

# Tutkimus tavoittamassa salaperäiset blazaarit

## Leo Takalo

**Blazaarit ovat yksi modernin tähtitieteen mysteereistä. Niissä eri energia-alueilla – korkeaenergisistä gammasäteistä matalaenergiisiin radiosäteisiin – havaittavien (samanaikaisten) muutosten selittäminen on astrofyysikkojen haasteista suurimpia. Toimivan blazaarimallin tulee voida yhdistää massiivinen musta aukko relativistiseen suihkuun ja sitä ympäröivään galaksiin. Mallia, mikä selittäisi kaikki havaitut ominaisuudet ei vielä ole. Uudet havainnot ja suunnitteilla olevat uudet havaintolaitteet antavat kuitenkin toivoa, että saamme rakennettua toimivan mallin.**

Viime vuonna tuli kuluneeksi 30 vuotta ensimmäisestä BL Lac kohteita koskeneesta tieteellisestä kokouksesta. Tässä kokouksessa Pittsburghissa Yhdysvalloissa Ed Spiegel esitti piloillaan, että tietyt yhteiset ominaisuudet omaavia kvasaareja ja BL Lac kohteita kutsuttaisiin blazaareiksi. Nimi jäi kuitenkin yleiseen käyttöön.

Ensimmäiset kvasaarit oli löydetty noin 15 vuotta aikaisemmin, jolloin Maarten Schmidt tunnisti kohteet 3C273 ja 3C84 Linnunradan ulkopuolisiksi kohteiksi tunnistamalla niiden spektreissä näkyvät emissioviivat punasiirtyneiksi vedyn viivoiksi. Nämä kohteet olivat tunnettuja voimakkaita radiolähteitä. Ensimmäinen BL Lac kohde "löydettiin" vuonna 1967, jolloin BL Lacertae tunnistettiin myös Linnunradan ulkopuoliseksi kohteeksi. Sitä oli aikaisemmin pidetty muuttuvana tähtenä. Myös BL Lacertae on radiolähde. Radiohavainnot olivatkin aikaisemmin yleisin tapa löytää kvasaareja ja BL Lac kohteita. Nykyään röntgensatelliitit ovat korvanneet radiohavainnot niiden etsimisessä, koska kaikki kirkkaat radiolähteet on jo löydetty. Tällä hetkellä tunnetaan noin 9000 kvasaaria ja 350 BL Lac kohdetta. Näistä noin 500 voidaan luokitella blazaareiksi.

## Mitä ne ovat

Blazaareihin kuuluvat BL Lac kohteet sekä korkean optisen polarisaation omaavat kvasaarit. Niille on ominaista suuret kirkkauden muutokset kaikilla havaituilla aallonpituuksilla, radioalueelta erittäin korkeaenergiisiin gammasäteisiin kaikissa mitatuissa ajanjaksoissa. Lisäksi niissä havaitaan optisella alueella korkea ja muuttuva polarisaatio. Useissa kohteissa havaitaan myös radiokartoissa komponentteja, jotka näyttävät liikkuvan jopa kymmenkertaisella valonnopeudella.

Lähes kaikki nämä kohteet ovat kirkkaita elliptisten galaksien ytimiä. Useissa kohteissa näemme vain tämän kirkkaan ytimen, emme alla olevaa galaksia. Lisäksi ovat viime aikaiset havainnot, esimerkiksi Pohjoismaisella NOT-kaukoputkella La Palmalla Kanarian saarilla, osoittaneet, että monilla blazaareilla näyttää olevan läheisiä kumppaneita.

Onkin arveltu, että blazaari-ilmion syntyyyn vaikuttaisi galaksien välinen vuorovaikutus. Energialähteenä blazaareissa uskotaan olevan supermassiivisen mustan aukon tai usean mustan aukon systeemin galaksin keskustassa. Massiivisen mustan aukon aiheuttama painovoima on ainoa tuntemamme energialähde, joka voi tuottaa havaitsemamme blazaarien ja kvasaarien säteilyä. Tällaisen mustan aukon massa on miljardeja kertaa Auringon massa.

Mustia aukkoja uskotaan nykyään olevan kaikkien galaksien keskustoissa. Myös Linnunradan keskustassa uskotaan olevan noin miljoonan Auringon massaisen mustan aukon.

Aukon ympärillä oletetaan olevan ns. kertymäkiekko. Tämä kiekko on kaasusta, tähdistä ja pölystä muodostunut, aukkoa kiertävä systeemi, josta materiaa virtaa itse mustaan aukkoon. Tätä kiekkoa vastaan kohtisuoraan suuntaan lähtee mustasta aukosta kaksi relativistista suihkua. Blazaareissa tämän suihkun uskotaan tulevan lähes suoraan meitä kohden. Se, että suihku tulee meitä kohden selittää myös yli valonnopeudella tapahtuvan liikkeen, kysymyksessä on ainoastaan systeemin geometriasta johtuva harhakuva.

Todellisuudessa nopeudet eivät ylitä valonnopeutta. "Normaaleissa" kvasaareissa havaitsemme suihkua enemmän sivulta käsin, jolloin se ei näy niin hyvin, vaan kertymäkiekko varjostaa sitä. Koska katsomme blazaareissa suihkua "päin", niin näemme niissä myös lähemmäksi keskustan mustaa aukkoa kuin kvasaareissa. Näin ollen blazaarit ovat erittäin tärkeä kohderyhmä kun tutkitaan mustien aukkojen ominaisuuksia.

Suihku säteilee pääasiassa synkrotronisäteilyä, mikä syntyy kun relativistiset elektronit pyörivät voimakkaassa magneettikentässä. Suihkussa havaitaan myös shokkiaaltoja, erityisesti radioalueella. Näiden shokkien uskotaan osaltaan aiheuttavan havaittuja kirkkauden muutoksia blazaareissa.

## Korkeaenergiset yllätykset

Viimeisten kymmenen vuoden aikana merkittävin blazaareja koskeva uusi tutkimustulos on niissä havaittu muuttuva gammasäteily. Useissa blazaareissa suurin osa niiden säteilemästä energiasta havaitaan nimenomaan gammasäteilynä.

Erittäin suurienergistä gammasäteilyä havaitaan maanpinnalta Arizonasta, Whipple observatoriolta sekä La Palmalta, Kanarian saarilta HEGRA observatoriolta. Näillä laitteilla mitataan TeV-energisien gammasäteilyn tuottamaa optista sekundaarisäteilyä maan ilmakehästä. On meidän onnemme, että ko. säteily pysähtyy ilmakehään, sillä TeV-energisien gammasäteilyn yhden fotonin energia on miljardi kertaa suurempi kuin röntgensäteilyn energia. Tällä energia-alueella on havaittu kolme blazaaria: Mk 421, Mk 501 sekä 1ES 2254+514. Kaikki kolme kohdetta ovat meitä lähellä olevia blazaareja. Huomattavaa on, että erityisesti Mk 421 ja Mk 501 ovat osoittaneet merkittävää muuttuvuutta TeV-alueella. Samanaikaisissa havainnoissa muilla aallonpituuksilla, röntgen- sekä optisella alueella, on näissä kohteissa havaittu välillä myös samanaikaisia muutoksia, mutta ei aina. Esimerkiksi Mk 501:ssä havaittiin TeV-alueella talvella 1997 huomattavaa muuttuvuutta, mutta Tuorlan optisissa havainnoissa ei havaittu minkäänlaista muutosta. Tämä onkin aiheuttanut runsaasti päänvaivaa teoreetikoille, jotka yrittävät selittää havaintoja.

Kaikki teoriat perustuvat relativistiseen suihkuun ja siinä tapahtuviin muutoksiin, yksityiskohdissa on eri teorioiden välillä suuriakin eroavaisuuksia. Yhtään kaukaista blazaaria ei ole havaittu TeV-alueella. Yksi oletus onkin, että jos kaikki blazaarit säteilevät TeV-alueella niin galaksien välinen avaruus absorboi tämän säteilyn, ennenkuin se saapuu maapallolle. La Palmalle, Kanarian saarille on nyt rakenteilla uusi, suurempi ja herkempi TeV-laitteisto, joka pystyy ehkä havaitsemaan lisää kohteita.

Tämän vuosikymmenen huomattavin blazaareja koskeva uusi havainto (em. TeV-havainnon lisäksi) ja suuri yllätys oli CGRO-satelliitin EGRET laitteen havaitsema blazaarien GeV-säteily. GeV-säteilyn fotonin energia on noin miljoona kertaa röntgensäteilyä suurempi. Kaikki tämä säteily absorboituu ilmakehään, joten sitä havaitsemaan tarvitaan satelliitti.

Tällä hetkellä EGRET on havainnut noin 70 blazaaria. Myös tämä blazaarien GeV-säteilyn intensiteetin on havaittu muuttuvan huomattavasti jopa tuntien aikana. Onkin arveltu, että kaikki blazaarit säteilevät tällä energia-alueella, mutta olemme havainneet vain osan, koska muut ovat olleet "hiljaisia" ko. alueella havaittaessa. Useissa näistä havaituista kohteista GeV-alueella tapahtuvien muutosten on sanottu tapahtuvan yhtä aikaa muilla energia-alueilla tapahtuvien muutosten kanssa. Esimerkiksi kohteen 3C279 gammapurkausten on havaittu tapahtuvan lähes yhtä aikaa röntgen- ja/tai optisten purkausten kanssa, BL Lacissa havaittiin kesällä 1997 suuri optinen purkaus, jonka huippu havaittiin myös EGRETillä. Tällaisten tapahtumien lopullinen todentaminen vaatii pitkäaikaisia havaintojaksoja kaikilla aallonpituusalueilla. Nyt EGRET on kuolemassa, siitä loppuu havaintoihin tarvittava kaasuu, joten uusia GeV-havaintoja saadaan vasta kun seuraava tämän energia-alueen satelliitti lentää. Sellainen on suunnitteilla Yhdysvalloissa. Tähän liittyen on maailmalla suunnitteilla optisten kaukoputkien verkosto, joka seuraisi samoja blazaareja kuin tämä GLAST-satelliitti. Meikin olemme Tuorlassa mukana tässä projektissa.

Monet blazaarit ovat myös voimakkaita ja muuttuvia röntgensäteilijöitä. Joissakin kohteissa tämä havaitun röntgensäteilyn muutokset tapahtuva yhtä aikaa esim. optisten muutosten kanssa. Toisaalta taas samassakin kohteessa eri aikoina tehdyt havainnot antavat erilaisia tuloksia: esimerkiksi PKS 2155-304:ssä havaittiin vuonna 1991 yhtäaikaista muutoksia röntgen ja optisella alueella, mutta vuonna 1994 muutokset tapahtuivat röntgenalueella pari päivää optisia muutoksi aikaisemmin!

## Perinteisen tähtitieteen osuus

Blazaarien optisen alueen monitoroinnissa on viime vuosina tapahtunut huomattavaa edistystä.

Tähän on lähinnä kaksi syytä, toinen on tiivistynyt kansainvälinen yhteistyö ja toinen automaattisten kaukoputkien valmistuminen. Kansainvälisessä yhteistyössä on suuri merkitys ollut OJ-94 projektilla, mikä kokosi yhteen noin 50 tähtitieteilijää havaitsemaan blazaari OJ 287:ää sen ennustetun optisen purkauksen aikana. Purkaus havaittiinkin oikeaan aikaan syksyllä 1994, ja toinen myös odotettu purkaus vuotta myöhemmin. Purkaukset on selitetty kaksoismusta-  
aukkomallin avulla. Siinä kaksi massiivista mustaa aukkoa kiertää toisiaan galaksin ytimessä elliptisellä radalla, samalla tavalla, kuin maa kiertää Aurinkoa.

Kun pienempi musta aukko tulee radallaan isomman lähelle, se häiritsee painovoimallaan isomman ympärillä olevaa kertymäkiekkoa ja siitä putoaa normaalia enemmän materiaa isompaan mustaan aukkoon, aiheuttaen näin havaitsemamme purkauksen.

Huomattavaa näissä uusissa purkauksissa on, että jälkimmäinen niistä havaittiin myös radioalueella mutta ensimmäistä ei. Muissakin blazaareissa olemme havainneet samanlaisen ilmiön, joskus optiset ja radiomuutokset tapahtuvat yhtä aikaa, mutta aina ei optiseen purkaukseen liity radiokirkastumista.

Tämä osoittaa, että blazaareissa on ainakin kaksi eri säteilylähdettä, jotka tuttavat optista säteilyä. Toinen näistä on varmaankin suihkussa oleva shokki, koska radiosäteily tulee ko. shokista. Toinen voisi olla esimerkiksi kertymäkiekossa tapahtuvat purkaukset.

Viime vuosien tiivistynyt kansainvälinen yhteistyö on myös osoittanut, että kun yhdistetään paljon optisia havaintoja, blazaarit näyttävät jatkuvaa kirkkauden muutosta. Esimerkiksi OJ 287:ssä emme ole havainneet yhtään sellaista aikaa, etteikö jonkinasteista kirkkaudenmuutosta tapahtuisi. Tämä vaikeuttaa huomattavasti blazaarimallien rakentamista, koska toimivan mallin tulisi selittää kirkkaudenmuutokset ajanjaksoissa, jotka ulottuvat minuuteista vuosiin.

## Tulevaisuus

Blazaaritutkimuksen tulevaisuus näyttää aika ruusuiselta. Tähän vaikuttaa useita eri tekijöitä: Kansainvälinen yhteistyö on lisääntynyt huomattavasti viimeisten viiden vuoden aikana. Sitä ovat edistäneet OJ-94 projekti sekä satelliittihavainnot, erityisesti EGRET, koska kaikkien satelliittiprojektien aikana on järjestetty myös optisia sekä radiohavaintoja kohteista. Nämä projektit ovat tuottaneet paljon uutta tietoa blazaarien säteilemästä energiasta. Tällä hetkellä tämä uusi tieto on kuitenkin tuottanut enemmän kysymyksiä kuin vastauksia niiden ominaisuuksista. Toinen, edelliseen liittyvä, tekijä on uusien havaintolaitteiden rakentaminen ja suunnittelu. Nyt yritetään jo suunnitteluvaiheessa ottaa huomioon kaikki aallonpituudet, joilla blazaareja on tarkoitus havaita. Näin ollen esimerkiksi suunniteltaessa uutta gammasatelliittia keskustellaan jo suunnittelun alkuvaiheessa miten satelliitin havaitsemien blazaarien samanaikainen optinen havainnointi suoritetaan. Tähän suunnitteluun liittyy olennaisesti automaattisten optisten kaukoputkien verkosto, joka kiertäisi maapallon. Näin voitaisiin pienehköllä työvoimalla saada erittäin kattava optinen valokäyrä havaittavista blazaareista. Tällä hetkellä yksi optisten havaintojen tekemisen ongelma on niiden vaatima suuri henkilömäärä.

*Kirjoittaja on dosentti Tuorlan observatoriossa. Kirjoitus perustuu esitelmään Tähtitieteellinen yhdistys Ursan kokouksessa 13.4.*