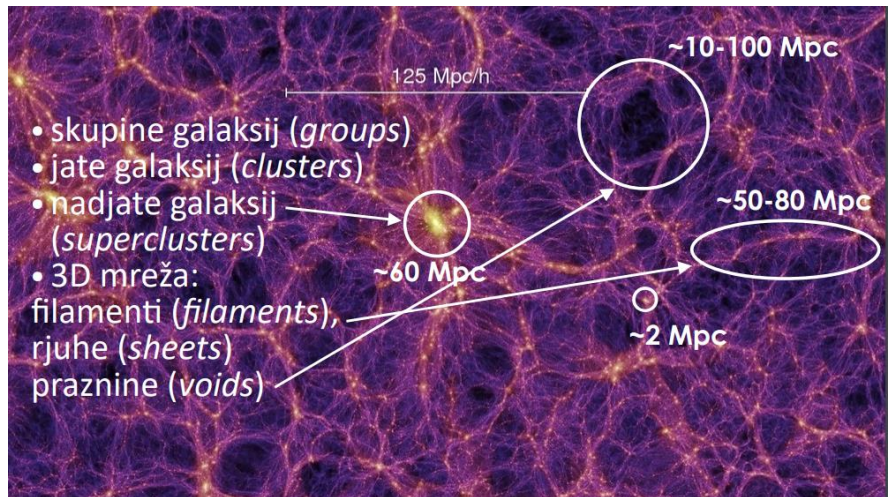


Jate galaksij

Mase: $M = 10^{12} M_{\odot} \sim 10^{15} M_{\odot}$

- **Skupine galaksij** (groups)
 - Obseg $2 Mpc$
- **Jate galaksij** (clusters)
 - Obseg $> 2 Mpc$
- **Nadjate galaksij** (superclusters)
 - Obseg $60 Mpc$

V kozmični mreži poleg jat in skupin (bele in rumene pike na slikici) najdemo se:



- **Filamenti** (plini, zvezde, skupine galaksij, temna snov)
- **Rjuhe**
- **Praznine** (ni snovi, niti temne oz. je mnogo manjša gostota)

Razporeditev galaksij v bližnjem vesolju

Nase bližnje vesolje $< 2 Mpc$ sestaja iz nase Galaksije, $M31$ Andromeda in $M33$ Triangulum. Vse te imajo se gravitacijsko vezane satelitske pritlikave galaksije. Skupno je > 100 galaksij (predvsem pritlikave eliptične).

Nasa lokalna okolica je v nadjati **devica**, ki je iz jate devica in okoliških ne gravitacijsko vezanih jat. Skupaj smo v nadnadjati **Laniakea**.

Začetki raziskovanja-katalogi

Za raziskovanje jat je potrebno imeti zbrano veliko informacij o galaksijah v katalogu.

Katalog Shapley-Adams:

- 1250 galaksij
- Porazdelitev galaksij ni naključna

Abellov katalog:

- Mount Palomar Observatory je snemal na fotografske plosce $6^{\circ} \times 6^{\circ}$ kose neba
- Katalog 2716 jat
 - Velik nabor
 - Porazdelitev po nebu in po prostoru
- Osnovne lastnosti:
 - Oddaljenost
 - Bogatost
 - Regularne/iregularne (sferna simetrija ali ne)

Vpeljal tudi **Abellov radij** $R_A = 2 Mpc$, ki je karakteristična velikost jat. Eliptične in spiralne galaksije niso enako porazdeljene znotraj jate. Imel je problem z določanjem razdalj do jat.

Osnovne lastnosti jat galaksij

Ocena starosti sistema

Jata je gravitacijsko vezan sistem. Jate se ohranjajo v času. Večina galaksij je opravila le nekaj orbit znotraj območja jate. To lahko pogledamo ce pogledamo disperzijo hitrosti, ki jo dobimo iz Dopplerjevega premika spektralnih crt:

$$\sigma = \sqrt{(v - v_0)^2} \sim 1000 \text{ km/s}$$

in potem pogledamo karakteristični čas preleta galaksije skozi jato:

$$\tau \sim \frac{R_A}{\sigma} = 2 \cdot 10^9 \text{ let}$$

kar je primerljivo z starostjo vesolja.

Gostota galaksij (v polju in v jati)

Poglejmo si **Schechterjevo funkcijo**, ki je funkcija izseva galaksij. Prešteje galaksije z izsevi med L in $L + dL$ na V :

$$\phi(L)dL \sim \phi(L_*) \left(\frac{L}{L_*}\right)^{-1} e^{-L/L_*} dL; \quad [\phi(L)] = \frac{N_{gal}}{V}; \quad L_* \sim 2 \cdot 10^{10} L_{\odot}$$

V polju imamo 1 galaksijo z izsevom L_* na 100 Mpc^3 :

$$\frac{1}{100 \text{ Mpc}^3}$$

Medtem ko imamo v jatah okoli:

$$\frac{100}{(2 \text{ Mpc})^3}$$

V jati je torej 10^3 več galaksij kot v polju (na isti volumen) $\phi_j \sim 10^3 \phi_p$

Pogostost trkov med galaksijami (v polju in v jati)

V polju:

$$L \sim 2 \cdot 10^{10} L_{\odot} \quad v_{gal} \sim 500 \frac{\text{km}}{\text{s}} \quad R \sim 50 \text{ kpc}$$

$$\tau_{trk} = \frac{1}{\phi_p S v_{gal}} \cong 3 \cdot 10^{12} \text{ let}$$

Trki v polju so zelo redek pojav. Kaj pa v jati:

$$v = \sigma = 1000 \text{ km/s}$$

$$\tau_{trk} = \frac{1}{\phi_j S \sigma} \cong 10^9 \text{ let}$$

Možnost je večja (naj bi bil razlog za prisotnost cD /elipticnih galaksij v središču jate).

Masa jate

Maso jate lahko določimo na več načinov. Te mase so pomembne za določanje kozmoloških parametrov. Jate nam služijo lahko kot »gravitacijski teleskop« za pogled v zgodnje vesolje.

Določanje dinamične mase jat galaksij

Jata je gravitacijsko vezan sistem v dinamičnem ravnovesju. Privzemimo sferno simetrijo. Takrat velja **virialni teorem**. Lahko zapišemo kinetično (na enoto mase) in uporabimo virialni teorem:

$$w_k = \frac{1}{2}\sigma^2 = -\frac{1}{2}w_g$$

Tu privzamemo homogeno porazdelitev $3/5$ faktor v w_g

$$\frac{1}{2}\sigma^2 = -\frac{1}{2}\left(-\frac{3}{5}\frac{GM}{R}\right)$$

Vazno je, da upoštevamo, da je $\sigma^2 = 3\sigma_{LOS}^2$ (Line of sight). Tako dobimo izraz za maso:

$$M = \frac{5\sigma_{LOS}R}{G}$$

Recimo za $R \sim 2Mpc$ in $\sigma \sim 10^3 km/s$. Dobimo $M = 2.2 \cdot 10^{15} M_{\odot}$. Če izračunamo razmerje $\gamma = M/L$, ki nekako predstavlja razmerje med maso (tudi nevidno) in izsevom (vidni del) dobimo za $L = 5 \cdot 10^{12} L_{\odot}$:

$$\gamma \sim 440 \frac{M_{\odot}}{L_{\odot}}$$

kar je **eden od prvih primerov za prisotnost temne snovi**.

Meritve maso z uporabo gravitacijskega lečenje

Indici za lečenje:

- Lokacija
- Geometrija
- Barve
- Nizka površinska svetlost

Ce predpostavimo:

- Sferno distribucijo snovi
- Močno gravitacijsko lečenje
- Leca na polovični razdalji med nami in izvorom
- Leca = točkasta masa (zaradi sferne simetrije)
- Lok = del Einsteinovega obroča

Lahko precej preprosto izračunamo maso. Recimo za $z = 0.17, D_L = 700Mpc$ in $\theta \sim 1'$

$$M = \frac{c^2 \theta_E^2}{4G} 2D_L \sim 6 \cdot 10^{14} M_{\odot}$$

Meritve mase preko uporabe jatega plina

Jatni plin (Intracluster medium) sveti zaradi zavornega sevanja v x spektru:

$$T = (2 - 1) \cdot 10^7 K \quad E_\gamma = 1 - 10 keV \quad L_x \sim \rho_g^2 T^{\frac{1}{2}}$$

Ce predpostavimo:

- Sferno simetrijo
- Idealni plin
- Hidrostatično ravnovesje

$$\frac{dp}{dr} = -\frac{GM(< r)\rho}{r^2}; \quad p = \frac{\rho kT}{\mu m_H}$$

$$\frac{dp}{dr} = \frac{kT}{\mu m_H} \frac{d\rho}{dr} + \frac{k\rho}{\mu m_H} \frac{dT}{dr} = \frac{\rho kT}{\mu m_H} \left(\frac{1}{\rho} \frac{d\rho}{dr} + \frac{1}{T} \frac{dT}{dr} \right) = -\frac{GM\rho}{r^2}$$

$$\Rightarrow M = -\frac{kTr}{G\mu m_H} \left(\frac{r}{\rho} \frac{d\rho}{dr} + \frac{r}{T} \frac{dT}{dr} \right) = -\frac{kTr}{G\mu m_H} \left(\frac{d(\ln \rho)}{d(\ln r)} + \frac{d(\ln T)}{d(\ln r)} \right)$$

Za $T \sim 10^8 K$ $\mu \sim 0.5$ $m_H = 1.67 \cdot 10^{-27} kg$ in $R = 2Mpc$ dobimo $M = 7.4 \cdot 10^{14} M_\odot$.

Tako smo izmerili maso jate z **tremi metodami z konsistentnimi rezultati**:

$$M \sim 10^{14} - 10^{15} M_\odot$$

- Galaksije: < 10%
- Plin: 10 – 25%
- Temna snov: 70 – 90%

Bolj zapletena slika

V resnici je slika bolj zapletena. Jate niso »sferične krave«. Imamo opravka z dinamiko, neravnovesjem, triaksialnostjo in vazni so učinki različnih astrofizikalnih procesov.

Trki med jatami:

- Dokaz za prisotnost temne snovi (šibko gravitacijsko lečenje)
- Več trkov na visokih rdečih premikih

Astrofizikalni procesi

- AGJ v središčnih galaksijah
- Curki potiskajo stran plin. Nastanejo kot mehurčki plina, ki se kot s konvekcijo dvigajo
- Curki lahko odnesejo tudi težje elemente ki grejo v jatni plin

Sunjajev-Zeldoricev učinek

Gre za obratno Comptonovo sipanje fotonov prasevanja na elektronih visokih energij. **Povzroči premik spektra prasevanja.**

Jate kot gravitacijski teleskopi

Lahko pogledamo vesolje za njimi zaradi gravitacijskega lečenja.

Uporabnost jat

Iz mas jat vemo, kako se je razvijalo vesolje. Preko njih lahko:

- Spremljamo nastajanja struktur na velikih skalah
- Raziskujemo astrofizikalne procese v notranjosti jat

Strukture na velikih skalah

Porazdelitev temne snovi v vesolju spremljamo s pomočjo šibkega gravitacijskega lečenja oddaljenih objektov. Na velikostih okoli $200Mpc$ je vesolje homogeno. Število galaksij se ne spremeni bistveno znotraj tako velikega kroga.

