



Galaksit ja kosmologia

FYS2052, 5 op, syksy 2023

E207 Physicum

Luento 8: Spiraali- ja S0-galaksit,
30/10/2023



Selventävä lisämateriaali ja laskujen välivaiheita I

- **Kalvo 3:** Kiekkogalaksit ovat dynaamisesti 'kylmiä', eli suurin osa liike-energiasta on järjestäytyntä liikettä, eli $V_{\text{rot}}/\sigma \sim 20$ on hyvin suuri, kun ellipsigalakseissa $V_{\text{rot}}/\sigma < 1$ on pieni.
- **Kalvo 4:** Kiekkogalakseissa on yleensä selkeä pölyvana keskellä. Selkeän kiekkorakenteen ansiosta galaksin inkliinaatiokulmaa (eli kulma näkösuhteen suhteen) on helpompi arvioida kuin ellipsigalaksien tapauksessa.
- **Kalvo 5:** Skaalapituus h_R riippuu havaintokaistasta, esim. sinisessä B-kaistassa skaalapituus on tyypillisesti $\sim 20\%$ suurempi kuin punaisessa I-kaistassa.



Selventävä lisämateriaali ja laskujen välivaiheita II

- **Kalvo 7:** Kiekkogalaksien luminositeetit voivat vaihdella hyvinkin paljon saman spiraaliluokan sisällä. Eli kiekko-galakseilla galaksin tyyppi ei yksiselitteisesti määrää sen massaa ja luminositeettia, toisin kuin ellipsigalakseilla.
- **Kalvo 9:** Spiraalihaarat erottuvat erityisen hyvin lyhyillä aallonpituuksilla (U- ja B-kaista) sekä $H\alpha$ -viivan alueella, koska tämä emissio syntyy nuorten tähtien vaikutuksesta.
- **Kalvo 10:** Atomaarista vetyä (HI) voidaan havaita parhaiten radio-alueen $\lambda=21$ cm-viivan havainnoissa. Viivan synnystä ja sen käytöstä havainnoissa tarkemmin kurssilla Astrofysiikan peruskurssi II.



Selventävä lisämateriaali ja laskujen välivaiheita III

- **Kalvo 10:** Molekulaarinen vety (H_2) on symmetrinen molekyyli, joten sen rotaatio- ja vibraatio-siirtymät ovat heikkoja ja vaikeasti havaittavia. Usein havaitaan hiilimonoksidia (CO), jonka avulla voidaan arvioida molekulaarisen vedyn määrää:
$$n_{\text{CO}}/n_{\text{H}_2} \approx 6 \times 10^{-5}$$
- **Kalvo 11:** Kun vetykaasun tiheys on riittävän suuri UV-säteily absorboituu vetypilven ulko-osiin ja pilven sisäosiin voi muodostua molekulaarista vetyä (eng. self-shielding). Tähdet syntyvät molekulaarisesta vedystä molekyylipilvien sisäosissa.



Selventävä lisämateriaali ja laskujen välivaiheita IV

- **Kalvo 13:** S0-galakseissa on hyvin vähän kaasua ja jos kaasua on se ei välttämättä sijaitse tähtikiekon tasossa. Lisäksi joskus osa S0-galaksien tähdistä pyörivät vastakkaisiin suuntiin. -> Merkkejä muinaisista galaksitörmäyksistä.
- **Kalvo 14:** Havaittu säteisnopeus koostuu systeemisestä nopeudesta (V_{sys}), eli koko galaksin liikkeestä, sekä rotaatioliikkeestä, jossa pitää ottaa huomioon galaksin havaittu inkliinaatio, $\sin(i)$, jos $i=0^\circ$, $\sin(0^\circ)=0$, päältäpäin havaitussa galaksissa ei näy rotaatiota. Suoraan sivultapäin havaitussa galaksissa $\sin(90^\circ)=1$.



Selventävä lisämateriaali ja laskujen välivaiheita V

- **Kalvo 15:** Spiraaligalakseissa havaitut rotaatiokäyrät ovat lähes vakioita, eli $V(R)=\text{const}$. Eli $V(R)/R$ pienenee kun R kasvaa, eli tuloksena on differentiaalirotaatio.
- **Kalvo 17:** Tully-Fisher relaatio on puhtaasti empiirinen relaatio, joka yhdistää galaksin havaitun luminositeetin rotaationopeuden maksimiarvon kanssa. Pimeä aine määrää pitkälti rotaationopeuden, mutta tähtien massa määrää luminositeetin.
- **Kalvo 19:** Spiraalihaarojen synty vaatii 1) differentiaalirotaatiota, 2) riittävän suuren massan (self-gravity) sekä 3) kaasua.



Selventävä lisämateriaali ja laskujen välivaiheita VI

- **Kalvo 22:** Spiraalirakennetta voidaan kuvata yhtälöllä:

$$\cos[m(\phi + f(R, t))] = 1$$

m kertoo spiraalin kertaluvun $m=1$ antaa tyypillisen kaksihaaraisen grand-design spiraalin. $f(R,t)$ kuvaa kuinka tiukasti rullalla spiraali on:

- Jos $|\partial f / \partial R|$ on suuri ovat spiraalihaarat tiukasti rullalla, jos $|\partial f / \partial R|$ on pieni spiraalihaarat ovat avoimempia



Selventävä lisämateriaali ja laskujen välivaiheita VII

- **Kalvo 24:** Differentiaalirotaation vaikutus ja ”winding” problem.

$$\frac{1}{\tan i} = \left| R \frac{\partial \phi}{\partial R} \right| = \left| R \frac{\partial f}{\partial R} \right|$$

$$\phi = \phi_0 + \Omega(R)t, \quad V(R) = \Omega(R)R, \quad \Omega = \frac{V}{R}$$

$$f(R, t) = -\phi_0 - \Omega(R)t, \quad V(R) = \text{vakio} = 200 \text{ km/s}, \quad R = 8 \text{ kpc}$$

$$\cot i = R \left| \frac{d\Omega(R)}{dR} \right| t = R \frac{V}{R^2} t = \frac{V}{R} t = \frac{200}{8} \left(\frac{t}{1 \text{ Gyr}} \right)$$



Selventävä lisämateriaali ja laskujen välivaiheita VII

- **Kalvo 26:** Lindbladin resonansseista ja spiraalihaarojen syntyteorioita käydään tarkemmin läpi Maisteriohjelman kursseilla, esim. Galactic Dynamics kurssilla.
- **Kalvo 27:** Toomren Q-parametri kuvaa kiekon stabiilisuutta. Mitä massiivisempi kiekko on ja mitä vähemmän siinä on 'nopeuspainetta', eli epsyklitaajuus kertaa radiaalinen nopeusdispersio, sitä helpommin spiraalirakenne syntyy.

$$Q = \frac{\kappa \sigma_R}{3.36 G \Sigma} \lesssim 1 \quad \kappa^2 = \left(R \frac{d\Omega^2}{dR} + 4\Omega^2 \right)$$