

Fotometria

17.1.2011

Eskelinen Atte

Korpiluoma Outi

Liukkonen Jussi

Pöyry Rami

Sisällysluettelo

Havaintokohteet	3–5
Apertuurifotometria ja PSF-fotometria	5
CCD-kamera	5–6
Havaintojen tekeminen	6
Kuvien käsittely	6–7

Fotometria on tähtitieteessä käytetty tekniikka, jolla mitataan sähkömagneettisen säteilyn intensiteettiä. Intensiteetti tarkoittaa kohteen säteilyn voimakkuutta pinta-alayksikköä kohden. Tähtitieteessä kohteen kirkkautta kuvataan magnitudeina. Fotometria voidaan tehdä kahdella eri tavalla, apertuurifotometrialla tai PSF-fotometrialla.

Havaintokohteet

Fotometrialla voidaan tutkia monia eri taivaankappaleita. Seuraavassa on esitelty lyhyesti eri kohteita, joihin fotometriaa käytetään yleisesti.

Asteroidit

Asteroidit ovat Aurinkoa kiertäviä "pikkuplaneettoja", jotka ovat lisänimensä mukaisesti varsinaisia planeettoja pienempiä kappaleita. Niitä pienempiä kohteita kutsutaan meteoroideiksi, mutta raja asteroidin ja meteoroidin välillä on hyvin häilyvä. Yleisesti ottaen yli 50m läpimittaista kappaletta voi kutsua asteroidiksi. Toisaalta asteroidi voi olla myös suurikokoinen: esim. 1000 km läpimittainen kääpiöplaneetta Ceres voidaan laskea myös asteroidiksi.

Asteroideja on hyvin paljon eri muotoisia, eivätkä ne suinkaan aina ole planeettojen tapaan lähes palloja. Asteroidit muodostuvat lähinnä kivistä ja pölystä, mutta ne voivat lisäksi sisältää metalleja ja olla jäisiä ja kraattereiden peittämiä. Suurin osa niistä sijaitsee asteroidivyöhykkeellä Marsin ja Jupiterin välissä.

Kvasaarit ja blasaarit

Kvasaarit ovat erittäin kirkkaita ja kaukaisia kohteita. Niiden oletetaan olevan tavallisia galakseja, joiden keskusta on normaalia paljon voimakkaammin näkyvissä. Kvasaarin kirkaus voi olla jopa samaa luokkaa kuin 100 "tavallisen" galaksin kirkaus yhteensä.

Tällainen erikoistapaus galaksista voi syntyä, jos galaksin keskustassa on supermassiivinen musta aukko. Sen massa voi olla jopa tuhat miljoonaa Auringon massaa. Musta aukko vetää sisuksiinsa ympäröivää kaasua, mikä kuumenee voimakkaasti ja alkaa lähettää kirkasta ja voimakasta valoa. Kaasu muodostaa aukon ympärille kiekon ja joiltakin puolilta tätä kiekkoa kaasu suihkuu lähes valonnopeudella pois päin kvasaarista. Blasaari on kvasaarin erikoistapaus; jos

kaasusuihkut osoittavat suoraan Maata kohti, kyseessä on blasaari. Tällöin kirkkaustaso ja säteilyn välittämä energia pinta-alayksikköä kohti eli säteilyn intensiteetti on paljon suurempi kuin kvasaarissa. Esimerkkejä blasareista ovat mm. BL Lac ja 3C 84.

AM Hercules –tyypin kataklysminen muuttuja

AM Hercules –tyypin kataklysminen muuttuja koostuu yleisimmin valkoisesta ja punaisesta kääpiöstä, jotka kiertävät toisiaan. Systeemi lähettää paljon röntgensäteilyä ja sekä lineaarista että ympyräpolarisoitunutta valoa (polarisoituminen tarkoittaa aallon värähtelyn suuntaa verrattuna koko aallon etenemissuuntaan). Tämän tyyppiset systeemit ovat melko harvinaisia.

Valkoinen kääpiö on erittäin tiivis ja tiheä tähtityyppi, joka on syntynyt suunnilleen Auringon kokoisen tähden muututtua punaiseksi jättiläiseksi elinkaarensa lopussa ja pölläytettyä uloimmat osansa ympäröivään avaruuteen. Valkoinen kääpiö on jäljelle jäänyt tiheä ydin, jonka kokoluokka on planeettojen tasoa ja massa tähtien luokkaa. Punainen kääpiö sen sijaan on himmeä punainen tähti, joka on maksimissaan suunnilleen puolet Auringon läpimitasta. Se ei ole hirvittävän kuuma verrattuna esim. Aurinkoon, koska se polttaa fuusiossa vetyä huomattavasti vähemmän. Se on kuitenkin kooltaan siis suurempi kuin valkoinen kääpiö, ja punainen kääpiö voikin muuttua ajan myötä valkoiseksi kääpiöksi.

AM Hercules –tyypin kataklysmisessä muuttujassa nämä tähdet siis kiertävät toisiaan. Valkoista kääpiötä kutsutaan suuremman kirkkautensa takia primääritähdeksi ja punaista kääpiötä sekundääriseksi. AM Hercules –tyypissä valkoinen kääpiö on hyvin magneettinen ja sen voimakas magneettikenttä pystyy vetämään puoleensa lähellä kiertävän punaisen kääpiön ainetta, lähinnä vety- ja heliumkaasua. Tämä kaasu suihkuilee valkoisen kääpiön ympärillä samankaltaisilla radoilla kuin sauvamagneetin ympärille ripoteltu rautajauhe asettuu. Valkoisen kääpiön pohjois- ja etelänavoilla nämä kaasusuihkut törmäävät tähden pintaan noin 3000 km/s nopeudella, jolloin systeemi lähettää röntgensäteilyä. Esimerkki AM Hercules –tyypin kataklysmisestä muuttujasta on RX J0719.2–6557.

Planeetat: Jupiter ja Uranus

Jupiter on Aurinkokunnan suurin planeetta. Se on oikea jättiläisplaneetta, sillä sen massa on noin 2,5 kertaa suurempi kuin muiden Aurinkokunnan planeettojen yhteensä. Se koostuu pääasiassa nestemäisestä vedystä ja heliumista, ja sen kaasukehässä on valtavia virtauksia ja pyörremyrskyjä. Suurin myrsky Jupiterilla, ns. Suuri punainen pilkku, on pinta-alaltaan kokoluokkaa 20000km x 10000km. Jupiter on väritykseltään punertava ja sitä kiertää useita kuita.

Uranus voidaan laskea myös jättiläisplaneetaksi. Se koostuu pääasiassa kivistä ja jäisestä vedystä, heliumista sekä metaanista. Juuri metaani aiheuttaa Uranuksen vihertävän värin. Uranuksen massa on noin 14 Maapallon massaa ja sen etäisyys Auringosta on noin 19 kertainen Maan ja Auringon keskitäisyyteen toisistaan. Tämä tarkoittaa sitä, että Uranuksen pinnalla on todella kylmä, noin -220 celsiusastetta. Uranuksella on myös useita kuita. Valitsimme Uranuksen varsinaiseksi havaintokohteeksemme tutkielmassamme.

Apertuurifotometria ja PSF-fotometria

Apertuurifotometriassa mitataan säteilyn energiaan, joka tulee ympyrän muotoisen alueen sisältä. Saadusta arvosta vähennetään tausta, jolloin saadaan tähdestä tullut energia. Tähdien lähettämän säteilyn energia saadaan kaavasta: $N^* = N_{AP} - n_{pix} N_{sky}$, jossa: N_{AP} on apertuurista mitattu energia, n_{pix} on apertuurin pinta-ala ja N_{sky} on tausta pikseliä kohti. PSF kertoo minkä muotoiseksi tähti kuvautuu kaukoputken polttotasolle. Menetelmiä käytetään erilaisissa tilanteissa. Tässä tutkimuksessa ei kuvata himmeitä tähtiä eikä tähtiä, jotka ovat tiheässä, kuten tähtijoukkoja, joten menetelmäksi valittiin apertuurifotometria, sen nopeuden, helppouden ja tarkkuuden takia.

CCD-kamera

CCD-kameraa käytetään yleisesti tähtitieteessä sen hyvien ominaisuuksien vuoksi verrattuna valokuvausfilmille. CCD-siru koostuu valoherkistä osista eli pikseleistä, jotka on järjestetty suorakulmaisen muotoiselle alueelle. CCD-kameralla voidaan havaita jopa lähes 100 prosenttia saapuneista fotoneista. Lisäksi kuvia voidaan välittömästi käsitellä digitaalisesti. Suuria CCD-siruja on kuitenkin hankala valmistaa, joten kameralla saadaan vain pieni näkökenttä. Lisäksi nelikulmaiset pikselit aiheuttavat ”palikkamaisuutta”. Näistä syistä johtuen harrastelijat suosivat edelleen normaalia valokuvaa.

Fotonien havaitseminen perustuu valosähköiseen ilmiöön. Kun fotoni osuu tyhjennysalueelle riittävällä energialla, se irrottaa elektronin, joka on vapaa liikkumaan. Elektroni siirtyy elektrodin läheisyyteen sen aiheuttaman sähkökentän ansiosta ja irrotuksesta syntynyt aukko siirtyy tyhjennysalueen ulkopuolelle, jolloin tieto pikselille saapuneista fotoneista tallentuu. Pikseleihin tallentuneet varaukset mitataan siirtämällä ne rivi kerrallaan sarjarekisteriin ja sieltä jokainen pikseli lukuelektroniikalle.

Havaintojen tekemisen vaiheet ovat seuraavat:

1. Kameran jäähdyttäminen
2. Dark-kuvien ottaminen tarkoittaa pimeän virran mittaamista ottamalla kuvia suljin kiinni
3. Flat-field-kuvien tarkoituksena on tasoittaa pikselien välisiä eroja
4. CCD-kameran nollatason selvittämiseksi otetaan bias-kuvia
5. Kaukoputki tarkennetaan riittävän tumman taustataivaan avulla
6. Kohteiden havaitseminen

Kuvan käsittely

Kuvan käsittelyn tarkoituksena on korjata teleskoopin aiheuttamia häiriöitä ja tuoda mahdollisesti esiin piilossa olevia yksityiskohtia. Kuvia voidaan parantaa huomattavasti, mutta epätarkkuuksia ei voida koskaan täysin poistaa. Kuvista valitaan lopuksi tarkoitukseen sopivimmat.

Bias vähennykset

Bias kuvat otetaan nollan sekunnin valotusajalla, jolloin ne sisältävät vain kameran aiheuttaman epätarkkuuden. Näitä kuvia on hyvä ottaa useita ja käyttää niiden keskiarvoa kuvien muokkauksessa. Kuvaa muokatessa ensimmäisenä vähennetään

bias-kuvien keskiarvo muokattavasta kuvasta, jolloin kuvan taustakohina pienenee. Nykyisin kuitenkin suurin osa CCD-kameroista vähentää dark-kuvat atomaattisesti.

Flat korjaus

Flat-kuvilla korjataan kameran pikseleiden välisiä eroja, joka parantaa kuvan laatua. Niiden avulla saadaan myös eliminoidua peilin pölystä johtuvat virheet, sekä valmistusvirheistä koituvia virheitä. Kuvat otetaan tasaisesti valistusta taustasta esim. auringonlaskun jälkeisestä taivaasta. Jokaisella käytettävällä filterillä otetaan omat flat-kuvat, koska kuvat ovat eri näköisiä eri aallonpituuksilla. Muokatessa kuvaa eri filtereillä otetuista flat-kuvista muodostetaan keskiarvot, joilla muokattava kuva jaetaan.

Lähteet

- <http://koti.mbnet.fi/andu/not/php/Fotometria.pdf>
- <http://fi.wikipedia.org/wiki/T%C3%A4htitiede>
- http://www.helsinki.fi/astro/opetus/kurssit/havaitseva/httpkl_7-8_fotometria.ppt.pdf