Gimnazija „Fran Galović“ Koprivnica
Željka Seligera 3a, Koprivnica
Koprivničko – križevačka županija
Šk. god. 2013./2014.
Rad dovršen 12. 3. 2014.

Analiza bljeskova iz odabranih aktivnih galaktičkih jezgara opažanih satelitom RXTE u tri rendgenska područja

Učenica: Kludija Molnar,
4.d

Mentor: Ljubomir Car
profesor fizike
ljubomir.car@gmail.com

SADRŽAJ

Sažetak……3

Uvod…….……..……4

Opis problema, pretpostavke i hipoteze….……...…..6

Mjerenja i metode obrade…….……..……7

Rezultati……..…….……..……20

Rasprava……23

Zaključak……..…….26

Životopis……...27

Zahvala…….……..…28

Popis literature…….……..…29

Prilozi…….…….…..30

SAŽETAK

Aktivna galaktička jezgra je kompaktno područje u središtu daleke galaksije koje ima luminoznost znatno veću od normalne i to barem u jednom od sljedećih područja elektromagnetskog spektra: radiovalovima, infracrvenom zračenju, vidljivoj ili ultraljubičastoj svjetlosti te u rendgenskom ili gama-području. Luminoznost aktivne galaktičke jezgre veća je od normalne bilo u nekoliko područja bilo u svim navedenim područjma elektromagnetskog spektra. Većina opažanja aktivnih galaktičkih jezgra, osim u radiovalovima i vidljivoj svjetlosti, obavlja se pomoću detektora na satelitima. Posebno je dobro pokriveno rendgensko područje za koje postoje javno dostupne baze podataka iz kojih se mogu dobiti krivulje sjaja mnogih izvora (luminoznost u ovisnosti o vremenu). Luminoznost aktivnih galaktičkih jezgri vrlo je promjenjiva i povremeno se događaju nagli porasti i padovi koje nazivamo bljeskovima (engl. *flare*). Kako javna baza podataka satelita RXTE (Rossi X-ray Timing Explorer) sadrži krivulje sjaja u tri rendgenska podpodručja, može se ispitati hipoteza koreliranosti bljeskova u različitim područjima, te hipoteza neovisnosti te korelacije o vrsti i udaljenosti aktivne galaktičke jezgre.

Javno dostupna baza podataka opažanja aktivnih galaktičkih jezgri u rendgenskom području, *RXTE AGN Timing & Spectral Database*, može se naći na mrežnoj stranici http://cass.ucsd.edu/~rxteagn/. Za crtanje krivulja sjaja i korelacijskih plotova te za računanje korelacija koristit će se profesionalni i javno dostupni alat za crtanje i analizu podataka CERN ROOT(http://root.cern.ch/drupal/).

RXTE AGN Timing & Spectral Database sadrži krivulje sjaja, pomake crvenome i druge podatke za 124 aktivne galaktičke jezgre koje je satelit RXTE opažao između prosinca 1995. i siječnja 2012. godine. Sve krivulje sjaja dane su u ASCII-formatu, za energijsko područje od 2 do 10 keV. Za luminoznije objekte također su dane krivulje sjaja u tri podpodručja: 2-4 keV, 4-7 keV i 7-10 keV. Ideja je pronaći upravo takve objekte, izdvojiti njihove bljeskove i ispitati korelaciju promjene luminoziteta sva tri podpodručja, a zatim provjeriti je li eventualni izostanak korelacije povezan s udaljenošću aktivne galaktičke jezgre ili vrstom aktivne galaktičke jezgre.

UVOD

Prošle godine kao praktični rad iz astronomije radila sam korelaciju optičkog, rendgendskog i gama-zračenja iz aktivne galaktičke jezgre Mkn 421. Upravo iz tog razloga ove se godine bavim sličim područjem astrofizike, zračenjem aktivnih galaktičkih jezgara u rendgenskom području, dakle glavni objekti rada su, kao i prošle godine, aktivne galaktičke jezgre.

Aktivna galaktička jezgra je kompaktno područje u središtu daleke galaksije, ima drugačiji spektar zračenja od običnih zvijezda, ona emitira u cijelom području elektromagnetskih valova. Uzrok pojačane aktivnosti galaksije može biti ubrzana proizvodnja zvijezda ili mnogostruke supernove. No, aktivnost aktivnih galaktičkih jezgara najvjerojatnije proizlazi iz akrecije mase na supermasivnu crnu rupu u središtu galaksije. Luminoznost aktivnih galaktičkih jezgara vrlo je promjenjiva i povremeno se događaju nagli porasti i padovi koje nazivamo bljeskovima (engl. *flare*). Aktivna galaktička jezgra ima luminoznost znatno veću od normalne i to barem u jednom od sljedećih područja elektromagnetskog spektra: radiovalovima, infracrvenom zračenju, vidljivoj ili ultraljubičastoj svjetlosti te u rendgenskom ili gama-području. Većina opažanja aktivnih galaktičkih jezgara, osim u radiovalovima i vidljivoj svjetlosti, obavlja se pomoću detektora na satelitima. Posebno je dobro pokriveno rendgensko područje za koje postoje javno dostupne baze podataka iz kojih se mogu dobiti krivulje sjaja mnogih izvora (luminoznost u ovisnosti o vremenu).

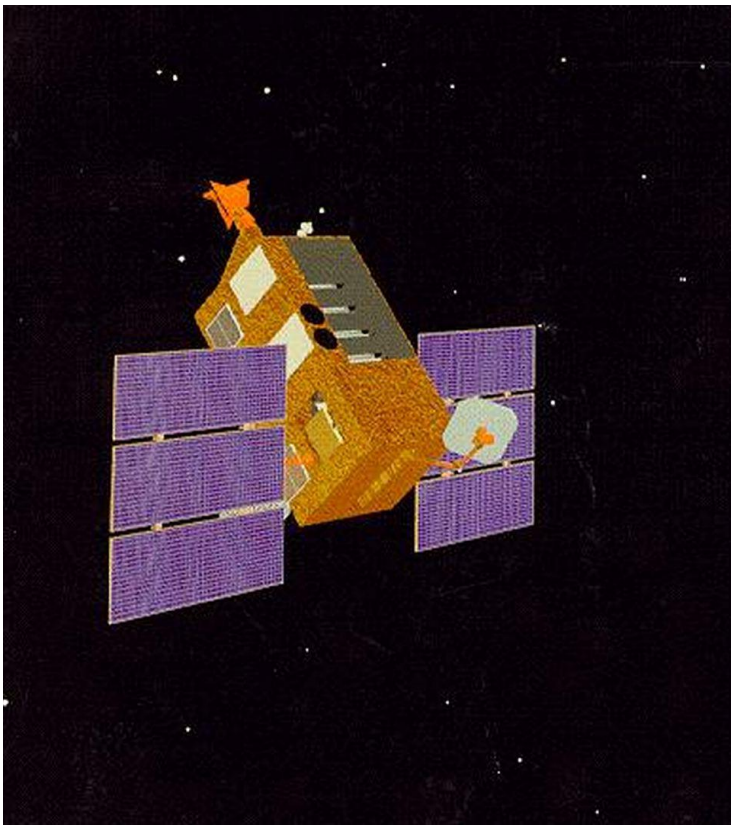
Područje rendgenskog dijela spektra (X-zračenje) nastavlja se na kraćim valnim duljinama od UV-zračenja, pa do oko 0,01 nm. Obično se dijeli na: meke rendgenske zrake koje imaju valnu duljinu od 0,1 nm do 10 nm (0,12-12 keV) i koje jednim dijelom zahvaćaju EUV-spektar, te tvrde rendgenske zrake koje imaju valnu duljinu od 0,01 nm do 0,1 nm (12-120 keV) i koje djelomično prekrivaju i dio niskofrekventivnog područja gama-spektra. Granica između mekog i tvrdog rendgenskog zračenja je približno 0,1 nm. Odgovarajući nazivi za područja spektra s „preklapajućim“ valnim duljinama obično se odabiru s obzirom na prirodu nastanka zračenja (npr. tvrdo rendgensko zračenje nastaje u procesima u kojima sudjeluju brzi elektroni, dok je gama-zračenje najčešće posljedica nuklearnih procesa). Kako rendgensko zračenje nebeskih tijela apsorbira Zemljina atmosfera, bilježenja se moraju provoditi pomoću raketa ili satelita. Prvi satelit s isključivom namjenom za opažanje rendgenskog zračenja, poznat pod nazivom Uhuru, izradio je Giacconi sa svojim suradnicima. Bio je to prvi u nizu američkih satelita namijenjenih opažanjima u rendgenskom zračenju i

gama-zračenju nazvanih Small Astronomy Satellite (SAS). Lansiran je 1970. godine. Nosio je dva proporcionalna brojača koji su bilježili rendgensko zračenje tijekom vrtnje satelita (okretao se s periodom od oko pet sati). Misija je trajala više od dvije godine i zabilježeno je preko 300 rendgenskih izvora.

Termičko rendgensko zračenje potječe od plina vrlo velike temperature (veće od milijun kelvina). Veliki broj sjajnih rendgenskih izvora čine bliski dvojni sustavi zvijezda, a rendgensko zračenje svojstveno je ostacima supernova, jezgrama aktivnih galaksija i u bogatim galaktičkim jatima.

Misija RXTE (The Rossi X-ray Timing Explorer) pokrenuta je 30. prosinca 1995. od strane NASE. Letjelica za ispitivanje vremenski brzo promjenljivoga rendgenskoga zračenja, zabilježila je mnogo provala gama-zraka (GRB).

Karakteristike rendgenskog satelita RXTE	
Životni vijek	30. prosinca 1995. – 5. siječnja 2012.
Energijski raspon	2-250 keV



Slika 1. Satelit RXTE

(http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/9/9d/Rxte.jpg/300px-Rxte.jpg)

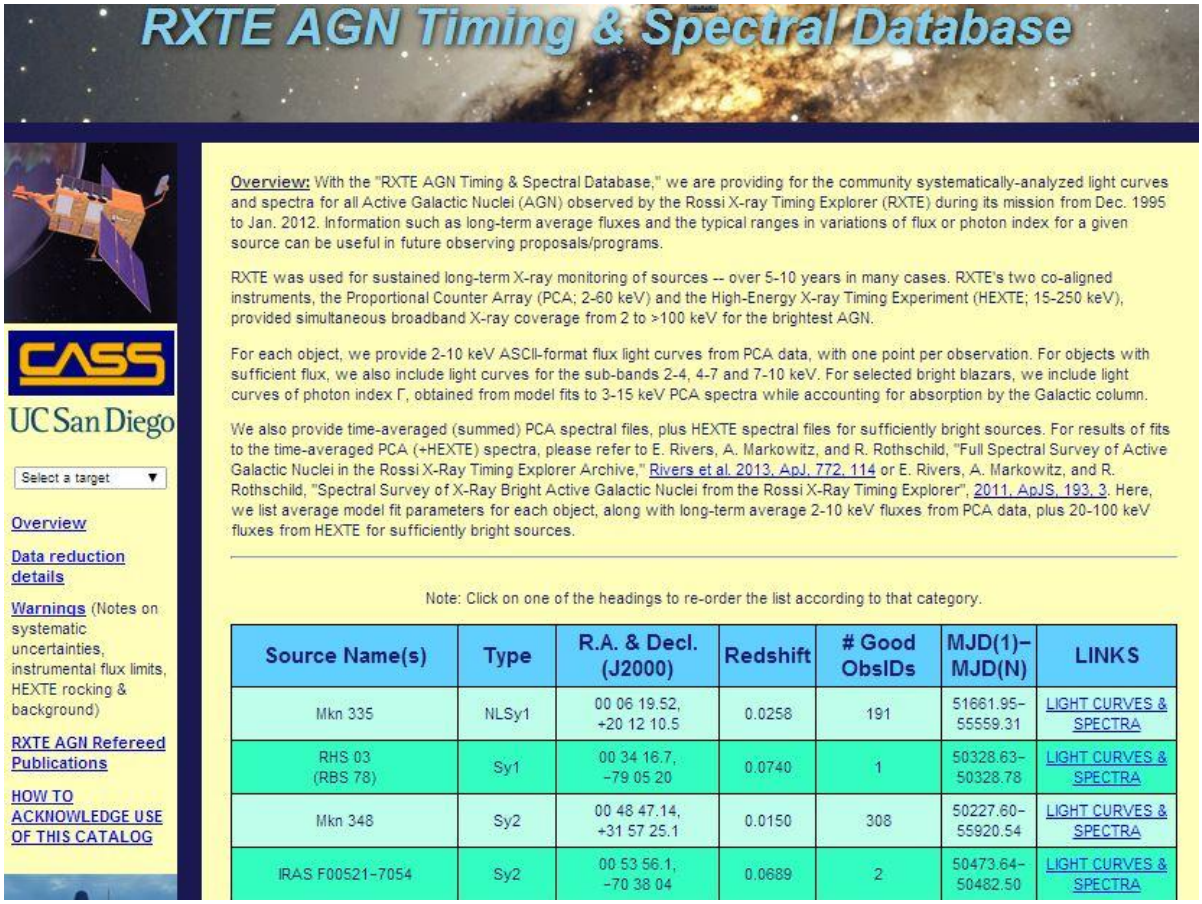
OPIS PROBLEMA, PRETPOSTAVKE I HIPOTEZE

Kako javna baza podataka satelita RXTE (Rossi X-ray Timing Explorer) sadrži krivulje sjaja u tri rendgenska potpodručja, može se ispitati hipoteza koreliranosti bljeskova u različitim područjima, te hipoteza neovisnosti te korelacije o vrsti i udaljenosti aktivne galaktičke jezgre. RXTE AGN Timing & Spectral Database sadrži krivulje sjaja, pomake crvenome i druge podatke za 124 aktivne galaktičke jezgre koje je satelit RXTE opažao između prosinca 1995. i siječnja 2012. godine. Javno dostupna baza podataka opažanja aktivnih galaktičkih jezgara u rendgenskom području, RXTE AGN Timing & Spectral Database, može se naći na mrežnoj stranici http://cass.ucsd.edu/~rxteagn/ . Sve krivulje sjaja dane su u ASCII-formatu, za energijsko područje od 2 do 10 keV. Za luminoznije objekte također su dane krivulje sjaja u tri potpodručja: 2-4 keV, 4-7 keV i 7-10 keV. Ideja je pronaći upravo takve objekte, izdvojiti njihove bljeskove i ispitati korelaciju promjene luminoznosti sva tri potpodručja, a zatim provjeriti je li eventualni izostanak korelacije povezan s udaljenošću aktivne galaktičke jezgre ili vrstom aktivne galaktičke jezgre.

MJERENJE I METODE OBRADE

RXTE AGN TIMING & SPECTRAL DATABASE

Javno dostupna baza podataka opažanja aktivnih galaktičkih jezgara u rendgenskom području. Na mrežnoj stranici nađene su galaksije koje su na sljedećoj stranici podijeljene po vrstama i iznosa crvenog pomaka.



RXTE AGN Timing & Spectral Database

CASS

UC San Diego

Select a target

Overview

Data reduction details

Warnings (Notes on systematic uncertainties, instrumental flux limits, HEXTE rocking & background)

RXTE AGN Refereed Publications

HOW TO ACKNOWLEDGE USE OF THIS CATALOG

Overview: With the "RXTE AGN Timing & Spectral Database," we are providing for the community systematically-analyzed light curves and spectra for all Active Galactic Nuclei (AGN) observed by the Rossi X-ray Timing Explorer (RXTE) during its mission from Dec. 1995 to Jan. 2012. Information such as long-term average fluxes and the typical ranges in variations of flux or photon index for a given source can be useful in future observing proposals/programs.

RXTE was used for sustained long-term X-ray monitoring of sources -- over 5-10 years in many cases. RXTE's two co-aligned instruments, the Proportional Counter Array (PCA; 2-60 keV) and the High-Energy X-ray Timing Experiment (HEXTE; 15-250 keV), provided simultaneous broadband X-ray coverage from 2 to >100 keV for the brightest AGN.

For each object, we provide 2-10 keV ASCII-format flux light curves from PCA data, with one point per observation. For objects with sufficient flux, we also include light curves for the sub-bands 2-4, 4-7 and 7-10 keV. For selected bright blazars, we include light curves of photon index Γ, obtained from model fits to 3-15 keV PCA spectra while accounting for absorption by the Galactic column.

We also provide time-averaged (summed) PCA spectral files, plus HEXTE spectral files for sufficiently bright sources. For results of fits to the time-averaged PCA (+HEXTE) spectra, please refer to E. Rivers, A. Markowitz, and R. Rothschild, "Full Spectral Survey of Active Galactic Nuclei in the Rossi X-Ray Timing Explorer Archive," Rivers et al. 2013, ApJ, 772, 114 or E. Rivers, A. Markowitz, and R. Rothschild, "Spectral Survey of X-Ray Bright Active Galactic Nuclei from the Rossi X-Ray Timing Explorer", 2011, ApJS, 193, 3. Here, we list average model fit parameters for each object, along with long-term average 2-10 keV fluxes from PCA data, plus 20-100 keV fluxes from HEXTE for sufficiently bright sources.

Note: Click on one of the headings to re-order the list according to that category.

Source Name(s)	Type	R.A. & Decl. (J2000)	Redshift	# Good ObsIDs	MJD(1)–MJD(N)	LINKS
Mkn 335	NLSy1	00 06 19.52, +20 12 10.5	0.0258	191	51661.95–55559.31	LIGHT CURVES & SPECTRA
RHS 03 (RBS 78)	Sy1	00 34 16.7, −79 05 20	0.0740	1	50328.63–50328.78	LIGHT CURVES & SPECTRA
Mkn 348	Sy2	00 48 47.14, +31 57 25.1	0.0150	308	50227.60–55920.54	LIGHT CURVES & SPECTRA
IRAS F00521−7054	Sy2	00 53 56.1, −70 38 04	0.0689	2	50473.64–50482.50	LIGHT CURVES & SPECTRA

Slika 2. Izgled mrežne stranice RXTE AGN Timing & Spectral Database (http://cass.ucsd.edu/~rxteagn/)

Sljedeće tablice podijeljene su po vrstama galaksije. Iz iznosa crvenog pomaka lako se može izračunati udaljenost galaksija, za Hubbleov parametar uzeta je vrijednost $H_0=67{,}8\frac{km}{sMpc}$.

Seyfert 1			
GALAKSIJA	**CRVENI POMAK**	**UDALJENOST(Mpc)**	**PERIOD (MJD)**
PG 0804+761	0,1000	374,5	51202,53−53362,83
Fairall 9	0,4700	1193,1	50390,61-52699,51
NGC 4593	0,0090	37,6	52089,04−55926,57
Ark 120	0,0327	132,7	50868,09-52876,74

Tablica 1. Četiri galaksije vrste Seyfert 1[1]

Seyfert 2			
GALAKSIJA	**CRVENI POMAK**	**UDALJENOST(Mpc)**	**PERIOD (MJD)**
Mkn 348	0,0150	62,2	50227,60−55920,54
NGC 4507	0,0118	49,1	50137.50−52816,18
NGC 1052 (Sy2/Radio)	0,0050	20,9	53527,11−55192,48
NGC 2992	0,0077	32,2	53433,58−53763,43

Tablica 2. Četiri galaksije vrste Seyfert 2[2]

[1] Seyfert galaksije tipa I (Sy I) su vrlo snažni izvori ultraljubičastog i rendgenskog zračenja te vidljive svjetlosti koja prodire iz njihove jezgre. Imaju dva sustava emisijskih linija na svom spektru zračenja: tanke linije sa širinama (mjerenima u jedinicama brzine) od nekoliko stotina km/s, i debele linije sa širinama do 104 km/s.

[2] Seyfert galaksije tipa II (Sy II) imaju karakterističnu sjajnu jezgru te se čine svijetlima kad se gledaju na infracrvenim valnim duljinama. U nekim Sy II, analiza spektro-polarimetrijskom tehnikom (spektroskopijom polarizirane svjetlosne komponente) otkrila je zamračene, teže uočljiva područja tipa I.

BL Lac[3]			
GALAKSIJA	**CRVENI POMAK**	**UDALJENOST(Mpc)**	**PERIOD (MJD)**
3C 66A (BZB J0222+4302)	0,4440	1155,7	52901,43−53000,26
1ES 0229+200	0,1400	500,8	55197,85−55926,36
Mkn 421	0,0300	122,1	50143,27−55926,50
Mkn 501 (CRATES J1653+3945)	0,0337	136,5	50296,57−55922,10

Tablica 3. Četiri galaksije vrste BL Lac.

Također je bilo potrebno pogledati kakvu aktivnost imaju aktivne galaksije s malim, a kakvu s velikim iznosom crvenog pomaka.

GALAKSIJA	**CRVENI POMAK**	**UDALJENOST(Mpc)**	**VRSTA**	**PERIOD (MJD)**
NGC 4258 (M106)	0,0015	6,3	Sy2/LINER	50420,70−55924,13
3C 454.3	0,8590	1547,6	FSRQ	53503,03−53619,04
NRAO 530	0,9020	1569,7	FSRQ	54903,59−55151,11
4C 71.07 (CRATES J0841+7053)	2,1720	56099,5[4]	FSRQ[5]	54869,06−55558,34

Tablica 4. Četiri aktivne galaksije poredane po brzini udaljavanja.

[3] BL Lacertae ili BL Lac je jedna vrsta galaksije s akrivnom galaktičkom jezgrom. Za razliku od ostaih tipova aktivnih galaktičkih jezgara, BL Lac-ove jezgre karaterizira velika varijabilnost (u vremenu i intenzitetu) i značajne optičke polarizacije.
[4] to je "comoving distance" koja uključuje i širenje svemira.
[5] FSRQ- blazar.

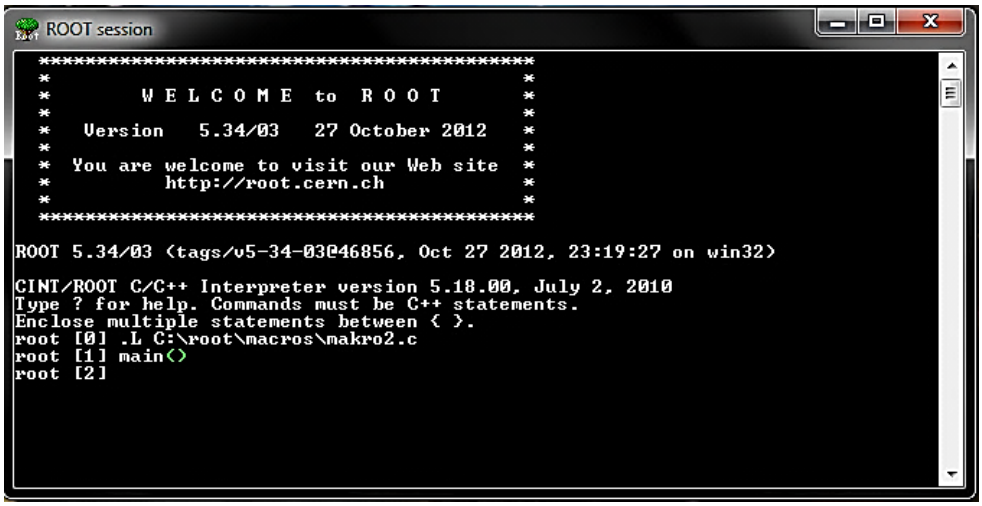
CERN ROOT

Za crtanje krivulja sjaja i korelacijskih plotova te za računanje korelacija glavni alat je profesionalni i javno dostupni alat za crtanje i analizu podataka CERN ROOT (u daljnjem tekstu ROOT) (http://root.cern.ch/drupal/). ROOT pruža objektnu orijentiranu (OO) podršku sa svom funkcionalnošću potrebnom za analiziranje velike količine podataka na vrlo efikasan način. Budući da se podaci definiraju kao skupovi objekata, koriste se specijalizirani načini pohrane kako bi se dobio izravan pristup različitim svojstvima odabranih objekata.

Zahvaljujući ugrađenom interpreteru CINT C++ komandni jezik (skriptirajući, ili makro) i programski jezik su oba C++. Interpreter omogućava brzo izvršavanje makro naredbi. Također je i dobra okolina za učenje jezika C++. Ako su potrebne više performanse, interaktivno napisane makro naredbe mogu se kompajlirati koristeći kompajler C++ preko uređaja zvanog AClicC.

Sistem je dizajniran tako da može pretraživati svoje baze podataka paralelno na više sustava ili višejezgrenim strojevima. ROOT je otvoreni sustav koji se može dinamično proširiti povezivanjem vanjskih resursa. To čini ROOT izvrsnom platformom za gradnju sistema za prikupljanje, simulaciju i analizu podataka.

ROOT projekt je započet u kontekstu NA49 eksperimenta u CERNu. NA49 je stvarao impresivnu količinu podataka, oko 10 terabajta po pokretanju. Zbog toga je NA49 bio idealno okruženje za razvoj i testiranje alata za analizu podataka nove generacije i za proučavanje problema povezanih sa organizacijom i analizom tako velikih količina podataka.

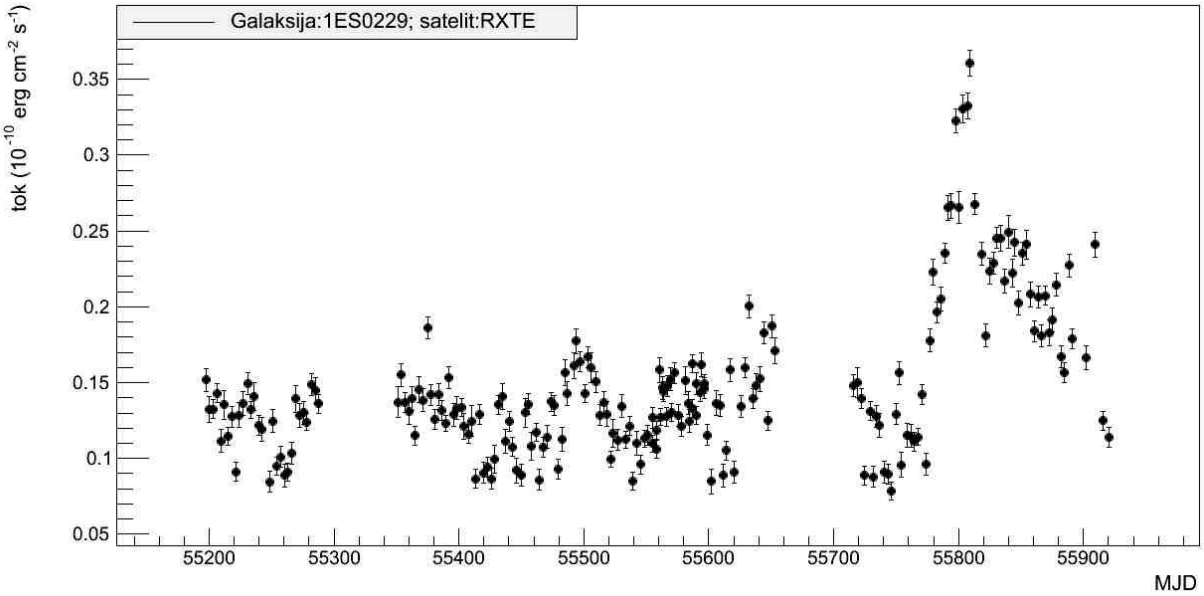


Slika 3. Softverski paket CERN ROOT 5.34/03 za analizu i crtanje.

Primjer makroa za izradu krivulje sjaja iz podataka rendgenskog satelita RXTE za područje zračenja (7-10) keV u vremenu od 4.6.2011. do 31.12.2011. [6]

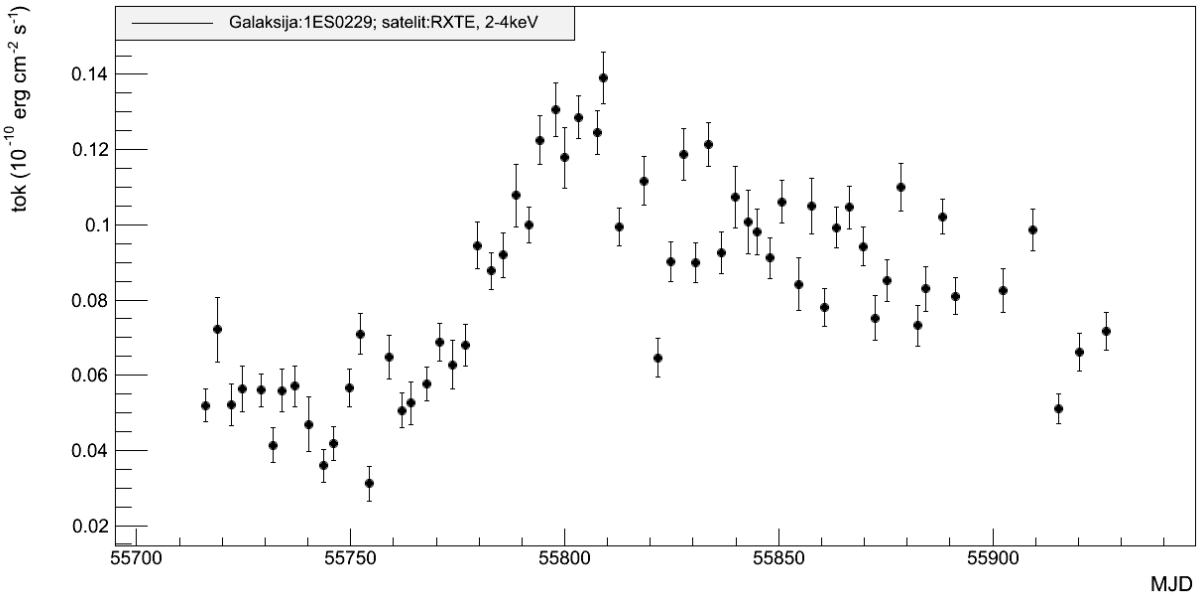
```
// LIGHT CURVE *** RXTE ***
{
	void main()
	{
const int n = 63;
double MJD[100], flux[100], dflux[100], x[100];

MJD[0]=55716; flux[0]=0.02994; dflux[0]=0.004203;
MJD[1]=55719; flux[1]=0.03299; dflux[1]=0.004223;
MJD[2]=55722.1; flux[2]=0.03596; dflux[2]=0.003373;
MJD[3]=55724.8; flux[3]=0.01898; dflux[3]=0.003798;
MJD[4]=55729; flux[4]=0.02991; dflux[4]=0.003858;
MJD[5]=55731.8; flux[5]=0.02097; dflux[5]=0.003404;
MJD[6]=55733.9; flux[6]=0.02261; dflux[6]=0.003723;
MJD[7]=55736.9; flux[7]=0.02736; dflux[7]=0.003955;
MJD[8]=55740.2; flux[8]=0.01988; dflux[8]=0.003331;
MJD[9]=55743.6; flux[9]=0.01883; dflux[9]=0.003396;
MJD[10]=55746.1; flux[10]=0.01796; dflux[10]=0.003806;
MJD[11]=55749.8; flux[11]=0.03086; dflux[11]=0.003359;

		c1 = new TCanvas("c1","1ES0229",100,10,800,800);

			LC = new TGraphErrors(n,MJD,flux,0,dflux);

			LC->SetMarkerStyle(20);
			LC->SetMarkerSize(1);
			LC->SetTitle("");
			LC->GetXaxis()->SetTitle("MJD");
			LC->GetXaxis()->SetLabelSize(0.03);
			LC->GetYaxis()->SetTitle("tok (10^{-10} erg cm^{-2} s^{-1})");
			LC->GetYaxis()->SetTitleOffset(1.3);
			LC->GetYaxis()->SetLabelSize(0.03);
			LC->Draw("AP");

			legend = new TLegend(0.1,0.85,0.44,0.9);
			legend -> AddEntry(LC,"Galaksija:1ES0229; satelit:RXTE, 7-10keV","l");
			legend -> Draw();
	}
}
```

[6] U krivulji sjaja koja se nalazi na stranici 12. korištene su 63 točke. Zbog uštede prostora u makrou sam navela samo 12 točaka.

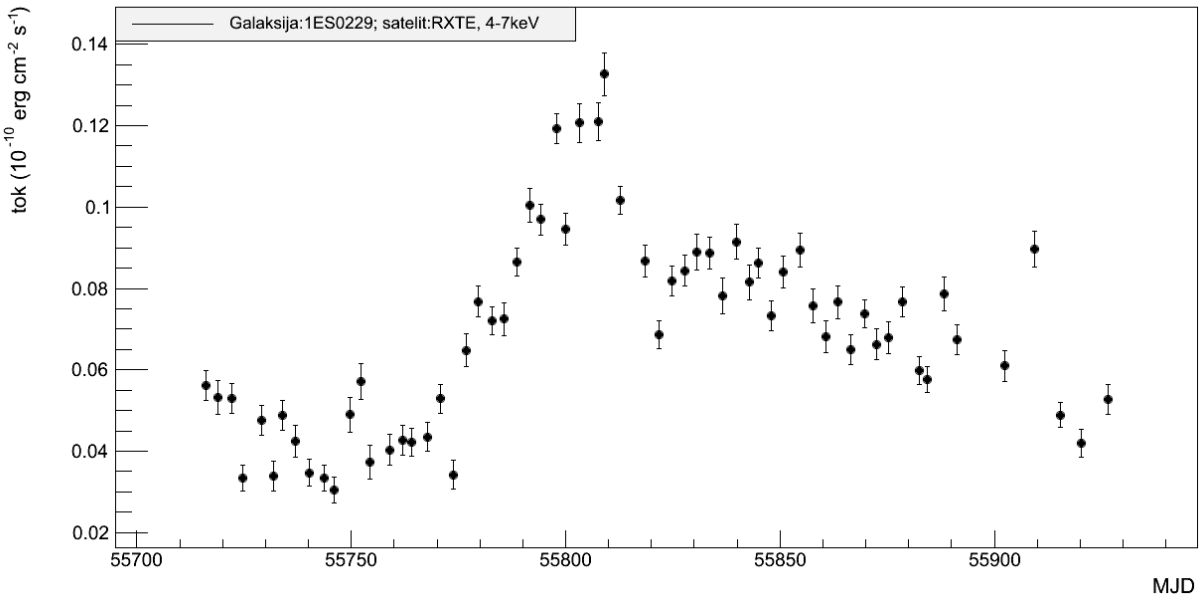


Slika 4.Krivulja sjaja aktivne galaksije 1ES0229+200 na temelju podataka rendgenskog satelita RXTE. Period od 1. 1. 2010. do 31. 12. 2011.

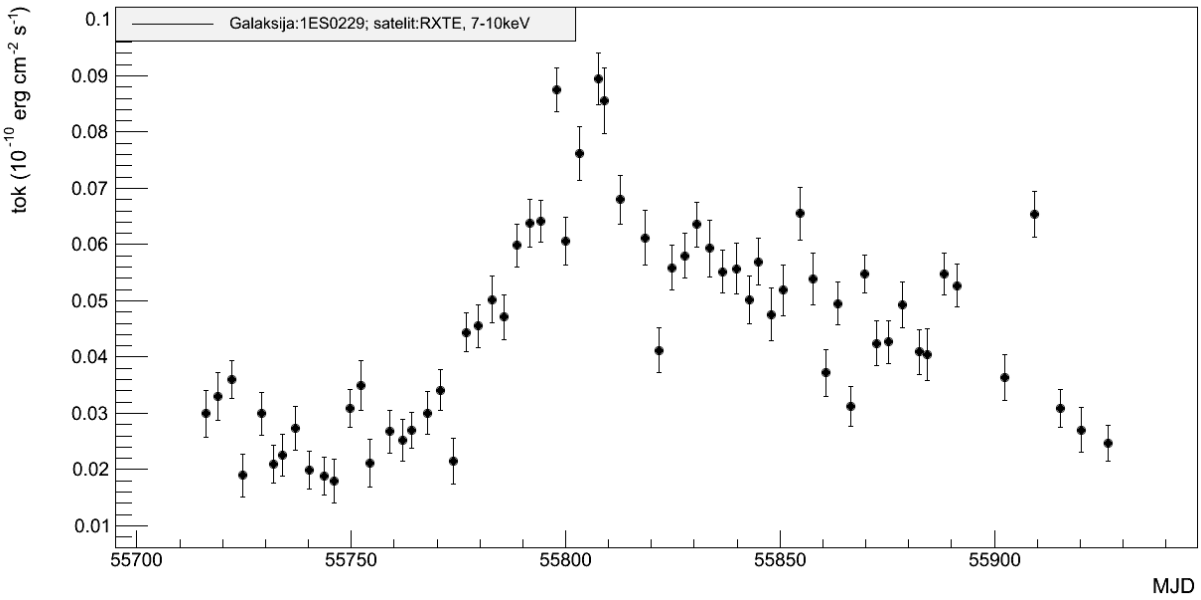
Priložena krivulja sjaja obuhvaća veliki period zračenja. Sljedeće slike prikazuju dio ove krivulje (od 4. 6. 2011. do 31. 12. 2011.) u tri potpodručja rendgenskog zračenja. U ovom je radu ukupno korišteno 17 krivulja sjaja aktivnih galakstičkih jezgara. Mnoge od njih imale su čak više od 1000 točaka, a obrađen je samo onaj dio krivulje koji obuhvaća odabrani bljesak.



Slika 5. Krivulja sjaja aktivne galaksije 1ES0229+200 na temelju podataka rendgenskog satelita RXTE. Period od 4. 6. 2011. do 31. 12. 2011., potpodručje od 2 do 4 keV.



Slika 6. Krivulja sjaja aktivne galaksije 1ES0229+200 na temelju podataka rendgenskog satelita RXTE. Period od 4. 6. 2011. do 31. 12. 2011., potpodručje od 4 do 7 keV.



Slika 7. Krivulja sjaja aktivne galaksije 1ES0229+200 na temelju podataka rendgenskog satelita RXTE. Raspon krivulje je od 4. 6. 2011. do 31. 12. 2011., potpodručje od 7 do 10 keV. Ova krivulja sjaja napravljena je na temelju makroa koji se nalazi na stranici 10.

Tek sada slijedi odgovor na pitanje s početka rada: „Postoji li korelacija između potpodručja rendgenskog zračenja? Kolika je korelacija kod galaksija s velikom vrijednošću crvenog pomaka?“

Usporedbom krivulja sjaja vidljivo je da su one relativno slične u nekim područjima. Potrebno je napisati makro koji računa koeficijent korelacije, što je također napravljeno u programskom paketu ROOT. Postupak je potrebno ponoviti tri puta kako bi se pokrila sva potpodručja. Ovako izgleda makro za korelaciju dvaju potpodručja: područje (2-4) keV i područje (7-10) keV kod aktivne galaksije 1ES 0229+200 :[7]

```
// correlation PLOT nize_srednje
{
	void main()
	{
		int j;
		const int n = 63; // ***** BROJ TOČAKA *****
		double flux1[n], dflux1[n];
		double flux2[n], dflux2[n];


// ***** PODACI IZ imeobjekta_output_nize_srednje.txt *****
flux1[0]=0.05196; dflux1[0]=0.004422; flux2[0]=0.05621; dflux2[0]=0.003653;
flux1[1]=0.07208; dflux1[1]=0.008666; flux2[1]=0.05315; dflux2[1]=0.004163;
flux1[2]=0.05215; dflux1[2]=0.005508; flux2[2]=0.05296; dflux2[2]=0.003597;
flux1[3]=0.05638; dflux1[3]=0.006136; flux2[3]=0.03329; dflux2[3]=0.00318;


		TGraphErrors *corrPLOT = new TGraphErrors(n, flux1, flux2, dflux1, dflux2);

		corrPLOT -> GetXaxis() -> SetTitle("(2-4) keV tok (10^{-10} erg cm^{-2} s^{-1})");
		corrPLOT -> GetYaxis() -> SetTitle("(4-7) keV tok (10^{-10} erg cm^{-2} s^{-1})");
		corrPLOT -> SetTitle("izvor: 1ES 0229, instrument: RXTE"); // ***IME OBJEKTA ***
		corrPLOT -> Draw("AP");

		cout << "Correlation factor: " << corrPLOT -> GetCorrelationFactor() << endl;
	}
	}
```

Korelacijski plot koji se dobije učitvanjem ovog makroa nalazi se na stranici 15.

[7] Za računanje korelacije korišteno je 58 točaka, zbog uštede prostora u makrou sam navela samo 4 točke.

Program ROOT nacrta korelacijski plot (stranica 15.), a u glavnom prozoru ispiše koeficijent korelacije.

Koeficijent korelacije koristi se u slučajevima kada između varijabli promatranog modela postoji linearna povezanost. Vrijednost koeficijenta korelacije kreće se od +1 (savršena pozitivna korelacija) do –1 (savršena negativna korelacija). Predznak koeficijenta nas upućuje na smjer korelacije, je li pozitivna ili negativna, ali nas ne upućuje na snagu korelacije. Bazira se na usporedbi stvarnog utjecaja promatranih varijabli jedne na drugu u odnosu na maksimalni mogući utjecaj dviju varijabli. Označava se malim slovom *r*. Za izračun koeficijenta korelacije potrebne su tri različite sume kvadrata (SS): suma kvadrata varijable *X*, suma kvadrata varijable *Y* i suma umnožaka varijabli *X* i *Y*.

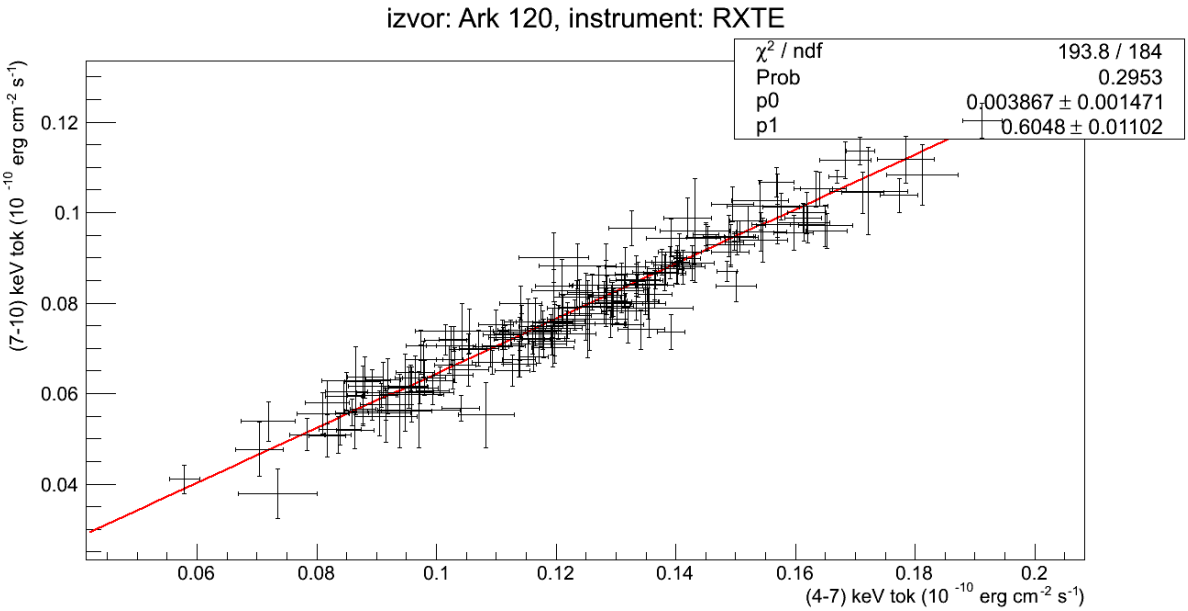
$$r = \frac{SS_{XY}}{\sqrt{SS_{XX} \cdot SS_{YY}}}.$$

Suma kvadrata varijable *X* jednaka je sumi kvadrata odstupanja vrijednosti varijable *X* od njezine prosječne vrijednosti: $SS_{XX} = \sum_{i=1}^{n} (X_i - \overline{X})^2$.

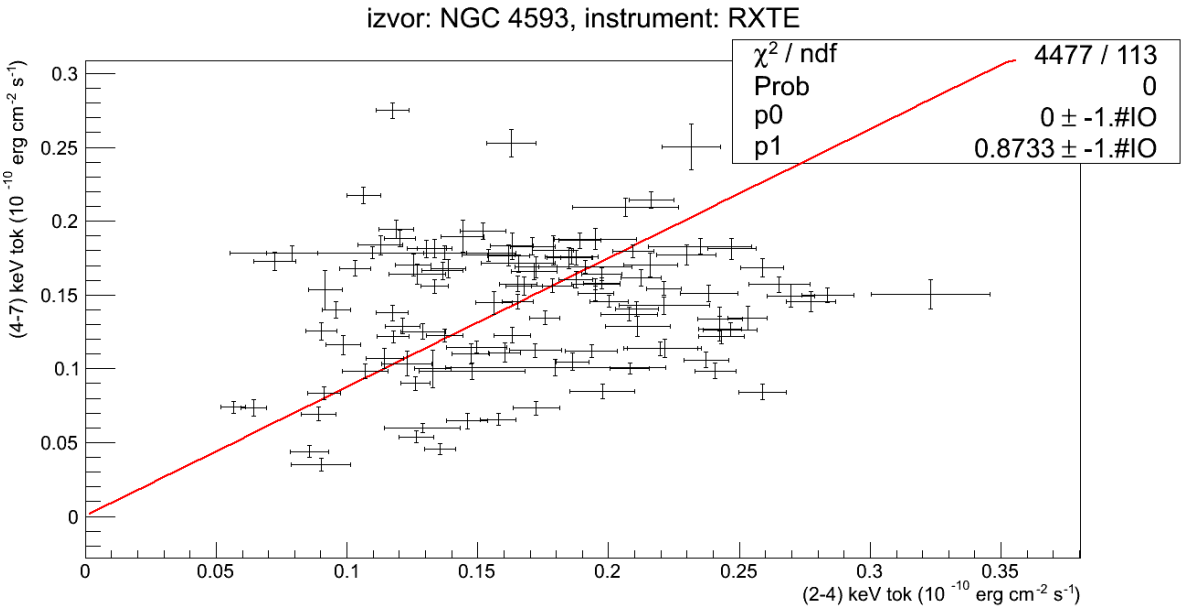
Prosječna vrijednost varijable *X* jednaka je: $\overline{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n} X_i$. Isto tako i za *Y*.

Nakon što sam objasnila pojmove potrebne za razumijevanje sljedećih grafova, komentirat ću ih i vidjeti između kojih potpodručja rendgenskog zračenja postoji korelacija i koliko iznosi, te koliki je koeficijent korelacije kod galaksija koje imaju veliku vrijednost crvenog pomaka.

Seyfert 1

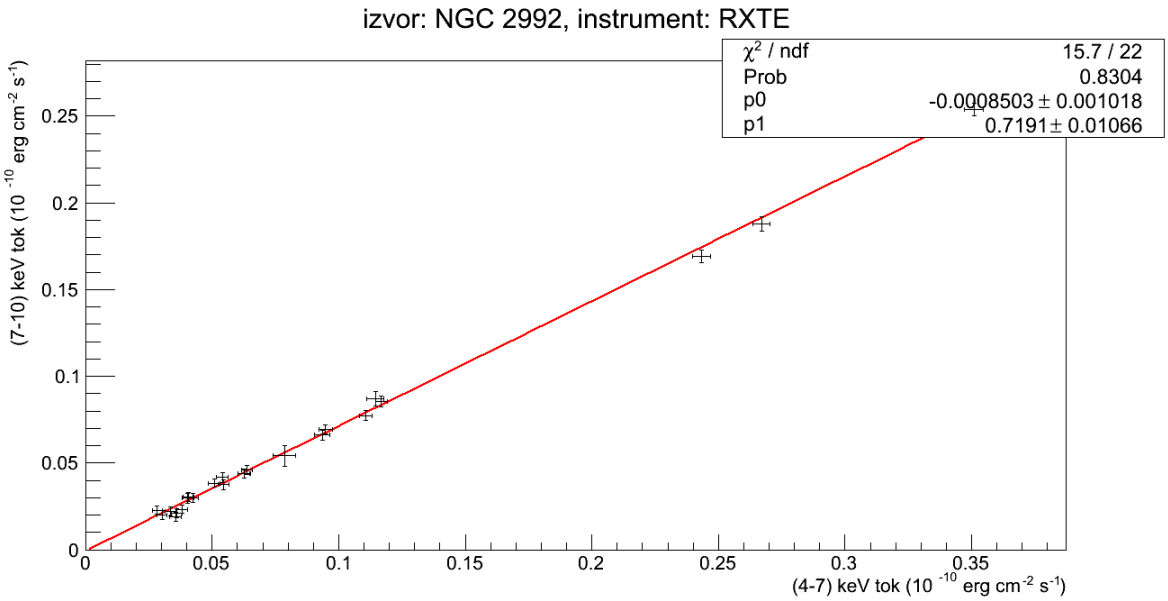


Slika 8. Galaksija Ark 120. Usporedba zračenja (4-7) keV i (7-10) keV na temelju podataka rendgenskog satelita RXTE. Izračunati koeficijent korelacije između potpodručja (4-7) keV i potpodručja (7-10) keV za razdoblje od 24. 2. 1998. do 28. 4. 2000. iznosi 0,9591 što je izvrsna povezanost.



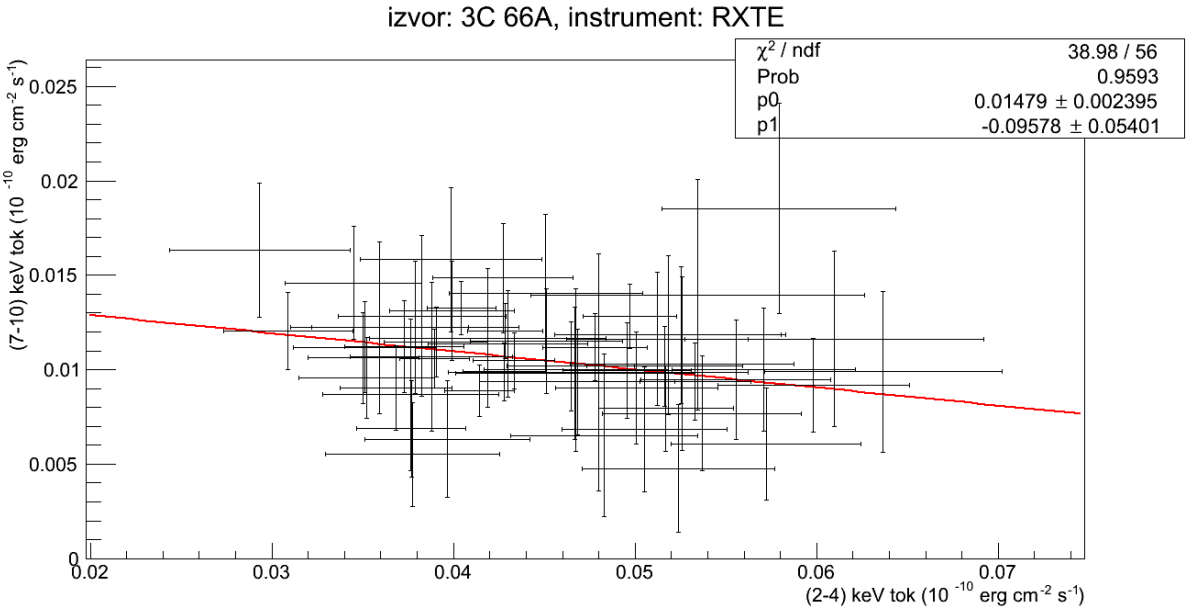
Slika 9. Galaksija Ark 120. Usporedbe zračenja (2-4) keV i (4-7) keV na temelju podataka rendgenskog satelita RXTE. Izračunati koeficijent korelacije između potpodručja (2-4) keV i potpodručja (4-7) keV za razdoblje od 3. 11. 2005. do 26. 12. 2005. iznosi 0,2381 iz čega se može zaključiti da povezanost ne postoji.

Seyfert 2

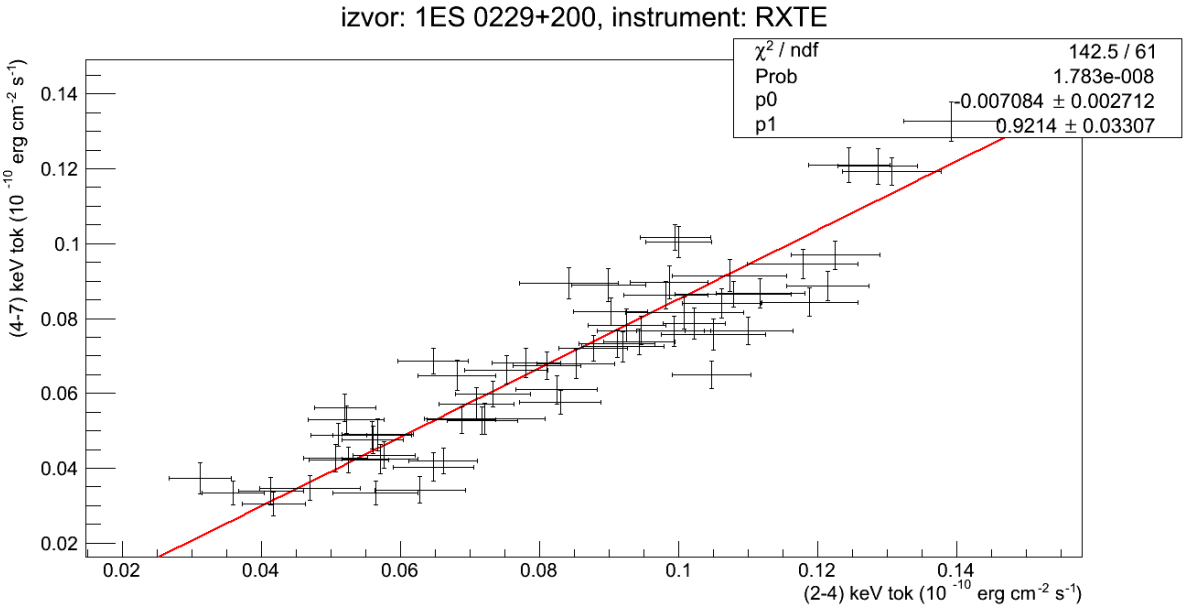


Slika 10. Galaksija NGC 2992. Usporedbe zračenja (4-7) keV i (7-10) keV na temelju podataka rendgenskog satelita RXTE. Izračunati koeficijent korelacije između potpodručja (4-7) keV i potpodručja (7-10) keV za razdoblje od 4. 3. 2005. do 28. 1. 2006. iznosi 0,9989 što je najveća vrijednost koeficijenta korelacije u radu i to se smatra izvrsnom povezanošću.

BL Lac

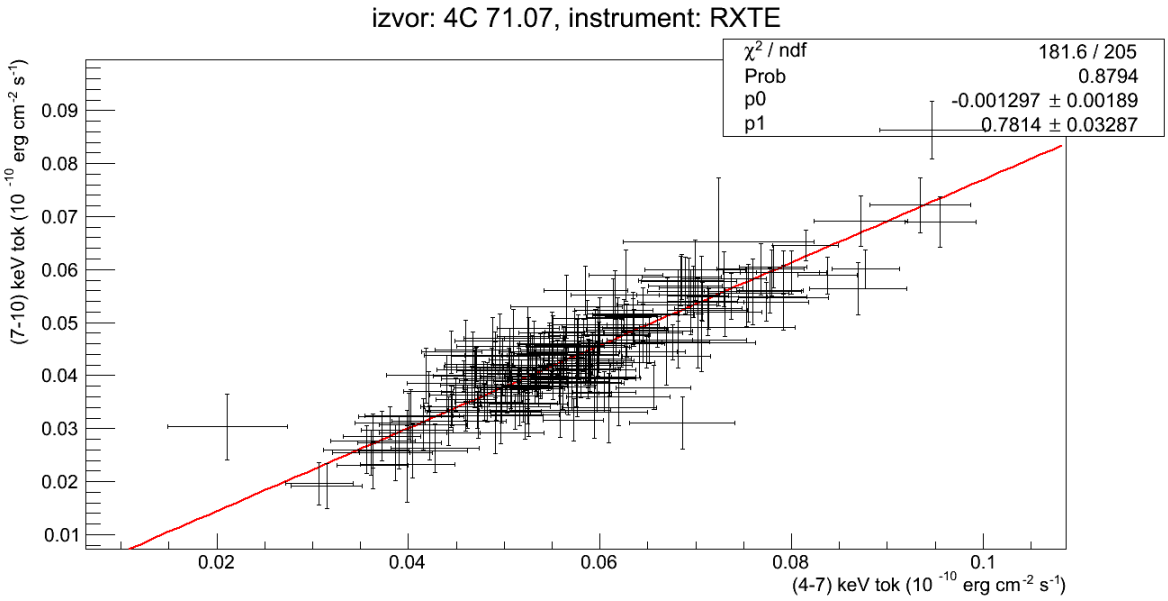


Slika 11. Galaksija 3C 66A. Usporedbe zračenja (2-4) keV i (7-10) keV na temelju podataka rendgenskog satelita RXTE. Izračunati koeficijent korelacije između potpodručja (2-4) keV i potpodručja (7-10) keV za razdoblje od 13. 5. 2005. do 9. 6. 2005. iznosi -0,1877, što nam ukazuje da povezanost ne postoj. Negativan predznak je zbog različitog toka zračenja, odnosno javlja se anomalija gdje vrijednost jednog toka raste, a drugoga pada.



Slika 12. Galaksija 1ES0229+200. Usporedbe zračenja (2-4) keV i (4-7) keV na temelju podataka rendgenskog satelita RXTE. Izračunati koeficijent korelacije između potpodručja (2-4) keV i potpodručja (4-7) keV za razdoblje od 4. 6. 2011. do 31. 12. 2011. iznosi 0,9174.

Galaksija 4C 71.07 koja ima veliku vrijednost crvenog pomaka z=2,1702



Slika 13. Galaksija 4C 71.01. Usporedbe zračenja (4-7) keV i (7-10) keV na temelju podataka rendgenskog satelita RXTE. Izračunati koeficijent korelacije između potpodručja (4-7) keV i potpodručja (7-10) keV za razdoblje od 7. 2. 2009. do 28. 12. 2010. iznosi 0,8615 što je izvrsna korelacija.

Ove usporedbe potpodručja rendgenskog zračenja odabrane su zbog najveće/najmanje vrijednosti koeficijenta korelacije, a galaksija 4C 71.01 jer ima veliku vrijednost crvenog pomaka.

U poglavlju „Prolozi“ nalaze se slike triju odabranih galaksija za koje sam računala korelaciju između rendgenskih potpodručja.

REZULTATI

Prvo su izračunati koeficijente korelacije za vrstu Seyfert 1 (Tablica 5), Seyfert 2 (Tablica 6) te BL Lac (Tablica 7). Nakon toga su u tablici poredane galaksije po porastu vrijednosti crvenog pomaka (Tablica 8).

Seyfert 1				
IME GALAKSIJE	**CRVENI POMAK**	**KOEFICIJENT KORELACIJE IZMEĐU (2-4 I 4-7) keV**	**KOEFICIJENT KORELACIJE IZMEĐU (2-4 I 7-10) keV**	**KOEFICIJENT KORELACIJE IZMEĐU (4-7 I 7-10) keV**
PG 0804+761	0,1000	0,6167	0,4770	0,7183
Fairall 9	0,4700	0,9464	0,8982	0,9498
NGC 4593	0,0090	0,2381	0,2438	0,8893
Ark 120	0,0327	0,8976	0,8632	0,9591

Tablica 5.Tablica sadrži četiri galaksije tipa Sy1 i izračunate koeficijente korelacije između svih potpodručja rendgenskog zračenja.

Kod aktivnih galaksija Seyfert 1 vidljiva je povezanost u različitim potpodručjima, srednju vrijednost svih korelacija možemo lako izračunati i ona iznosi 0,7248 što je visoka povezanost.

Seyfert 2				
IME GALAKSIJE	**CRVENI POMAK**	**KOEFICIJENT KORELACIJE IZMEĐU (2-4 I 4-7) keV**	**KOEFICIJENT KORELACIJE IZMEĐU (2-4 I 7-10) keV**	**KOEFICIJENT KORELACIJE IZMEĐU (4-7 I 7-10) keV**
Mkn 348	0,0150	0,9137	0,8677	0,9520
NGC 4507	0,0118	0,1966	0,5039	0,8808
NGC 1052 (Sy2/Radio)	0,0050	0,7830	0,4630	0,7154
NGC 2992	0,0077	0,9971	0,9949	0,9989

Tablica 6. Tablica sadrži četiri galaksije tipa Sy2 i izračunate koeficijente korelacije između svih potpodručja rendgenskog zračenja.

Kod aktivnih galaksija Seyfert 2 vidljiva je slaba povezanost u različitim potpodručjima, srednju vrijednost svih korelacija možemo lako izračunati i ona iznosi 0,7100.

BL Lac				
IME GALAKSIJE	**CRVENI POMAK**	**KOEFICIJENT KORELACIJE IZMEĐU (2-4 I 4-7) keV**	**KOEFICIJENT KORELACIJE IZMEĐU (2-4 I 7-10) keV**	**KOEFICIJENT KORELACIJE IZMEĐU (4-7 I 7-10) keV**
3C 66A (BZB J0222+4302)	0,4440	0,0498	-0,1877	0,2029
1ES 0229+200	0,1400	0,9174	0,8905	0,9753
Mkn 421 (BZB J1104+3812)	0,0300	0,9884	0,9700	0,9954
Mkn 501 (CRATES J1653+3945)	0,0337	0,9871	0,9614	0,9921

Tablica 7. Tablica sadrži četiri galaksije tipa BL Lac i izračunate koeficijente korelacije između svih potpodručja rendgenskog zračenja.

Kod aktivnih galaksija BL Lac vidljiva je povezanost u različitim potpodručjima, srednju vrijednost svih korelacija možemo lako izračunati i ona iznosi 0,72855 što je visoka povezanost.

IME GALAKSIJE	CRVENI POMAK	KOEFICIJENT KORELACIJE IZMEĐU (2-4) keV i (4-7) keV	KOEFICIJENT KORELACIJE IZMEĐU (2-4)keV i (7-10) keV	KOEFICIJENT KORELACIJE IZMEĐU (4-7 I 7-10) keV
NGC 4258 (M106)	0,0015	0,8289	0,7699	0,9576
NGC 1052 (Sy2/Radio)	0,0050	0,7830	0,4630	0,7154
NGC 2992	0,0077	0,9971	0,9949	**0,9989**
NGC 4593	0,0090	0,1709	0,2438	0,8893
NGC 4507	0,0118	0,1966	0,5039	0,8808
Mkn 348	0,0150	0,9137	0,8677	0,9520
Mkn 421 (BZB J1104+3812)	0,0300	**0,9884**	**0,9700**	**0,9954**
Ark 120	0,0327	0,8976	0,8632	0,9591
Mkn 501	0,0337	0,9871	0,9614	0,9921
PG 0804+761	0,1000	0,6167	0,4770	0,7183
1ES 0229+200	0,1400	0,9174	0,8905	0,9753
3C 66A (BZB J0222+4302)	0,4440	0,0498	***-0,1877***	0,2029
Fairall 9	0,4700	0,9464	0,8982	0,9498
3C 454.3	0,8590	0,9385	0,9064	0,9519
NRAO 530	0,9020	***-0,0234***	***-0,1039***	***0,1454***
4C 71.07 (CRATES J0841+7053)	2,1720	0,7642	0,6469	0,86115

Tablica 8. 16 aktivnih galaksija, poredane su po iznosu crvenog pomaka. Tablica sadrži 12 galaksija iz prijašnjih tablica kojima je izračunat koeficijent korelacije i 4 nove galaksije koje su odabrane zbog iznimno niske/visoke vrijednosti crvenog pomaka.

U tablici su podcrtane vrijednosti izvrsne povezanosti, a ukošene vrijednosti gdje povezanost ne postoji. U ovoj tablici vidljivo je da koeficijent korelacije ne ovisi o vrijednosti crvenog pomaka.

RASPRAVA

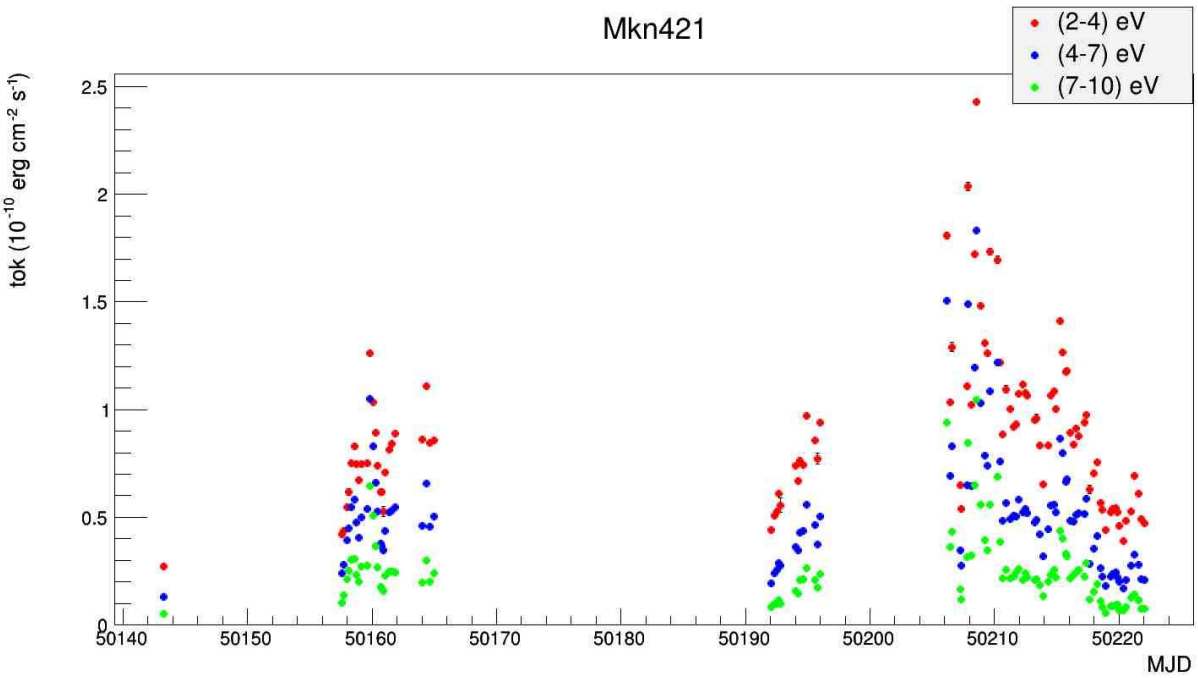
IME GALAKSIJE	CRVENI POMAK	KOEFICIJENT KORELACIJE IZMEĐU (2-4 I 4-7) keV	KOEFICIJENT KORELACIJE IZMEĐU (2-4 I 7-10) keV	KOEFICIJENT KORELACIJE IZMEĐU (4-7 I 7-10) keV
NGC 2992	0,0077	0,9971	0,9949	0,9989
Mkn 421 (BZB J1104+3812)	0,0300	0,9884	0,9700	0,9954
3C 66A (BZB J0222+4302)	0,4440	0,0498	-0,1877	0,2029
NRAO 530	0,9020	-0,0234	-0,1039	0,1454
4C 71.07 (CRATES J0841+7053)	2,1720	0,7642	0,6469	0,86115

Tablica 9. Izračunati koeficijenti korelacije za posebno zanimljive galaksije.

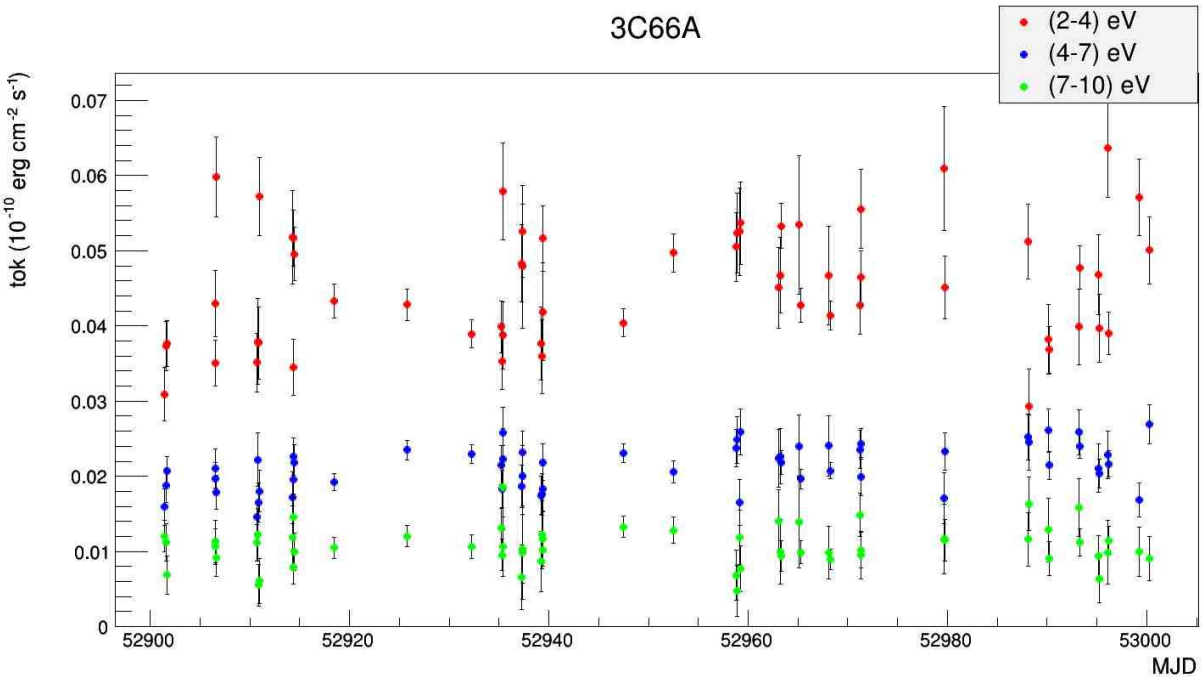
Iz izračunatih koeficijenata korelacije vidimo da postoji veza između potpodručja rendgenskog zračenja kod određenih galaksija.

Najveća korelacija je kod galaksije NGC 2992. u usporedbi zračenja (4-7) keV i (7-10) keV za razdoblje od 4. 3. 2005. do 28. 1. 2006. Izračunati koeficijent korelacije između potpodručja (4-7) keV i potpodručja (7-10) keV iznosi 0,9989 što je izvrsna povezanost.

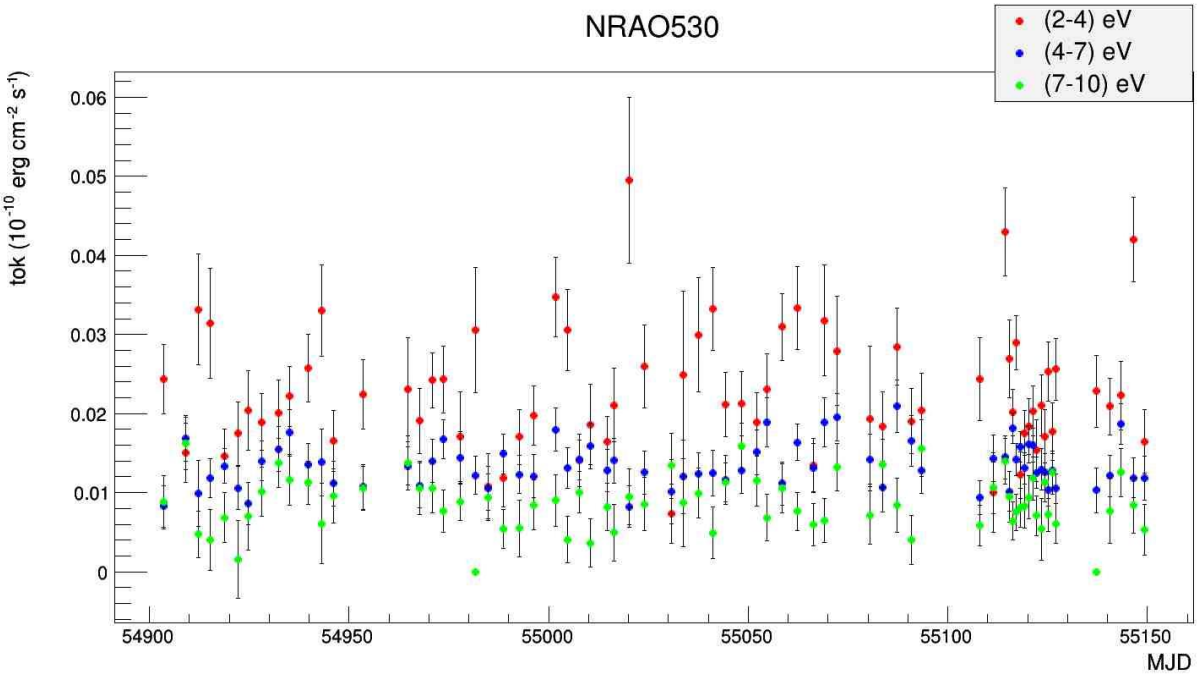
Kod galaskije 3C 66A javila se također i negativna korelacija niske vrijednosti koja ukazuje da povezanost ne postoji. Da bi se razumjelo zašto su neke korelacije loše (niske vrijednosti, čak i negativne) treba nacrtati krivulje sjaja. Galaksija 3C 66A ima mali tok, a velike pogreške, tako da se krivulja u najenergetskijem području gdje je tok najmanji gotovo izravna što se vidi na sljedećim slikama. Kod galaksije Mkn 421 vidi se oblik krivulje, a kod galaksije 3C 66A se izgubio oblik krivulje i više se ne može vidjeti korelacija. Slično je i kod galaksije NRAO 530. Nakon detaljne analize utvrđeno je da je mala negativna korelacija kod galaksije NRAO 530 posljedica toga što je tok blizu donje granice mogućeg opažanja pa su zato statističke fluktuacije vrlo velike. Drugim riječima, za očekivati je ovakvu raspršenost i izostanak korelacija.



Slika 14. Krivulja sjaja aktivne galaksije Mkn 421 na temelju podataka rendgenskog satelita RXTE. Period od 1. 3. 1996. do 18. 5. 1996.



Slika 15. Krivulja sjaja aktivne galaksije 3C 66A na temelju podataka rendgenskog satelita RXTE. Period od 19. 9. 2003. do 27. 12. 2003.



Slika 16. Krivulja sjaja aktivne galaksije NRAO 530 na temelju podataka rendgenskog satelita RXTE. Period od 13. 3. 2009. do 14. 11. 2009.

U radu nisu uočene promjene korelacije s udaljenošću galaksije. Tako galaksija s najvećim iznosom crvenog pomaka u radu, 4C 71.07 (z = 2,1720) ima visok koeficijent korelacije.

ZAKLJUČAK

Ostvarila sam zadane ciljeve. Mnogo sam saznala o aktivnim galaktičkim jezgrama. Naučila sam obradu stvarnih opažanja rendgenskog satelita RXTE te neke statističke metode. Izradila sam krivulje sjaja za sva tri potpodručja rendgenskog zračenja (2-4, 4-7 i 7-10 eV) za ukupno 16 galaksija, usporedila krivulje u istim vremenskim periodima te izračunala koeficijente korelacije između različitih potpodručja rendgenskog zračenja. Konačno, ispitala sam hipotezu ovisnosti korelacije potpodručja o udaljenosti galaksija.

Očekivano, dobiveni koeficijenti korelacija su uglavnom visoki. Što znači da je promjena toka u vremenu gotovo ista u svim energijskim potpodručjima. Što pak ukazuje da svi rendgenski fotoni između 2 i 10 eV nastaju istim mehanizmom. Istaknuti primjer izvrsne povezanosti je galaksija NGC 2992: područja (4-7) keV i (7-10) keV, za razdoblje od 4. ožujka 2005. do 28. siječnja 2006. godine, imaju koeficijent korelacije čak 0,9989.

Neočekivano, kod nekih je galaksija pronađena slaba, ili čak negativna korelacija toka triju potpodručja. Primjerice, kod galaksija 3C 66A i NRAO 530. Nakon višestrukih i pažljivih provjera računa utvrdila sam da se ne radi o pogrešci nego o stvarnom fenomenu koji je tražio objašnjenje. Kako bi pokušala razumjeti zašto su neke korelacije niske, čak i negativne, nacrtala sam pripadajuće krivulje sjaja. Pokazalo se da, primjerice, galaksije 3C 66A i NRAO 530 imaju relativno mali tok (u usporedbi sa snažnim izvorom kakav je recimo Mkn 421) i velike pogreške pojedinih opažanja. Zato se njihova krivulja sjaja u području najviših energija, gdje je tok najmanji, gotovo izravna. Naime, promjena toka izgubi se u statističkim fluktuacijama. S druge strane, oblik krivulje triju potpodručja ostaje isti kod jačih izvora (npr. Mkn 421 ili 1ES 2992+200) koji imaju veći tok (veliki broj opaženih fotona u jedinici vremena). Zato su kod jačih izvora korelacije očekivano visoke.

Glavna hipoteza rada, ovisnost koeficijenta korelacije dvaju potpodručja rendgenskog zračenja o udaljenosti galaksija od Zemlje (ili o crvenom pomaku), nije potvrđena. I za relativno daleke galaksije, primjerice 3C 454.3, dobiveni su visoki koeficijenti korelacija. To pokazuje da se u energijskom području od 2 do 10 eV rendgensko zračenje iz aktivnih galaktičkih jezgara atenuira (na pozadinskom zračenju koje postoji u međugalaktičkom području) neovisno o energiji. Međutim, to što promjene koeficijenta korelacije potpodručja (rendgenskog zračenja iz aktivnih galaktičkih jezgara) s udaljenošću galaksija u ovom radu nisu uočene, ne znači da one inače ne postoje. To znači samo da ih ja nisam našla. Ako ih netko drugi jednog dana pouzdano potvrdi to bi moglo promijeniti spoznaje o kozmičkom pozadinskom zračenju koje je važno za razumijevanje evolucije svemira.

ŽIVOTOPIS

Ime mi je Klaudija Molnar, rođena sam 26. srpnja 1995. godine u Zagrebu, a živim u Koprivnici, gdje sam završila Osnovnu školu „Braća Radić“ te pohađam 4. razred prirodoslovno - matematičke gimnazije „Fran Galović“ u Koprivnici. Uz hrvatski, aktivno koristim engleski i njemački jezik. Komunikativna sam, uvijek spremna na suradnju i rad u grupama. Imam položen vozački ispit za B kategoriju.

Astronomijom se bavim osam godina. Aktivna sam članica Astronomskog društva Koprivnica i član Hrvatskog astronomskog saveza. Aktivnim volontiranjem u mnogim institucijama u cijeloj Hrvatskoj trudim se promovirati astronomiju, ali i ostale prirodne znanosti. Na natjecanjima iz astronomije sam sudjelovala sedam godina od kojih sam četiri puta osvojila prvo mjesto na Državnom natjecanju. Zadnje četiri godine sudjelovala sam na kvalifikacijama za Međunarodnu astrofizičku olimpijadu. Više puta sam sudjelovala na Astronomskoj ljetnoj školi u Brodarici i na Višnjanskoj školi astronomije. Slobodno vrijeme najčešće koristim za amatersko bavljenje astronomijom, pa tako često odlazim izvan grada promatrati noćno nebo, fotografirati Mliječni put, zatim pomoću teleskopa fotografirati planete i Messierove objekte. Autorica sam mnogih radova iz astronomije, od kojih posebno izdvajam „Korelacija optičkog, rendgendskog i gama-zračenja iz aktivne galaktičke jezgre Mkn 421“.

ZAHVALA

Zahvaljujem dr. sc. Dariju Hrupecu s Instituta Ruđer Bošković za temu i pomoć kod izrade rada.

POPIS LITERATURE

KNJIGE:

D. Horvat, D. Hrupec: Fizika 4 pojmovi i koncepti, Neodidacta, Zagreb, 2010.

D. Roša: Elementarna astronomija, Alfa, Zagreb, 2011.

D. Roša: Metode astronomskih istraživanja, Alfa, Zagreb, 2010.

M. Penston, I. Morison: Astronomija, LEO-COMMERCE, Rijeka, 2006.

B. Petz: Osnovne statističke metode za nemateamtičare, Naklada Slap, Zagreb, 1997.

V. Vujnović: Astronomija za srednju školu, Školska knjiga, Zagreb, 2008.

V. Vujnović: Rječnik astronomije i fizike svemirskog prostora, Školska knjiga, Zagreb, 2004.

MREŽNE STRANICE:

http://cass.ucsd.edu/~rxteagn/

http://root.cern.ch/drupal/

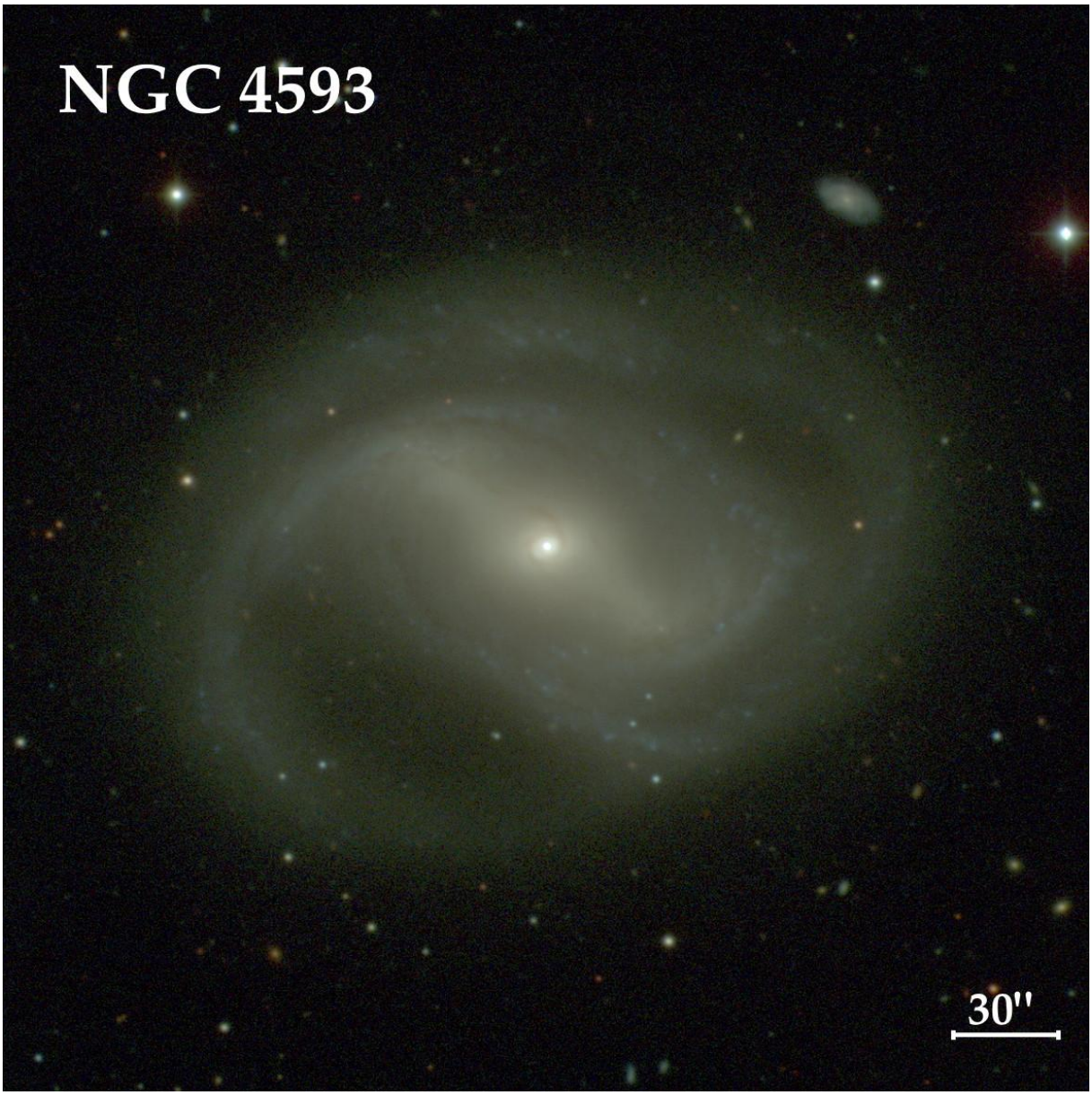
http://www.kempner.net/cosmic.php

http://www.csgnetwork.com/julianmodifdateconv.html

PRILOZI

U nastavku su slike triju odabranih galaksija za koje sam računala korelaciju između rendgenskih potpodručja.

NGC 4593, također poznat kao IRAS 12370-0504, MCG -1-32-32 i PGC 42375 je prečkasta spiralna galaksija koja je udaljena oko 37 Mpc od Zemlje i nalazi se u zviježđu Djevice. Prvo otkriće je napravio John Frederick William Herschel 24. travnja 1784. godine. Apsolutna magnituda iznosi -22.



Slika 1. NGC 4593

(http://cgs.obs.carnegiescience.edu/CGS/object_html_pages/NGC4593.html)

NGC 2992 je galaksija u zviježđu Vodenoj zmiji. Prividna magnituda iznosi 11,9. Udaljena je od Zemlje oko 32 Mpc.

Slika 2. NGC 2992 (od dvije galaksije u sredini desna prikazuje NGC 2992) (http://www.caelumobservatory.com/gallery/n2992.shtml)

NGC 4258 ili M106 je prečkasta spiralna galaksija u zviježđu Lovački psi. Otkrio ju je Pierre Méchain 1781. godine ali je svoje otkriće objavio naknadno pa se objekt nije našao u drugom izdanju Messierova kataloga. Galaksiju je kasnije samostalno otkrio William Herschel 1788. godine i katalogizirao je.

NGC 4258 se nalazi na udaljenosti od 23,7 milijuna godina svjetlosti i ima promjer od 120000 godina svjetlosti. Njen sjaj nešto je veći od sjaja naše Mliječne staze. Galaksiju karakterizira izražena prečka sa sjajnim središtem koji skriva supermasivnu crnu rupu. Crna rupa je aktivna i usisava materiju što uzrokuje emisiju rendgenskih zraka i neobičnu spektralnu emisiju. NGC 4258 je zato klasificirana kao aktivna galaksija tipa Sayfert II.
NGC 4258 je poprilično tamna galaktika zbog toga što je sjaj raspoređen na velikoj površini. U 200 mm teleskopu vidljiva je kao eliptični disk dug 5' i širok 3'. Prividna magnituda iznosi 8,4.

Slika 3. NGC 4258 (http://www.cosmotography.com/images/small_close_ngc4258.html)