4} T^{\alpha\beta}$$

Soluciones a la ecuación de Einstein: casos sencillos

Cosmología

Rubén Díez Lázaro

Introducción

Historia y generalidades

Cosmología
Astrofísica

Cosmología
Geométrica
(relatividad general)

Cosmología
Cuántica

Qué se saca de las soluciones:

- “*Forma*” del universo.
- Edad.
- Constante de Hubble.
- ...

Soluciones para supuestos sencillos:

- Universo dominado por materia fría (Einstein-de Sitter).
- Universo dominado por radiación.
- Simplificaciones tomando valores sencillos para diversos parámetros. . .

“Formas” del universo

Cosmología

Rubén Díez
Lázaro

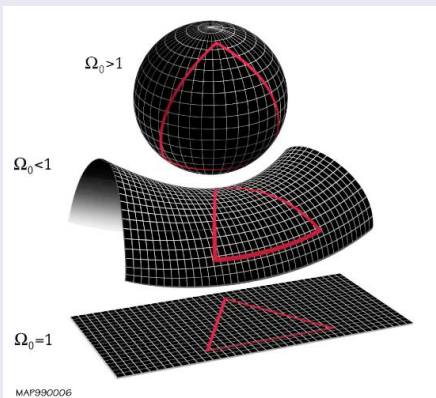
Introducción

Historia y ge-
neralidades

Cosmología
Astrofísica

Cosmología
Geométrica
(relatividad
general)

Cosmología
Cuántica



Materia y energía oscuras

Cosmología

Rubén Díez
Lázaro

Introducción

Historia y generalidades

Cosmología
Astrofísica

Cosmología
Geométrica
(relatividad
general)

Cosmología
Cuántica

El universo real tiene tanto materia como energía, luego la solución real es una mezcla de ambas . . .

Las estimaciones de energía y materia del universo dan una solución que “no cuadra” con el factor de expansión, edad y demás observables del universo.

Varias posibilidades:

- Existe materia que no vemos (materia oscura).
- Existe energía que no vemos (energía oscura).
- Hay un “factor de freno” en las ecuaciones: de nuevo la “Constante cosmológica” . . .

Universos abiertos, cerrados, finitos e infinitos

Cosmología

Rubén Díez Lázaro

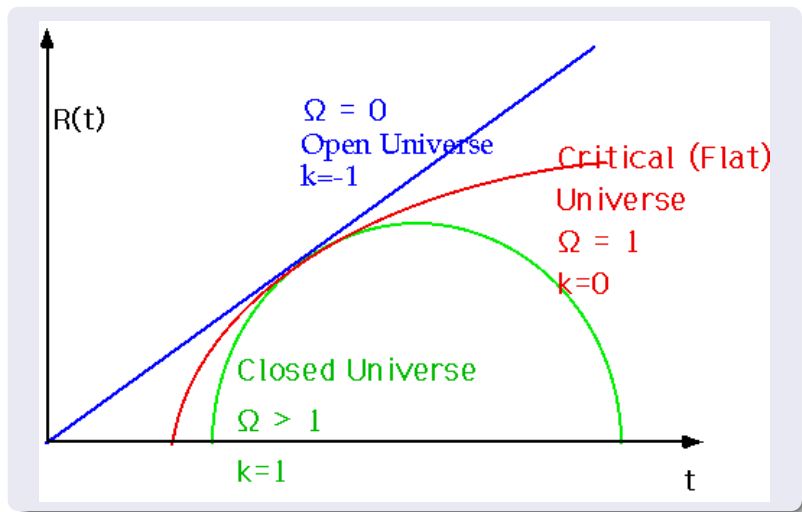
Introducción

Historia y generalidades

Cosmología
Astrofísica

Cosmología
Geométrica
(relatividad general)

Cosmología
Cuántica



El universo en fotogramas

Cosmología

Rubén Díez
Lázaro

Introducción

Historia y generalidades

Cosmología
Astrofísica

Cosmología
Geométrica
(relatividad
general)

Cosmología
Cuántica

- **0.01s - 0.11s** Materia y radiación, en estado de casi perfecto equilibrio térmico.
- **0.11s - 1.09s** Densidad de la energía disminuye a la cuarta potencia de la temperatura. La expansión disminuye con su cuadrado.
- **1.09s - 13,82s** Positrones y electrones comienzan a aniquilarse más rápido de lo que se crean a partir de radiación.
- **13.82s - 3m 2s** Formación de He^4 .
- **3m 2s - 3m 46s** Formación de H^2 , He , He^3 .
- **3m 46s - 34 m 40s** Nucleosíntesis.
- **34 m 40s - 700,000 años** Átomos. Primeras estrella y Galaxias...

Teoría de cuerdas y láminas I

Cosmología

Rubén Díez
Lázaro

Introducción

Historia y generalidades

Cosmología
Astrofísica

Cosmología
Geométrica
(relatividad
general)

Cosmología
Cuántica

Tradicionalmente:

- “Antagonismo” entre *partículas* y *ondas* . . .
- La Cosmología tradicional usaría una aproximación de *partícula* . . .
- ¿Y si usamos una aproximación de *onda*?

Teoría de cuerdas y láminas II

Cosmología

Rubén Díez
Lázaro

Introducción

Historia y ge-
neralidades

Cosmología
Astrofísica

Cosmología
Geométrica
(relatividad
general)

Cosmología
Cuántica

Teoría de cuerdas (y derivaciones):

- **Teoría de cuerdas bosónica:** Años 1960-70. Sólo considera partículas tipo bosón.
- **Teoría de supercuerdas:** (Primera revolución). Años 1984-86. Introduce diversos aspectos de física cuántica. Describe todas las partículas. Diversas variedades, cada una postula un número diferente de dimensiones.
- **Teoría M:** (Segunda revolución). Años 1990. Intenta conciliar todas las teorías tipo “cuerda”. P-branas, D-branas, teoría cuántica de la gravedad. . .

Teoría de cuerdas y láminas II

Cosmología

Rubén Díez
Lázaro

Introducción

Historia y generalidades

Cosmología
Astrofísica

Cosmología
Geométrica
(relatividad
general)

Cosmología
Cuántica

Teoría de cuerdas (y derivaciones):

- **Teoría de cuerdas bosónica:** Años 1960-70. Sólo considera partículas tipo bosón.
- **Teoría de supercuerdas:** (Primera revolución). Años 1984-86. Introduce diversos aspectos de física cuántica. Describe todas las partículas. Diversas variedades, cada una postula un número diferente de dimensiones.
- **Teoría M:** (Segunda revolución). Años 1990. Intenta conciliar todas las teorías tipo “cuerda”. P-branas, D-branas, teoría cuántica de la gravedad. . .

ATENCIÓN: ¿Esto es serio o una falacia??

Cosmología

Rubén Díez
Lázaro

Introducción

Historia y generalidades

Cosmología
Astrofísica

Cosmología
Geométrica
(relatividad
general)

Cosmología
Cuántica

Cosmogonías y mitos:

- Mito de la creación (wikipedia)
- 5 Interesantes Mitos Sobre La Creación Del Mundo
- Mitos cosmogónicos
- Mitos de la creación del Universo

Cosmología:

- El Cosmos Ayer y Hoy
- Introducción a la cosmología
- Cosmología
- Cosmología
- Deducción de los primeros modelos cosmológicos
- Cosmología
- Cosmología
- Universe 101

Cosmología

Rubén Díez
Lázaro

Introducción

Historia y generalidades

Cosmología
Astrofísica

Cosmología
Geométrica
(relatividad
general)

Cosmología
Cuántica

Los tres primeros minutos:

- Los tres primeros minutos del universo
- La física del plasma primordial del universo en los tres primeros minutos

Cosmología cuántica y teoría de cuerdas

- Blog sobre cosmología cuántica
- Teoría de supercuerdas

Cosmologia

Rubén Díez
Lázaro

Introducció

Historia y ge-
neralidades

Cosmologia
Astrofísica

Cosmologia
Geométrica
(relatividad
general)

Cosmologia
Cuántica

Gracias por su atención
¿Preguntas?