

**Eötvös Loránd Tudományegyetem**  
**Természettudományi Kar**

---

**J1456+5048: nyomozás egy röntgenkvazár után**

**TDK Dolgozat**

**Készítette: Tar Ingrid**

**Szak-szakirány: Földtudomány-csillagász**

**Neptun kód: BE313U**

**Témavezető neve: Dr. Frey Sándor**

**Földmérési és Távérzékelési Intézet, Kozmikus Geodéziai**

**Obszervatórium**

**Titulusa: főtanácsos**

**Budapest, 2013**

## 1. Kivonat

Dolgozatomban a J1456+5048 jelű röntgenkvazár vizsgálatával foglalkoztam. A forrás érdekessége, hogy ennél a koordinátánál (R.A.: 14h 56m, DE.: 50° 48') három objektum fedezhető fel egymáshoz nagyon közel. Mivel a korai égboltfelmérések felbontása gyenge volt (ROSAT, Green Bank), ezért nem tudták elkülöníteni őket egymástól. A NED (NASA/IPAC Extragalactic Database) segítségével olyan publikációk és katalógusok után kutattam, amelyekben az általam vizsgált forrásokról használható adatok álltak a rendelkezésemre. A mérési eredmények összegyűjtése után sikerült a három különböző pontforrásra vonatkozó adatokat elkülönítenem egymástól, így megoldhatóvá vált a beazonosításuk. Munkám során találtam olyan cikkeket, amelyekbe tévesen kerültek bele a források adatai, és ezek közül egyet részletesen foglalkoztam. Felvetődött egy másik fontos kérdés is, vajon milyen kapcsolatban állhatnak egymással ezek az objektumok?

## Abstract

In my work, I investigated the X-ray quasar J1456+5048. The curiosity of this source is that around its coordinates (R.A.: 14h 56m, DE.: 50° 48') three objects can be found very close to each other. Due to the early sky surveys' low resolution (ROSAT, Green Bank), the objects could not be separated. I was looking for publications and catalogues with useful data of these sources, with the help of the NASA/IPAC Extragalactic Database (NED). After collecting the measurements from the literature, I was able to separate the data of the three distinct sources from each other, to help their correct identification. I found publications in which the source data were treated incorrectly and I show one of these in more details. Finally, an important question emerged: what could be the relation of these objects?

## Tartalomjegyzék

|                                                                      |           |
|----------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1. Kivonat.....</b>                                               | <b>2</b>  |
| <b>2. Bevezetés .....</b>                                            | <b>4</b>  |
| <b>3. Betekintés a témába .....</b>                                  | <b>6</b>  |
| 3.1. Aktív galaxismagok .....                                        | 6         |
| 3.1.1. A sugárzás eredete .....                                      | 6         |
| 3.1.2. A kvazárok .....                                              | 7         |
| 3.1.3. A blazárok.....                                               | 7         |
| 3.1.4. A rádiógalaxisok .....                                        | 8         |
| 3.2. Rádió-, röntgen- és gamma-csillagászat .....                    | 10        |
| 3.2.1. Rádiócsillagászat .....                                       | 11        |
| 3.2.2. A röntgencsillagászat .....                                   | 13        |
| 3.2.3. Gamma-csillagászat .....                                      | 15        |
| 3.2.4. A röntgen- és gamma-csillagászat legfontosabb távcsövei ..... | 17        |
| <b>4. Kutatás a szakirodalomban .....</b>                            | <b>18</b> |
| 4.1. A dolgozatom témája és célja .....                              | 18        |
| 4.2. NED (NASA/IPAC Extragalactic Database) .....                    | 19        |
| 4.3. A J1456+5048 forrás adatainak részletezése és elemzése .....    | 19        |
| 4.4. Egy a szakirodalomban fellelhető cikk értékelése .....          | 37        |
| <b>5. Összefoglalás.....</b>                                         | <b>39</b> |
| <b>6. Tervek a vizsgálatok folytatásához .....</b>                   | <b>41</b> |
| <b>Rövidítések .....</b>                                             | <b>43</b> |
| <b>Ábrajegyzék.....</b>                                              | <b>44</b> |
| <b>Táblázatjegyzék .....</b>                                         | <b>45</b> |
| <b>Felhasznál irodalom.....</b>                                      | <b>46</b> |
| <b>Felhasznált internetes források .....</b>                         | <b>48</b> |
| <b>1. Függelék.....</b>                                              | <b>49</b> |

## 2. Bevezetés

Dolgozatomban a J1456+5048 jelű extragalaktikus forrással foglalkozom. Ez azért került az érdeklődésem középpontjába, mert a jobb felbontású távcsövek lehetővé tették azt az észrevételt, miszerint ennél az égi pozíciónál valójában három objektum látható egymás mellett, egymáshoz nagyon közel (kb. 2'-en belül). Ebből kiindulva, a szakirodalomban és csillagászati katalógusokban végzett vizsgálataim alapján bebizonyosodott, hogy a gyenge felbontású távcsövekkel mért adatok nem egy, hanem kettő, vagy mindhárom forrásra egyszerre vonatkozhattak. Ez azért nagy probléma, mert olyan későbbi publikációkba kerülhettek bele a rossz azonosítások, amelyek a blazárok alapvető tulajdonságaival foglalkoztak, és esetleges helytelen következtetéseket vonhattak le. Ezért fontos az ehhez hasonló objektumok további vizsgálata is. Felmerülhet az a kérdés, hogy vajon hány ilyen forrás lehet még az adatbázisokban, és azok a publikációkba belekerülve mennyire változtatják meg az adott típusú objektumokra megállapított általános következtetéseket.

Miért is fontos, hogy minél többet tudjunk meg az ilyen távoli aktív galaxismagokról? A csillagászok számára azért lényeges a vizsgálatuk, mert a megfigyelésükkel tulajdonképpen a Világegyetem keletkezése utáni korai időszakba tekinthetünk vissza. Segítségükkel tanulmányozhatjuk a nagytömegű fekete lyukak viselkedését, a Világegyetem szerkezetéről, felépítéséről kaphatunk új információkat, és nem utolsósorban a kozmológiai fejlődési modelleket is igazolhatjuk, pontosíthatjuk velük.

Munkám során az említett forrásokról gyűjtöttem össze az adatokat. Ehhez a NED adatbázisában található publikációkat, katalógusokat használtam fel. Az adatok rendszerezése közben észrevettem hibás azonosításokat, ezeket részletesen be is mutatom. Egy olyan publikációra is kitérek, ahol a blazárok alapvető tulajdonságaival foglalkoznak, és valóban tévesen kerültek bele az általam vizsgált forrásokról mért adatok. Ennek részletezését és az észrevételeimet a 4. fejezetben mutatom be. A 3. fejezetben ehhez a témához kapcsolódó alapvető ismeretekkel foglalkozom, ahol röviden kitérek az aktív galaxismagok tulajdonságaira, osztályozásukra, sugárzásuk eredetére. Bemutatom, hogy a különböző sugárzásokkal a csillagászat mely ágai foglalkoznak, milyen módszerekkel detektálják őket és írok a korábban, illetve a jelenleg használatban lévő fontosabb távcsövekről is. Az 5. fejezetben röviden összefoglalom a munkámat, a 6. fejezetben ismertetem, hogy a jövőben mivel

szeretném még folytatni, kiegészíteni. Egy ábra- és táblázatjegyzékkel, valamint a felhasznált irodalom felsorolásával zárom a dolgozatomat.

### **3. Betekintés a témába**

#### **3.1. Aktív galaxismagok**

A galaxisok egy különleges csoportját képviselik az aktív galaxisok. Egy galaxist akkor szokás aktívnak nevezni, ha az általa kisugárzott energia valamely hullámsávokban sokkal nagyobb a „normális” galaxisokénál. Az aktív galaxisok közül vannak, amelyek egy aktív maggal rendelkeznek (Active Galactic Nuclei – aktív galaxismag, AGN). Az ilyen galaxismagok hajtóereje tulajdonképpen egy nagy tömegű fekete lyuk (több millió vagy több milliárd naptömegnyi). A kisugárzott energia forrása a fekete lyukba folyamatosan, egy úgynevezett anyagbefogási (akkréciós) korongon keresztül behulló anyag (csillag, por, gáz). Az akkréciós korong egy gyorsan forgó, lapult képződmény, és az itt koncentrálódó anyag nagy része valóban behullik a fekete lyukba, viszont a felszabaduló energia részben kisugárzódik. Az anyag egy része az akkréciós korongra merőlegesen, relativisztikus sebességű anyagsugárként (angol megfelelője: jet) kidobódik a galaxismagból. Az aktív galaxismagok elektromágneses sugárzása a legszélesebb frekvenciatartományt fedi le (*Frey 2003*).

##### **3.1.1. A sugárzás eredete**

A nagytömegű fekete lyukat körülvevő akkréciós korongból származik a látható és ibolyántúli sugárzás nagy része. Ez a magas (akár millió fokal) hőmérsékleti sugárzásnak köszönhető, amit a magba hulló, spirális pályán mozgó, felforrósodott anyag okoz. A korong fölött található forró koronából röntgensugárzást észlelhetünk. A korongra merőlegesen, két ellentétes irányban megjelenő anyagsugár (jet) leginkább röntgen- és rádiósugárzás a jellemző, ami az úgynevezett szinkrotron és inverz Compton-hatásnak köszönhető. A szinkrotronsugárzás a mágneses térben relativisztikus sebességgel mozgó, elektromosan töltött részecskéktől származik, amelyek elsősorban elektronok. Ez felelős leginkább az elektromágneses spektrum kis energiájú részét jelentő rádiósugárzásért. Az inverz Compton-szórás azt jelenti, hogy a kisebb energiájú fotonok ütköznek a nagyobb energiájú elektronokkal, ezáltal egy alacsonyabb energiatartományból egy magasabb tartományba kerülnek. Ez felelős a nagyenergiájú röntgen- és gamma-sugárzásért.

Optikai és ultraibolya sugárzás észlelhető a viszonylag sűrű, a mag körül gyorsan keringő gázfelhőkből, amelyek kicsit távolabb helyezkednek el a központi magtól.

Az infravörös sugárzás a központi tartományt körülvevő porgyűrűből (tóruszból) származik, amely a belülről jövő elektromágneses sugárzás nagy részét elnyeli, és azt infravörös hullámhosszakon sugározza ki.

Ezek alapján el lehet mondani, hogy az aktív galaxismagok nem egyformán sugároznak a tér minden irányában. Az elméletek szerint a jettel rendelkező (rádiósugárzó) aktív galaxismagok esetén attól függően látunk rádiógalaxist, kvazárt, blazárt, hogy milyen irányból látunk rá erre az objektumra. Az 1. ábrán is láthatjuk, hogy az egész jelenségcsoport értelmezhető ugyanannak az aktív galaxismagnak a más-más irányú nézetével (*Frey 2004; Gabányi 2009*).

### **3.1.2. A kvazárok**

A kvazárok a Világegyetem legfényesebb objektumai közé tartoznak, méretük kicsi (naprendszernyi kiterjedésűek). Az elnevezés a felfedezésük időszakába nyúlik vissza (1963), amikor az erős rádiósugárzása révén találták meg az első kvazárt, de képe pontszerűnek tűnt az optikai felvételeken. Emiatt csillagszerű rádióforrásnak nevezték el (Quasi Stellar Radio Source – Quasar, QSR). A kvazárok optikai színekében emissziós vonalak találhatók, amiből kiderült, hogy általában nagyon nagy vöröseltolódású távoli galaxisok aktív magjai. Legtöbbjük az Ősrobbanás után 2-3 milliárd évvel keletkezett. Fényességük rendkívül gyorsan változik, de ez a változás általában nem periodikus.

Vannak olyan csillagszerű források is, amelyek nem aktívak a rádiótartományban (ezek kb. tízszer gyakoribbak). Ezeket csillagszerű objektumoknak nevezzük (Quasi Stellar Object – QSO), de szokás rájuk is a kvazár (rádiócsendes kvazár) elnevezést használni (*Frey 2003*).

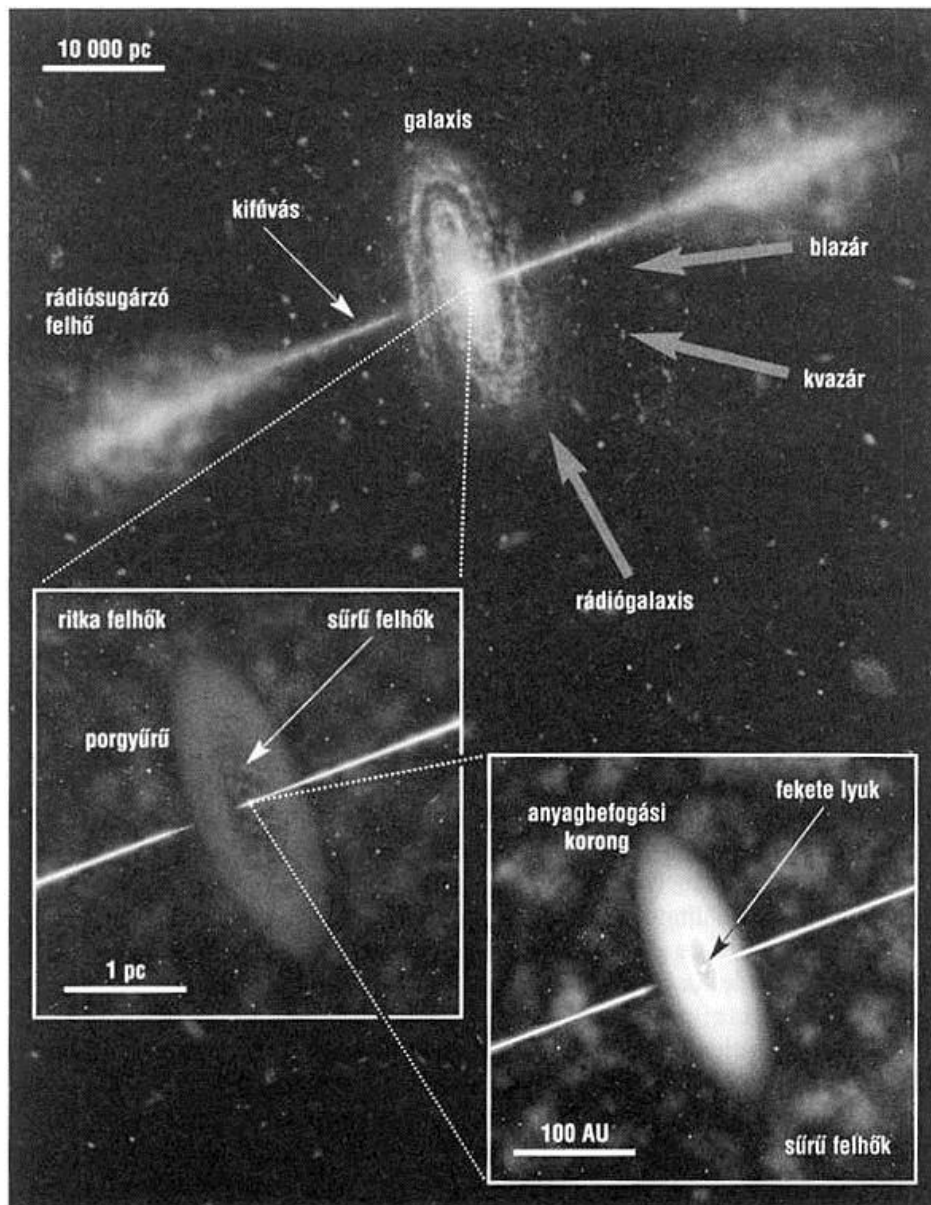
### **3.1.3. A blazárok**

A BL Lacertae (BL Lac) objektumok illetve az optikailag hevesen változó kvazárok összefoglaló elnevezése. A BL Lac objektumok a nevüket az elsőként felfedezett ilyen

objektumról kapták, amelyet először változócsillagnak gondoltak. Valójában nagyon fényes aktív galaxismagok, erősen polarizált fénnel rendelkeznek, amelyben előfordul, hogy olyan erős emissziós kontinuum található, hogy színeképükben nem figyelhető meg emissziós vonal. Jellemző rájuk az erős rádió-, röntgen- és gamma-sugárzás. A rádiósugárzó aktív galaxismagokra vonatkozó elmélet szerint (1. ábra) a blazárokból kiinduló jet a látóirányunkhoz nagyon közel mutat (Frey 2003).

#### **3.1.4. A rádiógalaxisok**

A rádiógalaxisok hasonlóak a kvazárokhoz, de luminozitásuk pár nagyságrenddel kisebb. Jellemzőek rájuk szintén a széles emissziós vonalak, amikről kimutatható, hogy nagyon magas hőmérsékleten és erősen turbulens közegben jöttek létre. A rádiógalaxisok szinte mindig elliptikus galaxisokkal egyeznek meg. Rádiófényességük viszont nagyságrendekkel nagyobb, mint amit más, az optikai tartományban hozzájuk hasonlónak tűnő galaxisokban megfigyelhetünk. A rádiósugárzás az aktív magból és a belőle kiinduló jetekből, valamint a jetek által táplált rádiósugárzó lebenyekből érkezik (Frey 2003; *ELTE Csillagászati Tanszék honlap*).



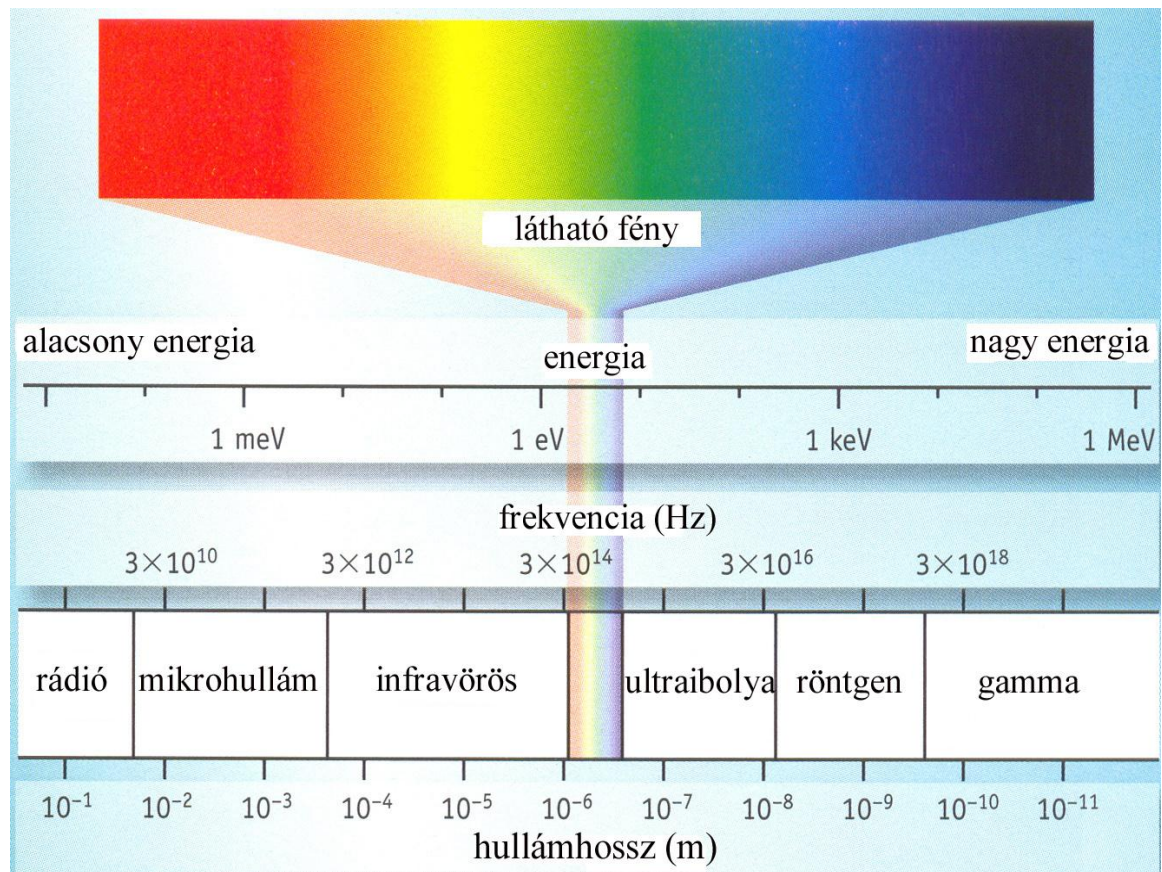
**1. ábra: Egy aktív galaxismag szemléltetése**

(forrás: Frey 2003)

Az aktív galaxismagok közepén egy fekete lyuk (kb. százmillió naptömegnyi) található, amit egy akkréciós korong vesz körbe, és erre merőlegesen anyagkiáramlás (jet) látható. A képen nyilak jelzik, hogy a látóiránynak a szimmetriatengellyel bezárt szögétől függően milyen objektumot láthatunk (kvazár, rádiógalaxis, blazár-BL Lac objektum).

### 3.2. Rádió-, röntgen- és gamma-csillagászat

Mint már említettem az előző részben, az aktív galaxismagok energia-kibocsátása az elektromágneses spektrum (2. ábra) legszélesebb tartományát fedi le, ezért többfrekvenciás megfigyelések szükségesek ahhoz, hogy a viselkedésüket és fizikai tulajdonságaikat tanulmányozni tudjuk. A tulajdonságaik vizsgálata azért fontos a csillagászok számára, mert a kvazárok a Világegyetem legmesszebből megfigyelhető objektumai közé tartoznak. Segítségükkel tanulmányozni tudjuk a hatalmas fekete lyukakat, statisztikai vizsgálatukkal új ismereteket kapunk a Világegyetem szerkezetéről, fejlődéséről, illetve a különböző kozmológiai fejlődési modelleket is ellenőrizni lehet velük.



2. ábra: Az elektromágneses spektrum tartományai

(forrás: Szatmáry & Szabados 2009)

### 3.2.1. Rádiócsillagászat

A rádiócsillagászat a csillagászat azon ága, amely a Földön kívüli térből érkező természetes rádiósugárzásokat detektálja. A rádiótartomány az elektromágneses spektrum legnagyobb hullámhosszú és legkisebb energiájú része. A csillagászati megfigyelések szempontjából szerencsés, hogy a Föld légköre a rádióhullámok számára átlátszó. Így rádiócsillagászati méréseket földi eszközökkel is tudunk végezni.

#### Történeti áttekintés

A rádiócsillagászat kezdete az 1930-as évekre tehető, amikor az Egyesült Államokban Karl Jansky először észlelt a Földön kívülről érkező rádióhullámokat a 15 m-es hullámhosszon. Majd 1942-ben felfedezték a Napunk rádiósugárzását, 1951-ben detektálták először a csillagközi semleges hidrogéngáz 21 cm-es (1420,4 MHz) sugárzását. További fontos esemény volt a kvazárok felfedezése (1963), a kozmikus mikrohullámú háttérsugárzás (1965) és a pulzárok felfedezése (1967) (Frey 2004).

#### Működésének elve

A rádiócsillagászat alapvető mérőberendezése a rádióantenna, amit rádiótávcsőnek is nevezünk. Egy rádiótávcső három fő részből áll: antenna, rádióvevő és az adatrögzítő. A legelterjedtebb antennatípus a paraboloid. Az erre érkező rádióhullámok a fókuszpontban elhelyezett hullámvezetőből továbbjutnak a vevőkészülékbe.

A távcsövek felbontóképessége a paraboloid tányér átmérőjével egyenesen arányos, viszont az alkalmazott hullámhosszal fordítottan, ezért egy-egy elszigetelt rádiótávcsővel nem lehet olyan jó felbontást elérni, mint az optikai távcsövekkel (pl. egy nagyméretű, 100 m-es tányér a 4 cm-es hullámhosszon 1,4 ívperces felbontásra képes). Emiatt kifejlesztették a rádió-interferométereket. Ezek úgy működnek, hogy meghatározott távolságra helyeznek el egymástól két (vagy több) távcsövet. A távcsövek összeköttetésével hozzák létre az antennák által azonos időben, azonos objektumról felvett jelek interferenciáját. Itt a felbontóképesség az antennák távolságával, a bázisvonal hosszával arányos. Viszont ahhoz, hogy egy rádióforrást több vetületben is fel tudjanak térképezni, antennasorozatokat építettek ki, amelyek alkalmasak arra, hogy a bázisvonal hosszát változtatni lehessen a megfigyelés alatt (apertúra-szintézis) (Frey 1998).

Ilyen rendszerek működtek és működnek például Cambridge-ben (Anglia, 5 km-es bázisvonal), Green Bankben (USA, 3,2 km-es bázisvonal), Új-Mexikóban (USA). Az utóbbi a VLA (Very Large Array – nagyon nagy antennasorozat), ami 27 db, Y alakban elhelyezett, egyenként 25 méter átmérőjű tányérból álló sorozat (*NRAO honlap*). Felbontóképessége 6 cm-es hullámhosszon 0,6 ívmásodperc, a bázisvonalak az Y vonalak mentén 21-21-19 kilométer hosszúak lehetnek (3. ábra).



**3. ábra: A VLA interferométer**

(forrás: <http://www.aoc.nrao.edu/intro/vlapix/center2.jpg>)

A VLA-t alkotó rádiótávcsövek közötti távolságot szabályozni tudják. Így a különböző konfigurációkban az interferométer különböző felbontású rádióméréseket képes végezni.

2013-ban felavatták Chilében az ALMA-t (Atacama Large Millimeter/submillimeter Array) (*ALMA honlap*). Ez az együttes 66 távcsőből áll, amelyek összesített gyűjtőfelülete egy futballpályányi területet foglalna el. Az interferométeres elven működő távcsőrendszer milliméteres vagy annál rövidebb hullámhosszakon képes detektálni a rádióhullámokat.

### **A VLBI rendszer**

A VLBI (Very Long Baseline Interferometry – nagyon hosszú bázisvonalú interferometria) technika lényege, hogy a Föld különböző pontjain lévő távcsövek között több száz, több ezer km távolság van. Itt a beérkezett jelek nem egy közös vevőkészülékbe futnak, hanem külön-külön mágnesszalagokon vagy mágneslemezekre rögzítik őket. A rögzített méréseket később a korrelátoron összejuttatják és előállítják az interferenciát. Az egymástól független jelsorozatok időbeli összetartozását atomórákkal biztosítják. A Föld átmérőjét megközelítő bázishosszakon ezred ívmásodperc körüli felbontóképességet is elérhetünk. Napjainkban már működik az e-VLBI technika, amelynél a távoli antennák össze vannak kötve, így nem szükséges a méréseket rögzíteni, az interferencia rögtön előállítható (Frey 1998).

Van egy mód arra is, hogy a felbontóképességet még tovább növeljük. Ehhez az egyik távcsövet az űrben helyezik el (űr VLBI rendszer). Az elsőt a japánok helyezték üzembe (VSOP – VLBI Space Observatory Programme, 1997). A HALCA (Highly Advanced Laboratory for Communications and Astronomy) Föld körül keringő műholdon helyezték el egy 8 méter átmérőjű, kinyitható antennát. A maximális bázisvonal hossza 27 000 km, a rendszer felbontása az ívmásodperc néhány százszázada volt.

Oroszország 2011. július 18-án indította Föld körüli útjára a Radioastron nevezetű csillagászati műholdat, melynek fő műszere egy 10 méter átmérőjű rádiótávcső. Az űr-interferometria segítségével 8 mikroívmásodperces felbontással tanulmányozhatják a rádiósugárzó objektumokat (Radioastron honlap).

Az ilyen technikával már részletesen feltérképezhetjük az extragalaktikus objektumok legbelső szerkezetét.

### 3.2.2. A röntgensillagászat

#### A működésének elve

A röntgensillagászat az elektromágneses tartomány nagyenergiájú, rövid hullámhosszú spektrumában végzett megfigyeléseire alapul. Esetében a megfigyelésnek nem a hullámhosszát ( $\lambda$ ), hanem a fotonok energiáját ( $E$ ) adják meg az elektronvolt (eV) ezerszeres (keV) és milliószoros (MeV) egységeiben.<sup>1</sup>

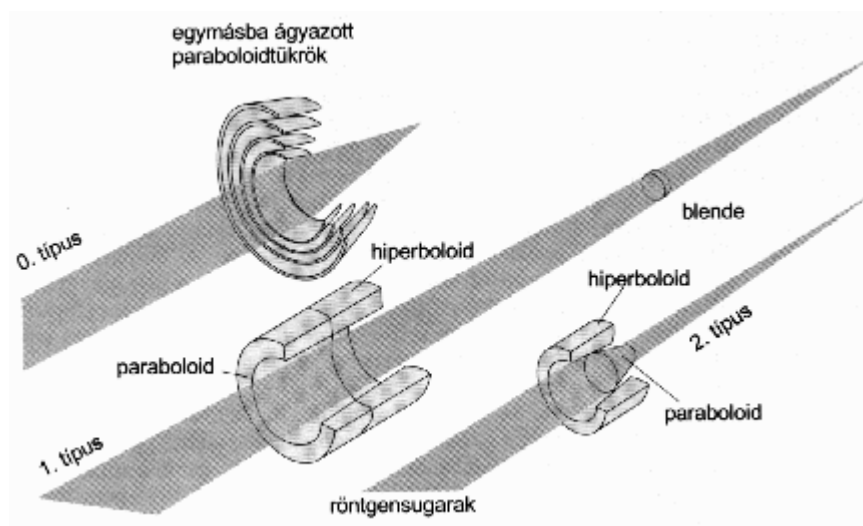
Két fő részre osztható a röntgentartomány:

---

<sup>1</sup> Átváltás:  $E \text{ (keV)} = 1,24/\lambda \text{ (nm)}$

- Kemény röntgen: 10–100 keV (0,01–0,1 nm)
- Lágy röntgen: 0,1–10 keV (0,1–10 nm)

A légkör a sugárzásnak ezt a tartományát nem engedi át a röntgenfotonok ionizáló hatása miatt. Ezért ha csillagászati megfigyeléseket akarunk végezni ebben a tartományban, akkor a műszereinket fel kell juttatni a világűrbe. A nagyenergiájú fotonok az optikában alkalmazott homorú tükröző felületű és a rádióban alkalmazott paraboloid antennákon nem visszaverődnének, hanem áthaladnának, ezért fókuszálásukra kifejlesztették a Wolter-féle távcsövet (4. ábra). Működésének alapja, hogy a fotonok kis szögben érkeznek a koncentrikusan egymásba ágyazott, enyhén paraboloid és hiperboloid felületű vékony fémlemezekre, amelyek összegyűjtik az érzékelőre a sugárzást (Szatmáry és munkatársai 2002).



4. ábra: A Wolter-féle röntgentávcső működési elve

(forrás: Szatmáry 2002)

### Történeti áttekintés

A megfigyelő röntgenszillagászat kifejlődése a XX. század közepére tehető, amikor 1949-ben a felső légkörbe felbocsátottak egy rakétát, amelyre egy Geiger–Müller-számlálót helyeztek el, és ezzel észlelték az első égi röntgenforrást, méghozzá a Napból. Nagy áttörést jelentett, amikor R. Giacconi 1962-ban a rakétakísérletével először fedezte fel a Naprendszeren kívülről érkező röntgensugárzást (a Skorpió csillagképben lévő Scorpius X-1 forrást). Szintén a 60-as évekre tehető a röntgenháttér felfedezése is. Ezen sikerek hatására virágzásnak indultak az űrtávcsőépítési projektek, melyek közül a

legfontosabbakat a gamma-csillagásatról szóló fejezet utáni táblázatban foglalom össze.(1. táblázat) (*Szatmáry és munkatársai 2002*).

### 3.2.3. Gamma-csillagászat

A gamma-csillagászat – úgy, mint a röntgencsillagászat – a nagyenergiájú csillagászat egyik ága.

Az energia nagysága alapján több kisebb csoportra bontható a tartománya:

- Ultranagy energiájú gamma-sugárzás:  $>10^8$  MeV
- Nagyon nagy energiájú gamma-sugárzás:  $10^4$ – $10^8$  MeV
- Nagyenergiájú gamma-sugárzás:  $30$ – $10^4$  MeV
- Közepes energiájú gamma-sugárzás:  $10$ – $30$  MeV
- Alacsony energiájú gamma-sugárzás:  $1$ – $10$  MeV
- Lágy gammasugárzás:  $0,1$ – $1$  MeV

A röntgensugárzáshoz hasonlóan a gamma-sugarakat sem engedi át a légkörünk, mivel a Compton-szórás és párkeltés<sup>2</sup> miatt elnyelődnek ott, ezért a detektálásukra szintén űrtávcsöveket kell használni. A gamma-tartományban mérő űrtávcsöveknél a röntgencsillagászatnál alkalmazott Wolter-féle távcsőtípus nem válik be (*Szatmáry és munkatársai 2002*). Itt még a mai napig „elnyeletéssel” végzik a megfigyeléseket, de ezzel csak pontatlanul lehet a fotonok beérkezési irányát megállapítani. Kódolt maszkolási technikát alkalmaznak, aminek az alapja, hogy a gamma-sugarak nem verődnek vissza, nem törnek meg, egyenes vonalban terjednek (*Szatmáry és Szabados 2009*). Ezért a detektor elé 1-2 m-re egy speciális mintázatú maszkot helyeznek el, amely egyes részén elnyeli, máshol átengedi a gamma-fotonokat. Pontforrás esetén a maszk árnyéka vetül a detektorra, kiterjedt forrás esetén pedig a képet több ilyen árnyék eredőjéből kapjuk meg. A geometriai elrendezés alapján rekonstruálni lehet az égitest irányát és a gamma-sugárzás intenzitás-eloszlását. A fontosabb gamma-távcsöveket az 1. táblázatban mutatom be.

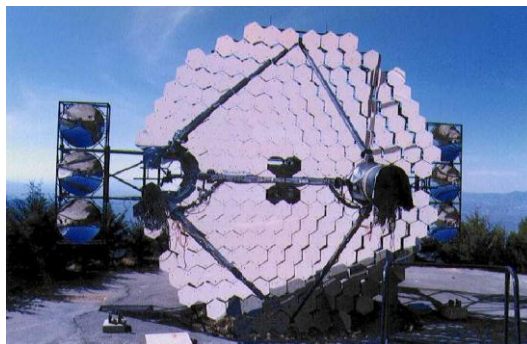
300 GeV energia felett viszont alkalmazhatóak a földi Cserenkov-távcsövek is, melyek nem közvetlenül a gamma-fotonokat, hanem a légkörben kiváltott hatásukat detektálják.

---

<sup>2</sup> Párkeltés: Ha elég nagy a foton energiája, akkor egy antirészecske-pár keletkezhet (pl. pozitron és elektron).

Amikor elnyelődnek a gamma-fotonok a légkörben, akkor másodlagos kozmikus sugárzást idéznek elő, és ennek a sugárzásnak a töltött részecskéi okozzák az úgynevezett Cserenkov-sugárzást<sup>3</sup>, ami kis nyílásszög mentén lejut a Föld felszínéig. Ez a fény már megfigyelhető nagyméretű optikai és ultraibolya távcsövekkel. Ilyen Cserenkov-féle távcsövek például a Whipple-távcső Dél-Arizonában, a Mount Hopkins hegyen 2000 méter felett (5. ábra), illetve a CANGAROO és CANGAROO II, amely Dél-Ausztráliában található. Ez 10 méter átmérőjű, 114 darab 80 cm átmérőjű, kör alakú tükörből áll össze (Szatmáry és munkatársai 2002).

Jelenleg már van olyan távcső is, amely nem csak a nagy, hanem a kisebb energiákon is képes megfigyeléseket végezni, ilyen például a MAGIC (Major Atmospheric Gamma-ray Imaging Cherenkov Telescope), ami a 6. ábrán látható. A MAGIC távcső 17 méter átmérőjű tükörrel rendelkezik, amely 15 GeV-ig képes megfigyeléseket végezni.



**5. ábra: Whipple Obszervatórium (100 GeV–10 TeV)**

(forrás: Szatmáry 2002)



**6. ábra: A MAGIC Cserenkov-távcső**

(forrás: [http://www.csillagaszat.hu/a\\_tejutrendszer\\_szerk/20060428\\_magic.html](http://www.csillagaszat.hu/a_tejutrendszer_szerk/20060428_magic.html))

---

<sup>3</sup> Cserenkov-sugárzás: ha egy elektron gyorsabban mozog a folyadékban vagy gázban, mint az adott közegre vonatkozó fénysebesség, akkor a környező anyagban fénylést kelt.

### 3.2.4. A röntgen- és gamma-csillagászat legfontosabb távcsövei

| 1. táblázat: Röntgen- és gamma-távcsövek<br>(forrás: Szatmáry és Szabados 2009, kiegészítve) |                                      |                                       |
|----------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------|---------------------------------------|
| Működésének időszaka                                                                         | Név (ország)                         | Tartomány                             |
| 1949                                                                                         | V2 rakéta (USA)                      | Nap röntgensugárzásának felfedezése   |
| 1962                                                                                         | Aerobee rakéta (USA)                 | Első röntgenforrás a Naprendszerben   |
| 1967                                                                                         | Vela (USA)                           | Gamma-kitörések felfedezése           |
| 1970–73                                                                                      | Uhuru (NASA)                         | Első égboltfelmérés röntgen tart.     |
| 1972–73                                                                                      | SAS-2 (USA)                          | Első szonda a gamma-tartományban      |
| 1975–82                                                                                      | COS B (ESA)                          | Tejútrendszer első gamma-térképe      |
| 1978–81                                                                                      | Einstein (NASA)                      | Első leképező röntgentávcső           |
| 1983–86                                                                                      | EXOSAT (ESA)                         | Lágy röntgen és UV tartomány          |
| 1987–91                                                                                      | Ginga (Japán)                        | Röntgen és gamma-tartomány            |
| 1989–98                                                                                      | Granat (Oroszország)                 | Röntgen és gamma-tartomány            |
| 1990–99                                                                                      | ROSAT<br>(Németország, USA)          | Teljes égboltfelmérés lágy röntgenben |
| 1991–2000                                                                                    | Compton GRO<br>(NASA)                | Gamma-tartomány                       |
| 1993–2000                                                                                    | ASCA (Japán, NASA)                   | Röntgentartomány                      |
| 1995–2012                                                                                    | RXTE (NASA)                          | Röntgenészlelések                     |
| 1996–2002                                                                                    | BeppoSAX<br>(Olaszország, Hollandia) | Röntgen- és gamma-tartomány           |
| 1999–                                                                                        | Chandra (NASA)                       | Nagyfelbontású röntgenmegfigyelések   |
| 1999–                                                                                        | XMM-Newton (ESA)                     | Röntgenmegfigyelések                  |
| 2002–                                                                                        | INTEGRAL (ESA, NASA, Oroszország)    | Gamma-tartomány                       |
| 2004–                                                                                        | Swift (USA, UK, Olaszország)         | Gamma-, röntgen-, UV, optikai tart.   |
| 2008–                                                                                        | Fermi/GLAST<br>(NASA)                | Széles gamma-tartomány                |
| 2012–                                                                                        | NuSTAR (NASA)                        | Nagyfelbontású röntgenmegfigyelések   |

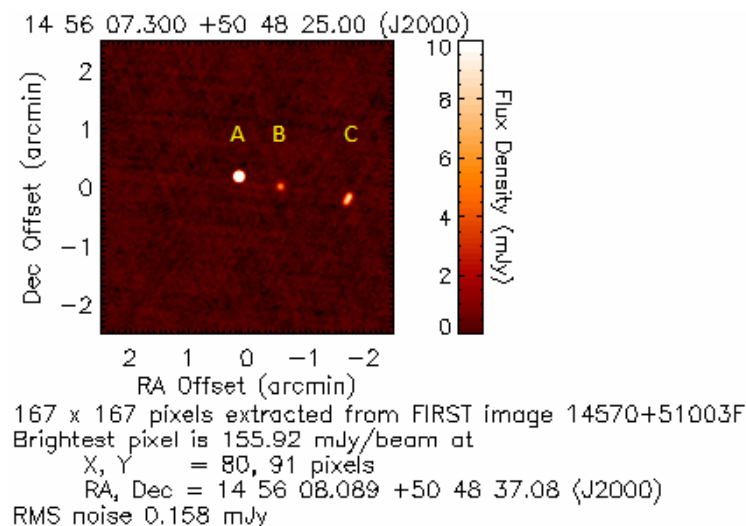
A fenti táblázatban feltüntettem a fontosabb röntgen- és gamma-tartományban mérő űrtávcsöveket. A színek jelentése: fehér (röntgentartomány), sárga (gamma-tartomány), szürke (mindkettő)

## 4. Kutatás a szakirodalomban

### 4.1. A dolgozatom témája és célja

Dolgozatomban a J1456+5048 nevű objektumot fogom megvizsgálni. Érdekessége, hogy ennél a koordinátánál (közelítő rektaszcenzió: 14h 56m, deklináció: 50° 48') egymáshoz közel három rádióforrás is megfigyelhető (7. ábra). Ez abban okoz problémát, hogy a korai röntgen-, rádió- és gamma-felmérések felbontása túl alacsony volt ahhoz, hogy ezeket a forrásokat el tudják különíteni egymástól, így előfordult az, hogy az észlelt sugárzást nem csak egy, hanem kettő vagy mindhárom forrásra egyszerre mérték meg, emiatt pedig előfordultak tévedések (összekeverték őket). A továbbiakban ez azért gond, mert az ilyen és ehhez hasonló esetek belekerültek olyan publikációkba, ahol például a blazárok általános tulajdonságait vizsgálták (erre később a 4.4-es fejezetben kitérek).

A célom az volt, hogy a forrásokról összegyűjtssem a cikkekben, katalógusokban szereplő adatokat, ami segíthet tisztázni a lehetséges szakirodalmi tévedések hátterét és következményeit. Ehhez kiindulásul a NED adatbázisát használtam fel, hogy ellenőrizhessem, melyik mérés melyik forrásra vagy forrásokra együtt vonatkozhatott a három közül.



7. ábra: VLA FIRST képkivágás a kérdéses területről

(forrás: <http://sundog.stsci.edu/>)

A 7. ábrán látható egy  $5' \times 5'$ -es méretű, 1,4 GHz-es frekvencián készült képkivágás a területről, ami magába foglalja a három forrást. A könnyebb érthetőség kedvéért az objektumokat „A”, „B” és „C” betűkkel jelöltem, és a későbbiekben így hivatkozom rájuk.

## 4.2. NED (NASA/IPAC Extragalactic Database)

A NED egy olyan adatbázis, amely extragalaktikus objektumokról nyújt nekünk adatokat minden hullámhossz-tartományban. Több száz égboltfelmérést és több tízezer publikációt tartalmaz, melyek segítségével pozíciókat, alapvető adatokat, objektumok neveit érhetjük el. Az objektumokra több szempont alapján is rá lehet keresni: név, közeli név vagy pozíció, típus, referenciák kódjával. A referenciákra pedig az objektum neve vagy a publikáció szerzője alapján is rátalálunk (*NED honlap*).

## 4.3. A J1456+5048 forrás adatainak részletezése és elemzése

Az adatok gyűjtéséhez felhasználtam a NED adatbázisában szereplő publikációkat, amelyekben szerepel a forrásom. Ezeket szeretném most részletezni.

| 2. táblázat: ROSAT által mért adatok       |                                                                                    |
|--------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|
| (forrás: Brinkmann et al. 1997)            |                                                                                    |
| Név                                        | RX J1456.0+5048                                                                    |
| Rektaszcenzió (rövk.: R.A. [h:m:s], J2000) | 14:56:08.13                                                                        |
| Deklináció (rövk.: DE. [°:':"], J2000)     | 50:48:36.3                                                                         |
| Röntgen fluxus (0,1-2,4 keV)               | $3,303 \cdot 10^{-14} \text{ W/m}^2$ (hiba: $0,135 \cdot 10^{-14} \text{ W/m}^2$ ) |
| VLA rádió fluxussűrűség (5 GHz)            | $207 \text{ mJy}^4$ ( <i>Laurent-Muehleisen et al. 1997</i> ) <sup>5</sup>         |
| ROSAT pozíciós pontossága (8. ábra)        | $30'' = 0,5'$                                                                      |
| VLA felbontása (9. ábra)                   | $0,4''$                                                                            |
| Típus                                      | BL Lac                                                                             |

<sup>4</sup>  $1 \text{ Jy} = 10^{-26} \text{ W/m}^2/\text{Hz}$

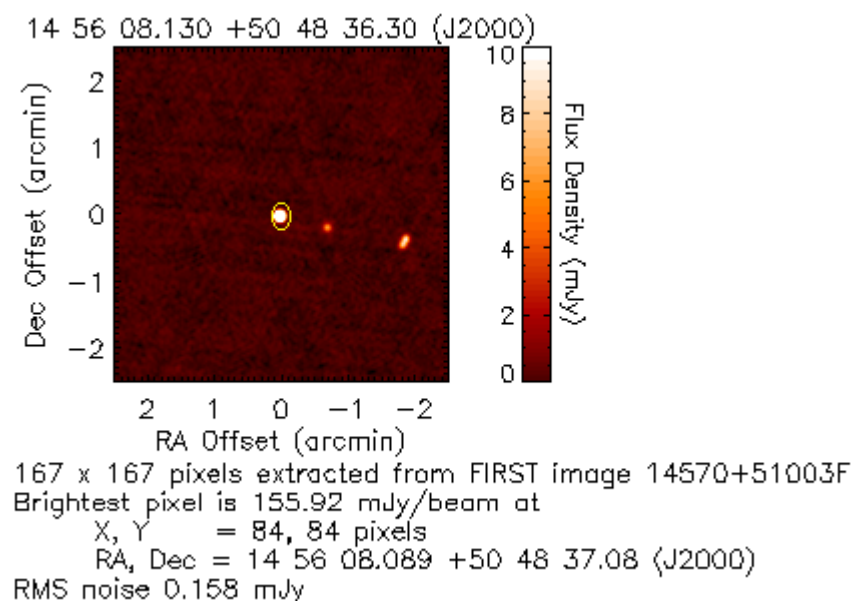
<sup>5</sup> A hivatkozott eredeti katalógusban nem 207 mJy, hanem 212 mJy szerepel (lásd: 3. táblázat)

Az RX J1456.0+5048 névben szereplő RX rövidítés azt jelzi, hogy a forrás a ROSAT röntgenkatalógusából származik (ROSAT X-ray catalog), a J pedig azt, hogy a koordináták J2000 epochára vannak megadva.

ROSAT teljes égboltfelmérés (ROSAT All-Sky Survey – RASS)

Lágy röntgensugaras egész égboltos felmérés a 0,1–2,4 keV-os sávban (1990. augusztus 1. – 1991. február 1.). Pozíciós pontossága 30'' (0,5'). Szögfelbontása kb. 1,8', ami azt jelenti, hogy az „A” és „B” jelű rádióforrás biztosan nem különböztethető meg (8. ábra).

A táblázatban szereplő koordináták szerint az adatok az „A” jelű forrásra vonatkoznak, viszont a ROSAT rossz felbontása miatt a röntgen fluxus az „A” és a mellette lévő „B” forrásra mért adat, a VLA rádió fluxussűrűsége pedig az A objektumra kapott érték.



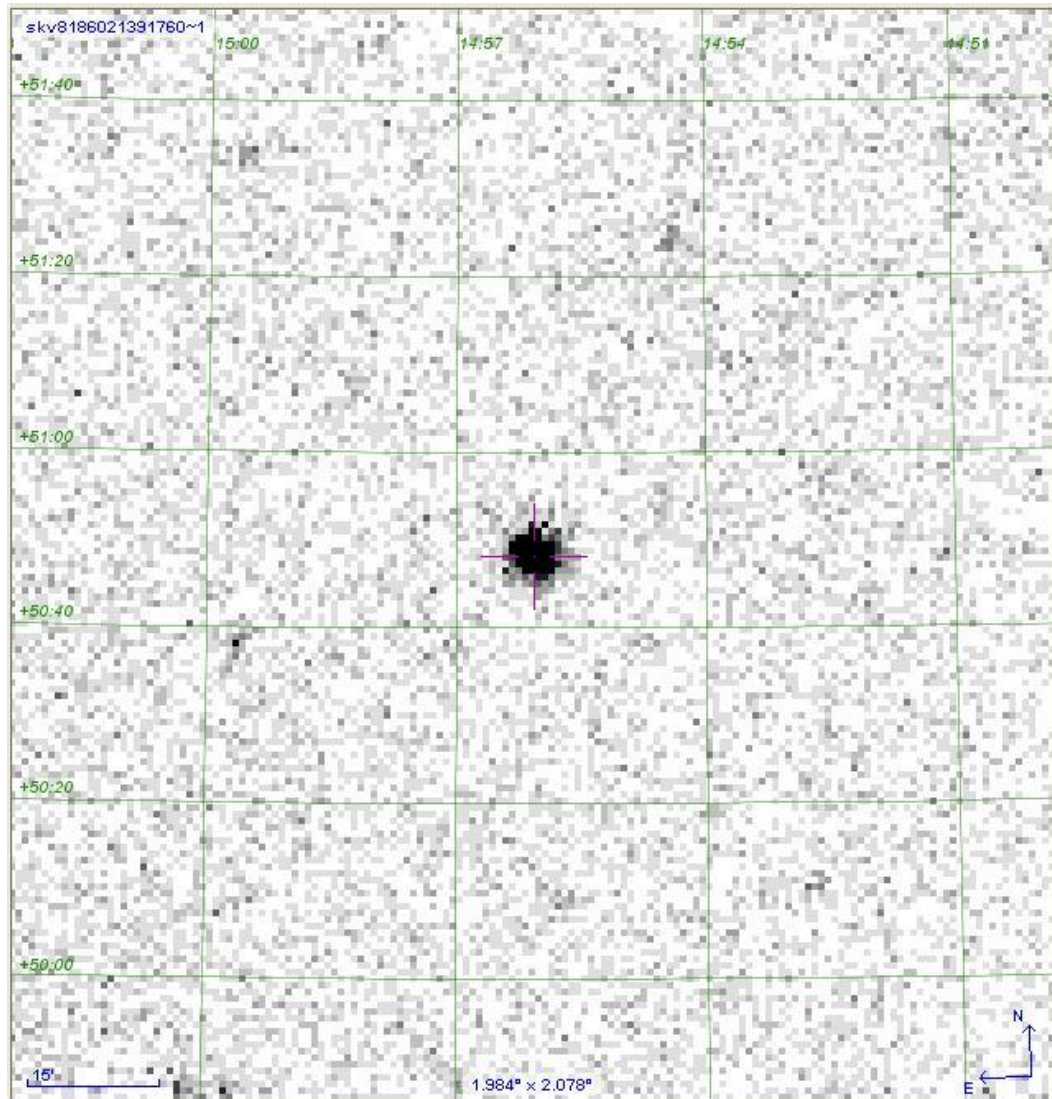
**8. ábra: Képkivágás a területről**

(forrás: <http://sundog.stsci.edu/>)

A képen a VLA felbontása alapján bejelöltem, hogy az 1. táblázatban megadott rádió fluxussűrűség az „A” jelű objektumhoz tartozik.

VLA (Very Large Array)

Az Amerikai Egyesült Államokban, Új-Mexikó államban található, az NRAO (National Radio Astronomy Observatory) által üzemeltetett interferométer. Legjobb felbontása 5 GHz-en 0,4". A bevezető részben többet is lehet róla olvasni és egy kép is található ott.



**9. ábra: RASS képkivágás**

(forrás: <http://cade.irap.omp.eu>)

Az RX J1456.0+5048 röntgenforrás és környezete a ROSAT All-Sky Survey (RASS) képen, középen megjelölve (9. ábra). A kivágás mérete kb.  $2^\circ \times 2^\circ$ .

| <b>3. táblázat: ROSAT: aktív galaxisok azonosítása</b> |                                   |
|--------------------------------------------------------|-----------------------------------|
| (forrás: Laurent-Muehleisen et al. 1997)               |                                   |
| Név                                                    | RGB 1456+508                      |
| R.A. ([h:m:s], J2000)                                  | 14:56:08.13                       |
| DE. ([°:':"], J2000)                                   | 50:48:36.3                        |
| Teljes fluxussűrűség (GB6, 5 GHz)                      | 232 mJy (bizonytalansága: 21 mJy) |
| „Mag” fluxussűrűség (VLA, 5 GHz)                       | 212 mJy                           |

A névben szereplő RGB rövidítés azt jelenti, hogy összevetették a RASS röntgen és a Green Bank 6 cm-es hullámhosszon (5 GHz-es frekvencián) készült rádió katalógust és azonosították a mindkettőben szereplő forrásokat. A RASS adatokat a 2. táblázatban részleteztem, a Green Bank (GB6) katalógusában található adatok pedig a következők:

| <b>4. táblázat: GB6 katalógusból vett adatok</b> |                                    |
|--------------------------------------------------|------------------------------------|
| (forrás: Gregory et al. 1996)                    |                                    |
| Név                                              | GB6 J1456+5048 vagy GB6 B1454+5100 |
| R.A. ([h:m:s], J2000)                            | 14:56:07.3                         |
| DE. ([°:':"], J2000)                             | 50:48:25                           |
| Fluxussűrűség (5 GHz)                            | 232 mJy                            |
| Felbontás                                        | 108''                              |

A 91 m átmérőjű Green Bank rádiótávcsővel<sup>6</sup> elérhető felbontással az „A” és „B” forrás egynek látszik (felbontatlan), ezért az általa mért rádió fluxussűrűség mindkettő forrásra vonatkozik.

---

<sup>6</sup> A 91 m-es Green Bank-i rádiótávcső ma már nem létezik, szerkezete 1988-ban összeomlott. [http://www.nrao.edu/whatisra/hist\\_300ft.shtml](http://www.nrao.edu/whatisra/hist_300ft.shtml)

| <b>5. táblázat: RBSC katalógusból vett adatok</b> |                                     |
|---------------------------------------------------|-------------------------------------|
| (forrás: Voges et al. 1999)                       |                                     |
| Név (a „B” jelű forrás)                           | 1RXS J145603.4+504824               |
| R.A. ([h:m:s], J2000)                             | 14:56:03.40                         |
| DE. ([°:':"], J2000)                              | 50:48:24.5                          |
| Pozíciós hiba                                     | 7"                                  |
| Röntgen fluxus (0,1-2,4 keV)                      | $2,14 \cdot 10^{-14} \text{ W/m}^2$ |

A névben szereplő 1RXS azt jelzi, hogy ez a forrás a ROSAT All-Sky Bright Source katalógusból (RBSC) származik. A ROSAT által mért röntgen fluxus itt szintén több objektumra („A” és „B”) vonatkozik egyszerre. Érdekes megjegyezni, hogy a röntgen fluxus a RASS értékhez képest (2. táblázat) kb. 35%-kal kisebb. Az eltérés oka, hogy az 1RXS katalógushoz a ROSAT égboltfelmérés adatait később új módszerrel dolgozták fel.

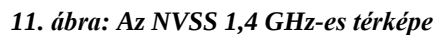
| <b>6. táblázat: A FIRST adatbázis katalógusa</b>                                                                 |                               |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------|
| (forrás: <a href="http://sundog.stsci.edu/cgi-bin/searchfirst">http://sundog.stsci.edu/cgi-bin/searchfirst</a> ) |                               |
| <b>1, Név („C” objektum)</b>                                                                                     | <b>FIRST J145556.3+504813</b> |
| R.A. ([h:m:s], J2000)                                                                                            | 14:55:56.316                  |
| DE. ([°:':"], J2000)                                                                                             | 50:48:13.15                   |
| Fluxussűrűség (FIRST 1,4 GHz)                                                                                    | 20,86 mJy                     |
| <b>2, Név („B” objektum)</b>                                                                                     | <b>FIRST J145603.6+504825</b> |
| R.A. ([h:m:s], J2000)                                                                                            | 14:56:03.624                  |
| DE. ([°:':"], J2000)                                                                                             | 50:48:25.96                   |
| Fluxussűrűség (FIRST 1,4 GHz)                                                                                    | 9,45 mJy                      |
| <b>3, Név („A” objektum)</b>                                                                                     | <b>FIRST J145608.1+504836</b> |
| R.A. ([h:m:s], J2000)                                                                                            | 14:56:08.112                  |
| DE. ([°:':"], J2000)                                                                                             | 50:48:36.39                   |
| Fluxussűrűség (FIRST 1,4 GHz)                                                                                    | 168,18 mJy                    |
| FIRST felbontása (1,4 GHz)                                                                                       | 5,4"                          |

A FIRST (Faint Images of the Radio Sky at Twenty-one centimeters, azaz halvány képek az égről 21 cm-es rádiótartományban) felmérés a VLA B konfigurációjával

készült. Felbontása ezen a hullámhosszon 5'' körül van és az égnek majdnem ugyanazt a részét térképezi fel, amit az SDSS (Sloan Digital Sky Survey) optikai felmérés is (*FIRST honlap*). Ezért fel tudjuk használni arra, hogy a FIRST segítségével megtaláljuk a rádióforrás optikai megfelelőjét az SDSS adatbázisban és képeken. A 7. ábrán a három rádióforrást („A”, „B”, „C”) a FIRST térkép alapján jelöltem meg.

| <b>7. táblázat: RBSC-NVSS minták</b> |                                         |
|--------------------------------------|-----------------------------------------|
| (forrás: Bauer et al. 2000)          |                                         |
| Név (a B jelű forráskoordinátáiból)  | 1RXS J145603.4+504824                   |
| R.A. ([h:m:s], J2000)                | 14 56 03.62                             |
| DE. ([°:':"], J2000)                 | 50 48 26.0                              |
| RBSC röntgen fluxus (0,1-2,4 keV)    | $2,1 \cdot 10^{-14} \text{ W/m}^2$      |
| NVSS fluxussűrűség (1,4 GHz)         | 245,3 mJy („A”+„B” forrásra vonatkozik) |
| NVSS/FIRST felbontása (4. kép)       | 45'' / 5,4''                            |

Az RBSC a ROSAT All-Sky Bright Source Catalogue rövidítéséből, az NVSS pedig az NRAO VLA Sky Survey rövidítésből származik. Az NVSS felmérés esetében a VLA távcsőrendszere ugyanazon a frekvencián dolgozott, mint a FIRST (1,4 GHz), de a felbontása gyengébb, mint a FIRST felbontása, ahogyan az a táblázatban is látható. Ebben a cikkben a fő probléma szerintem, hogy a fluxussűrűség értéke nem a megadott koordinátájú forrásra vonatkozik, amivel összepárosították (lásd: 6. táblázat). A két táblázatban előforduló adatok közti eltérés oka az lehet, hogy más időpontban lettek megmérve az adatok, és így előfordulhat, hogy más értéket kapunk, a BL Lac objektumok változékonysága miatt.

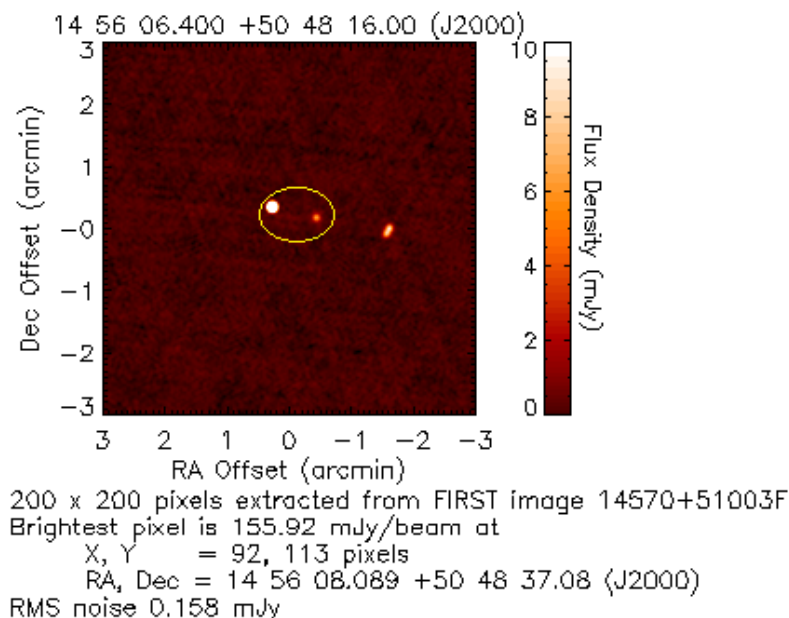


(forrás: <http://www.cv.nrao.edu/nvss/postage.shtml>)

25

| 8. táblázat: Rádióhangos aktív galaxisok a ROSAT felmérésben |                                      |
|--------------------------------------------------------------|--------------------------------------|
| (forrás: Reich et al. 2000)                                  |                                      |
| Név                                                          | RGB J1456.1+5048                     |
| R.A. ([h:m:s], J2000)                                        | 14:56:06.4                           |
| DE. ([°:':"], J2000)                                         | 50:48:16                             |
| Fluxussűrűség 11 cm (2,7 GHz)                                | 280 mJy                              |
| Fluxussűrűség 6 cm (5 GHz)                                   | 292 mJy                              |
| Fluxussűrűség 2,8 cm (10,7 GHz)                              | 253 mJy                              |
| Röntgen fluxus (0,1–2,4 keV)                                 | $3,303 \cdot 10^{-14} \text{ W/m}^2$ |
| Optikai magnitúdó (V)                                        | 19,10 mag                            |
| Felbontás 11, 6 és 2,8 cm hullámhosszon                      | 3,8', 2' és 1'                       |

A cikkben olyan forrásokat vizsgáltak meg, amelyek rádió fluxussűrűsége 5 GHz-en erősebb, mint 100 mJy. A fluxussűrűség-mérések az effelsbergi 100 m-es rádiótávcsővel (Németország) készültek. A megfigyelésekhez alapul vett RGB pozíció az „A” és „B” forrás közé esik (12. ábra), a felbontása miatt a mért adatok az „A” és „B” (11 cm-es hullámhosszon még a „C”) forrásokra lesznek érvényesek.



12. ábra: VLA FIRST képkivágás

(forrás: <http://sundog.stsci.edu/>)

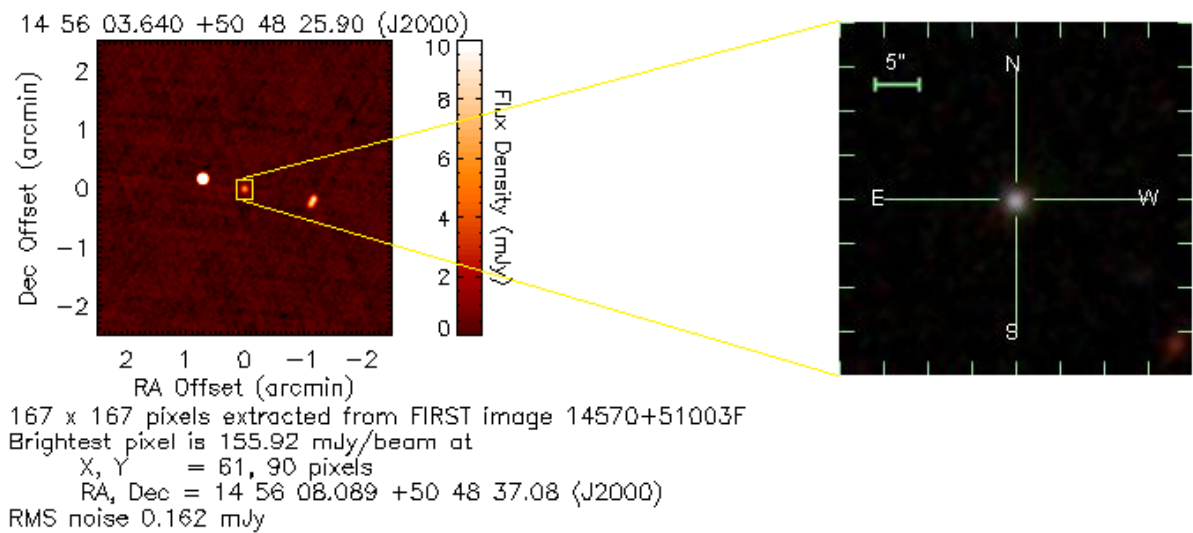
Az effelsbergi távcső felbontóképessége és a pozíció alapján a táblázatban az „A” és „B” forrásra együttesen vonatkoznak a mért fluxussűrűségek.

| <b>9. táblázat: JVAS források optikai azonosítása</b><br>(forrás: Snellen et al. 2002) |                                   |
|----------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------|
| Név                                                                                    | JVS 1456+5048                     |
| R.A. ([h:m:s], J2000)                                                                  | 14:56:08.12                       |
| DE. ([°:':"], J2000)                                                                   | 50:48:36.29                       |
| E magnitúdó                                                                            | 20,00 mag                         |
| O magnitúdó                                                                            | 21,88 mag                         |
| GB6 5 GHz ( <i>Gregory et al. 1996</i> )                                               | 232 mJy („A” és „B” forrás)       |
| NVSS 1,4 GHz ( <i>Condon et al. 1998</i> )                                             | 224 mJy („A” és „B” forrás)       |
| GB 1,4 GHz ( <i>White &amp; Becker 1992</i> )                                          | 270 mJy („A” és „B” forrás)       |
| VLA 8,4 GHz                                                                            | 264 mJy („A” forrásra vonatkozik) |
| Vöröseltolódás                                                                         | 0,480                             |
| GB6 5 GHz felbontása                                                                   | 210” (3,5’)                       |
| NVSS 1,4 GHz felbontása                                                                | 45” (0,75’)                       |
| GB 1,4 GHz felbontása                                                                  | 710” (12’)                        |
| VLA 8,4 GHz felbontása                                                                 | 0,24”                             |

A JVS rövidítés azt jelzi, hogy a forrás a Jodrell Bank-VLA Astrometric Survey (JVAS) katalógusában szerepel. Az ott szereplő objektumokat optikailag próbálták azonosítani a digitális POSS-I (Palomar Observatory Sky Survey) vörös (E) és kék (O) lemezekről. A táblázatban látható, hogy a 4 darab rádió fluxussűrűségből 3 darab mindkettő („A” és „B”) forrásra vonatkozik. Innen kiindulva az optikai azonosításuk kétséges.

| <b>10. táblázat: SDSS optikai felmérés adatai</b> |                                       |
|---------------------------------------------------|---------------------------------------|
| (forrás: Anderson et al. 2007)                    |                                       |
| RASS név                                          | J145603.4+504824                      |
| SDSS megfelelőjének a neve<br>(„B” objektum)      | J145603.64+504825.9                   |
| u magnitúdó                                       | 19,57 mag (hiba: $\pm 0,035$ mag)     |
| g magnitúdó                                       | 19,36 mag (hiba: $\pm 0,011$ mag)     |
| r magnitúdó                                       | 19,07 mag (hiba: $\pm 0,012$ mag)     |
| i magnitúdó                                       | 18,86 mag (hiba: $\pm 0,013$ mag)     |
| z magnitúdó                                       | 18,64 mag (hiba: $\pm 0,037$ mag)     |
| SDSS felbontása                                   | 0,1''                                 |
| Korrigált röntgenfluxus (0,1–2,4 keV)             | $2,2190 \cdot 10^{-14} \text{ W/m}^2$ |
| Vöröseltolódás (z)                                | 0,4786                                |

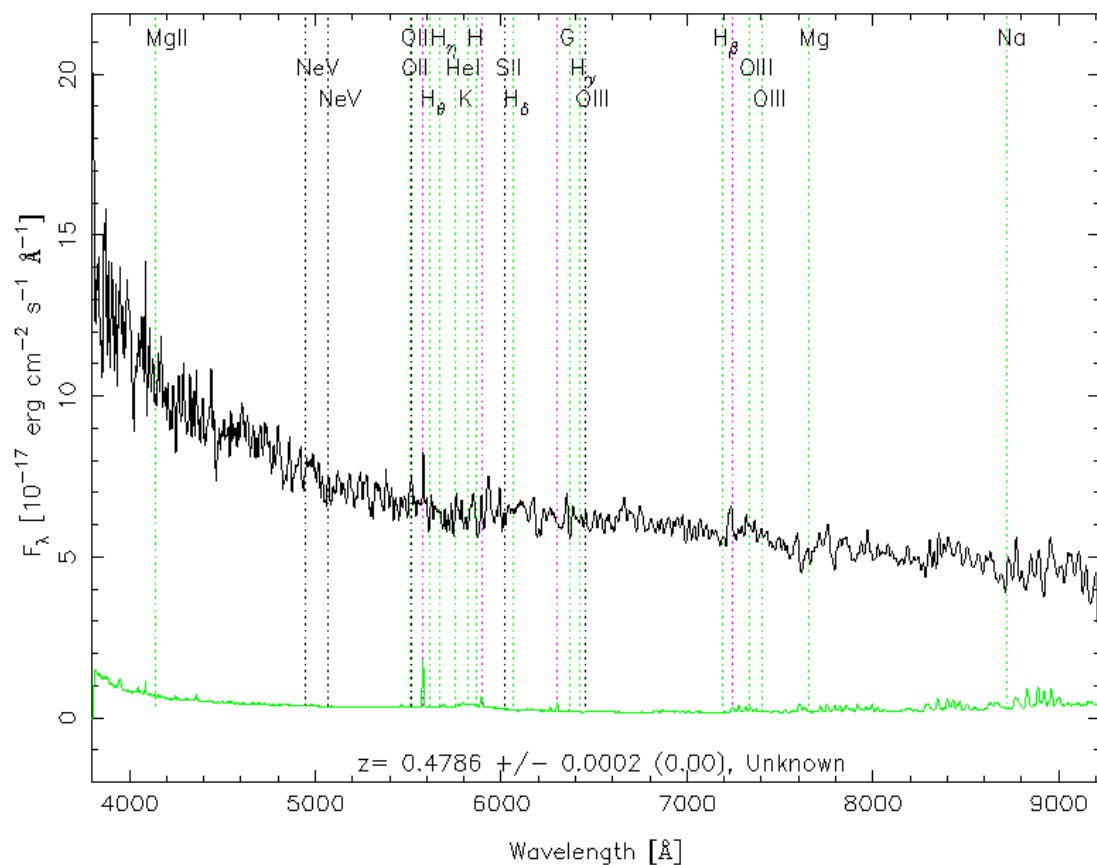
A cikkben a RASS röntgen felmérésének az optikai azonosítását mutatják be az SDSS segítségével (13. ábra). A táblázatban szereplő adatok az SDSS Data Release 5 (DR5) katalógusából származnak, ahol a vöröseltolódásnak 0,48 értéket számoltak (14. ábra) (*Adelman-McCarthy et al. 2007*). Ez majd azért lesz érdekes, mert erre a forrásra két vöröseltolódási érték is található a szakirodalomban! A magasabb ( $z=1,379$ ) érték az SDSS későbbi kiadásából származik, de a színekép, aminek alapján meghatározták ugyanaz (15. ábra). Az SDSS optikai égboltfelméréshez egy 2,5 m-es teleszkópot használnak, amely az Apach Point Observatory-ban található, Új-Mexikóban. Öt színszűrővel rendelkezik: u, g, r, i, z.



**13. ábra: VLA FIRST képből kivágott égtérület és a „B” forrás optikai képe az SDSS alapján**

(forrás: <http://sundog.stsci.edu> [bal] és <http://cas.sdss.org> [jobb])

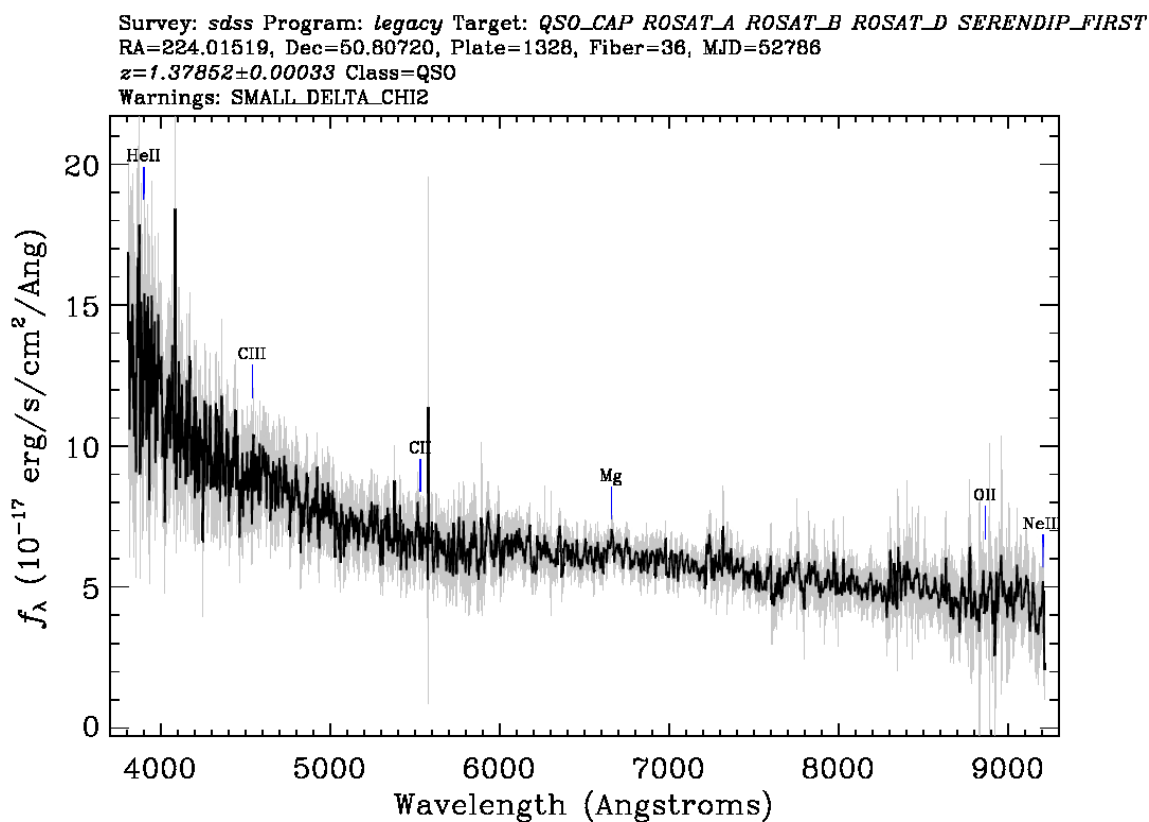
RA=224.01519, DEC=50.80720, MJD=52786, Plate=1328, Fiber= 36



**14. ábra: A „B” jelű forrás vöröseltolódásának első vizsgálata a spektruma alapján**

(forrás: <http://cas.sdss.org>)

A 14. ábrán a „B” forrásra készített spektrumot láthatjuk, amiből az SDSS DR5 számára meghatározták a 0,4786 nagyságú vöröseltolódást.

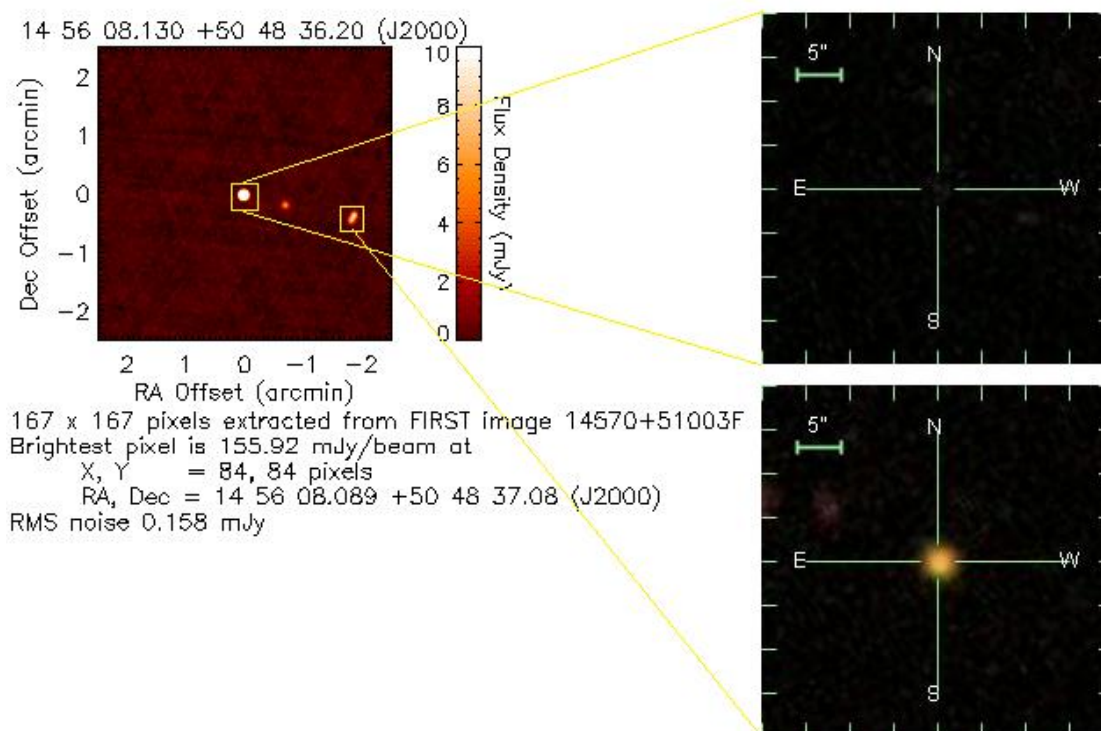


15. ábra: A „B” jelű forrás vöröseltolódásának második vizsgálata a spektruma alapján

(forrás: <http://skyserver.sdss3.org>)

Ezen a képen látható ugyanaz a spektrum, ami a 14. ábrán is. A különbség, hogy itt a színekp automatikus elemzése során más vonalakat azonosítottak be, ezáltal egy másik vöröseltolódást kaptak a „B” jelű forrásra: 1,3785. Ez az adat az SDSS Data Release 9-ből (DR9) származik (Ahn et al. 2012).

| 11. táblázat: SDSS fotometriai katalógus<br>(forrás: Adelman-McCarthy et al. 2009) |                                    |
|------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------|
| Név (az „A” jelű objektum)                                                         | SDSS J145608.13+504836.2           |
| u magnitúdó                                                                        | 23,262 mag (hiba: $\pm 0,66$ mag)  |
| g magnitúdó                                                                        | 23,099 mag (hiba: $\pm 0,17$ mag)  |
| r magnitúdó                                                                        | 22,862 mag (hiba: $\pm 0,25$ mag)  |
| i magnitúdó                                                                        | 22,531 mag (hiba: $\pm 0,29$ mag)  |
| z magnitúdó                                                                        | 20,528 mag (hiba: $\pm 0,20$ mag)  |
| Név (a „C” jelű objektum)                                                          | SDSS J145556.626+504805.80         |
| u magnitúdó                                                                        | 21,602 mag (hiba: $\pm 0,164$ mag) |
| g magnitúdó                                                                        | 19,072 mag (hiba: $\pm 0,010$ mag) |
| r magnitúdó                                                                        | 17,630 mag (hiba: $\pm 0,006$ mag) |
| i magnitúdó                                                                        | 16,949 mag (hiba: $\pm 0,005$ mag) |
| z magnitúdó                                                                        | 16,550 mag (hiba: $\pm 0,010$ mag) |
| Felbontás                                                                          | 0,1”                               |



16. ábra: A VLA FIRST képkivágás és az „A”, illetve „C” forrás optikai képe az SDSS alapján

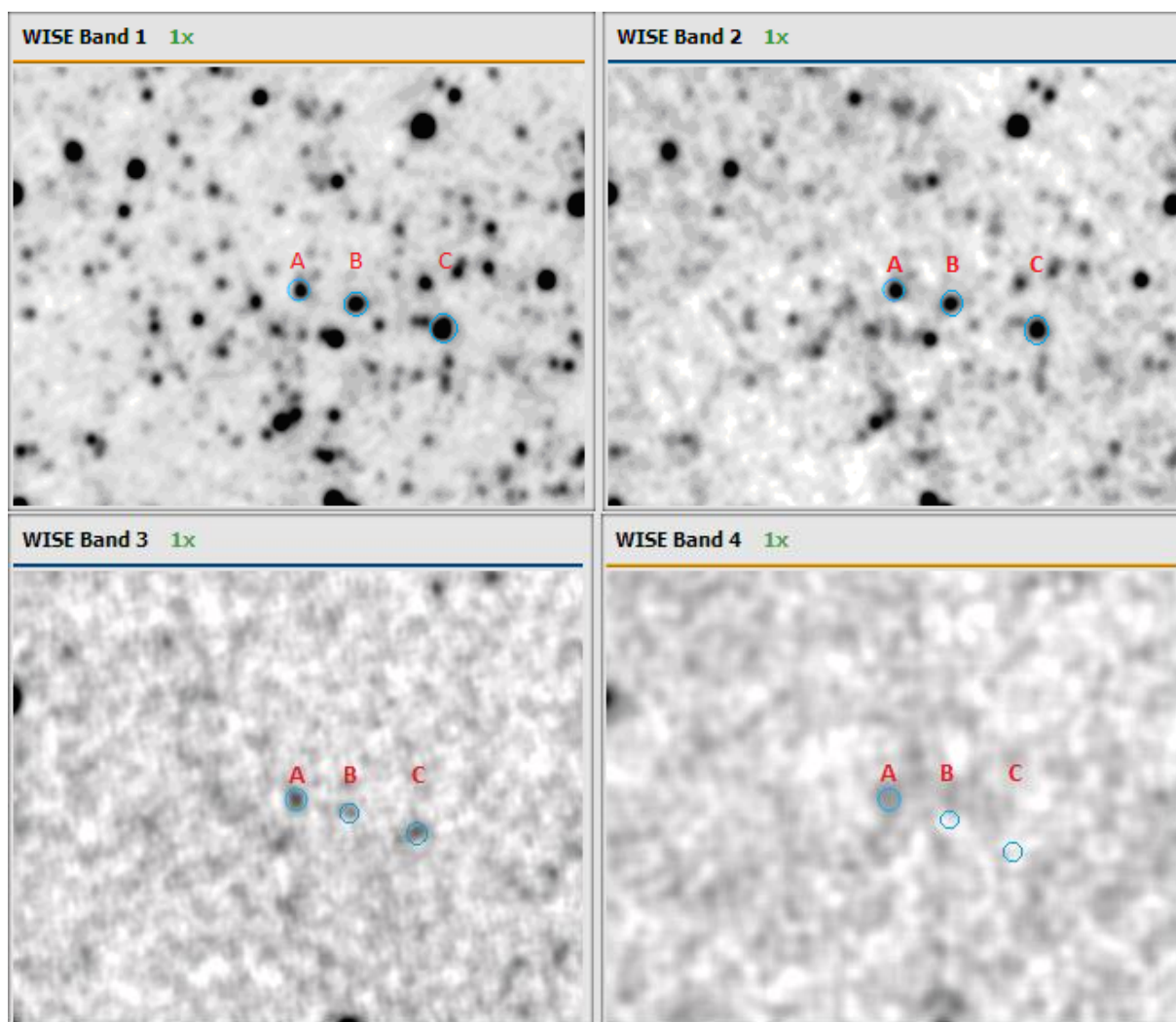
(forrás: <http://sundog.stsci.edu> [bal] és <http://cas.sdss.org/astro> [jobb])

A 16. ábrán bal oldalon látható a FIRST rádiótérképből kivágott égterület. A jobb oldali két kép az SDSS által készített felvételek az „A” és „C” forrásnak megfelelő pozíciókban. Ahogyan a jobb felső képen és a táblázatban olvasható magnitúdókból is látszik, az „A” forrás nagyon halvány, még épp elegendően fényes ahhoz, hogy az SDSS detektálni tudja (határmagnitúdója: 23 mag). Így a rá vonatkozó mérések nem megbízhatóak. A „C” forrás esetén a rádió (FIRST, 14:55:56.3 +50:48:13) és optikai (SDSS, 14:55:56.6+50:48:05.8) pozíciók eltérése megközelíti a 10”-et, ezért az azonosításuk kétséges.

| <b>12. táblázat: A WISE felmérés adatai</b> |                                     |
|---------------------------------------------|-------------------------------------|
| (forrás: Cutri et al. 2012)                 |                                     |
| <b>Név („A” objektum)</b>                   | <b>WISE J145608.10+504836.5</b>     |
| W1 (3, 35 $\mu$ m)                          | 15,455 mag (hiba: $\pm$ 0,039 mag)  |
| W2 (4, 6 $\mu$ m)                           | 14,511 mag (hiba: $\pm$ 0,047 mag)  |
| W3 (11, 6 $\mu$ m)                          | 12,009 mag (hiba: $\pm$ 0,174 mag)  |
| W4 (22, 1 $\mu$ m)                          | 8,995 mag (hiba: $\pm$ 0,320 mag)   |
| <b>Név („B” objektum)</b>                   | <b>WISE J145603.62+504826.1</b>     |
| W1 (3, 35 $\mu$ m)                          | 15,013 mag (hiba: $\pm$ 0,033 mag)  |
| W2 (4, 6 $\mu$ m)                           | 14,612 mag (hiba: $\pm$ 0,050 mag)  |
| W3 (11, 6 $\mu$ m)                          | 12,418 mag (hiba: $\pm$ 0,0238 mag) |
| W4 (22, 1 $\mu$ m)                          | >9,557 mag                          |
| <b>Név („C” objektum)</b>                   | <b>WISE J145556.61+504806.1</b>     |
| W1 (3, 35 $\mu$ m)                          | 14,308 mag (hiba: $\pm$ 0,027 mag)  |
| W2 (4, 6 $\mu$ m)                           | 14,211 mag (hiba: $\pm$ 0,040 mag)  |
| W3 (11, 6 $\mu$ m)                          | >13,101 mag                         |
| W4 (22, 1 $\mu$ m)                          | >9,623 mag                          |
| Felbontás W1, W2, W3, W4                    | 6,1”, 6,4”, 6,5” és 12,0”           |

A WISE (Wide-field Infrared Survey Explorer) a NASA széles látómezejű infravörös égtérképező űrtávcsöve. Négy hullámhosszon térképezte fel az eget (a táblázatban szerepelnek), illetve a felbontását is a táblázatban tüntettem fel (*WISE honlap*). A táblázatban néhány adatot azért írtam pirossal, mert azok a detektálási határnak felelnek meg, vagyis azt mondják meg, hogy mennyi a felmérés érzékenysége azon a ponton. Ha

lenne ott forrás, akkor legalább ennyi lenne a magnitúdója (legfeljebb ilyen fényes lehetne).



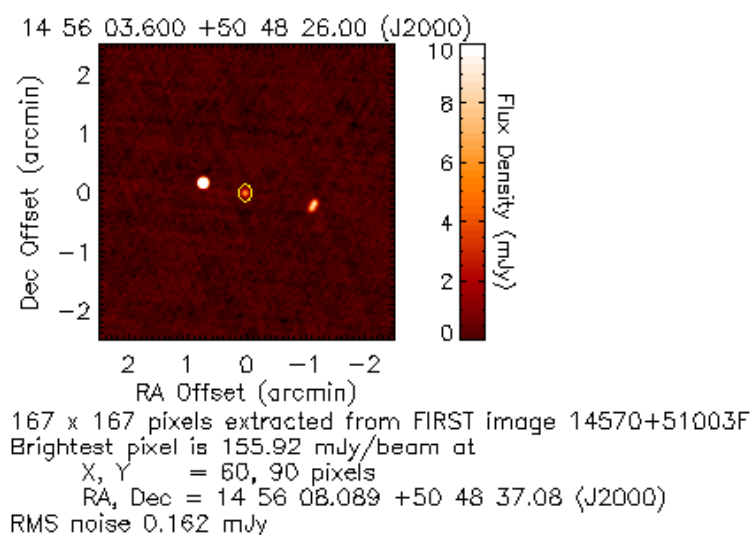
*17. ábra: A WISE 4 sávjában készült infravörös képek a forrásokról*

(forrás: <http://irsa.ipac.caltech.edu>)

A képeken külön bejelöltem kék karikával a forrásokat, és piros nagybetűvel megadtam az objektumok jelzéseit, hogy a táblázatban lévő adatokkal könnyebben lehessen párosítani.

| 13. táblázat: Swift–XRT pont források katalógusa |                                     |
|--------------------------------------------------|-------------------------------------|
| (forrás: D’Elia et al. 2013)                     |                                     |
| Név (a „B” jelű objektum)                        | 1SWXRT J145603.6+504826             |
| 0,5–10 keV fluxus                                | $4,42 \cdot 10^{-15} \text{ W/m}^2$ |
| 0,5–2 keV fluxus                                 | $2,23 \cdot 10^{-15} \text{ W/m}^2$ |
| 2–10 keV fluxus                                  | $2,17 \cdot 10^{-15} \text{ W/m}^2$ |
| Felbontás                                        | 18''                                |

A Swift a NASA űrtávcsőve, amely több hullámhosszban készíti a megfigyeléseit (röntgen, ultraibolya, optikai, gamma). A táblázatban a röntgenteleszkópjával készített adatok szerepelnek (XRT). A forrás nevében az SWXRT jelölés a Swift-XRT pontforrás katalógusra utal.



18. ábra: Képkivágás a VLA FIRST felmérésből

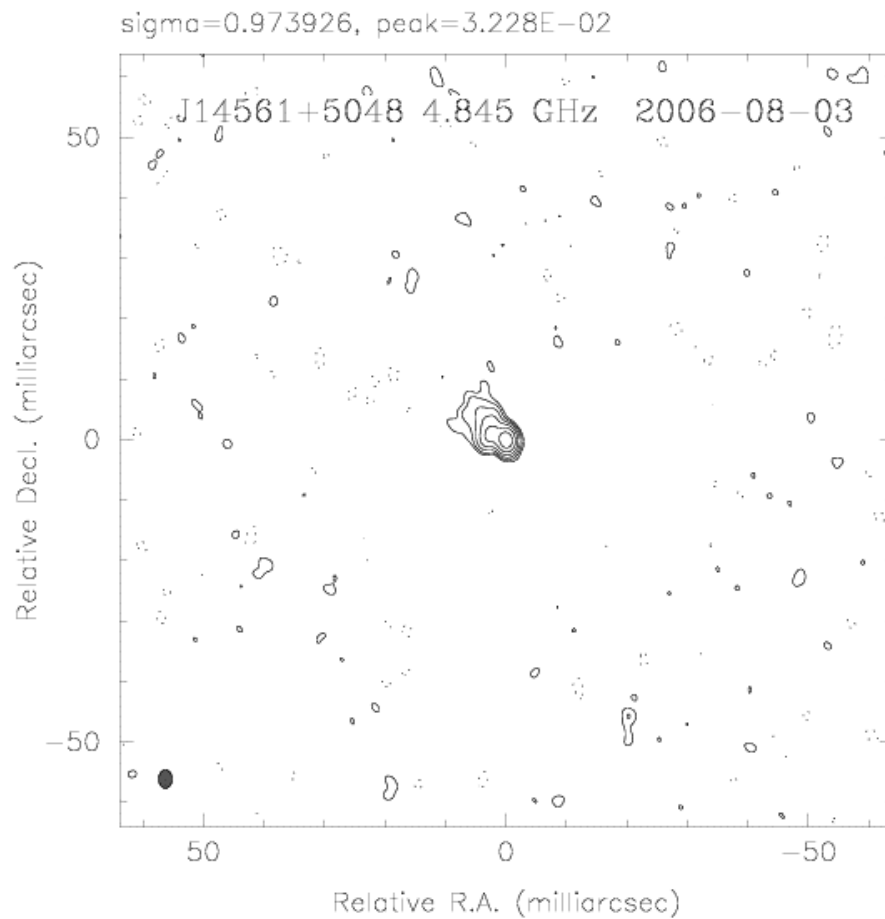
(forrás: <http://sundog.stsci.edu>)

A Swift felbontása alapján a röntgenadatokat a középső, azaz a „B” forrásra mérte, ami a 18. ábrán is látható (sárga karikával jelölve).

| <b>14. táblázat: VLBA felmérés 5 GHz-en</b>       |                                        |
|---------------------------------------------------|----------------------------------------|
| (forrás: Helmboldt et al. 2007)                   |                                        |
| Név (az „A” jelű objektum)                        | VIPS J14561+5048                       |
| R.A. ([h:m:s], J2000)                             | 14:56:08.1199                          |
| DE. ([°:':"], J2000)                              | 50:48:36.307                           |
| CLASS fluxussűrűség (8,4 GHz)                     | 259,2 mJy ( <i>Myers et al. 2003</i> ) |
| VLBI fluxussűrűség (5 GHz)                        | 60,6 mJy                               |
| Forrás típus                                      | Mag és jet                             |
| Jet pozíciós szöge<br>(északról kelet felé mérve) | 47,4°                                  |
| VLBA felbontása                                   | 0,005''                                |

| <b>15. táblázat: CLASS felmérés adatai</b> |                   |
|--------------------------------------------|-------------------|
| (forrás: Myers et al. 2003)                |                   |
| Név                                        | GB6 145607+504825 |
| CLASS 8,4 GHz-es fluxussűrűség             | 259,2 mJy         |
| Felbontás                                  | 0,2''             |

A 14. táblázatban szereplő forrás nevében található VIPS rövidítés jelentése: VLBA (Very Long Baseline Array) Imaging and Polarimetry Survey. A VLBI nagyon nagy bázisvonalú interferometriáról (Very Long Baseline Interferometry) már a bevezetőben többet is írtam. A 15. táblázatban lévő CLASS felmérés neve: The Cosmic Lens All-Sky Survey. 1994 és 1999 között 13783 rádióforrást figyelt meg a VLA A konfigurációjával (8,4 GHz), amelynek a felbontása így 0,2''.



**19. ábra: A VLBA által készített rádiótérkép az „A” jelű forrásra**

(forrás: <http://www.phys.unm.edu/~gbtaylor/VIPS/vipsdat/J14561+5048.shtml>)

A nagy felbontású VLBA rádióképen látható a blazárokra jellemző kompakt mag és egyoldali jet szerkezetet.

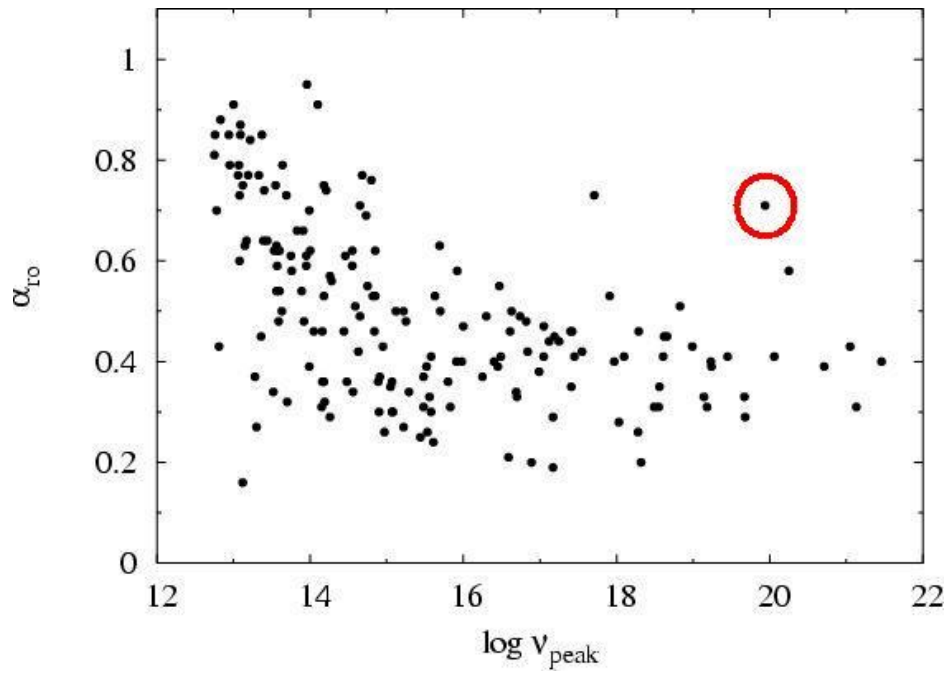
#### 4.4. Egy a szakirodalomban fellelhető cikk értékelése

| <b>16. táblázat: Adatok a BL Lac objektumok spektrális energia-eloszlásáról</b><br>(forrás: Nieppola et al. 2006) |                                             |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------|
| Név                                                                                                               | RXS J1456.0+5048                            |
| R.A. ([h:m:s], J2000)                                                                                             | 14:56:03.7                                  |
| DE. ([°:':"], J2000)                                                                                              | 50:48:25                                    |
| Szinkrotron csúcs frekvencia logaritmusa                                                                          | $\log \nu_{\text{peak}} = 19,94 \text{ Hz}$ |
| Típus                                                                                                             | HBL (High-energy-peak BL Lac)               |

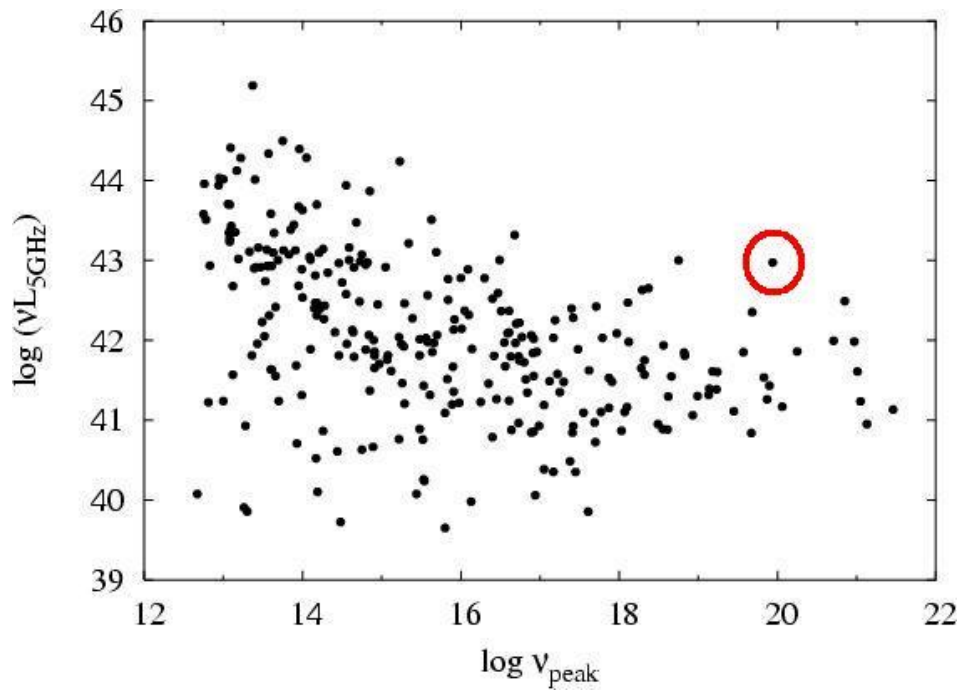
A cikkben összeállították a Metsähovi Radio Observatory BL Lac mintájának a többfrekvenciás adatait (5 GHz, 32 GHz, 5500 Å). Ezeknek a forrásoknak kiszámították a spektrális energia-eloszlását (SED,  $\log \nu F$  a  $\log \nu$  függvényében). Erre illesztettek parabolafüggvényt, hogy meg tudják határozni a szinkrotron csúcs frekvenciát ( $\log \nu_{\text{peak}}$ ). Ezek után megnézték, hogy a luminozítás hogyan függ a szinkrotron csúcs helyétől.

A mi esetünkben a probléma már a szinkrotron csúcs meghatározásánál is felmerül, hogy ha nem helyesen megmért rádió fluxussűrűségek felhasználásával illesztnek parabolát. A Nieppola et al. (2006) cikkből vett, példaként mellékelt két ábrán (20. és 21. ábra) be van jelölve a dolgozatomban szereplő forrás (piros karika). A 20. képen a rádió-optikai színképindexet ábrázolják a csúcs frekvencia logaritmusának ( $\log \nu_{\text{peak}}$ ) függvényében, a teljes mintára. Viszont az eddig általam összegyűjtött adatokból nyilvánvaló, hogy az erős rádióforrás az „A” jelű objektum, ami optikai tartományban annyira halvány, hogy az SDSS-ben szinte nem is látszik. A másik, a „B” jelű forrás pedig rádióban halvány, viszont erős aktivitást mutat röntgenben, valamint optikai megfelelője is fényes. A publikációban a két forrást azonosnak tekintették a színképindex és az SED meghatározásánál.

A 21. képen látható, hogy a minta többi tagjához képest nagy rádió luminozítás párosul hozzá, ami nem meglepő, hiszen ahonnan az 5 GHz-es fluxussűrűséget vették, ott nem csak egy, hanem több forrásra egyszerre mérték meg az adatot, a távcső elégtelen felbontása miatt (Laurent-Muehleisen et al. 1997).



20. ábra: Rádió-optikai színeképindex, a csúcs frekvencia logaritmusának függvényében. A forrásom piros karikával van bejelölve.  
(forrás: Nieppola et al. 2006)



21. ábra: Az 5 GHz-es rádió luminozitást a csúcs frekvencia függvényében (logaritmikus skálán).  
(forrás: Nieppola et al. 2006)

## 5. Összefoglalás

Az aktív galaxismagokból származó sugárzás az elektromágneses spektrum teljes tartományát lefedi. A nagy teljesítménnyel sugárzó objektumok energiájukat egy, a középpontban elhelyezkedő, hatalmas tömegű fekete lyuk környezetéből nyerik. A rádiósugárzó aktív galaxismagoknak aszerint, hogy a látóirányukhoz képest hogyan helyezkednek el, több típusát is megfigyelhetjük: kvazárok, blazárok, rádió galaxisok.

Az itt említett objektumok a Világegyetem legidősebb, legnagyobb teljesítménnyel sugárzó, ezáltal a legmesszebről megfigyelhető extragalaktikus forrásai közé tartoznak. Emiatt, mint már a dolgozatom elején is említettem, nagyon fontos a csillagászok számára az aktív galaxismagok vizsgálata:

- A fekete lyukak tanulmányozása céljából
- A galaxismag és a galaxis kölcsönhatásának vizsgálata céljából
- A Világegyetem szerkezetéről, fejlődéséről új információkat kapni
- Kozmológiai fejlődési modellek ellenőrzésére

Ezért fontos, hogy minél több, pontosabb információt tudjunk meg az ilyen objektumok fizikai tulajdonságairól, felépítéséről, fejlődéséről.

A dolgozatomban én is ilyen extragalaktikus forrásokkal foglalkoztam. A célom az volt, hogy a J1456+5048 nevű objektumot vizsgáljam meg. Ez a forrás azért érdekes és tanulságos számunkra, mert ritkán fordul elő az, hogy három objektum egymáshoz ennyire közel legyen látható. Ez a látszólagos közelség azért okozhat nagy problémát, mert a korai égboltfelmérések felbontása nagyon gyenge volt ahhoz, hogy az említett objektumokat el tudják különíteni egymástól. Így olyan mérési adatokat kaptak, amik nem egy, hanem két, vagy akár mindhárom forrásra egyszerre vonatkoztak (lásd: ROSAT, Green Bank). Emiatt hibásan kerültek bele olyan tanulmányokba is, amelyek a blazárok alapvető tulajdonságaival foglalkoznak, kisebb vagy nagyobb megfigyelt minták adatainak felhasználásával.

A munkamódszerem az volt, hogy a NED és a benne fellelhető publikációk, katalógusok segítségével összegyűjtöttem a forrásokra vonatkozó adatokat, és kiderítettem, hogy melyik mérés pontosan melyik objektumra (vagy objektumokra)

vonatkozhatott. Az adatok összegyűjtése után én a következő jellemzőket gyűjtöttem össze a három forrásról („A”, „B” és „C” jelöléseket ld. a 7. ábrán):

„A” nevű forrás: Az adatokból kiderült, hogy ez az objektum egy blazár. Erős rádió emissziót mutat, röntgenben gyenge. Optikai tartományban a fényessége az SDSS felmérés határmagnitúdója közelébe esik, ezért lényegében nem is lehet látni az általa készített képeken. Halványsága miatt színeképvonalainak vöröseltolódása sem ismert. A dolgozatomban található nagy felbontású (VLBI) rádió képen is látható, hogy a forrás egy kompakt magból, és egy belőle kiinduló egyoldali jetből áll. Ez jellemző a blazárookra.

„B” nevű forrás: Erős röntgen–emisszióval rendelkezik, viszont rádióban sokkal halványabb, mint az A jelű forrás. Az SDSS felmérés alapján sikerült az optikai azonosítása. (Érdekesség, hogy ugyanannak a színeképnek a felhasználásával két jelentősen különböző vöröseltolódást is mértek.)

„C” nevű forrás: Rádióban kevés adat található róla. Nem mondható erősnek, már a VLA FIRST felmérés felbontása mellett is kiterjedtnek (nem pontszerűnek) tűnik. Optikai azonosítása kétséges.

A források beazonosítása után megállapítottam, hogy léteznek olyan publikációk, amelyekbe valóban hibásan kerültek bele az adatok. Az előző fejezetben részletesen bemutattam egy ilyen esetet (*Nieppola et al. 2006*).

A források adatainak rendszerezése után a következő fontos kérdés merült fel: vajon milyen kapcsolat lehet a három forrás között? A következő lehetőségek képzelhetők el:

- Előfordulhat, hogy a három objektum („A”, „B” és „C”) fizikailag összetartozik
- Látszólagos közelségüket gravitációs lencsehatás okozza. Ez azt jelenti, hogy a földi megfigyelő és egy távolabbi objektum közé, pontosan a távoli objektum irányába egy nagy tömeg, például egy galaxis esik. Ekkor a fény útja meggömbül, ezáltal a távolabbi objektum fényét felerősítheti, eltorzíthatja, sőt megdőbbszörözheti a képét.

- Véletlen egybeesés, vagyis az objektumok tőlünk mért távolsága eltérő, csak véletlenül az égbolt ugyanarra a területére esnek.

Ha feltételeznénk, hogy az „A”, „B” és „C” források tőlünk egyforma távolságban, egymás mellett vannak, akkor megbecsülhetjük az egész rendszer méretét. Az elfogadott kozmológiai modell (Hubble-állandó  $H_0=71$  km/s/Mpc,  $\Omega_m=0,27$  és  $\Omega_\Lambda=0,73$ ) alapján,  $z=0,479$  vöröseltolódást alapul véve 1” szögméretnek 5,49 kpc méret felel meg<sup>7</sup>. Így az „A” és „C” kb. 2’-es távolsága (7. ábra) kb. 660 kpc. Ez megfelelhetne akár egy nagyobb rádiógalaxisnak is, amelyekből 1 Mpc-et meghaladó méretűeket is ismerünk. Ha az adatbázisokban található másik vöröseltolódással ( $z=1,379$ ) végezzük el a számítást, kb. 1 Mpc méretet kapunk.

A VLBI technikával készített képen (19. ábra) az „A” nevű forrásnak jól látható az anyagsugara. Ez a jet bal oldalra (pontosabban északkeleti irányban) indul, tehát el lehet mondani erre, hogy feltehetőleg nincs köze a tőle távolabb, de mellette jobbra (nyugat felé) lévő „B” forráshoz. Ez utalhat arra, hogy az „A” és „B” objektum nincs fizikai kapcsolatban.

Fizikai összetartozásukat legkönnyebben a vöröseltolódásuk megméréseével lehetne kizárni. Mivel csak a „B” forrásra van ilyen adat, és az „A” forrás elég halvány, sőt gyakorlatilag nem is lehet látni az SDSS képein, ezért egy az SDSS-nél jobb érzékenységgű, nagy távcsővel végzett színeképmérésre lenne szükségünk, hogy bizonyossággal megállapíthassuk ezt a tényt. A „C” nevű objektumról sajnos kevés adat állt rendelkezésre. Találtam egy optikai forrást a hozzá tartozó koordinátákhoz közel, de a pozíciók eltérése alapján egyáltalán nem biztos, hogy tényleg erre a rádióforrásra mérték az adatokat.

## 6. Tervek a vizsgálatok folytatásához

A későbbi munkám során szeretnék foglalkozni a három forrás egymással való kapcsolatának vizsgálatával. A rádióforrásokról rendelkezésre állnak archív VLA rádiómérések, amelyek feldolgozásával megválaszolható lenne a kérdés, hogy ebben az

---

<sup>7</sup> <http://www.astro.ucla.edu/~wright/CosmoCalc.html>

esetben szóba jöhet-e a gravitációs lencsehatás. Érdekes lenne utánanézni annak is, hogy a dolgozatomban megemlített példán kívül milyen más adatbázisokba, tudományos cikkekbe került bele hibásan a J1456+5048 jelű objektum, és ez milyen gondot okozhat az ott levont következtetések szempontjából. Arra is szeretnék még becslést adni, hogy mennyire egyedi a vizsgált eset, vagyis hogy hány ehhez hasonló objektum található még, amelyekről a korábban használt eszközök vagy különböző hullámsávokban végzett megfigyelések alacsony felbontása, rossz pozíciós pontossága miatt kevésbé megbízható adatok állnak rendelkezésünkre, és ennek következtében szintén helytelenül kerülhettek a publikációkba.

## Rövidítések

- AGN: Active Galactic Nuclei
- ALMA: Atacama Large Millimeter/Submillimeter Array
- CLASS: Cosmic Lens All-Sky Survey
- DE: Deklináció
- DR5: SDSS Data Release 5
- DR9: SDSS Data Release 9
- FIRST: Faint Images of the Radio Sky at Twenty centimeters
- GB: Green Bank
- HBL: High-energy-peak BL Lac
- JVAS: Jodrell Bank - VLA Astrometric Survey
- MAGIC: Major Atmospheric Gamma-Ray Imaging Cherenkov Telescope
- NED: NASA/IPAC Extragalactic Database
- NRAO: National Radio Astronomy Observatory
- NVSS: NRAO VLA Sky Survey
- POSS: Palomar Observatory Sky Survey
- QSO: Quasi Stellar Object
- QSR: Quasi Stellar Radio Source
- RA: Rektaszscenzió
- RASS: ROSAT All-Sky Survey
- RBSC: ROSAT All-Sky Bright Source Catalogue
- ROSAT: ROentgen SATellite
- SDSS: Sloan Digital Sky Survey
- VIPS: VLBA Imaging and Polarimetry Survey
- VLA: Very Large Array
- VLBI: Very Long Baseline Interferometry
- VSOP: VLBI Space Observatory Program
- WISE: Wide-field Infrared Survey Explorer

## Ábrajegyzék

|                                                                                                                                         |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1. ÁBRA: EGY AKTÍV GALAXISMAG SZEMLÉLTETÉSE.....                                                                                        | 9  |
| 2. ÁBRA: AZ ELEKTROMÁGNESES SPEKTRUM TARTOMÁNYAI.....                                                                                   | 10 |
| 3. ÁBRA: A VLA INTERFEROMÉTER .....                                                                                                     | 12 |
| 4. ÁBRA: A WOLTER-FÉLE RÖNTGENTÁVCSŐ MŰKÖDÉSI ELVE .....                                                                                | 14 |
| 5. ÁBRA: WHIPPLE OBSZERVATÓRIUM (100 GeV–10 TeV).....                                                                                   | 16 |
| 6. ÁBRA: A MAGIC CSERENKOV-TÁVCSŐ.....                                                                                                  | 16 |
| 7. ÁBRA: VLA FIRST KÉPKIVÁGÁS A KÉRDÉSES TERÜLETRŐL .....                                                                               | 18 |
| 8. ÁBRA: KÉPKIVÁGÁS A TERÜLETRŐL.....                                                                                                   | 20 |
| 9. ÁBRA: RASS KÉPKIVÁGÁS .....                                                                                                          | 21 |
| 10. ÁBRA: VLA FIRST FELMÉRÉS ÁLTAL KIVÁGOTT ÉGTERÜLET.....                                                                              | 25 |
| 11. ÁBRA: AZ NVSS 1,4 GHz-ES TÉRKÉPE .....                                                                                              | 25 |
| 12. ÁBRA: VLA FIRST KÉPKIVÁGÁS .....                                                                                                    | 26 |
| 13. ÁBRA: VLA FIRST KÉPBŐL KIVÁGOTT ÉGTERÜLET ÉS A „B” FORRÁS OPTIKAI KÉPE AZ<br>SDSS ALAPJÁN .....                                     | 29 |
| 14. ÁBRA: A „B” JELŰ FORRÁS VÖRÖSELTOLÓDÁSÁNAK ELSŐ VIZSGÁLATA A SPEKTRUMA<br>ALAPJÁN .....                                             | 29 |
| 15. ÁBRA: A „B” JELŰ FORRÁS VÖRÖSELTOLÓDÁSÁNAK MÁSODIK VIZSGÁLATA A<br>SPEKTRUMA ALAPJÁN .....                                          | 30 |
| 16. ÁBRA: A VLA FIRST KÉPKIVÁGÁS ÉS AZ „A”, ILLETVE „C” FORRÁS OPTIKAI KÉPE AZ<br>SDSS ALAPJÁN .....                                    | 31 |
| 17. ÁBRA: A WISE 4 SÁVJÁBAN KÉSZÜLT INFRAVÖRÖS KÉPEK A FORRÁSOKRÓL .....                                                                | 33 |
| 18. ÁBRA: KÉPKIVÁGÁS A VLA FIRST FELMÉRÉSBŐL .....                                                                                      | 34 |
| 19. ÁBRA: A VLBA ÁLTAL KÉSZÍTETT RÁDIÓTÉRKÉP AZ „A” JELŰ FORRÁSRA .....                                                                 | 36 |
| 20. ÁBRA: RÁDIÓ-OPTIKAI SZÍNKÉPINDEX, A CSÚCS FREKVENCIA LOGARITMUSÁNAK<br>FÜGGVÉNYÉBEN. A FORRÁSOM PIROS KARIKÁVAL VAN BEJELÖLVE. .... | 38 |
| 21. ÁBRA: AZ 5 GHz-ES RÁDIÓ LUMINOZITÁST A CSÚCS FREKVENCIA FÜGGVÉNYÉBEN<br>(LOGARITMIKUS SKÁLÁN). ....                                 | 38 |

## Táblázatjegyzék

|                                                                          |    |
|--------------------------------------------------------------------------|----|
| 1. TÁBLÁZAT: RÖNTGEN- ÉS GAMMA-TÁVCSÖVEK.....                            | 17 |
| 2. TÁBLÁZAT: ROSAT ÁLTAL MÉRT ADATOK .....                               | 19 |
| 3. TÁBLÁZAT: ROSAT: AKTÍV GALAXISOK AZONOSÍTÁSA .....                    | 22 |
| 4. TÁBLÁZAT: GB6 KATALÓGUSBÓL VETT ADATOK .....                          | 22 |
| 5. TÁBLÁZAT: RBSC KATALÓGUSBÓL VETT ADATOK .....                         | 23 |
| 6. TÁBLÁZAT: A FIRST ADATBÁZIS KATALÓGUSA .....                          | 23 |
| 7. TÁBLÁZAT: RBSC-NVSS MINTÁK.....                                       | 24 |
| 8. TÁBLÁZAT: RÁDIÓHANGOS AKTÍV GALAXISOK A ROSAT FELMÉRÉSBEN .....       | 26 |
| 9. TÁBLÁZAT: JVAS FORRÁSOK OPTIKAI AZONOSÍTÁSA .....                     | 27 |
| 10. TÁBLÁZAT: SDSS OPTIKAI FELMÉRÉS ADATAI .....                         | 28 |
| 11. TÁBLÁZAT: SDSS FOTOMETRIAI KATALÓGUS .....                           | 31 |
| 12. TÁBLÁZAT: A WISE FELMÉRÉS ADATAI.....                                | 32 |
| 13. TÁBLÁZAT: SWIFT–XRT PONT FORRÁSOK KATALÓGUSA .....                   | 34 |
| 14. TÁBLÁZAT: VLBA FELMÉRÉS 5 GHz-EN .....                               | 35 |
| 15. TÁBLÁZAT: CLASS FELMÉRÉS ADATAI.....                                 | 35 |
| 16. TÁBLÁZAT: ADATOK A BL LAC OBJEKTUMOK SPEKTRÁLIS ENERGIA-ELOSZLÁSÁRÓL | 37 |

## Felhasznál irodalom

- Adelman-McCarthy J.K.; Agüeros M.A.; Allam S.S. et al.: The Fifth Data Release of the Sloan Digital Sky Survey. The Astrophysical Journal. Supplement Series 172, 634-644 (2007)
- Adelman-McCarthy J.K.; Abazajian K.N.; Agüeros M.A. et al.: The Seventh Data Release of the Sloan Digital Sky Survey. The Astrophysical Journal. Supplement Series 182, 543-558 (2009)
- Ahn C.P.; Alexandroff R.; Allende Prieto C. et al.: The Ninth Data Release of the Sloan Digital Sky Survey: First Spectroscopic Data from the SDSS-III Baryon Oscillation Spectroscopic Survey. The Astrophysical Journal Supplement Series 203, 21 (2012)
- Anderson S.F.; Margon B.; Voges W. et al.: A Large, Uniform Sample of X-Ray-emitting Active Galactic Nuclei from the ROSAT All Sky and Sloan Digital Sky Surveys. The Astronomical Journal 133, 313-329 (2007)
- Bauer F.E.; Condon J.J.; Trinh X.T. et al.: RBSC-NVSS Sample. I. Radio and Optical Identifications of a Complete Sample of 1556 Bright X-Ray Sources. The Astrophysical Journal. Supplement Series 129, 547-562 (2000)
- Brinkmann W.; Siebert J.; Feigelson E.D. et al.: Radio-loud active galaxies in the northern ROSAT All-Sky Survey. II. Multi-frequency properties of unidentified sources. Astronomy and Astrophysics 323, 739-748 (1997)
- Condon J.J.; Cotton W.D.; Greisen E.W. et al.: The Astronomical Journal 115, 1693-1716 (1998)
- Cutri R.M. et al., WISE All-Sky Data Release, <http://wise2.ipac.caltech.edu/docs/release/allsky/expsup/index.html> (2012)
- D'Elia V.; Perri M.; Pucetti S. et al.: The seven year Swift-XRT point source catalog (1SWXRT). Astronomy and Astrophysics 551, A142 (2013)
- Frey S.: Kvazárok. Meteor csillagászati évkönyv 2003, 222. o.
- Frey S.: Rádiógalaxisok és kvazárok: égi háromszögelési pontok. Meteor csillagászati évkönyv 1998, 178-187. o.
- Frey S.: Az Univerzum, amelyben élünk: Extragalaktikus csillagászat. Magyar Tudomány 2004/6, 732. o.

- Gabányi K.: Kvazárok gyors fényességváltozásai rádiótartományban. Fizikai Szemle 2009/10, 354. o.
- Gregory P.C.; Scott W.K.; Douglas K. et al.: The GB6 Catalog of Radio Sources. The Astrophysical Journal. Supplement Series 103, 427-432 (1996)
- Helmboldt J.F.; Taylor G.B.; Tremblay S. et al.: The VLBA Imaging and Polarimetry Survey at 5 GHz. The Astrophysical Journal. Supplement Series 658, 203-216 (2007)
- Laurent-Muehlesien S.A.; Kollgard R.I.; Ryan P.J. et al.: Radio-loud active galaxies in the northern ROSAT All-Sky Survey. I. Radio identifications. Astronomy and Astrophysics 122, 235-247 (1997)
- Myers S.T.; Jackson N.J.; Browne W.A. et al.: The Cosmic Lens All-Sky Survey – I. Source selection and observations. Monthly Notices of the Royal Astronomical Society 341, 1-12 (2003)
- Nieppola E.; Tornikoski M.; Valtaoja E.: Spectral energy distribution of a large sample of BL Lacartae objects. Astronomy and Astrophysics 445, 441-450 (2006)
- Reich W.; Fuerst E.; Reich P. et al.: Radio-loud active galaxies in the northern ROSAT All-Sky Survey. IV. Properties of sources stronger than 100 mJy at 5 GHz. Astronomy and Astrophysics 363, 141-153 (2000)
- Snellen I.A.G.; McMahon R.G.; Hook I.M. et al.: Automated optical identification of a large complete northern hemisphere sample of flat-spectrum radio sources with  $S_{6\text{cm}} > 200$  mJy. Monthly Notices of the Royal Astronomical Society 329, 700-746 (2002)
- Szatmáry K., Kiss L., Mészáros Sz., Vinkó J.: Röntgen- és gammacsillagászat. Meteor csillagászati évkönyv 2002, 244. o.
- Szatmáry K., Szabados L.: Űrtávcsövek. Meteor csillagászati évkönyv 2009, 333. o.
- Voges W.; Aschenbach B.; Boller T. et al.: The ROSAT All-Sky Survey bright source catalogue. Astronomy and Astrophysics 349, 389-405 (1999)
- White R.L., Becker R.H.: A new Catalog of 30.239 1.4 GHz sources. The Astrophysical Journal Supplement Series 79, 331-467 (1992)

## Felhasznált internetes források

- ALMA honlap: <http://www.almaobservatory.org/en/about-alma>
- ELTE csillagászati tanszék honlapja: <http://astro.elte.hu/icsip>
- CADE (Centre d'Analyse de Données Etendues) honlap: <http://cade.irap.omp.eu/dokuwiki/doku.php?id=rass>
- Radioastron honlap: <http://www.asc.rssi.ru/radioastron/documents/docs.html>
- NED (NASA/IPAC Extragalactic Database) honlap: <http://ned.ipac.caltech.edu/>
- NRAO honlap: <http://www.vla.nrao.edu/>
- SWIFT honlap: [http://swift.gsfc.nasa.gov/about\\_swift/#science](http://swift.gsfc.nasa.gov/about_swift/#science)
- WISE honlap: <http://wise.ssl.berkeley.edu/astronomers.html>

## 1. Függelék

Dolgozatomban a J1456+5048 jelű extragalaktikus forrás vizsgálatával foglalkozom. Ez az objektum azért került az érdeklődésem középpontjába, mert a mai jobb felbontású távcsövek lehetővé tették azt az észrevételt, hogy ennél a koordinátánál három forrás is található egymáshoz nagyon közel (közelségük kb.:  $2''$ ). Ebből kiindulva, a csillagászati katalógusokban és a szakirodalomban végzett kutatásaim alapján sikerült azt az észrevételemet bebizonyítanom, miszerint a korábbi röntgen-, rádió-, gamma-felmérések felbontása nem volt elég jó ahhoz, hogy ezeket a forrásokat el tudják különíteni egymástól, így az észlelt sugárzást nem egy, hanem kettő, vagy esetleg mindhárom forrásra egyszerre mérték. Ez azért nagy probléma, mert olyan későbbi publikációkba kerültek bele a rosszul azonosított források (összekeverték a forrásokra vonatkozó adatokat), amelyek a blazárok alapvető tulajdonságaival foglalkoznak, és így akár helytelen következtetéseket vonhattak le. Munkám során a kérdéses három forrásról gyűjtöttem össze adatokat. Ehhez a NED adatbázisát használtam fel, melyben sok publikációt, katalógust találtam a témámhoz. A kutatásom célja az volt, hogy az összegyűjtött adatok segítségével kiderítsem, hogy melyik mérés pontosan melyik objektumra vonatkozhatott, így tisztázzam a lehetséges szakirodalmi tévedések hátterét és következményeit. Az információk rendszerezése után sikerült a forrásokat beazonosítanom. Találtam hibás azonosításokat, illetve a dolgozatomban fellelhető egy olyan publikáció is, amely a blazárok tulajdonságaival foglalkozik, és az általam vizsgált források adatai valóban hibásan kerültek bele. Természetesen felmerült a kérdés, hogy vajon minek köszönhető a közelségük: gravitációs lencsehatás okozza, tőlünk mért távolságuk eltérő, csak véletlenül az égbolt ugyanazon területére esnek vagy esetleg fizikailag összetartoznak. Ezenkívül még az is szóba jött, hogy hány ehhez hasonló forrás található még a szakirodalomban, amelyekről a korábban használt eszközök vagy különböző hullámsávokban végzett megfigyelések alacsony felbontása, rossz pozíciós pontossága miatt kevésbé megbízható adatok állnak a rendelkezésünkre, és ennek következtében szintén helytelenül kerülhettek bele a publikációkba. Ezen kérdések megválaszolására folytatott kutatásom még folyamatban van. Jelenleg további 44 esetet vizsgálok, melyeket a ROSAT és FIRST katalógusokból szűrtem ki, a dolgozatomban található forrásokra is érvényes kiválasztási feltételek alapján.

Utolsó módosítás dátuma: 2014.04.30.

