



Galaksit ja kosmologia

FYS2052, 5 op, syksy 2023

E207 Physicum

**Luento 11: Galaksijoukot ja maailmankaikkeuden
suuren mittakaavan rakenne,
20/11/2023**



Selventävä lisämateriaali ja laskujen välivaiheita I

- **Kalvo 3:** Galaksiryhmissä on tyypillisesti noin ~100 galaksia muutaman Mpc alueella ja dominoivat galaksit ovat pääsääntöisesti spiraaligalakseja.
- **Kalvo 4:** Fossiilisissa galaksiryhmissä on jäljellä yksi muita galakseja selkeästi kirkkaampi ja massiivisempi galaksi, koska valtaosa muista ryhmän galakseista ovat törmänneet ja sulautuneet tähän galaksiin.
- **Kalvo 5:** Galaksiryhmissä ja galaksijoukoissa oleva kuuma kaasu on hydrostaattisessa tasapainossa, kaasun lämpötilat ovat korkeampia galaksijoukoissa suuremman massan takia.



Selventävä lisämateriaali ja laskujen välivaiheita II

- **Kalvo 5:** Kun galaksit, jossa on kylmää kaasua kulkevat galaksiryhmän tai galaksijoukon kuumen kaasun läpi, osa tästä kylmästä kaasusta ”kuoriutuu pois” galaksista. Tämän tärkeän ilmiön englanninkielinen termi on ”ram-pressure stripping”.
- **Kalvo 6:** Galaksien väliset vuorovaikutukset. Käytetään samaa impulssiapproksimaatiota kuin luennolla 3. Ohittavan galaksin M kohtisuora-nopeus muuttuu alla-olevalla tekijällä, missä b on impakti-parametri, ja oletuksena on, että galaksin säde $r_c \ll b$.

$$\Delta V_{\perp} = \frac{2Gm}{bV} \quad \& \quad b \gg \frac{2G(M+m)}{V^2} = 2r_s$$



Selventävä lisämateriaali ja laskujen välivaiheita III

- **Kalvo 7:** Kohtisuoran kineettisen energian kokonaismuutokseksi saadaan, m:n energia muuttuu enemmän:

$$\Delta E_{K\perp} = \frac{M}{2} \left(\frac{2Gm}{bV} \right)^2 + \frac{m}{2} \left(\frac{2GM}{bV} \right)^2 = \frac{2G^2 m M (M + m)}{b^2 V^2}$$

- **Kalvo 8:** Jos oletetaan, että systeemin potentiaalienergia kauan ennen vuorovaikutusta ja kauan sen jälkeen on nolla, saamme energian säilymisestä (vain kineettinen energia mukana laskuissa):

$$\Delta E_{K\perp} = \frac{M}{2} \left(\frac{2Gm}{bV} \right)^2 + \frac{m}{2} \left(\frac{2GM}{bV} \right)^2 = \frac{2G^2 m M (M + m)}{b^2 V^2}$$



Selventävä lisämateriaali ja laskujen välivaiheita IV

- **Kalvo 8:** Oletetaan $\Delta V_{\parallel} \ll V$ ja $\Delta V_{\parallel}^2 \approx 0$.

$$\frac{M}{2}V^2 = \Delta E_{k\perp} + \frac{M}{2}V^2 + MV\Delta V_{\parallel}$$

$$-V_{\parallel} \approx \frac{\Delta E_{k\perp}}{MV} = \frac{2G^2m(M+m)}{b^2V^3}$$

- **Kalvo 8:** Jos oletetaan, että galaksi liikkuu nopeudella V alueen läpi jossa on n kappaletta m -massaista tähteä (sama lasku kuin luennolla 3). Vuorovaikutusten lukumäärä:
numerotiheys \times tilavuus: $n \cdot Vt \cdot 2\pi bdb$



Selventävä lisämateriaali ja laskujen välivaiheita V

- **Kalvo 9:** Yhteenlaskettu vaikutus. Yksi vuorovaikutus kertaa niiden lukumäärä:

$$-\frac{dV}{dt} = \int_{b_{\min}}^{b_{\max}} nV \frac{2G^2 m(M+m)}{b^2 V^3} 2\pi b db = \frac{4\pi G^2 (M+m)}{V^2} nm \ln \Lambda$$

- **Kalvo 9:** Dynaaminen kitka on tärkein ilmiö galaksien vuorovaikutuksissa, kitkavoima on verrannollinen massan neliöön, eli massiiviset kappaleet kokevat suuremman dynaamisen kitkan:

$$F_{df} \propto M^2$$



Selventävä lisämateriaali ja laskujen välivaiheita VI

- **Kalvo 10:** Toisin kuin tähtien törmäykset, galaksien väliset törmäykset ovat hyvin yleisiä ja niitä tapahtuu lähes yhtenäin. Törmäykset ovat pitkäkestoisia, tyypillisesti noin ~500 miljoonaa vuotta.
- **Kalvo 12:** Galaksijoukoissa on satoja tai jopa tuhansia kirkkaita galakseja. Dominoivat galaksit ovat pääsääntöisesti ellipsigalakseja.
- **Kalvo 13:** Galaksijoukkojen rakenne voi olla myös epäsäännöllinen, joka usein viittaa käynnissä olevaan törmäykseen.



Selventävä lisämateriaali ja laskujen välivaiheita VII

- **Kalvo 16:** Gravitaatiolinssi-ilmiö vain esitellään tällä kurssilla. On tärkeitä ymmärtää mistä on kyse, mutta tähän aiheeseen liittyen ei tarvitse hallita yksityiskohtaisesti kaavoja.
- **Kalvo 16:** Yleisen suhteellisuusteorian mukaan massa kaareuttaa valoa. Kaikki näkösäteen suuntainen massa (tavallinen ja pimeä aine) vaikuttaa valon kulkuun.
- **Kalvo 18:** Gravitaatiolinssi-ilmiöt jaetaan vahvoihin, heikkoihin ja Einsteinin-renkaisiin, riippuen siitä kuinka läheltä suurta massa-keskittymää valo kulkee.



Selventävä lisämateriaali ja laskujen välivaiheita VIII

- **Kalvo 21:** Paikallisen maailmankaikkeuden suurin rakenne on hiljattain määritelty Laniakea Supercluster, johon kuuluu noin 100 000 galaksia. Suuren mittakaavan rakenteen määrittely ei ole yksiselitteistä, koska rakenne ei ole painovoimalla sidottu, vaan se määritellään galaksien liikkeistä. Laniakean massa on noin $\sim 10^{17} M_{\odot}$. Kuva, kalvon 21 alareunassa.
- **Kalvo 22:** Supergalaktista koordinaatistoa voidaan käyttää galaksien paikantamiseen paikallisessa maailmankaikkeudessa.



Selventävä lisämateriaali ja laskujen välivaiheita IX

- **Kalvo 25:** Suurten galaksiluetteloiden avulla voimme mitata galaksien välisiä korrelaatioita. Pienillä etäisyyksillä galaksit ovat vahvasti korreloituneita painovoiman vaikutuksesta.
- **Kalvo 26:** Tehospektri ($P(k)$) saadaan kaksi-piste korrelaatiofunktion Fourier-muunnoksesta, joka kuvaa miten tiheysfluktuaatiot ovat jakautuneet eri pituuskaaloilla. Lisää tästä aiheesta Maisteriohjelman kursseilla.

$$P(k) = \frac{1}{V} \int_0^\infty \xi(r) \frac{\sin kr}{kr} 4\pi r^2 dr$$

$$\xi(r) = \frac{V}{2\pi^2} \int |\Delta_k|^2 \frac{\sin kr}{kr} k^2 dk = \frac{V}{2\pi^2} \int P(k) \frac{\sin kr}{kr} k^2 dk$$