Graviti menentukan dinamik pada skala besar, kerana julatnya yang tak terhingga, dan kerana ia hanya mempunyai satu 'cas' (iaiitu jisim) tanpa yang negatif yang boleh meneutralkan kesannya. Jadi kosmologi, atau evolusi alam secara umum, secara kasarnya ditentukan oleh graviti.

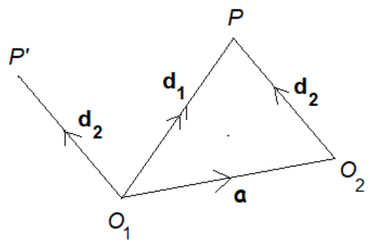
12.1 Prinsip kosmologi

Satu andaian yang dibuat tentang semesta ialah ia isotrop. Secara kasar atau purata, perihalan yang sama diberikan bebas terhadap arah yang dilihat. Ini ditunjukkan oleh taburan jirim dan sumber radio. Sinaran mikrogelombang latar belakang semesta juga didapati isotrop ~0.1 % pada skala sudut 1' hingga 180°.

Prinsip Kopernikus mengatakan bahawa kita tidak berada di kedudukan Istimewa dalam semesta. Prinsip Kopernikus bersama keisotropan bermakna semesta itu homogen.

Prinsip kosmologi menyatakan bahawa semesta adalah isotrop dan homogen untuk semua pencerap asas. Pencerap asas adalah pemerhati yang pegun terhadap substratum, iaitu pelecekan semua galaksi dan jasad-jasad lain menjadi seakan cecair yang seragam.

12.2 Hukum Hubble



Jika pencerap O_1 melihat P yang jaraknya $\mathbf{d}_1$ daripadanya bergerak dengan halaju $\mathbf{v}_1 = \mathbf{v}_1(\mathbf{d}_1,t)$, dan O_2 yang berjarak $\mathbf{d}_2$ melihatnya dengan halaju $\mathbf{v}_2(\mathbf{d}_2,t)$, daripada kehomogenan semesta, dan semestinya berbentuk serupa. Misalnya,

$$\mathbf{v}_1(\mathbf{d}_2,t) = \mathbf{v}_2(\mathbf{d}_2,t).$$

Maka,

$$\mathbf{v}_1(\mathbf{d}_1\text{-}\mathbf{a},t) = \mathbf{v}_2(\mathbf{d}_1\text{-}\mathbf{a},t).$$

Tapi,

$$\mathbf{v}_2(\mathbf{d}_2,t) = \mathbf{v}_1(\mathbf{d}_1,t) - \mathbf{v}_1(\mathbf{a},t)$$

atau

$$\mathbf{v}_2(\mathbf{d}_1\text{-}\mathbf{a},t) = \mathbf{v}_1(\mathbf{d}_1,t) - \mathbf{v}_1(\mathbf{a},t).$$

Jadi,

$$\mathbf{v}_1(\mathbf{d}_1\text{-}\mathbf{a},t) = \mathbf{v}_1(\mathbf{d}_1,t) - \mathbf{v}_1(\mathbf{a},t).$$

Maka ini menunjukkan bahawa **v** adalah fungsi linear terhadap **d**. Bolehlah ditulis

$$\mathbf{v}(\mathbf{d},t) = \mathbf{V}(t)\,\mathbf{d}$$

di mana **V** merupakan suatu tensor yang bebas daripada **d**, yakni,

$$\begin{pmatrix} v_x \\ v_y \\ v_z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \beta_{11}(t) & \beta_{12}(t) & \beta_{13}(t) \\ \beta_{21}(t) & \beta_{22}(t) & \beta_{23}(t) \\ \beta_{31}(t) & \beta_{32}(t) & \beta_{33}(t) \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix}.$$

Komponen antisimetrian mewakili putaran, dan boleh dipilih kordinat di mana putaran ini sifar,

$$\beta_{ik}(t) = 0, \qquad i \neq k.$$

Oleh kerana keisotropan semesta,

$$\beta_{11}(t) = \beta_{22}(t) = \beta_{33}(t)$$

yang kita wakilkan dengan scalar $H(t)$, memberikan hukum Hubble,

$$\mathbf{v} = H(t)\,\mathbf{d}$$

di mana $H(t)$ ialah pekali Hubble.

12.2 Letusan Besar

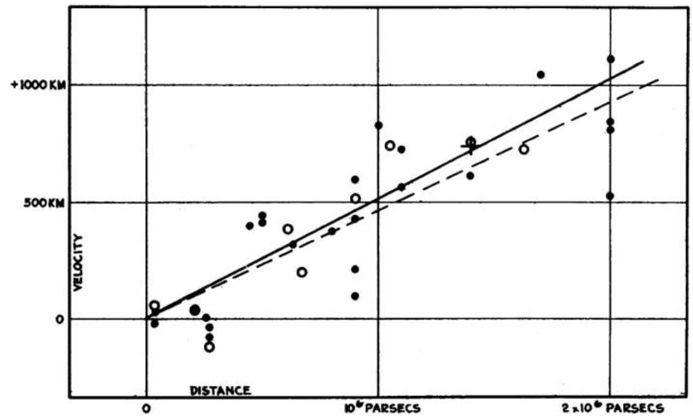
Anjakan merah boleh ditafsirkan sebagai akibat kesan Doppler ke atas pemancar yang mengundur relatif pemerhati. Ukuran anjakan merah z objek-objek astronomi lawan jaraknya d dari bumi menyokong hukum Hubble,

$$z = \frac{H_0}{c} d$$

di mana H_0 ialah pemalar Hubble,

$$H_0 = 75 \pm 25 \text{ km/s/Mpc}.$$

Ini menyarankan semesta yang mengembang.



Rajah halaju unduran terhadap jarak bagi galaksi, diberi oleh Hubble [Hubble, PNAS 15 (1929) 168]

Objek yang lebih jauh bermakna juga yang lebih tua, oleh kerana masa yang diambil cahayanya ke bumi. Hubungan jarak-halaju unduran menyetujui kembangan, di mana halaju unduran semakin bertambah terhadap masa.

Jika semesta berkembang, maka ia bermakna pada waktu dahulu, semesta pernah berada dalam keadaan padat. Inilah asas teori letusan besar. Semesta 'bermula' dalam keadaan yang padat dan kemudian mengembang.

12.3 Model kosmologi

Mari kita parameterkan kembangan semesta dengan suatu faktor skala $R(t)$, yang mana ia ialah fungsi di mana

$$H(t) = \frac{1}{R}\frac{dR}{dt}.$$

Gantikan untuk $\mathbf{v}(t)$,

$$\frac{d}{dt}\mathbf{d} = H(t)\mathbf{d},$$

dan, dengan $\mathbf{d} = d\hat{\mathbf{n}}$,

$$\frac{d}{dt}d = H(t)d.$$

Maka

$$\frac{d}{dt}d = \frac{1}{R}\frac{dR}{dt}d,$$

iaitu

$$\int\frac{d(d)}{d} = \int\frac{dR}{R},$$

ataupun

$$ln\, d + \text{pemalar} = ln\, R + \text{pemalar}.$$

Ini boleh ditulis

$$ln\frac{d}{d_0} = ln\frac{R}{R_0}$$

yang bermakna

$$d\hat{\mathbf{n}} = \frac{R}{R_0}d_0\hat{\mathbf{n}}$$

ataupun

$$\mathbf{d} = \frac{R(t)}{R_0}\mathbf{d_0}$$

yang menunjukkan makna faktor skala itu.

Perihalkan jirim dalam semesta dengan ketumpatan jisim $\rho(t)$. Pertimbangkan kesan graviti ke atas jisim m jarak $\mathbf{d}$ dari suatu titik O. Jisim ini merasai graviti daripada jirim dalam sfera berjejari d keliling O, tetapi tiada kesan graviti daripada jirim di luar kebuk sfera tersebut, menurut teorem Birkhoff. Hukum gerakan Newton dan hukum graviti Newton memberikan,

$$m\ddot{\mathbf{d}} = -\frac{4\pi Gm\rho(t)}{3}\mathbf{d}.$$

Tapi

$$\mathbf{d} = \frac{R(t)}{R_0}\mathbf{d}_0$$

maka

$$\ddot{R} = -\frac{4\pi G\rho(t)}{3}R(t)$$

Oleh kerana $\rho(t) \propto R(t)^{-3}$ iaitu

$$\rho(t) = \rho_0\frac{{R_0}^3}{R^3(t)},$$

maka

$$\ddot{R} = -\frac{4\pi G}{3}\rho_0{R_0}^3R^{-2}(t).$$

Persamaan ini memberikan telatah faktor skala. Ia memerihalkan semesta. Perhatikan bahawa penyelesaian statik tidak disokong. Semak bahawa

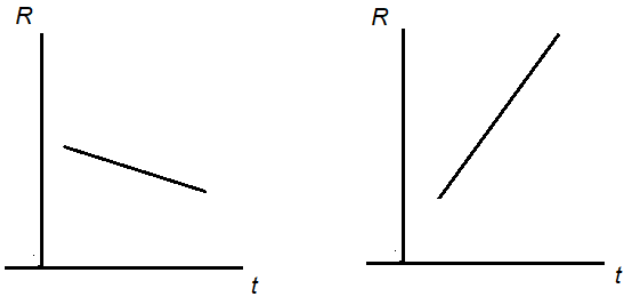
$$\dot{R}^2 = \frac{8\pi G}{3}\rho_0{R_0}^3R^{-1}(t) - k,$$

k pemalar, memberikan persamaan ini bila dibezakan terhadap t. Kamiran persamaan ini memberikan model-model semesta.

Bagi kes $k = 0$ dan $\rho_0 = 0$, model Milne diperolehi. Dalam model ini,

$$R(t) = \pm k_1 t + k_2$$

di mana k_1 dan k_2 adalah pemalar. Dua contoh dirajahkan di bawah.



Model Einstein-de Sitter (EdS) didapati bila k = 0 dan ρ_0 > 0. Ia diberikan oleh

$$R(t) = \pm(6\pi G\rho 0)^{1/3} R_0 t^{2/3} + k_3$$

di mana k_3 malar, iaitu $R \propto t^{2/3}$, seperti dirajahkan di bawah.

12.4 Fasa-fasa

Kembangan semesta dikaitkan dengan penyejukan. Apabila jarak bertambah, jarak gelombang cahaya bertambah. Ini menyebabkan puncak sinaran jasad hitam lebih rendah frekuensinya, iaitu suhu lebih rendah. Boleh dikaitkan

$$kT \sim h\nu = hc/\lambda$$

12.5 Inflasi

Masalah kedataran ruangmasa, uniformity of temp, dan ketiadaan ekakutub magnet, boleh diselesaikan dengan inflasi.

theory

But then cmbr not entirely uniform – measure – proof of inflation