

## Galaksit ja kosmologia – harjoitus 1 syksy 2023

Ratkaisut on palautettava ma 18.9. klo 12.00 mennessä kurssin Moodle-sivulle.

1. *Galaksien massa-valo -suhteet ja pimeä aine.* Käytä laskuissa Auringon absoluuttiselle magnitudille arvoa  $\mathcal{M}_{\odot,V} = +4.71$ .

(a) Andromedan galaksin ytimen absoluuttinen magnitudi on  $\mathcal{M}_V = -11.7$  ja massa  $M = 1.3 \cdot 10^7 M_{\odot}$ . Mikä on Andromedan galaksin ytimen absoluuttinen luminositeetti yksiköissä  $L_{\odot}$ , ja mikä on ytimen massa-valo suhde ( $M/L$ )?

(b) Draco-kääpiögalaksin näennäinen magnitudi on  $m_V = 10.9$ , etäisyys  $d = (72 \pm 10)$  kpc ja kokonaismassa noin  $M = 2 \cdot 10^7 M_{\odot}$ . Mikä on Draco-kääpiögalaksin absoluuttinen magnitudi, luminositeetti ja massa-valo suhde ( $M/L$ )? Vertaa saatua  $M/L$  arvoa Andromedan  $M/L$  arvoon ja arvioi kummassa kohteessa on enemmän pimeää ainetta.

2. *Standardikynttilät.* Kefeidi-tähdet noudattavat seuraavanlaista periodi-luminositeetti (P–L) relaatiota

$$\langle \mathcal{M}_V \rangle = -2.78 \log(P/10 \text{ d}) - 4.13, \quad \text{hajonta} \sim 0.3 \text{ mag},$$

missä periodi  $P$  annetaan vuorokausissa d. Eräässä galaksissa havaitaan kefeidi jonka periodi on  $P = 40$  d ja näennäinen magnitudi  $m_V = 18$ . Mikä on galaksin etäisyys virherajoihin kun otetaan huomioon P–L-relaation hajonta sekä tyypillinen  $\pm 0.1$  magnitudin havaintovirhe?

3. *“Damn you little h.”* Fritz Zwicky päätteli ensimmäisenä vuonna 1933 pimeän aineen olemassaolon tutkimalla Coma galaksijoukon massa-valo ( $M/L$ ) suhdetta vertaamalla viriaalteoreemasta saatua tulosta galaksien rotaatiokäyristä saatuun tulokseen. Hän päätyi toteamaan että pimeää ainetta on 400 kertaa enemmän kuin näkyvää ainetta ( $M/L = 400$ ). Zwicky käytti laskuissaan silloista Hubblen vakiota  $H_0 = 558 \text{ km s}^{-1} \text{ Mpc}^{-1}$ . Miten hänen tuloksensa  $M/L$ -arvolle muuttuisivat jos käyttäisimme nykyistä Hubblen vakion arvoa  $H_0 = 67.4 \text{ km s}^{-1} \text{ Mpc}^{-1}$ ?

4. *Galaksien luminositeettitiheys.* Galaksien kirkkauksien jakaumaa voidaan kuvata Schechterin luminositeettifunktion avulla:

$$\Phi(L)dL = \Phi^* \left( \frac{L}{L_*} \right)^{\alpha} e^{-L/L_*} \frac{dL}{L_*}.$$

Mikä on termien  $\Phi^*$  ja  $L_*$  fysikaalinen merkitys? Laske Schechterin funktiosta yleinen lauseke maailmankaikkeuden kokonaisluminositeettitiheydelle integroimalla, ja laske mikä luminositeettitiheyden arvo on yksiköissä [ $L_{\odot}/\text{Mpc}^3$ ]. Käytä arvoja  $\Phi^* = 0.019 h^3 \text{ Mpc}^{-3}$ ,  $L_* = 8 \cdot 10^9 h^{-2} L_{\odot}$ ,  $\alpha = -0.7$  ja  $h = 0.67$ . (Vihje: Eulerin  $\Gamma$  (Gamma)-funktion lukuarvoja voi laskea esim. Pythonilla `scipy.special.gamma` funktiolla, tai sitten vaikka netissä WolframAlphan avulla).

5. Spiraaligalaksien kiekkojen pintatiheyttä voidaan kuvata lausekkeella:

$$\Sigma(r) = \Sigma_0 e^{-r/r_D}.$$

Mikä on kiekkokomponentin kokonaismassa? Kuvaile termien  $\Sigma_0$  sekä  $r_D$  fysikaalinen merkitys.