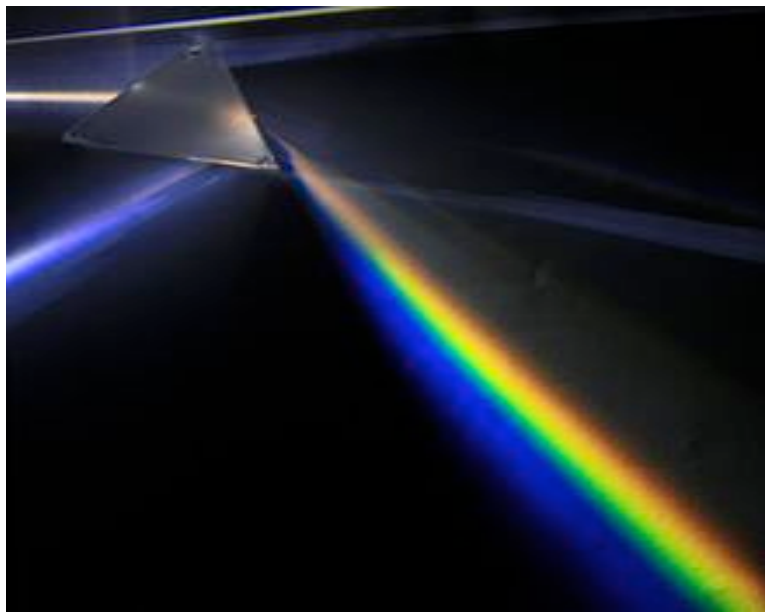


MIKKELIN LUKIO

SPEKTROMETRIA

NOT-tiedekoulu La Palma

Kasper Honkanen, Ilona Arola, Lotta Lopenen, Helmi-Tuulia Korpijärvi ja
Anastasia Koivikko
20.11.2011



Ryhmämme työ käsittelee spektrometriaa ja sen hyödyntämistä avaruuden kaukaisten kohteiden siirtymien tutkimuksessa. Kävimme marraskuussa 2011 keskisuurella ammattilaisteleskoopilla, NOT:lla, kuvaamassa 3c-84 blasaaria.

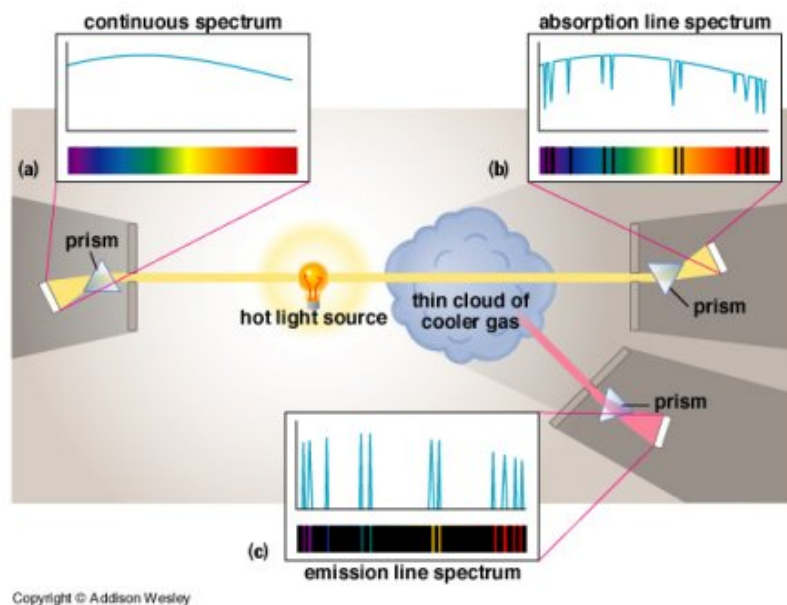
Sisällysluettelo

1. Johdanto.....	3
2. Teoria.....	4
2.1 Elektronien virittyminen ja sähkömagneettinen säteily.....	4
2.2 Spektrometria.....	5
• Erotuskyky.....	5
• Lineaarinen dispersio.....	6
3. Spektrometria tähtitieteessä tähtitieteessä.....	6
3.1 Kohteen nopeuden mittaaminen.....	7
3.2 Spektrometria kaksoistähti- ja tähtiplaneettajärjestelmässä.....	7
4. Spektrometrinen tutkimuksen menetelmät.....	8
4.1 Spektrometri.....	10
4.2 CCD-kamera.....	11
4.3 Työselostus.....	12

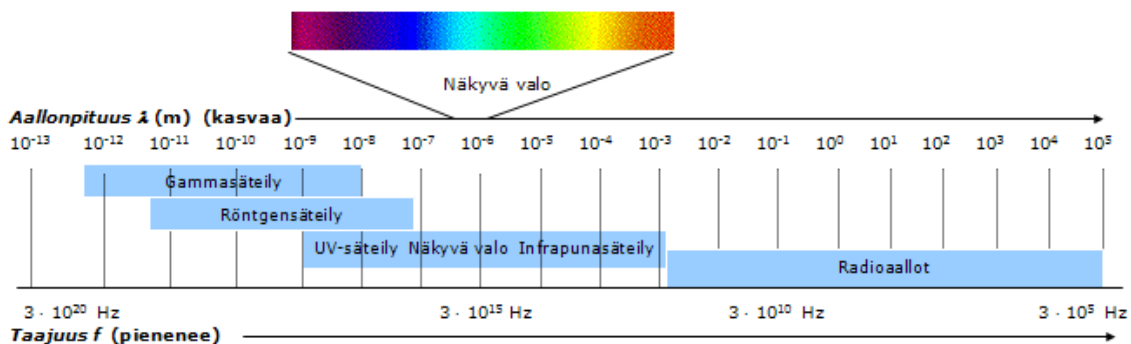
1. Johdanto:

Spektrometria on merkittävä keino taivaan kohteiden fysikaalisten ominaisuuksien tutkimuksessa. Siinä tarkastellaan aineiden emissiota ja absorptiota eli sähkömagneettisen säteilyn vuorovaikutusta, jonka avulla voidaan tutkia aineen kemiallista rakennetta ja koostumusta, lämpötilaa, painetta, liikettä ja magneettikenttää. Spektrit luokitellaan emission ja absorption mukaan emissio- ja absorptiospektriiksi.

Esimerkit kahdesta eri spektristä:



Tavallisimmin spektrometriassa tutkitaan aallonpituuksia, jotka asettuvat infrapunasäteilystä ultraviolettiin, mutta myös röntgensäteilyä käytetään suurempien kohteiden tutkimuksessa.



Spektrometriassa tutkitaan vuontiheyden aallonpituusjakamaa F_λ , joka saadaan hajottamalla valo dispersiomenetelmällä.

2. Teoria

2.1 Elektronien virittyminen ja sähkömagneettinen säteily

- Elektronin virittyminen

Atomin elektronit pyrkivät perustilassa olemaan mahdollisimman alhaisella energiatasolla. Kullakin elektronilla on energiatasosta riippuen tietty kokonaisenergia, joka on sitä pienempi mitä alhaisemmalla tasolla elektroni sijaitsee. Tätä voidaan havainnollistaa energiatasokaavion avulla.

Kun elektroni absorboi tietyn energian omaavan säteilykvantin (joka on samansuuruinen kuin joidenkin energiatasojen välinen erotus), se virittyy ylemmälle energiatilalle, jolloin elektronin energia kasvaa.

Vastaavasti, kun elektroni emittoi tietyn säteilykvantin energian sähkömagneettisena säteilynä (SMG-säteilynä), elektroni siirtyy alemmalle energiatasolle ja sen energia pienenee. Emissio ja absorptio ovat kuvattuna oheisessa kuvassa.

Absorptiossa vaikuttava ja emissiossa syntyvä säteilykvantin energia saadaan Planckin kaavasta:

$$\Delta E = hf$$

ΔE = energian muutos
 $h = 6,6260755 \cdot 10^{-34}$ Js (Planckin vakio)
 f = fotonin taajuus

- Sähkömagneettinen säteily

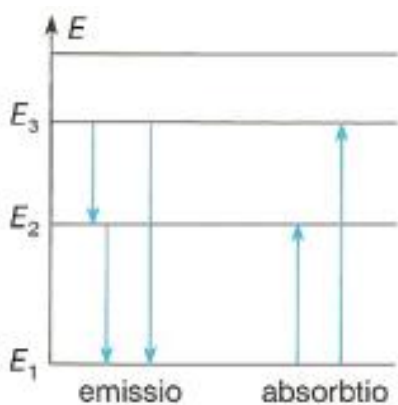
Sähkömagneettinen säteily syntyy, kun varattu hiukkanen on kiihtyvässä liikkeessä. Se on sähkö- ja magneettikentän säännönmukaista värähtelyä aallon etenemissuuntaan nähden kohtisuorassa tasossa. Absorptiossa ja emissiossa esiintyvä energia on SMG-säteilyä.

punainen= sähkökenttä
 sininen= magneettikenttä
 violetti= säteilyn suunta

2.2 Spektrometria

- Erotuskyky

Spektrometrian idea on, että valo hajotetaan eri aallonpituuksiin dispersiivisin menetelmin eli prisman tai hilan avulla. Spektrometrian yksi tärkeimmistä suureista on erotuskyky, R . Tällä tarkoitetaan tarkkuutta, jolla erotetaan kaksi eri aallonpituutta toisistaan. Se saadaan kaavasta:



$$R = \frac{\lambda}{\Delta\lambda}$$

λ = viivojen keskimääräinen aallonpituus

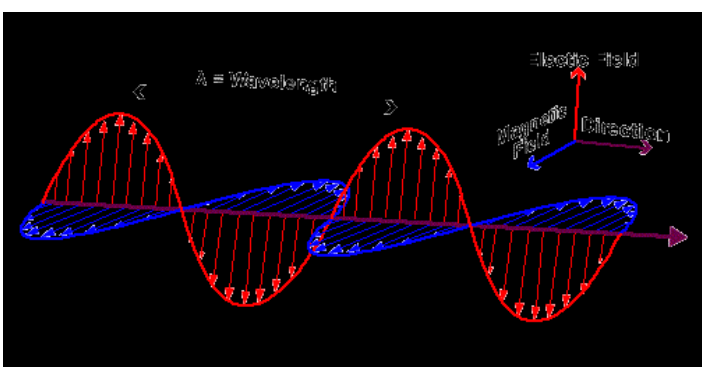
$\Delta\lambda$ = pienin mahdollinen aallonpituusero, jolla kaksi yhtä vahvaa spektriviivaa erottuu vielä kahdeksi

Erotuskyky riippuu linssin tai peilin objektiivin halkaisijasta. Näin saadaan tuotettua sekä korkean että matalan resoluution kuvia. Erotuskyky valitaan kohteen kirkkauden mukaan.

- Matala resoluutio

- Tutkitaan himmeämpiä kohteita esim. himmeät galaksit ja kvasaarit (kaukaisten galaksien ylikirkkaat ytimet)
- Samaan kuvaan saadaan laajempi spektrialue
- $R \sim 100 - 1000$

- Korkea resoluutio



– Käytetään kirkkaiden tähtien tutkimuksessa. Auringon tutkimuksessa käytetään todella

korkeaa resoluutiota.

- Spektrin yksityiskohdat tulevat tarkemmin näkyviin
- $R \sim 20\,000 - 1\,000\,000$

- Lineaarinen dispersio

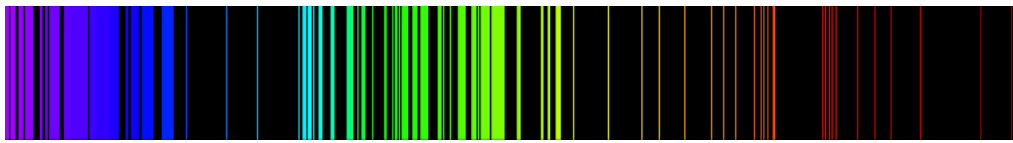
Myös dispersiolla on merkityksensä spektrometriassa. Sillä kuvataan valon aallonpituuden riippuvuutta aineen taitekertoimesta. Mitä pidempi aallonpituus on, sitä vähemmän valo taittuu. Spektrin leveyttä detektorilla kuvaa suure lineaarinen dispersio D . Lineaarisen dispersion arvo valitaan kohteen kirkkauden mukaan. Tässäkin tapauksessa käytetään alhaisempaa arvoa himmeämmillä kohteilla niin, ettei valo leviä liian laajalle alalle detektorilla. D :n arvo ilmoitetaan yksikössä nm/mm tai Å/mm. Lineaarinen dispersio voidaan ilmoittaa kaavalla:

$$D = \frac{\lambda}{s}$$

D = lineaarinen dispersio
 s = kuvan mitta esim. mm:ssä
tai pikseleissä

3. Spektrometria tähtitieteessä

Spektristä tutkitaan ensinnäkin spektriviivojen voimakkuuksia. Mitä vahvempi tiettyä aallonpituutta edustava spektriviiva on, sitä enemmän kyseistä aallonpituutta emittoivaa alkuainetta kohteessa on. Esimerkkinä raudan emissiospektri.



Spektri kertoo meille esimerkiksi tähden lämpötilan. Kuumilla tähdillä spektri koostuu pääasiassa heliumin ja vedyn viivoista, kun taas viileämmillä tähdillä näkyy myös muiden alkuaineiden viivoja. Laaja-alainen spektritutkimus tähdille aloitettiin 1900-luvun alussa, jolloin tähdet luokiteltiin spektriluokkiin, jotka kuitenkin myöhemmin uudistettiin tähden lämpötilaa paremmin kuvaaviksi. Tällä hetkellä käytössä on seitsemän spektriluokkaa: O, B, A, F, G, K, M, R, N, S. (Muistisääntönä voidaan pitää lorua "Oh be a fine girl, kiss me right now sweetheart.")

Lämpötilan lisäksi spektrin avulla voidaan selvittää kohteen liikkeitä, kuten pyörimistä, pinnan värähtelyä, rata liikettä ja dynamiikkaa, sekä kuinka nopeasti kohde liikkuu oman sijaintimme suhteen. Nopeusmittaus perustuu Dopplerin ilmiöön. Aallon pituus lyhenee kohteen liikkuesssa meitä kohti, jolloin puhutaan spektriviivojen sinisiirtymästä. Kun kohde loittonee aallonpituus kasvaa, joka on viivojen punasiirtymää.

Punasiirtymä kuvattuna viereisessä kuvassa.

3.1 Kohteen nopeuden mittaaminen

Puna- ja sinisiirtymän avulla saadaan mitatuksi kohteen nopeus. Se lasketaan seuraavasta kaavasta:

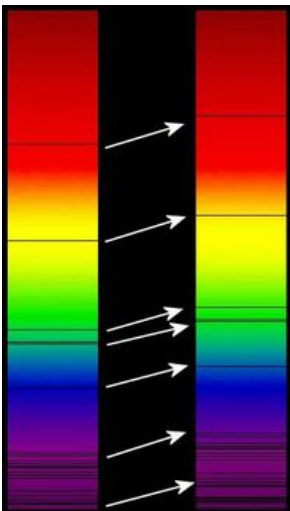
$$v = c \cdot ((\lambda - \lambda_0) / \lambda_0)$$

Spektriviivoista saadaan kuitenkin vain ns. säteisnopeus eli nopeus suoraan meitä kohti tai meistä poispäin. Oikean nopeuden selvittämiseksi tarvitaan kuitenkin myös kohteen poikittaisnopeus, joka voidaan selvittää kohteen ominaisliikkeestä ja etäisyydestä.

3.2 Spektrometria kaksoistähti- ja tähti-planeettajärjestelmässä

Spektrometrian avulla voidaan paljastaa muuten näkymätön kohde, esimerkiksi planeetta. Tämän löytäminen perustuu emotähden "heilahteluihin". Sekä planeetta että emotähti liikkuvat järjestelmän yhteisen massakeskipisteen ympäri. Tähtien spektrin avulla voidaan tutkia tähden liikettä, jonka avulla saadaan selville myös seuralaisen massa, etäisyys ja rata.

Kuvassa kaksoistähti Albireo (Beta Cygni)



4. Spektrometrinen tutkimuksen menetelmät

4.1 Spektrometri

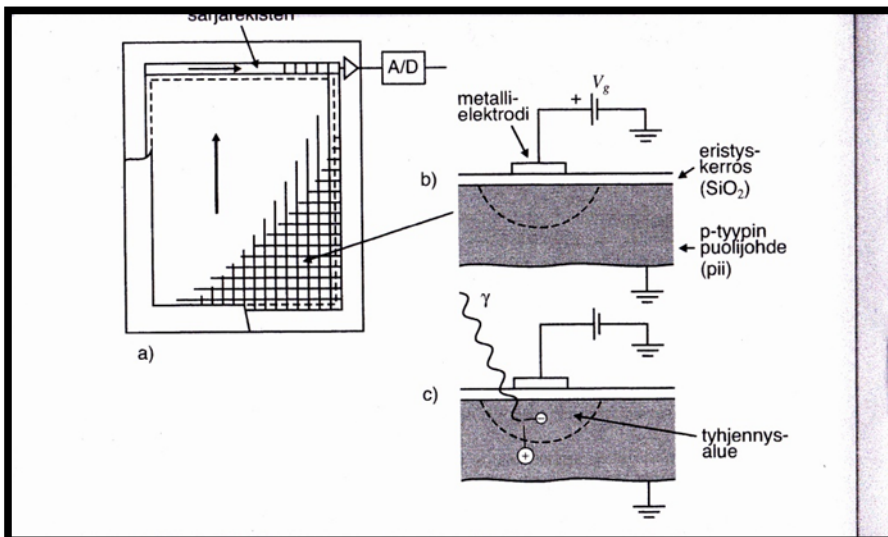
Spektrometri koostuu monesta eri osasta. Kun valo tulee spektrometriin, se menee ensimmäisenä raon läpi. Rako rajaa kuvakentästä tutkittavan kohteen. Kollimaattorin tehtävä on seuraavaksi tuottaa valosta yhdensuuntainen valosädekimppu, joka kohdistetaan dispersiiviseen elementtiin. Tässä tapauksessa valon hajoittajana toimii grismi eli prisma, jonka yksi sivu on uurrettu. Hajotettu valo ohjautuu CCD-kameraan, joka muodostaa valosta spektrin.



Kuvassa NOT:lla käytössä oleva grismi.

4.2 CCD-kamera

Spektrometrin havaitsimena toimii CCD-kamera (Charge-Coupled Device), jonka ilmaisimien muodostuu valoherkistä piidiodeista, jotka on järjestetty suorakulmaiseksi hilaksi. Spektri suunnataan kameran ilmaisimelle. Valotuksen aikana ilmaisimelle osuvat fotonit irrottavat elektroneja, jotka jäävät paikalleen ilmaisimen pikseleihin. Valotuksen jälkeen pikselit siirretään riveittäin lukupuskuriin, joka lukee pikseli kerrallaan irronneiden elektronien määrän. Tuloksista muodostetaan kuva, jossa valoisimmiksi pikseleiksi muodostuvat ne, joista lukija on lukenut eniten irronneita elektroneja. Näin havaitaan kirkkaimpina viivoina ne aallonpituudet, joita kohde emittoi eniten.



5. Työselostus

Teimme koulun avaruustieteen ryhmän kanssa matkan Kanarian La Palma-saaren NOT- teleskoopille. Meidän ryhmämme tutkimuskohteena oli 3C-84 blasaarin spektrin määrittäminen ja tutkiminen NOT- teleskoopilla käyttäen apuna erilaisia välineitä, kuten filttareita ja grismiä. Kuvat käsiteltiin tähtitieteilijöiden kehittämällä ja käyttämällä IRAF (Image Reduction and Analysis Facility)- ohjelmalla.

Tuloksia

Lähteet:

http://www03.edu.fi/oppimateriaalit/laboratorio/kuvat/analyysimenetelmat_5-1_1.gif

<http://koti.mbnet.fi/andu/not/php/Spektrometria.pdf>

http://www.helsinki.fi/astro/opetus/kurssit/havaitseva/httpkl_6_spektrometria.pdf

http://opinnot.internetix.fi/fi/muikku2materiaalit/lukio/fy/fy8/2._atomimallit_ja_atomin_energiatilat/2.1._atomimallin_kehitys?C:D=hNiq.hDhv&m:selres=hNiq.hDhv

http://www.daviddarling.info/images/types_of_spectra.jpg

http://en.wikipedia.org/wiki/File:Emission_spectrum-Fe.svg

<http://www.plasma-universe.com/Redshift>

<http://www.daviddarling.info/encyclopedia/B/binarystar.html>

Heikki Oja: Polaris Koulun tähtitieto (2009)

Heikki Lehto, Raimo Havukainen, Jukka Maalampi, Jonna Leskinen: Fysiikka 3, Fysiikka 8