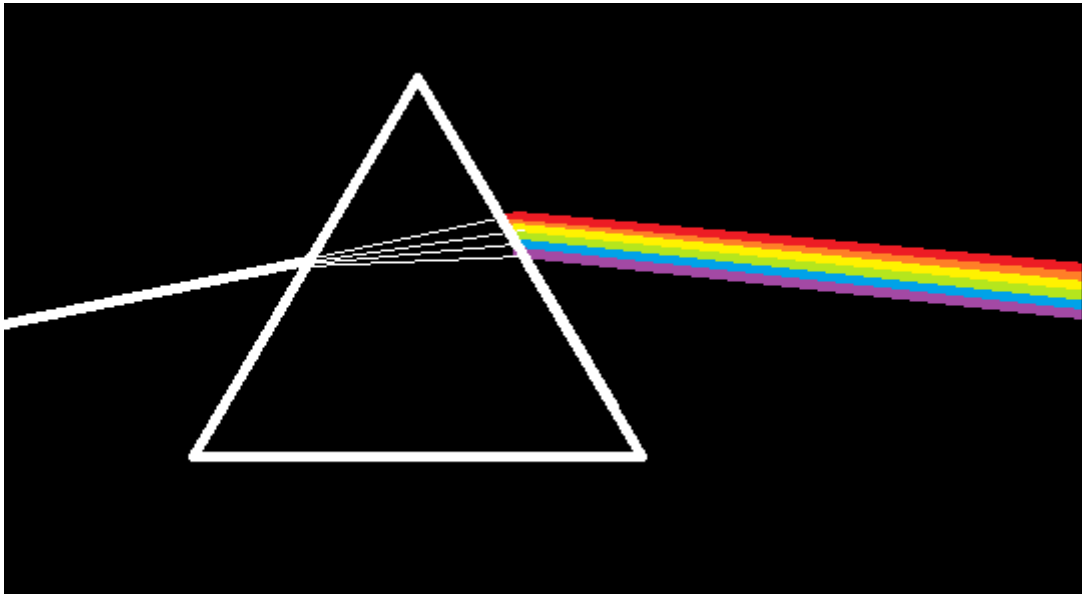


Spektrometria



Tekijät: Tuomas Nykänen, Vili Paanila, Anna Maria Peltola, Petro Silvonen, Josua Viljakainen

Sisällysluettelo:

1. Johdanto.....	3
2. Teoria	4
2.1. Elektronien virittyminen ja sähkömagneettinen säteily.....	4
2.2. Spektrometria.....	6
3. Spektrometrian käyttö tähtitieteessä.....	7
3.1 Yleistä.....	7
3.2 Menetelmät.....	8
4. CCD-kamera.....	9
5. Tähtitieteilijän haastattelu.....	10
6. Lähteet.....	14

1. Johdanto

Spektrometria on fysiikan työmenetelmä, jolla voidaan tutkia ja tunnistaa aineita ja kappaleita niiden tavasta vaikuttaa sähkömagneettiseen säteilyyn. Not-projektin tarkoituksena on ottaa spektri ja muokata sitä valitusta avaruuden kappaleesta ja tutkia näin ollen sen punasiirtymä. Tässä projektissa spektri on tarkoitus ottaa La Palmalla sijaitsevalla Not (Nordic Optical Telescope) -teleskoopin CCD-kameralla.

Spektrejä hyödynnetään tähtitieteessä tutkittaessa maailmankaikkeuden ja sen kappaleiden rakennetta, nopeutta sekä mm. pimeää ainetta. Spektrometriassa on useita eri tyyppisiä, joilla tutkimusta voidaan tehdä, riippuen käytetystä sähkömagneettisesta säteilystä. Mitä lyhytaaltoisempaa säteilyä on sitä pienempää kohdetta se pystyy kuvaamaan tarkasti. Spektrejä käsittelemiseen kuuluu myös se, että muistaa poistaa kuvaajasta häiriötekijät, ja siihen tarvitsee tuntea kameran tekemät tyypilliset virheet.

Nykyisin kaikessa tähtitieteellisessä tutkimuksessa käytetään spektrejä, määritetäänpä kohteen kirkkautta, kuumuutta, nopeutta tai vaikkapa magneettikenttää.

2. Teoria

2.1 Elektronien virittyminen ja sähkömagneettinen säteily

Normaalitilassa atomien ja molekyylien elektronit asettuvat mahdollisimman alhaiselle energiatasolle. Tämä perustila on energiatasokaavion mukaisesti alhaisin energialtaan sekä siten vakain tila elektronille. Atomin muut tasot ovat sen viritystiloja. Elektronin vastaanottaessa eli absorboidessa säteilyn kvantin (fotonin), atomi virittyy ylemmälle tasolle eli viritystilalle kuvan (1) mukaisesti. Tällöin elektronin energia kasvaa. Vastaavasti elektronin lähettäessä eli emittoidessa fotonin se laskeutuu alemmalle energiatasolle, jolloin sen energia pienenee.

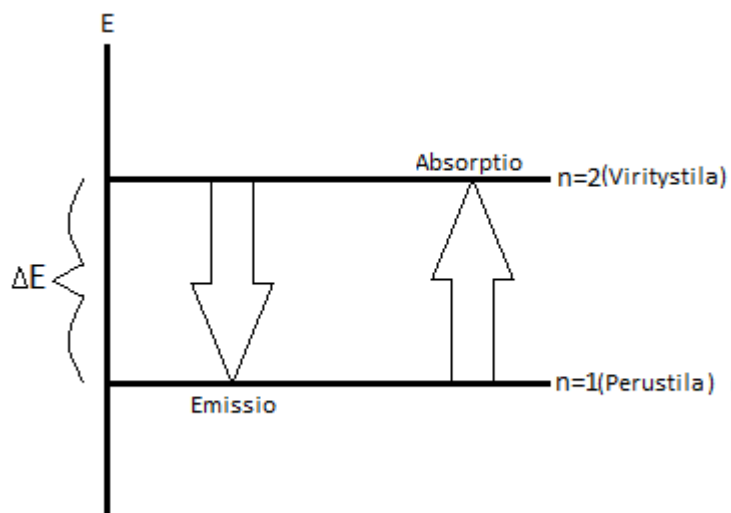
Fotonin energia ilmenee säteilyfysiikka Max Planckin kehittämästä kaavasta(1):

$$\Delta E = h\nu, \quad (1)$$

jossa ΔE = energian muutos,

h = Planckin vakio eli $h = 6,6260755 \cdot 10^{-34}$ Js

ja ν = fotonin taajuus



Kuva 1.[Esimerkki energiatasokaaviosta]

Sähkömagneettinen säteily syntyy siis atomin tai molekyylin energiatasomuutoksessa. Säteilyä syntyy vain elektronin siirtyessä alemmalle tasolle Niels Bohrin atomimallin mukaisesti. Tämän mallin mukaan energiatasot johtuvat atomin rakenteesta, jossa elektronit kiertävät atomin ydintä kiertoradoilla eri etäisyyksillä ytimestä. Elektronien siirtyessä kiertoradalta toiselle pätee myös Bohrin taajuusehto (2):

$$hf_{nm} = \frac{hc}{\lambda_{nm}} = |E_n - E_m|, \quad (2)$$

missä c = valonnopeus = $2,99792458 \cdot 10^8 \frac{m}{s}$,

E_n ja E_m = energiatasoja n ja m vastaavat energiat

2.2 Spektrometria

Spektrometriassa tutkitaan aineen emittoimaa eli säteilemää tai absorboimaa sähkömagneettista säteilyä. Tämä riippuu aineen elektronirakenteesta.

Sähkömagneettisen säteilyn aallonpituus voi vaihdella gammasäteilystä radioaaltoalueelle, mutta tavallisesti spektrometrisissa menetelmissä tulevat kyseeseen aallonpituudet, jotka ovat ultravioletin, optisen tai infrapunaisen säteilyn alueilla. Myös röntgensäteilyä käytetään; tällöin analysoidaan näytteen emittoiman röntgensäteilyn aallonpituudet (röntgenfluoresenssispektrometria).

Spektrometrian peruskäsitteisiin kuuluvat erotuskyky ja dispersio. Erotuskyky kuvaa kykyä erottaa kohteita. Se riippuu linssin tai peilin objektiivin halkaisijasta ja erotuskyvyllä saadaan tuotettua matalia tai korkeita resoluutioita. Molemmissa on omat hyvät puolensa, esim. matalalla voidaan tutkia himmeämpiä kohteita, mutta korkeammalla saadaan paremmin spektrin yksityiskohdat näkyviin. Dispersio, joka kuvaa valon aallonpituuden riippuvuutta aineen taitekertoimesta. Taitekerroin huononee aallonpituuden kasvaessa ja tätä kuvaa dispersiokäyrä. Dispersio on ominaisuus, joka saa prisman hajottamaan valkoisen valon eri väreihin. Esimerkiksi "sateenkaari" johtuu vesipisaroiden dispersiosta.

Erotuskyky saadaan kaavasta:

$$R = \frac{\lambda}{\Delta \lambda}, \quad (3)$$

missä λ on keskimääräinen aallonpituus, sekä $\Delta \lambda$ aallonpituuden muutos

3. Spektrometrian käyttö tähtitieteessä

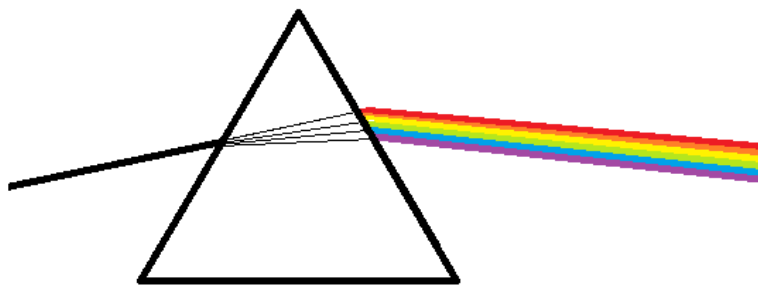
3.1 Yleistä

Spektrometriaa käytetään muun muassa kosmologiassa, galaksien, tähtipopulaation, sekä tähtien rakenteen tutkimisessa. Spektrometrialla saadaan tietoa maailmankaikkeuden laajenemisesta, pimeän aineen määrästä ja tähtien pyörimisestä.

Spektriviivoja hyödynnetään, kun halutaan tietoa aineiden koostumuksesta ja tilasta. Näihin kuuluu mm. tähtien spektriluokitus, alkuainepitoisuudet, lämpötila, paine ja tiheys, sekä magneettikenttä. Spektrometrian avulla on tehty tähtien spektriluokitus, josta näkee selvästi tähden lämpötilan värikoodin avulla. Esim. sininen on kuuma ja punainen kylmä. lisäksi tähdille on kehitetty Harwardin spektriluokittelu: O,B,A,F,G,K,M. Tässä O on kuummin ja M kylmin. Esimerkkinä meidän linnunratamme aurinko kuuluu luokkaan G.

3.2 Menetelmät

Spektrometrian menetelmien peruslähtökohta on jokin spektrometrinen mittausta, jota voidaan analysoida. Perinteisin spektrometri eli laite, joka tuottaa spektrin on prisma (kuva 1d). Tämä kappale hajottaa valonsäteet eri värein näkyväksi valospektriksi. Kuitenkin prismat ovat pelkiltään liian yksinkertaisia välineitä, koska niillä ei pysty tuottamaan riittävän tarkkoja spektrejä laaja-alaiseen käyttöön. Tämän takia on kehitetty erilaisia spektrometri- ja kamerajärjestelmiä, jotka sisältävät erilaisia tunnistimia ja suotimia halutun mittaustavan mukaan.



Kuva 1d

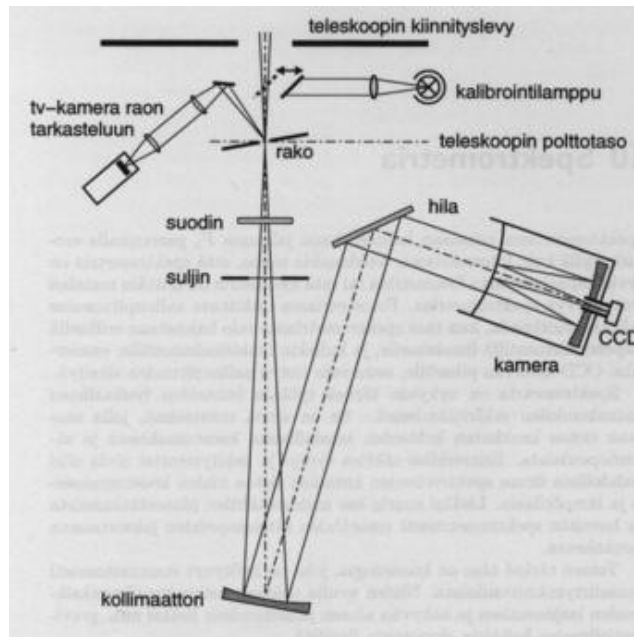
Eri sähkömagneettisia taajuuksia varten on kehitetty laitteita ja erilaiset taajuudet on jaettu osa-alueisiin. Näitä osa-alueita ovat mm. ultravioletti(UV)-, röntgen- ja infrapunaspektroskopia(IR). UV – ja IR-spektroskopiaa hyödynnetään, kun halutaan tietoa kemian alan tutkimuksissa, kun tutkitaan mm. aromaattisten ja syklisten aineiden ominaisuuksia, sekä erityisesti IR-spektroskopiolla voidaan selvittää koko molekyylin rakenne. Röntgenspektroskopiomenetelmillä tutkitaan eri aineissa olevien elektronien energiatiloja.

4. CCD-kamera

CCD-kamera (Charge-Coupled Device) perustuu valoherkkien piidiodien hilarakenteeseen, joka muodostaa ilmaisimen. Tämä ilmaisim tunnistaa siihen osuneen fotonin irrottaen elektronin, joka lukkiutuu puolestaan omaan alkuperäisen fotonin osumakohtaansa. Samalla laitteen havaitsin lukee osuneiden fotonien ja siitä seuraavien elektronien aiheuttamat potentiaalimuutokset piidiodihilassa. Lopulta laitteen lukupuskuri käy pikseli kerrallaan läpi havaitun kuvan ja tuottaa halutun mittaustuotteen.

Tarkimmissa CCD-kameroissa resoluutio voi olla jopa 4096 x 4096 pikseliin saakka. Kyseistä ilmaisinta käytetään eniten tähtitieteen sovelluksissa, joissa halutaan saada mahdollisimman tarkkoja ja monikäyttöisiä mittauskuvia. CCD-kameran tarkkuus perustuu sen hyötysuhteeseen eli tehokkaaseen fotonien tunnistuskykyyn ja sen myötä suureen vapautuneiden elektronien määrään.

CCD-kamera voi koostua esimerkiksi kuvan (1c) rakenteen mukaisesti. Kuvassa valonsäteet kohtaavat ensin teleskoopin rakolevyn, jonka tarkoituksena on rajata kuvausalueesta haluttu kohde näkyviin. Näin ollen vain tietyt aallonpituudet läpäisevät raon. CCD-laitteeseen voidaan sijoittaa mahdollisesti myös suotimia, jotka rajoittavat kuvista pois esimerkiksi ei-haluttuja aallonpituuksia. Puolestaan teleskoopin 'putkiosan' vastakkaisessa päässä toimii kupera tai kovera peili, jota kutsutaan tässä tapauksessakollimaattoriksi. Tämä peili heijastaa tai taittaa valonsäteet yhdensuuntaisiksi kohti spektrometrin seuraavaa elementtiä. Lopulta valonsäteet kohtaavat useimmiten prisman korvaavan hilan, joka hajottaa ne spektriin ja kohti ilmaisinta eli CCD-kameraa. Hila koostuu tiheään sijaitsevista äärimmäisen pienistä raoista



Kuva 2c

5. Tähtitieteilijä Rami Rekolan haastattelu



[Kuva 3]

Kuka?

Rami Rekola (kuva 3) on Turun yliopistossa maisterin sekä tohtorin tutkinnot fysiikan ja tähtitieteen saralla suorittanut tähtitieteilijä, joka kuvaa nykyistä työkuvaansa sanoilla ”hämmentävän monimutkainen”. Rekola tarkentaa toimivansa tieteen popularisoinnin, kouluopetuksen, tutkimuksen ja ikäväkseen myös yliopistohallinnon parissa. Rekola työskentelee myös astrobiologian tutkimuksessa. Hän toimii pääasiassa teoreettisella tasolla esimerkiksi erilaisten kouluhankkeiden parissa.

Uravalinta

Rekola päätyi tähtitieteen pariin sattuman kautta. Hän lähti opiskelemaan fysiikkaa ja tuoreiden opiskelijoiden valitessa tarkempaa suuntautumista piti teoreettista fysiikkaa ensimmäisenä vaihtoehtona, vaikka kertookin olleensa aina kiinnostunut tähtitieteestä. Rekola piti kuitenkin teoreettisen fysiikan ensimmäistä kurssia, kvanttimekaniikkaa liian hankalana. Lopullisen päätöksen hän teki eri alojen esittelytilaisuudessa, jossa hän kertoo lähteneensä ilman ryhmää jääneen tähtitieteen esittelijän mukaan. Tähtitieteilijä vei Rekolan omalla autollaan observatoriolle tutustumiskierrokselle ja tämän jälkeen jopa kotiin saakka. Kokemuksesta innostuneena Rekola päätti lopulta erikoistua tähtitieteeseen.

Omat saavutukset sekä tähänastisen uran kohokohdat

Suurimmaksi tieteelliseksi saavutukseksi Rekola nostaa väitöskirjan tekemisen, korostaen, että väitöskirja on kokonaisuus tietystä tutkimuskohteesta eikä vain yksittäinen mittaustulos. Samalla Rekola kuvailee itseään vaatimattomaksi, joka käy ilmi muun muassa hänen ohimennen mainitsemastaan arvostetun amerikkalaisen professorin arviosta, jonka mukaan hänen väitöskirjansa tulisi kuulua alan viiden prosentin parhaimmiston

Yhdeksi uran parhaiten mieleen jääneeksi hetkeksi Rekola kertoo Katariinan ongelmaoppilaille, mm. liikuntarajoitteisille tarkoitettuun koulussa, pitämänsä tähtitieteen

kurssin. Hän kertoo kurssin aikana voineensa seurata oppilaiden ottavan informaatiota erittäin innolla vastaan ja kehittyneen huomattavasti tähtitieteen ymmärtämisessä. Rekola tunnustaakin lähteneensä viimeisestä tapaamisesta lähes kyynel silmässä.

Rekola kuvaa itseään tutkijaluonteeksi ja kertoo ettei ole katunut hetkeään päätöstä omistautua tähtitieteelle. Hän kertoo ettei tieteen harjoittamisella rikastu vaan pitää sitä pikemminkin kutsumuksena. Toisaalta Rekola kertoo että vaikka saisinkin unelmapaikan haluamassaan tutkimusryhmässä, haluaisi hän silti tehdä muutakin esimerkiksi tieteen popularisoinnin alalla.

Tavoitteet/suunnitelmat tähtitieteessä

Rekola on erityisen kiinnostunut galaksien tutkimisesta ja erikoistunut paikallisen galaksiryhmän sekä paikallisen galaksiavaruuden eli noin 200:n lähimmän galaksin tutkimiseen. Tutkimuskohteita ovat pääasiassa elliptisten kääpiögalaksien etäisyyksien sekä sijainnin mittaaminen, etenkin jos ne sijaitsevat galaksijoukkojen välissä. Tutkimuksen tavoitteena on selvittää pystyvätkö kääpiögalaksit vaihtamaan galaksijoukkoa.

Lisäksi tutkimuskohteita ovat epäsäännölliset ja elliptiset galaksit. Lähialueen galaksit ovat sijoittuneet samaan tasoon muodostaen erään tyyppisen levymäisen rakenteen. Rekola tutkii onko galaksin sijainnilla levyn suhteen vaikutusta esimerkiksi galaksin laatuun ja voidaanko galaksien ominaisuuksista vetää johtopäätöksiä levyrakenteen syntymisestä.

Rekolalla on myös useita sivuhankkeita, joihin kuuluvat muun muassa Euronear -hanke, joka tutkii pääasiassa jo löydettyjä asteroideja. Hankkeessa lasketaan asteroidien ratoja, niiden mahdollista maapallolle aiheuttamaa uhkaa sekä havainnoidaan kappaleiden fyysikaalisia ominaisuuksia, kuten esimerkiksi maahantörmäyksen seurauksia.

Tulevaisuudenkuva sekä avaruuden mahdollisuudet

Rekola uskoo avaruudenvallituksen kehittymiseen ja pitää esimerkiksi todennäköisenä, että kahdenkymmenen vuoden kuluessa yksityinen avaruustoiminta on edennyt tasolle, jolla ainakin olisi mahdollista muun muassa lähettää aluksia suorittamaan kaivostoimintaa asteroideille.

Lisäksi Rekola uskoo avaruuden hyödyntämiseen energiantuotannossa. Oikean teknologian löytyessä on mahdollista joko asettaa aurinkopaneeleita tai peilejä avaruuteen, joilla auringon valo voitaisiin suunnata maan päällä olevalle aurinkovoimalalle. Toisena mahdollisena ideana on rakentaa avaruuteen kokonaisia aurinkovoimaloita, joista energia lähetetään mikroallosäteilynä maapallolla sijaitsevalle vastaanottoasemalle. Haittapuolina ideoissa on vaarallisuus, esimerkiksi jos peilin heijastama valo osuu suurkaupunkiin, sekä aurinkovoimaloiden vaikea ja kallis

rakentaminen. Rekolan mukaan tällä tavoin energiatuotanto on helppo kymmenkertaistaa ja se sekä poistaa palamiseen perustuvan energiatuotannon.

Elämää muualla kuin Maassa?

Rekola kertoo, että elämä maapallon ulkopuolella on erittäin todennäköistä. Hän uskoo Marsista löytyvän vielä elämää sen heikoista olosuhteista huolimatta. Jos suoranaisia eliöitä ei löydy, niin ainakin fossiileja olisi odotettavissa. Kuitenkin Rekolan mukaan esimerkiksi Marsin syvyyksissä voi mahdollisesti elää edelleenkin bakteereja. Hän kuvailee, että olisi hyvin vaikea kuvitella näkemystä, jonka mukaan elämää ei olisi missään muualla kuin Maassa. Rekola perustelee väitettään sillä, että elämää on syntynyt ja syntyy helposti maapallolla, niin miksei myös avaruudessakin.

-Wikipedia: <http://fi.wikipedia.org/wiki/Fotoni>

-Kari Nilsson, Tuorlan observatorio, Turun yliopisto 12.9.2008 "CCD-kamerat ja kuvankäsittely"

Tähtitieteen perusteet, kolmas laitos: Hannu Karttunen, Karl Johan Donner, Pekka Kröger, Heikki Oja, Markku Poutanen, Tähtitieteellinen yhdistys URSA, Helsinki 2000

-<http://www.astro.utu.fi/staff/>