

# Havaitsevan tähtitieteen peruskurssi I, syksy 2025

## Mallit 1

### 1. Selitä lyhyesti

- Milloin ja ketkä löysivät kaksi ensimmäistä muuttuvaa tähteä?
- Milloin ja ketkä määrittivät näiden kahden tähden periodit?

Perustuen arkeologiseen kalenteriin, egyptiläisten arvioidaan havainneen Algolin kirkkauden jaksottaista muuttumista jo 3200 vuotta sitten. Mira on ensimmäinen muuttuva tähti, jonka periodi määritettiin Johannes Holwardan toimesta vuonna 1638, joskin jo David Fabricius oli 1596 havainnut sen kirkkausvaihtelun. Uudella ajalla Algolin kirkkausvaihtelun taas havaitsi Geminiano Montanari 1669, ja sen periodin määritti John Goofrick 1784.

2. Erään kaksoistähden kokonaismagnitudi on  $m_{\text{tot}} = 2,06$  ja yhden komponentin magnitudi  $m_1 = 2,27$ . Mikä on kaksoistähden toisen komponentin magnitudi?

Magnitudi on logaritminen suure, joten magnitudi ei voida suoraan summata, vaan ne tulee ensin muuttaa vuontiheydeksi. Magnitudin  $m_n$  ja vuontiheyden  $F_n$  välille pätee

$$m_n = -2,5 \lg \frac{F_n}{F_0}.$$

Vuontiheys magnitudin funktiona on siis,

$$F_n = F_0 10^{-0,4m_n}$$

Tuntemattoman komponentin vuontiheys on  $F_2 = F_{\text{tot}} - F_1$ , ja magnitudi

$$m_2 = -2,5 \lg \frac{F_{\text{tot}} - F_1}{F_0} = -2,5 \lg(10^{-0,4m_{\text{tot}}} - 10^{-0,4m_1}) \approx 3,95.$$

3. Sinulla on käytössäsi kaksi samanveroista teleskooppia, joista toinen sijaitsee La Palman observatoriolla (Kanarian saaret, Espanja) ja toinen ESO:n (European Southern Observatory, Chile) La Sillan observatoriolla. Lisäksi sinulla on valittavana neljä havaintojaksoa: Joulukuun loppu, maaliskuun loppu, kesäkuun loppu, ja syyskuun loppu. Missä ja milloin sinun kannattaisi havaita seuraavia tähtiä (perustele vastauksia, mutta sääolosuhteita ei tarvitse huomioida):

| Tähti     | $\alpha_{2000}$                                 | $\delta_{2000}$ |
|-----------|-------------------------------------------------|-----------------|
| BE Cet    | 00 <sup>h</sup> 22 <sup>m</sup> 52 <sup>s</sup> | -12°12'34''     |
| AB Dor    | 05 <sup>h</sup> 28 <sup>m</sup> 45 <sup>s</sup> | -65°26'55''     |
| HD 116956 | 13 <sup>h</sup> 25 <sup>m</sup> 46 <sup>s</sup> | +56°58'14''     |
| II Peg    | 23 <sup>h</sup> 55 <sup>m</sup> 04 <sup>s</sup> | +28°38'01''     |

Haluamme havaita tähtiä kun ne ovat mahdollisimman korkealla, eli kun välissä on mahdollisimman vähän ikävää ilmassa. Tähtiaika riippuu tuntikulmasta ja rektaskensiasta,

$$\Theta = h + \alpha.$$

Kohde on korkeimmillaan ohittaessaan etelämeridiaanin, jolloin sen tuntikulman on nolla. Eli tähtiä tulee havaita aikana jolloin tähtiaika on mahdollisimman lähellä kappaleen rektaskensiota. Tähtiä on myös hyvä havaita keskiyöstä, kun on pimeintä. Tähtiajat keskiyöllä annettuina havaintojaksoina:

Joulukuun loppu  $\Theta \approx 6$  h

Maaliskuun loppu  $\Theta \approx 12$  h

Kesäkuun loppu  $\Theta \approx 18$  h

Syyskuun loppu  $\Theta \approx 0$  h

Nyt tiedämme milloin tähtiä kannattaa havaita, vielä täytyy keksiä missä. Muistamme lempikaavamme TäPe:ltä, eli deklinaation määritelmästä saatu taivaankappaleen korkeus yläkulminaatioissa,

$$a_{max} = \begin{cases} 90^\circ - \phi + \delta, & \text{kun kohde kulminoi zeniitin eteläpuolella,} \\ 90^\circ + \phi - \delta, & \text{kun kohde kulminoi zeniitin pohjoispuolella,} \end{cases}$$

missä  $\phi$  on havaitsijan leveysaste. Käytännössä tämä tarkoittaa, että kohde näkyy korkeimmalla paikassa, minkä leveysaste on mahdollisimman lähellä kohteen deklinaatiota. (Jos tämä on hankala ymmärtää, niin kannattaa esimerkiksi sijoitella eri arvoja kaavoihin, ja katsoa mitä saa ulos. Täytyy myös muistaa, että korkeus on välillä  $a = [-90, +90]$ , ja jos saa suurempia arvoja, tulee käyttää toista kaavaa.) La Palman leveysaste on  $\phi_{LP} \approx +29^\circ$  ja La Sillan  $\phi_{LS} \approx -29^\circ$ .

Eli kappaleita kannattaa havaita;

**BE Cet:** Syyskuun lopussa La Sillassa

**AB Dor:** Joulukuun lopussa La Sillassa

**HD 116956:** Maaliskuun lopussa La Palmalla

**II Peg:** Syyskuun lopussa La Palmalla

**4.** *Ritchey-Chretien tyyppisen teleskoopin pääpeilin halkaisija on 2,56 m ja polttoväli 5120 mm. Alueen normaali seeing on n. 0,7".*

a) *Mikä on teleskoopin teoreettinen erotuskyky kun havaitaan aallonpituudella  $\lambda = 512 \text{ nm}$ ?*

b) *Teleskoopilla tehdään havaintoja käyttäen CCD-kameraa, jonka pikselit ovat  $13,5 \mu\text{m}$ :n sivuisia neliöitä. Mikä on teleskoopin erotuskyky tällä kameralla eli kuinka suuren kulman taivaalla yksi pikseli näkee?*

c) *Pohdi, onko jokin näistä erotuskyvyistä realistisesti saavutettavissa.*

Teleskoopin ominaisuudet;  $D = 2.56 \text{ m}$ ,  $f = 5.12 \text{ m}$ .

a)

Teleskoopin erotuskyky (pyöreällä aukolla) on  $\theta \approx 1.22\lambda/D \approx 2.44 \times 10^{-7} \text{ rad} \approx 0.05''$ .

b)

Kun kohde näkyy kulmassa  $u$  siitä muodostuu kuva, jonka korkeus on  $s \approx fu$ . Eli yhden pikselin taivaalla näkemä kulma on  $u = s/f \approx 0.54''$ .

c)

Teoreettista erotuskykyä ei saavuteta, sillä kameran pikselin rajoittama erotuskyky on suurempi. CCD-kameraa käytettäessä halutaan myös, että kohteen valo jakautuisi useammalle pikselille, sillä yksi pikseli ei jätä pelivaraa, jos siihen sattuu osumaan esimerkiksi kosminen säde. Eli myöskään yhden pikselin rajoittama erotuskyky ei ole realistinen.

**5.** *Säteilyn energiavuo pienenee väliaineessa kaavan  $L = L_0 e^{-\tau}$  mukaisesti, missä  $L_0$  on säteilyn energiavuo ennen väliaineeseen saapumista ja  $\tau$  on väliaineen optinen paksuus. Osoita, että kohteen magnitudi maan pinnalta katsottuna kasvaa lineaarisesti verrannollisena ilmakehän optiseen paksuuteen.*

Magnitudien ero ilmakehän yläpuolella  $m_0$  ja maanpinnalla  $m$  on

$$\Delta m = m - m_0 = -2.5 \lg \frac{F}{F_0} = -2.5 \lg \frac{L}{L_0},$$

kun muistetaan, että energiavuo (luminositeetti)  $L$  on suoraan verrannollinen vuontiheyteen  $F$ . Kun ekstinktio sijoitetaan kaavaan, saadaan se pyöriteltä muotoon, jossa ekstinktion aiheuttama magnitudin kasvu riippuu lineaarisesti optisesta paksuudesta.

$$\Delta m = -2.5 \lg \frac{L_0 e^{-\tau}}{L_0} = -2.5 \lg e^{-\tau} = 2.5 \lg(e) \tau \approx 1.09 \tau$$