

# POLARIMETRIA

NOT-tiedekoulun 2011 tutkielma

Tekijät:

Aherto, Joonas  
Kivijärvi, Juuso  
Koivunen, Miika  
Korhonen, Vili  
Väkevä, Sakari

## Sisällysluettelo

ABSTRAKTI.....	3
JOHDANTO .....	4
Alkuvalmistelut.....	4
Mittausyö .....	4
TYÖSKENTELYTAVAT .....	5
Tutkimuskohteet .....	5
NOT .....	6
Kuvien käsittely .....	8
Polarisaation mittaus .....	8
LÄHTEET .....	9
Kirjallisuus .....	9
Internet-lähteet .....	10

## ABSTRAKTI

Tässä tutkimuksessa tarkasteltiin kahden yötaivaan kohteen, BL Lacin ja AM Hercules –tyypin kataklysmisen muuttujan RX J0719.2+6557 lähettämän säteilyn polarisoitumista eli sen sähkömagneettisen kentän värähtelytapoja ja –suuntia. BL Lac on blasaari eli erityisen voimakkaasti säteilevä, monien mysteerien ympäröimä tähtitieteellinen kohde. Kataklysminen muuttuja taas muodostuu kahdesta toisiaan lähellä kiertävästä tähdestä. Polarisaatiomittauksilla voidaan saada arvokasta tietoa kohteen energiantuottomekanismeista, magneettikentästä, rakenteesta ja muodosta siinä, missä tavanomaiset kaukoputkihavainnot jäisivät sisällöltään huomattavan paljon köyhemmiksi.

Käytössämme ollut NOT –teleskooppi (Nordic Optical Telescope) Kanarian saariin kuuluvalla La Palmalla 2,56–metrisine pääpeileineen on mittasuhteiltaan hyvin sopiva kaukaisten kohteiden kuvaamiseen. Tärkeimmät havaintoinstrumentit tutkielmamme kannalta ovat teleskooppi, CCD–kamera, vaihdettavat koko- ja puoliaaltolevyt, mahdolliset suotimet ja optisesti aktiivinen kide, joka hajottaa valon erisuuntaisiin komponentteihin. Aivan yhtä tärkeä osa havaintoja on tähtitieteellisen datan käsittely ja raakakuviissa aina esiintyvien häiriöiden poistaminen IRAF–ohjelmalla (Image Reduction and Analysis Facility).

Meille varattuna havaintoyönä sää oli erityisen pilvinen, joten omat tieteelliset havainnot jouduttiin ohittamaan. Tutkielmamme tärkeimmät tavoitteet, omakohtaisen kiinnostuksen lisääminen, tieteellisen tyylin kehittäminen ja käytännön tason oppiminen, toteutuivat kuitenkin parhaalla mahdollisella tavalla.

## JOHDANTO

Vuoden 2011 NOT-tiedekoulussa Kanarian saarilla saimme tehtäväksemme tutkia kahden astronomisen kohteen, BL Lacin ja AM Hercules- tyyppin kataklysmisen muuttujan RX J0719.2+6557 lähettämän säteilyn polarisaatiota.

Polarisaatio on yksi tärkeimmistä tähtitieteen tutkimuskeinoista. Sitä tutkimalla voidaan saada tietoa kohteen magneettikentästä ja energiantuottomekanismeista sekä myös konkreettisempaa näyttöä sen pyörimisestä ja kieppumisesta.

Blasaarin tutkiminen alle puolen yön mittaisella havaintojaksolla ei sinänsä ole kovinkaan tuloksellista, mutta kaikki uusi tieto on tärkeää ja lisää tähtitaivaan tuntemustamme. Kaikkein suurin syy tämän tutkielman tekoon on kuitenkin opiskelu ja oppiminen.

## Alkuvalmistelut

Tiedekoulun tavoitteita valmisteltiin jo Suomessa Tuorlan observatoriossa parin päivän perehdytyksellä. Saimme tietoa pohjoismaisesta yhteisteleskoopista ja yleisesti tähtitieteestä. Jo kotikouluissamme harjoittelimme IRAF-ohjelman käyttöä, tähtitieteeseen liittyvää termistöä, suunnittelimme tutkielmiamme sekä kävimme läpi perustietoja avaruuden kappaleista ja teleskooppien toiminnasta. La Palmalla hioimme vielä tietämystämme ja pyrimme luomaan tutkielmillemme konkreettisen muodon. Kaikki tämä pohjusti tulevaa mittausyötämme.

## Mittausyö

Juuri ensimmäisten kuvausten alkaessa marraskuun 10. päivänä 2011 teleskoopin ALFOSC-instrumenttiin tuli yhteyshäiriö, mutta teleskoopilla työskentelevä support-henkilö ratkaisi meitä piinanneen ongelman. Valitettavasti kyseinen yö oli kaikkiaan varsin pilvinen, eikä NOT-teleskoopilla ollut mahdollista tehdä niitä havaintoja, joihin ryhmämme oli varautunut. Polarimetriatutkimukset jouduttiin siis jättämään tekemättä. Ne korvautuivat Jupiterin ja Uranuksen puoli yötä kestäneellä tarkkailulla pilvikatteen rakojen kautta.



Kuva 1 Yhteispohjoismainen NOT-teleskooppi [Wikimedia Commons, PD]

## TYÖSKENTELYTAVAT

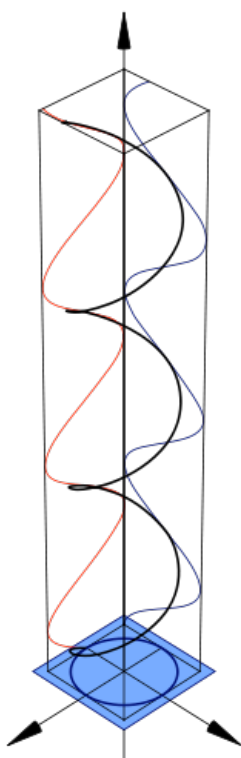
### Tutkimuskohteet

Tässä kappaleessa tarkastelemme lähemmin polarisaatiotutkimuksemme kohteita, blasaaria BL Lac ja AM Hercules -tyypin kataklysmistä muuttujaa RX J0719.2+6557. Tähtitieteellisiin havaintoihin ne ovat erittäin sopivia, sillä molemmista on saatavissa

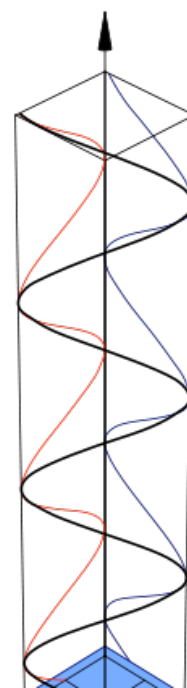
paljon yksityiskohtaista tietoa polarisaatiomittausten kautta.

Tuloksena on ensi kädessä tietoa havaittujen fotonien lähteestä, kulkureitistä ja liikkeestä – siis esimerkiksi siitä, ovatko ne mahdollisesti sironneet matkalla tai kulkeneet pölyn läpi.

Blasaarien oletetaan olevan erityisen aktiivisia nuorten galaksien ytimiä. Aivan kuten kvaasarit, ne sijaitsevat erittäin kaukana meistä ja säteilevät hyvin voimakkaasti pieneltä alueelta. Blasaarien keskustassa spekuloidaan olevan musta aukko, johon syöksyvä kaasu muodostaa kiekon kohteen ympärille. Osa kiekon energiasta syöksyy voimakkaina relativistisina suihkuina eli jetteinä molemmille puolille kohdetta, ja blasaarin tapauksessa tällainen suihku osoittaa suoraan meitä kohti. Meille BL Lacertæ -tyypin blasaari näyttäytyy voimakkaasti muuttuvana kohteena, jonka lähettämä säteily on lineaarisesti polarisoitunutta.



Kataklysminen muuttuja koostuu taas kahdesta toisiaan lähellä yhteistä massakeskipistettä kiertävästä tähdestä. Yleensä parin toinen osapuoli on "normaali" tähti ja toinen valkoinen kääpiö, joka kiskoo gravitaatiovoimallaan toisen tähden ainesta ympärilleen. AM Hercules



-tyypin tapauksissa valkoisella kääpiöllä on voimakas magneettikenttä, joka vaikuttaa kertymäkiekon geometriaan. Ionisoituneet, kiertoliikkeeseen joutuneet hiukkaset lähettävät voimakkaasti ympyräpolarisoitunutta syklotronisäteilyä, joka voidaan havaita. Kun sitä kuvaavat neljä Stokesin parametria saadaan määrättyä, saadaan samalla tietoa mm. sen kieppumisesta ja kertymäalueen asennosta suhteessa meihin.

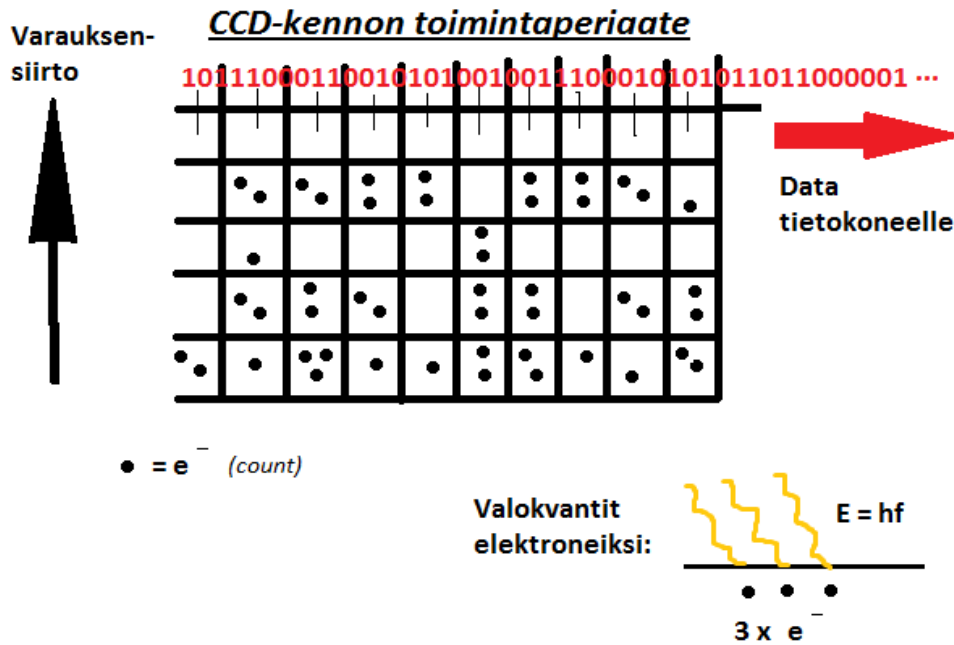
Koska RX J0719.2+6557 on kaksoistähtijärjestelmä, jonka kiertojakson pituus on 100 minuuttia, on sitä havainnoitava erityisen pitkä aika kattavan kokonaiskuvan saamiseksi.

## NOT

**NOT** eli Nordic Optical Telescope on pohjoismaiden yhteinen optinen teleskooppi. Teleskooppien koko ylipäättään vaihtelee pienistä noin kymmenmetrisiin, ja täten NOT:in peili kuuluu pienempään keskiluokkaan. Se on kuitenkin riittävän iso kaukaisempien kohteiden kuten galaksien tutkimiseen. Planeettoja tällä putkella ei yleensä tutkita. Se olisi yhtä käytännöllistä kuin hiekkalaatikon kaivelu kauhakuormaajalla.

NOT on Cassegrain-tyypin Ritchey-Chretien -teleskooppi. Siinä on 2,56-metrinen pääpeili, joka suunnataan kohteeseen, ja pienempi apupeili, jonka avulla valonsäteet kerätään instrumenttiin. NOT:in pääpeili on optisesti aktiivinen eli sen muotoa voidaan mekaanisesti taivuttaa. Aktiivinen optiikka ei kuitenkaan NOT:issa ole toiminut odotusten mukaan, ja siksi sitä ei ole käytetty paria kokeilukertaa lukuun ottamatta. **Instrumentti** on karkeasti ottaen CCD-kamera, johon valonsäteet kulkevat reikälevyjien ja vaihdettavan suotimen läpi.

**CCD-kamera**, eli Charge-Coupled Device on valokenno, joka koostuu lukuisista pikseleistä (NOT:in tapauksessa 2048 x 2048). Kun pikseliin osuu valokvantti, se havaitaan ideaalitulanteessa yhtenä countina (engl. count 'luku[määrän laskeminen]'). Lukulaite laskee pikseli kerrallaan, kuinka monta osumaa on tullut, ja mitä enemmän osumia, sen kirkkaampi piste lopulliseen kuvaan jää.



Kuva 4 CCD-kenno [S. Väkevä 2011, PD]

Myös lämpöliike voi saada aikaan countilta näyttävän virittymisen. Tämän vuoksi kamera jäähdytetään nestemäisellä typellä. Normaali-ilmakehässä (760 torr) typen kiehumispiste on  $-197\text{ }^\circ\text{C}$  (77 K).

Koska valmiissa kuvassa näkyy vain osumien lukumäärä (tummuus- ja valoisuuseroina), kuvat ovat mustavalkoisia. Kauniita värikuvia niistä saadaan, kun otetaan useita kuvia eri suotimien läpi. Suotimilla voidaan sammuttaa tietyt sähkömagneettisen säteilyn aallonpituudet ja päästää läpi esimerkiksi vain infrapuna-alue tai sininen väri. Tietokoneella pikselit värjätään uudestaan, jonka jälkeen eri suotimilla aikaansaadut kuvat yhdistetään. Yleensä yhdistettävät kuvat on otettu punaisen, vihreän ja sinisen valon suotimilla (R "red", V "visible" ja B "blue"), joiden pohjalta kaikki värisävyt voidaan muodostaa.

Polarimetrian kannalta suotimien käyttö on usein turhaa. Mikäli kohteet ovat himmeitä, jokainen fotoni on arvokas. Yksikin suodin voi pienentää läpipääsevän säteilyn intensiteetin murto-osaan normaalista ja vaikeuttaa havainnointia. Toisaalta on tapauksia, joissa halutaan nimenomaan tietää punaisen valon polarisoituminen suhteessa muihin aallonpituuksiin.

## Kuvien käsittely

Raakakuvassa, olipa ne otettu suotimen läpi tai ei, esiintyy paljon virheitä, joita pyritään korjaamaan kuvan käsittelyllä. CCD-kamera ei ole täydellisen hyvä intensiteettimittari, sillä CCD-kennoissa itsessään on valoherkkyysvirheitä eli kaksi eri pikseliä valottuu pakostakin eri tavoilla, vaikka valomäärä on sama. Toisin sanoen joillain pikseleillä on valmiiksi counteja, vaikka valoa ei ole oikeasti tullut yhtään. Tämä virhe saadaan korjattua jokaisesta kuvasta siten, että vähennetään raakakuvasta ylimääräiset countit. Ylimääräisistä counteista otettua kuvaa sanotaan BIAS-kuvaksi (0 sekunnin valotusajalla otettu kuva).

Lisää virhettä kuvaan syntyy teleskoopin peilien pintojen epäpuhtauksista mm. pölystä. Tämä virhe pyritään eliminoimaan FLAT-kuvien avulla. FLAT-kuvat otetaan yleensä tasaisesta (pilvetön, tähdetön) taivaasta auringon juuri laskiessa tai noustessa. Koska FLAT-kuvissakin esiintyy pikselien valotusvirhettä, niille on tehtävä BIAS-vähennys. Epäpuhtausvirheiden eliminointi tapahtuu käytännössä siten, että BIAS-vähennetyin raakakuvan pikseliarvot jaetaan BIAS-vähennetyin FLAT-kuvan pikseliarvoilla.

Kuvien käsittely tehdään tutkimuksessamme tähtitieteellisen havaintodatan käsittelyyn tarkoitettulla IRAF-ohjelmalla (Image Reduction and Analysis Facility).

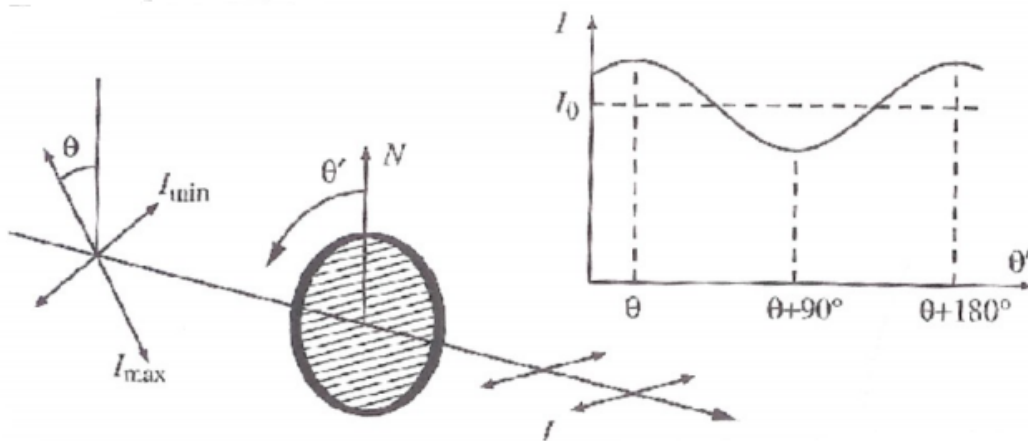
## Polarisaation mittaaminen

Polarimetrisessä tutkimuksessa täytyy kohteesta saapuva valo hajottaa, jotta eri polarisaatiokulmaisen valon intensiteettiarvoja voidaan vertailla. Tähän on olemassa kaksi menetelmää, joista halvempi ja yksinkertaisempi perustuu polarisaattorilevyn asettamiseen valon tielle ja toinen, mm. NOT:issa käytetty, valon ohjaamiseen puolialto- tai neljännesaaltolevyn ja kalsiittikiteen läpi.

Polarisaattoria käytettäessä valosta pääsee eteenpäin vain yksi polarisaatiosuunta (ks. kuva 5). Kun suure  $I$  mitataan neljällä kulmalla  $\theta'$  (yleensä  $0^\circ$ ,  $45^\circ$ ,  $90^\circ$  ja  $135^\circ$ ), voidaan polarisaatio  $P$  ja sen positiokulma  $\theta$  määrittää yhtälöistä

missä  $I_n = I(\theta' = n[^\circ])$ ,  $P_x$  ja  $P_y$  ovat polarisaatiot  $x$ - ja  $y$ -suunnissa,  $P$  on kokonaispolarisaatioaste prosentteina ja  $\theta$  on positiokulma.





Kuva 5: Intensiteetin mittaus polarisaatiosuunnan  $\theta'$  funktiona [Nilsson, Takalo, Piironen 2004]

Kalsiittikiteen käyttö polarimetriassa perustuu sen optisiin ominaisuuksiin. Kun valosäde saapuu kiteeseen, se hajaantuu ordinaari- ja ekstraordinaarisäteiksi, joiden polarisaatiosuunnat poikkeavat toisistaan 90 astetta. CCD:n avulla nämä saadaan mitattua yhtä aikaa. Puoliaaltolevyllä on mahdollista kiertää tulevan säteilyn polarisaatiokulmaa  $I_{45}$ :n ja  $I_{135}$ :n mittaamiseksi.

Kun mitataan esimerkiksi kataklysmisen muuttujan ympyräpolarisaatiota, on toimittava eri tavalla. Valon kulkutielle sijoitetaan neljännesaaltolevy, joka viivästä toista komponenttia matkan  $\lambda/4$ . Tällöin ympyräpolarisaatio muuttuu lineaariseksi, ja se voidaan mitata kuten edellä.

Ilmakehän hajottavan vaikutuksen johdosta kohde ei ikinä näy täsmällisenä pisteellä CCD-kuvassa, vaan kyseeseen tulee ainoastaan epämääräinen läiskä. Tutkimusten kannalta olennainen asia on läiskän alueelta muodostettu pikselisumma.

## LÄHTEET

### Kirjallisuus

**Heikki Lehto, Raimo Havukainen, Jukka Maalampi, Janna Leskinen:**  
Fysiikka 1. Fysiikka luonnontieteenä. (Tammi 2009, 1. painos)

**Kari Nilsson, Leo Takalo, Jukka Piironen:**  
Havaitseva tähtitiede. (Ursa 2004, toisen laitoksen 1. painos)

## Internet-lähteet

Cataclysmic variables ([http://imagine.gsfc.nasa.gov/docs/science/know\\_l2/cataclysmic\\_variables.html](http://imagine.gsfc.nasa.gov/docs/science/know_l2/cataclysmic_variables.html)  
viitattu 12.11.2011)

Circular Polarimetry of Magnetic Cataclysmic Variables (Rodrigues, Cieslinski ym. <http://www.das.inpe.br/~claudia.rodrigues/hawaii.pdf>, viitattu 12.11.2011)

Mikä on blasaari? – Tiede.fi  
(Leena Tähtinen; [http://www.tiede.fi/kysy\\_asiantuntijalta/kysymys/129/mika\\_on\\_blasaari](http://www.tiede.fi/kysy_asiantuntijalta/kysymys/129/mika_on_blasaari)  
viitattu 12.11.2011)

Polarimetry in Astronomy (Elizabeth Corbett; <https://particle.phys.uvic.ca/~jalbert/521/corbett.ppt>  
viitattu 12.11.2011)

Polarisaatio (Timo Lehtola;  
[http://www.helsinki.fi/~www\\_sefo/LuKseminaarit/kl2009/Lehtola-seminaari.pdf](http://www.helsinki.fi/~www_sefo/LuKseminaarit/kl2009/Lehtola-seminaari.pdf), viitattu  
12.11.2011)

Wikipedia, the free encyclopedia ([http://en.wikipedia.org/wiki/Main\\_Page](http://en.wikipedia.org/wiki/Main_Page), viitattu  
12.11.2011)

Wikipedia, vapaa tietosanakirja (<http://fi.wikipedia.org/wiki/Wikipedia:Etusivu>, viitattu  
12.11.2011)