

Havaitsevan tähtitieteen peruskurssi I, syksy 2024

Mallit 5

1.

- *Apertuurifotometria*

Apertuurifotometriassa määritetään kohteen kirkkaus mittaamalla (ympyrämuotoisen) CCD-kuvan alueeseen osuneen säteilyn määrä. Siitä vähennetään kohteen ulkopuolella olevan (renkaan muotoisen) alueeseen osuva taustan säteilyn määrä.

- *PSF-fotometria*

PSF-fotometriassa kohteen kirkkaus mitataan sovittamalla PSF (eli laitefunktio) kohteen kirkkausprofiiliin. PSF-fotometrian avulla voidaan mitata lähekkäisten sekä himmeiden kohteiden kirkkautta tarkemmin kuin apertuurifotometrialla.

- *Instrumentaalimagnitudi*

Kohteelle mitattu magnitudi ennen mahdollisia ilmakehän aiheuttamien vääristymien korjauksia sekä siirtymistä standardijärjestelmään.

- *Grism*

Prisma, jonka yksi sivu on uurrettu. Spektrometriassa käytettävä dispersiivinen elementti, jolla kompaktissa koossa saadaan melko hyvä spektri-resoluutio.

- *Echelle-hila*

Heijastushila, jonka uurteet ovat verrattain harvat (~ 50 /mm) mutta blaze-kulma suuri ($\sim 60^\circ$) ja jolla havaitaan korkeita kertalukuja. Näin saadaan hyvin suuri spektri-resoluutio. Nimi “echelle” tulee hilan rappumaisesta rakenteesta.

- *Blazed grating*

Hila jossa uurrerakenne valmistetaan siten, että diffraktoitunut valo tiettyssä kertaluvussa ja tietyllä aallonpituudella kulkee samaan suuntaan kuin heijastuksessa. Tällä tavalla optimoidaan hilan tehokkuutta.

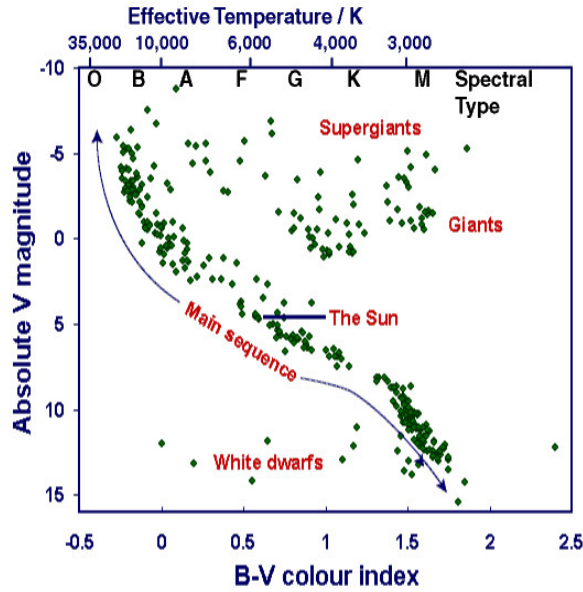
2.

Erittele absoluuttisen ja differentiaalifotometrian etuja ja haittoja fotometrisen datan keräämisessä. Kumman menetelmän valitsisit, kun tarkoituksena on seurata muuttuvan tähden kirkkautta havaitsemalla sitä kerran yössä pitkän havaintojakson ajan? Perustele vastauksesi.)

Absoluuttisessa fotometriassa mitataan kohteen tarkka näennäinen magnitudi. Näin tehty mittaus mahdollistaa havainnon helpon yhdistämisen toisiin absoluuttisesti määritettyihin magnitudiarvoihin. Absoluuttisella fotometrialla saadusta magnitudiarvosta on myös helppo laskea fysikaalisia suureita kuten havaittu absoluuttinen vuo tai tähden absoluuttinen magnitudi. Absoluuttinen fotometria on kuitenkin hyvin työlästä, sillä se edellyttää niin ilmakehän kuin teleskoopin absorptio-ominaisuuksien määrittämistä. Varsinkin ilmakehän ominaisuudet voivat muuttua jopa saman yön aikana, jolloin absoluuttista fotometriaa ei käytännössä voida tehdä.

Differentiaalifotometriassa kierretään absoluuttisen fotometrian vaikeudet vertaamalla havaintokohteen kirkkautta samassa kentässä olevaan vakiokirkkauksiseen tähteen (CCD-fotometriassa). Näin voidaan saadaan joka valotuksella automaattisesti ilmakehän ja teleskoopin kalibrointi ja voidaan havaita hyvin vaivattomasti nopeaa aikarajafotometriaa yhdestä kohteesta. Hintana tällä havaintomenettelyllä on, että sillä voidaan määritettyä ainoastaan havaintokohteen ja vertailutähden magnitudien erotus. Tätä ei voida siirtää absoluuttiseen magnitudijärjestelmään ja näin yhdistää muiden havaintojen kanssa ellei vertailutähdessä ole tehty absoluuttista fotometriaa. Lisäksi on usein vaikeata löytää sopivaa vertailutähteä samassa kuvakentässä. Tämän takia käytetään usein useampia vertailukohteita.

Kun on tarkoituksena seurata yhden tähden kirkkauden kehitystä yöstä yöhön, on järkevää käyttää differentiaalifotometriaa. Absoluuttisen fotometrian tarvitsemat kalibrointihavainnot ovat aikaavieviä eikä niitä voida tehdä kaikissa olosuhteissa. Sen sijaan havaintojen yhdistämisen kannalta voi olla järkevää mitata muutaman valitun vertailutähden magnitudit absoluuttisella fotometrialla, jolloin kohteesta saatua differentiaalifotometriakin voidaan siirtää absoluuttiseen magnitudijärjestelmään.



3. Interstellaariselle ekstinktiolle A_V ja värieksessille E_{B-V} pätee likimain suhde $R_V = A_V/E_{B-V} = 3.1$. Tähten kirkkaudeksi kahdella kaistalla havaitaan $V = 13.8$ ja $B = 15.2$. Tähten etäisyys on 3500 pc ja ekstinktio V -kaistalla $a_V = 0.0015$ mag/pc. Laske tähden absoluuttinen magnitudi V -kaistalla M_V ja sen ominaisväri $(B - V)_0$. Kuuluuko tähti pääsarjaan?

Absoluuttinen magnitudi ratkeaa kaavalla

$$V - M_V = 5 \lg \frac{r}{10 \text{ pc}} + A_V = 5 \lg \frac{r}{10 \text{ pc}} + a_V r$$

missä $A_V = a_V r$.

$$\Rightarrow M_V = V - 5 \lg \frac{r}{10 \text{ pc}} - a_V r = 13.8 - 5 \lg 350 - 0.0015 \cdot 3500 \approx -4.17$$

Ominaisväriä varten tarvitaan ensin värieksessi

$$E_{B-V} = A_V/3.1 = a_V r/3.1 = \frac{0.0015 \cdot 3500}{3.1} \approx 1.69$$

Ominaisväri on nyt

$$(B - V)_0 = (B - V) - E_{B-V} = 15.2 - 13.8 - 1.69 \approx -0.3$$

Absoluuttisen magnitudin ja ominaisvärin perusteella voidaan tähti sijoittaa HR-diagrammaan. Kun tämä tehdään, havaitaan tähden sijaitsevan pääsarjan yläpään tuntumassa. Tarkemmin sanoen tähti on O9–B0 -luokan pääsarjan tähti. (kuva: @www.jb.man.ac.uk)

4. Auringon kaltaista tähteä kiertää planeetta, joka joka kierroksellaan kulkee tähden editse. Tällaisen ylikulun aikana tähti näyttää 0.02 magnitudia himmeämmältä kuin muulloin. Laske planeetan halkaisija. Tähden voi olettaa Auringon kokoiseksi ja reunatummenemisen vaikutusta ei tarvitse huomioida.

Tilanteen voi ajatella vaatimattomana rengasmaisena auringonpimennyksenä. Tähden säde on R ja planeetan r . Näkyvien kiekkojen pinta-alat ovat πR^2 ja πr^2 . Silloin havaittavan vuontiheyden suhteellinen muutos

$$f = F_1/F_2 = \frac{\pi R^2 - \pi r^2}{\pi R^2} = 1 - \left(\frac{r}{R}\right)^2$$

eli näkyvien pinta-alojen suhde. Toisaalta sama vuontiheyksien suhde voidaan lausua magnitudin muutoksen avulla

$$\Delta m = -2.5 \lg(F_1/F_2) = -2.5 \lg(f) \Leftrightarrow f = 10^{-0.4\Delta m}$$

Näistä saadaan ratkaistua

$$\frac{r}{R} = \sqrt{1 - 10^{-0.4\Delta m}} = \sqrt{1 - 10^{-0.4 \cdot 0.02}} \approx 0.135.$$

Kun käytetään tähdelle Auringon sädettä $R \approx 6.96 \cdot 10^8 \text{m}$, saadaan planeetan läpimitaksi

$$d = 2r \approx 2 \cdot 0.135 \cdot 6.96 \cdot 10^8 \text{m} \approx 190000 \text{km}.$$

Tämä on noin 1.3 kertaa Jupiterin läpimitta.

5. Apertuurifotometriassa mitataan ympyrän muotoisen apertuurin sisältä sekä tätä ympäröivän rengasmaisen alueen sisältä säteily, joista saadaan selville sekä kohteen että taustan kirkkaudet. Käytössä on apertuuri, jonka säde on 10 pikseliä sekä sitä ympäröivän renkaan sisä- ja ulkosäteet 16 ja 20 pikseliä. Mitataan tällä asetuksella kahta tähteä ja lasketaan apertuurin sisälle jääviksi signaaleiksi 50000 ja 34000 ADU:a sekä renkaan sisälle jääviksi 400 ADU:a. CCD-kuvista on poistettu bias:n, pimeänvirran ja flat-field:n vaikutukset. Kirkkaamman tähden magnitudiksi tiedetään 9.0. Mikä on himmeämmän tähden magnitudi?

Sisemmän apertuurin ja ulomman renkaan pinta-alat ovat:

$$A_1 = 10^2 \pi = 100\pi \text{ ja } A_2 = (20^2 - 16^2)\pi = 144\pi \text{ neliöpikseliä.}$$

$$\text{Taustan tasoksi saadaan } n_{\text{sky}} = 400/A_2 = \frac{400}{144\pi} = \frac{25}{9\pi} \text{ neliöpikseliä kohden.}$$

Tähdistä saaduiksi signaaleiksi saadaan siis

$$N_1 = 50000 - 100\pi \frac{25}{9\pi} \approx 49722, N_2 = 34000 - 100\pi \frac{25}{9\pi} \approx 33722$$

Koska CCD:n keräämät signaalit N_1 ja N_2 ovat lineaarisia, ovat ne suoraan verrannollisia vuontiheyksiin F_1 ja F_2 . Himmeämmän tähden magnitudi m voidaan laskea magnitudien laskukaavalla

$$m = 9.0 + \Delta m = 9.0 + 2.5 \lg \frac{49722}{33722} \approx 9.4$$

Muunnosta ADU:sta elektroneiksi ei tarvittu, koska gain G supistuu pois jakolaskussa $N_1/N_2 \equiv F_1/F_2$.