



Galaksit ja kosmologia

FYS2052, 5 op, syksy 2023

E207 Physicum

**Luento 7: Ellipsigalaksit,
16/10/2023**



Selventävä lisämateriaali ja laskujen välivaiheita I

- **Kalvo 8:** Core-ellipseistä puuttuu keskusvalo ja todennäköinen syy tähän on massiivisten kaksoismusta-aukkojen vuorovaikutus galaksien ytimissä. Lähestyessään toisiaan radallaan mustat aukot linkoavat ulos tähtiä galaksin keskusalueelta.
- **Kalvo 8:** Cusp-ellipsit ovat todennäköisesti syntyneet kahden kaasurikkaan galaksin törmäyksessä, jolloin kaasua on virrannut galaksien keskusalueille aiheuttaen ylimääräistä tähtiensyntyä ja täten korkean tähtitiheyden.



Selventävä lisämateriaali ja laskujen välivaiheita II

- **Kalvo 9:** Kormendyn relaation yksiköt. Pintakirkkaus $I_{B,\text{eff}}$ on B-kaistan pintakirkkaus yksiköissä mag arcsec^{-2} . Efektiivinen säde, r_{eff} on yksiköissä kpc:

$$I_{B,\text{eff}} = 3.02 \log r_{\text{eff}} + 19.74$$

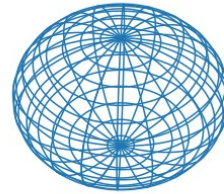
- **Kalvo 9:** Toisin kuin kiekkogalakseilla, ellipsigalakseilla galaksin keskustan pintakirkkauden ja kokonaiskirkkauden välillä on vahva korrelaatio.



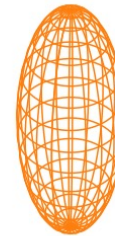
Selventävä lisämateriaali ja laskujen välivaiheita III

- **Kalvo 10:** E-galaksien muodot

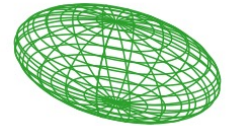
$$\frac{x^2 + y^2}{a^2} + \frac{z^2}{c^2} = 1$$



oblate



prolate



triaxial

- Navoiltaan litistynyt, "Oblate": **a=b, c<a**
- Navoiltaan venynyt, "Prolate": **a=b, c>a**
- **Kalvo 10:** Triaksiaalinen muoto:

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} + \frac{z^2}{c^2} = 1$$



Selventävä lisämateriaali ja laskujen välivaiheita IV

- **Kalvo 10:** Ellipsigalaksien muoto (otetaan differentiaalit):

$$y = 0 \Rightarrow \frac{x^2}{A^2} + \frac{z^2}{B^2} = 1, \Rightarrow \frac{2x dx}{A^2} = -\frac{2z dz}{B^2} \Rightarrow \frac{dx}{dz} = -\left(\frac{z}{x}\right) \left(\frac{A^2}{B^2}\right)$$

$$\tan i = dx/dz = -(z/x)(A^2/B^2)$$

- **Kalvo 11:** Kuvan isoakseli: $a=mA$, pikkuakseli $b=OR$

$$\sin i = \frac{OR}{OQ} \Rightarrow OR = OQ \sin i$$

$$\tan i = \frac{-x}{PQ} \Rightarrow PQ = \frac{-x}{\tan i} = -x \cot i$$



Selventävä lisämateriaali ja laskujen välivaiheita V

- **Kalvo 11:** Ellipsigalaksien muoto II:

$$OQ = OP + PQ = z + (-x) \cot i = z + x \frac{x B^2}{z A^2} = \frac{B^2 m^2}{z}$$

- **Kalvo 11:** Ellipsigalaksien muoto II:

$$q_{\text{obl}} = \frac{b}{a} = \frac{OQ \sin i}{mA} = \frac{B^2 m^2 \sin i}{zmA} = \frac{B^2}{zA} \left[\frac{x^2}{A^2} + \frac{z^2}{B^2} \right]^{1/2} \sin i$$

$$q_{\text{obl}} = \left[\frac{B^2}{A^2} + \cot^2 i \right]^{1/2} \sin i, \quad \cot^2 i = \left(\frac{x}{z} \right)^2 \frac{B^4}{A^4} = \frac{\cos^2 i}{\sin^2 i}$$



Selventävä lisämateriaali ja laskujen välivaiheita VI

- **Kalvo 11:** Navoiltaan venyneelle ellipsigalaksille (eng. prolate, eli $A < B$) voidaan johtaa vastaavanlainen kaava:

$$q_{\text{prol}}^2 = \left[\left(\frac{B}{A} \right)^2 \sin^2 i + \cos^2 i \right]^{-1}$$

- **Kalvo 11:** $q_{\text{prol}} \geq A/B$, nyt $A < B$, eli jälleen havaittu litistyneisyys ei voi olla suurempi kuin todellinen litistyneisyys.



Selventävä lisämateriaali ja laskujen välivaiheita VII

- **Kalvo 12:** Keskimääräinen litistyneisyys voidaan arvioida havaitsemalla galakseja satunnaisista suunnista:

$$f_{\text{obl}}\Delta q = \frac{\sin i \cdot \Delta q}{|dq/di|} = \frac{q\Delta q}{\sqrt{1 - (B/A)^2} \sqrt{q^2 - (B/A)^2}}$$

- **Kalvo 13:** Havaittu litistyneisyys: Kirkkaimmat galaksit ovat tyypillisesti pyöreitä, himmeämmät ovat tyypillisesti pitkulaisempia.
- **Kalvo 14:** Fotometrinen hienorakenne: Sovitetaan paras mahdollinen ellipsi ja tutkitaan mihin jää ylimääräistä valoa sovituksen ulkopuolelle.



Selventävä lisämateriaali ja laskujen välivaiheita VIII

- **Kalvo 17:** Tensoriviraaliteoreema. Viriaaliteoreema voidaan johtaa myös erikseen jokaiselle vektori-komponentille, x, y ja z. Johto seuraa skalaariviraali-teoreeman johtoa luennoilta 3:

$$\frac{1}{2} \frac{d^2 I_{zz}}{dt^2} = 2E_{k,zz} + E_{p,zz} \Rightarrow 2\langle E_{k,zz} \rangle + \langle E_{p,zz} \rangle = 0$$

$$I_{zz} = \sum_{\alpha} m_{\alpha} z_{\alpha} z_{\alpha}, \quad E_{k,zz} = \frac{1}{2} \sum_{\alpha} m_{\alpha} v_{z\alpha} v_{z\alpha}, \quad E_{p,zz} = - \sum_{\alpha, \beta, \alpha \neq \beta} \frac{1}{2} \frac{G m_{\alpha} m_{\beta}}{|\mathbf{x}_{\alpha} - \mathbf{x}_{\beta}|^3} (z_{\alpha} - z_{\beta})^2$$



Selventävä lisämateriaali ja laskujen välivaiheita IX

- **Kalvo 19:** Ellipsigalaksin pyöriminen:

$$x = (1 - \epsilon)^{0.9} \Rightarrow \frac{\sigma^2}{\frac{1}{2}V^2 + \sigma^2} = x \Rightarrow \frac{V}{\sigma} = \sqrt{\frac{2(1-x)}{x}}$$

$$\frac{\pi}{4}\sqrt{2} \approx 1.1, \quad (1 - \epsilon)^{-0.9} - 1 \approx \frac{1}{1 - \epsilon} - 1 \approx \frac{\epsilon}{(1 - \epsilon)}$$

$$\left(\frac{V_{\max, \text{rot}}}{\sigma}\right) = \left(\frac{V_{\text{rot}}}{\sigma}\right)_{\text{iso}} = \frac{\pi}{4}\sqrt{2[(1 - \epsilon)^{-0.9} - 1]} \approx \sqrt{\epsilon/(1 - \epsilon)}$$



Selventävä lisämateriaali ja laskujen välivaiheita X

- **Kalvo 22:** Faber-Jackson ja fundamentaalirelaatio ovat empiirisiä havaittuja relaatioita, jotka asettavat reunaehdoja ellipsigalaksien syntyteorioille. Yksiselitteistä teoreettista selitystä relaatioille ei ole vielä olemassa.
- **Kalvo 29:** Kaikissa massiivisissa ellipsigalakseissa on supermassiivinen musta aukko, jonka massa korreloi galaksin keskuspullistuman (ellipsien tapauksessa koko tähtimassan) kanssa. Nopeusdispersio σ on verrannollinen keskuspullistuman massaan:

$$\log(M_{\text{BH}}/M_{\odot}) = 8.12 + 4.24 \log(\sigma/200 \text{ kms}^{-1})$$