Proyecto de pasantía

Estudio de Distancias en Cosmología

Lic. María Gabriela Arteaga García
Tutor: Dr. Alejandro Guarnizo Trilleras

Universidad Central de Venezuela - Universidad Antonio Nariño

6 de diciembre de 2022

Latin American alliance for Capacity buildING in Advanced physics
LA-CoNGA physics

Cofinanciado por el programa Erasmus+ de la Unión Europea

Overview

Estado del arte

Objetivos

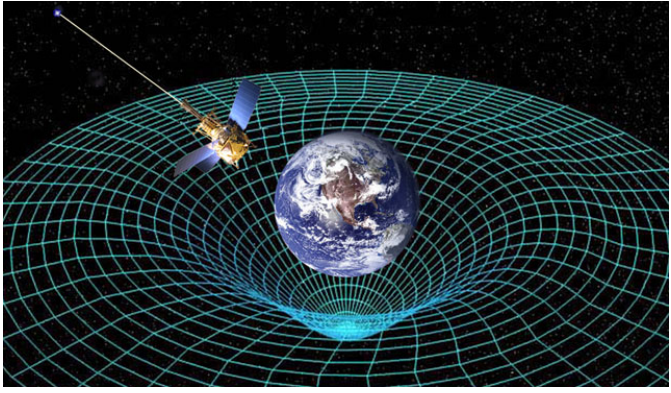
Metodología

Cosmología

Distancias en Cosmología

Módulo de Distancia

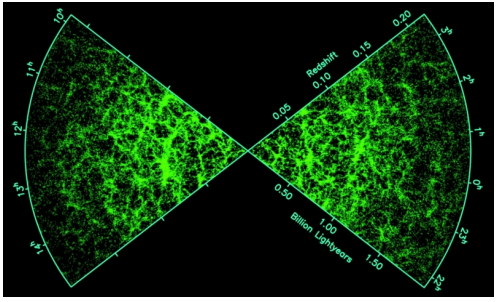
Estado del arte

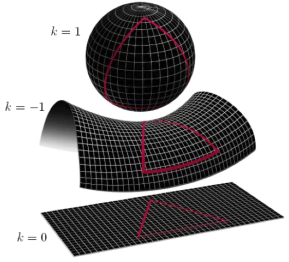


Ecuaciones de campo de Einstein:

$$R_{\alpha\beta} - \frac{1}{2} R g_{\alpha\beta} = \kappa T_{\alpha\beta}\,, \qquad \kappa = 8\pi G \tag{1}$$

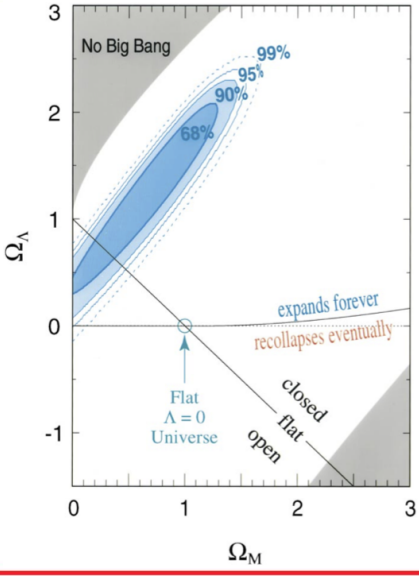
Homogeneidad e isotropía del Universo





$$ds^2 = -dt^2 + a^2(t)\left[\frac{dr^2}{1-kr^2} + r^2 d\theta^2 + r^2 \sin^2\theta d\phi^2\right] \qquad (2)$$

Antecedentes



Objetivos

❄ **Objetivo General**

Estudiar el problema de las distancias en cosmología.

Objetivo General

Estudiar el problema de las distancias en cosmología.

Objetivos específicos

- Consolidar los conocimientos de elementos básicos de relatividad general.
- Revisar el modelo estándar de la Cosmología moderna.
- Incorporar energía oscura, vía ecuación de estado, en el modelo estándar de Cosmología.
- Estudiar la dependencia de las distancias con distintas cosmologías basadas en diferentes valores de los parámetros cosmológicos.
- Explorar la relación de estas distancias con valores observacionales del módulo de distancia provenientes de Supernovas tipo Ia.

Metodología

1. **Afianzar principios en Relatividad General**: Las referencias a utilizar para este tema son:
   - S. Dodelson, *Modern cosmology*. Elsevier, 2003.

1. **Afianzar principios en Relatividad General**: Las referencias a utilizar para este tema son:
   - S. Dodelson, *Modern cosmology*. Elsevier, 2003.
2. **Modelo estándar de cosmología**: Las referencias ha usar para este tema son
   - S. Weinberg, *Cosmology*. OUP Oxford, 2008.
   - S. Dodelson, *Modern cosmology*. Elsevier, 2003.

1. **Afianzar principios en Relatividad General**: Las referencias a utilizar para este tema son:
   - S. Dodelson, *Modern cosmology*. Elsevier, 2003.
2. **Modelo estándar de cosmología**: Las referencias ha usar para este tema son
   - S. Weinberg, *Cosmology*. OUP Oxford, 2008.
   - S. Dodelson, *Modern cosmology*. Elsevier, 2003.
3. **Distancias en cosmología**: Las referencias a usar para este tema son:
   - S. Weinberg, *Cosmology*. OUP Oxford, 2008.
   - D. W. Hogg, "Distance measures in cosmology," arXiv:astro-ph/9905116.
   - R. Kayser, P. Helbig, and T. Schramm, "A general and practical method for calculating cosmological distances," Astron. Astrophys. 318 (1997) 680–686, arXiv:astro-ph/9603028

Módulo de distancia

El set de datos del modulo de distancia de supernovas tipo Ia fue el Union 2.1

Input

Datos SN

```
Clear[dataSN, zdata, mdata, sigdata, c]
(borra)
dataSN = Import["Cat3_0mod.txt", "Table"];
                (importa)
zdata = dataSN[[All, 2]];
                (todo)
mdata = dataSN[[All, 3]];
                (todo)
sigdata = dataSN[[All, 4]];
                (todo)
lendata = Length[zdata];
                (longitud)
zmaxSN = Max[zdata];
                (máximo)
fitSN = Table[{dataSN[[i, 2]], dataSN[[i, 3]]}, {i, 1, lendata}];
                (tabla)
SNtap1 = Table[{dataSN[[i, 2]], Around[dataSN[[i, 3]], sigdata[[i]]]}, {i, 1, lendata}];
                (tabla)          (valor con incertidumbre)
ep = ListPlot[SNtap1, PlotStyle → {Green, Opacity[.2]}, PlotMarkers → {Automatic, Tiny}, Frame → True, PlotRange → Automatic,
     (representación de tabla (estilo de repre··· (verde  (opacidad  (marcadores de re··· (automático  (tamañ··· (marco  (verd··· (rango de rep··· (automático
    ImageSize → 500];
     (tamaño de imagen
Show[ep, mp]
(muestra
```

MATHEMATICA 13

Cosmología

La evolución del factor de escala

$$\left(\frac{\dot{a}}{a}\right)^2 = \frac{8\pi G}{3}\rho - \frac{k}{a^2} \tag{3}$$

Expresando la densidad de energía ρ y la presión p como una combinación de materia y radiación

$$H^2 = \frac{\kappa}{3}(\rho_m + \rho_r) - \frac{k}{a^2} + \frac{\Lambda}{3}\,, \tag{4}$$

Siendo $H = \dfrac{\dot{a}}{a}$ el parámetro de Hubble.

Definiendo las densidades de energía de cada componente

$$\Omega_{m0} \equiv \frac{\kappa\rho_m}{3H_0^2}\,, \qquad \Omega_{r0} \equiv \frac{\kappa\rho_r}{3H_0^2}\,, \qquad \Omega_{k0} \equiv -\frac{k}{H_0^2 a^2}\,, \qquad \Omega_\Lambda \equiv \frac{\Lambda}{3H_0^2} \tag{5}$$

La relación entre el corrimiento al rojo y el factor de escala esta dada por:

$$1 + z = \frac{a(t_0)}{a(t_1)}\,, \tag{6}$$

Finalmente podemos escribir la primera ecuación de Friedmann como:

$$\boxed{H^2(z) = H_0^2 \left[\Omega_{m0}(1+z)^3 + \Omega_{r0}(1+z)^4 + \Omega_{k0}(1+z)^2 + \Omega_\Lambda\right]\,.} \tag{7}$$

Distancias en Cosmología

La **distancia comóvil** esta está definida como:

$$\chi(z) = \frac{c}{H_0} \int_0^z \frac{dz'}{H(z')} \,. \tag{8}$$

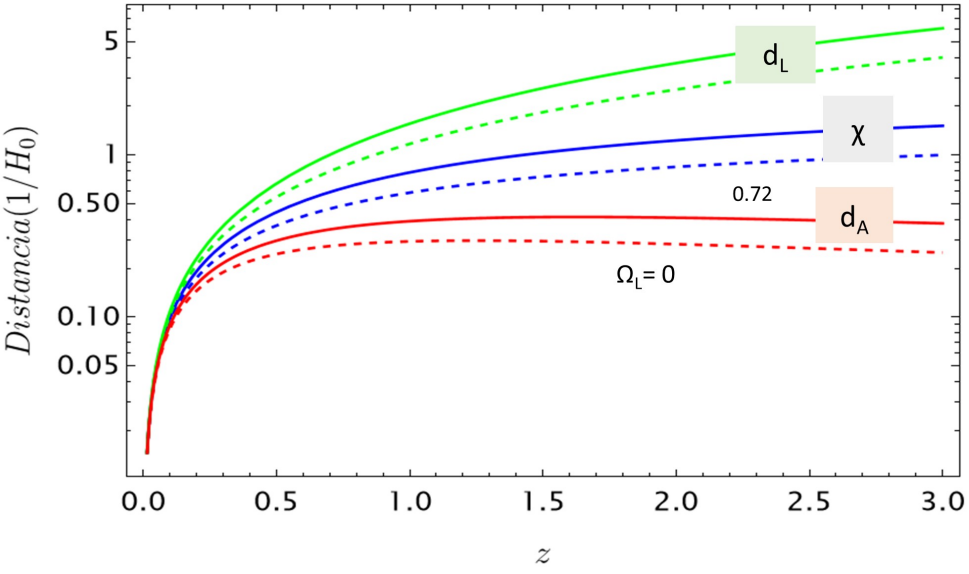
donde c es la velocidad de la luz en el vacío y H_0 es la constante de Hubble actual. La **distancia diametral angular** d_A la podemos definir usando $\chi(z)$ como:

$$d_A(z) \equiv \frac{\chi(z)}{1+z} \,. \tag{9}$$

La **distancia de luminosidad** d_L se pueden calcular a través del flujo que emite un objeto dada su luminosidad. La podemos definir como:

$$d_L(z) = (1+z)\chi(z) \,. \tag{10}$$

Distancias en cosmología



Módulo de Distancia

Módulo de Distancia

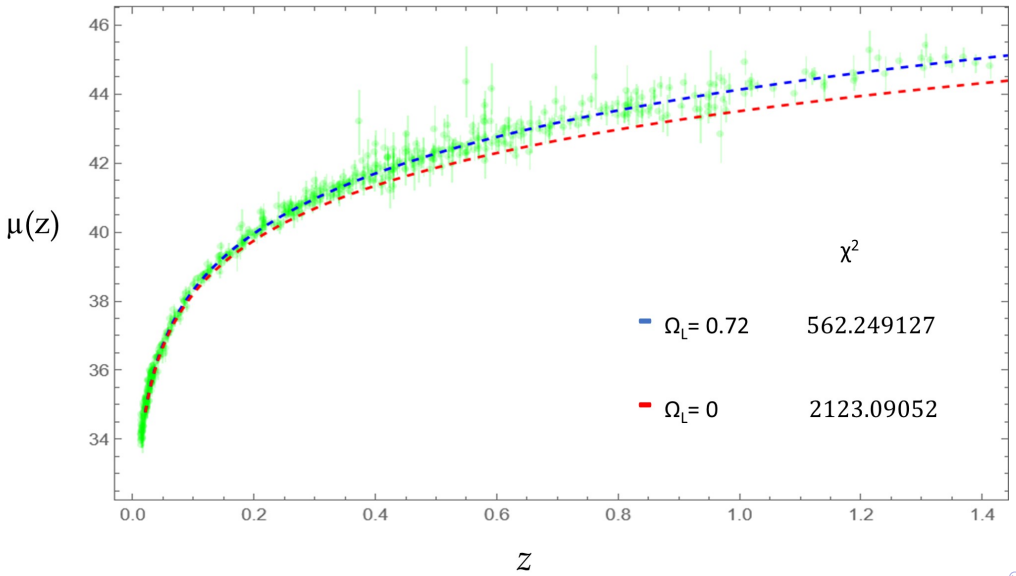
$$\mu \equiv m - M = 5\log(d_L) + 25\,, \tag{11}$$

siendo m la magnitud aparente y M la magnitud absoluta de un objeto.

Supernovas tipo Ia

Este tipo de supernova funciona como candelas estándar ya que tienen la misma luminosidad máxima no importa el lugar en el universo donde se encuentren.

Módulo de Distancia



Modelo wCDM

$$H(z) = \sqrt{\Omega_m(1+z)^3 + \Omega_{DE}(1+z)^{3+3w}} \tag{12}$$

donde para un universo plano debe cumplirse

$$\Omega_m + \Omega_{DE} = 1$$

De manera que:

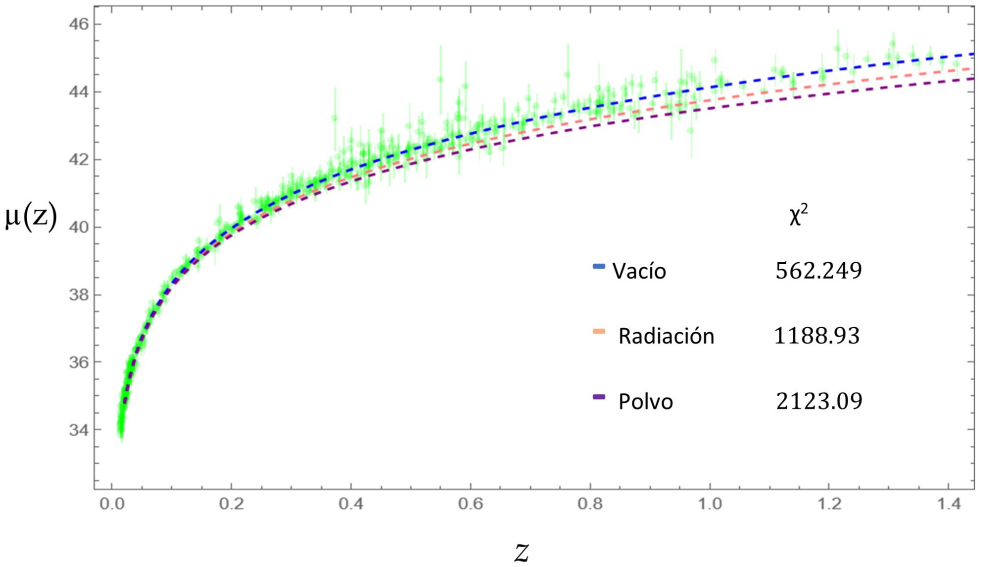
$$H(z) = \sqrt{\Omega_m(1+z)^3 + (1-\Omega_m)(1+z)^{3+3w}} \tag{13}$$

Resolviendo la conservación del momento usando la ecuación de estado $p = w\rho$

$$\rho = a^{-3w-3} \tag{14}$$

- Polvo: $w = 0 \rightarrow \rho \propto a^{-3}$
- Radiación: $w = -1/3 \rightarrow \rho \propto a^{-4}$
- Vacío: $w = -1 \rightarrow \rho =$ constante

Modelo wCDM


μ(z)
z
χ²
Vacío 562.249
Radiación 1188.93
Polvo 2123.09
46
44
42
40
38
36
34
0.0
0.2
0.4
0.6
0.8
1.0
1.2
1.4

http://laconga.redclara.net

contacto@laconga.redclara.net

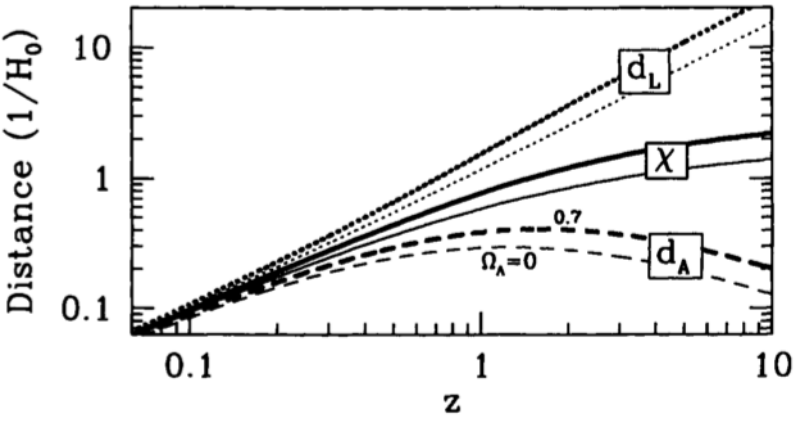
lacongaphysics

Latin American alliance for Capacity buildiNG in Advanced physics

LA-CoNGA physics

Cofinanciado por el programa Erasmus+ de la Unión Europea

El apoyo de la Comisión Europea para la producción de esta publicación no constituye una aprobación del contenido, el cual refleja únicamente las opiniones de los autores, y la Comisión no se hace responsable del uso que pueda hacerse de la información contenida en la misma.


Distance (1/H0)
10
1
0.1
0.1
1
10
z
dL
χ
0.7
ΩΛ=0
dA

La homogeneidad e isotropía del universo requieren que

$$T^{\mu\nu} = \text{diag}(-\rho, p, p, p) \tag{15}$$

La conservación del momento es $\dot{\rho} + 3\frac{\dot{a}}{a}(p + \rho) = 0$. Usando la ecuación de estado $p = wp$ resolvemos la ecuación