

UBRZANO ŠIRENJE SVEMIRA I NELOKALNA KOSMOLOGIJA

Branko Dragović

<http://www.phy.bg.ac.yu/~dragovich>

dragovich@ipb.ac.rs

Institut za fiziku
Beograd

28. 02. 2011

SEENET-MTP predavanje

Odsek za fiziku – Prirodno-matematički fakultet – Niš

- 1 Uvod
- 2 Kratak istorijski pregled
- 3 Ubrzano širenje svemira
- 4 Nelokalna kosmologija
- 5 Zaključak

Kosmologija je nauka o svemiru (vasioni) kao celini. Ona se zasniva na rezultatima kosmičkih posmatranja i kosmoloških modela. U osnovi kosmoloških modela leži Opšta teorija relativnosti (Ajnštajnova teorija gravitacije). Poslednji veliki rezultat posmatranja je otkriće (1998. g.) ubrzanog širenja svemira. Teorijsko objašnjenje je pred velikim izazovom: tamna energija ili modifikacija Ajnštajnovе teorije gravitacije na kosmološkoj skali. Jedan od veoma atraktivnih i aktuelnih teorijskih pristupa problemu ubrzanog širenja svemira je *nelokalna kosmologija*.

Kratak istorijski pregled

- 1915. g. Ajnštajn je formulisao Opštu teoriju relativnosti (OTR).

$$R_{\mu\nu} - \frac{1}{2}Rg_{\mu\nu} = 8\pi GT_{\mu\nu}$$

- 1917. g. Ajnštajn je primenio OTR na konstrukciju svog prvog modela svemira – statičan sferni model sa kosmološkim članom Λ .

$$R_{\mu\nu} - \frac{1}{2}Rg_{\mu\nu} = 8\pi GT_{\mu\nu} - \Lambda g_{\mu\nu}$$

Homogen i izotropan svemir:

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

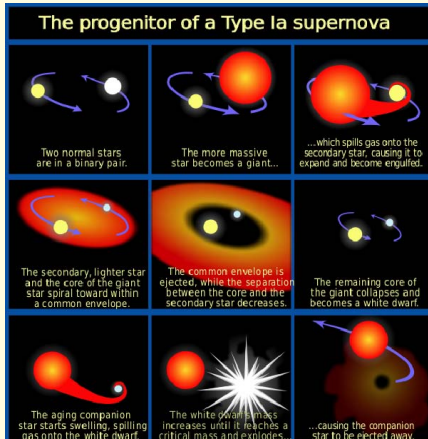
$$\frac{\ddot{a}}{a} = -\frac{4\pi G}{3}(\rho + 3p) + \frac{\Lambda}{3}$$
$$\left(\frac{\dot{a}}{a}\right)^2 + \frac{k}{a^2} = \frac{8\pi G}{3}\rho + \frac{\Lambda}{3}$$

$$p = 0, \quad k = 1, \quad a = \frac{1}{\sqrt{\Lambda}} = \frac{1}{\sqrt{4\pi G\rho}}$$

- 1922-24. g. Fridman pokazuje nestatičnost svemira.
- 1929. g. Habl otkriva širenje svemira.
- 1965. g. otkriće kosmičkog mikrotalasnog pozadinskog zračenja (Penzias i Wilson).
- 1983. g. inflaciona kosmologija (Alan Guth).

Ubrzano širenje svemira

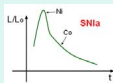
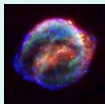
1998. g. otkriće ubrzanog širenja svemira: nastanak supernovih SN Ia



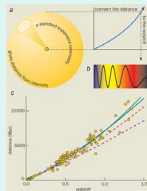
Ubrzano širenje svemira

1998. g. otkriće ubrzanog širenja svemira pomoću supernovih SN Ia

Супернове типа SN Ia:
откриће убрзаног ширења Вационе(1998)



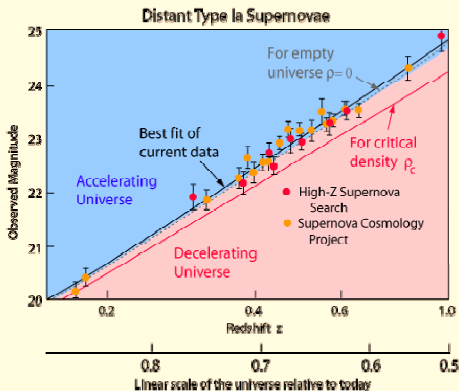
$$L = \frac{L_0}{4\pi d_L^2}$$



$$d_L(z) = c(1+z) \int_0^z \frac{dz'}{H(z')}$$

Ubrzano širenje svemira

1998. g. otkriće ubrzanog širenja svemira pomoću supernovih SN Ia



Ubrzano širenje svemira

Šta znači ubrzano širenje svemira u Ajnštajnovoj teoriji gravitacije?

$$\frac{\ddot{a}}{a} = -\frac{4\pi G}{3}(\rho + 3p), \quad \left(\frac{\dot{a}}{a}\right)^2 + \frac{k}{a^2} = \frac{8\pi G}{3}\rho$$
$$\ddot{a} \implies p < -\frac{1}{3}\rho$$

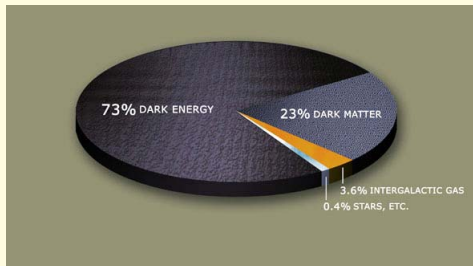
Tamna energija - materija sa negativnim pritiskom i homogeno raspoređena u prostoru.

$$p = w\rho, \quad w < -\frac{1}{3}, \quad w = -1.02_{-0.16}^{+0.14}$$

- $w > -1$ – kvintesens materija
- $w = -1$ – kosmološka konstanta
- $w < -1$ – fantomska materija

Ubrzano širenje svemira

Ako Ajnštajnova teorija gravitacije važi za celu vasionu, tada 96 % materije je nepoznate prirode



Nelokalna kosmologija

Teorijski pristup kosmološkim modelima sa izvodima (tipa \square) do beskonačnog reda u lagranžijanu.

Modeliranje: inflacije, tamne energije, modifikacije Ajnštajnovе teorije gravitacije, ...

Motivacija: Nelokalna teorija polja uglavnom dolazi iz teorije struna (obične i p -adične).

Dejstvo:

$$S = \int d^4x \sqrt{-g} \left(\frac{R}{16\pi G_N} + \frac{1}{g_0^2} \left(\frac{1}{2} \phi \mathcal{F}(\square) \phi - U(\phi) \right) - \Lambda \right)$$

$$\mathcal{F}(\square) = \sum_{n \geq 0} f_n \square^n, \quad \square = \frac{1}{\sqrt{-g}} \partial_\mu \sqrt{-g} g^{\mu\nu} \partial_\nu, \quad V = -\frac{1}{2} \phi f_0 \phi + U(\phi)$$

za slučaj ravnog Fridmanovog prostora: $\square = -\partial_t^2 - 3\frac{\dot{a}}{a}\partial_t$.

Fridmanove jednačine

$$\begin{aligned} G_{\mu\nu} &= 8\pi G_N T_{\mu\nu} \\ &= 4\pi G \sum_{n=1}^{\infty} f_n \sum_{l=0}^{n-1} \left(\partial_{\mu} \square^l \phi \partial_{\nu} \square^{n-1-l} \phi + \partial_{\nu} \square^l \phi \partial_{\mu} \square^{n-1-l} \phi - \right. \\ &\quad \left. - g_{\mu\nu} \left(g^{\rho\sigma} \partial_{\rho} \square^l \phi \partial_{\sigma} \square^{n-1-l} \phi + \square^l \phi \square^{n-1-l} \phi \right) \right) \\ &\quad + 4\pi G g_{\mu\nu} \phi \mathcal{F} \phi - 8\pi G g_{\mu\nu} v(\phi) - 8\pi G_N g_{\mu\nu} \Lambda, \\ &\quad \mathcal{F}(\square) \phi = U'(\phi) \end{aligned}$$

Spektar i linearizacija

Iz $V'(\phi) = 0$ nalaze se maksimumi i minimumi potencijala.

Spektar se traži oko minimuma potencijala ϕ_0 zamenuom

$\phi = \phi_0 + \psi$ u dejstvu u aproksimaciji slabog polja ψ

(linearizacija teorije). Dobija se

$$S = \int d^4x \sqrt{-g} \left(\frac{R}{16\pi G_N} + \frac{1}{g_0^2} \left(\frac{1}{2} \psi \mathcal{F}(\square) \psi - \frac{\lambda}{2} \psi^2 \right) - \frac{V(\phi_0)}{g_0^2} - \Lambda \right)$$

$$\lambda = U''(\phi_0)$$

Mogu se dobiti odgovarajuće jednačine kretanja

$$G_{\mu\nu} = 8\pi G_N T_{\mu\nu}, \quad \mathcal{F}(\square)\psi = \lambda\psi$$

Ekvivalentna teorija sa slobodnim poljima Spektar masa se dobija iz jednačine

$$\mathcal{F}(J) = \lambda$$

Dejstvo ekvivalentne teorije sa slobodnim poljima je

$$S = \int d^4x \sqrt{-g} \left(\frac{R}{16\pi G_N} - \frac{1}{g_0^2} \sum_i \frac{\mathcal{F}'(J_i)}{2} \left(\partial_\mu \psi_i \partial_\nu \psi_i + J_i \psi_i^2 \right) - \frac{V(\phi_0)}{g_0^2} \right)$$

- Ubrzano širenje svemira je opservaciona činjenica (1998).
- Većina naučnika (kosmologa-čestičara) smatra da postoji tamna energija – Λ CDM model.
- Važenje Ajnštajnovе teorije gravitacije na kosmološkoj skali nije dokazano – rade se modifikacije Opšte teorije relativnosti.
- Nelokalna kosmologija (kosmologija sa beskonačno mnogo izvoda) je interesantan i aktuelan pristup kosmološkim problemima.
- Moguće je da ulogu tamne energije igra p -adična materija.
- Astrofizička i kosmološka posmatranja su u usponu, a relevantna eksperimentalna i teorijska istraživanja pred velikim izazovima.