

ՀՀ ԿՐԹՈՒԹՅԱՆ ԵՎ ԳԻՏՈՒԹՅԱՆ ՆԱԽԱՐԱՐՈՒԹՅՈՒՆ  
ԵՐԵՎԱՆԻ ՊԵՏԱԿԱՆ ՀԱՄԱԼՍԱՐԱՆ

Բաղմանյան Վարդան Արայի

ՈԱԴԻՈԳԱԼԱԿՏԻԿԱՆԵՐԻ ՈՒՍՈՒՄՆԱՍԻՐՈՒԹՅՈՒՆԸ  
ՌԵՆՏԳԵՆՅԱՆ ԵՎ ԲԱՐՁՐ ԷՆԵՐԳԻԱՆԵՐԻ  $\gamma$  ՏԻՐՈՒՅԹՆԵՐՈՒՄ.  
ՏՎՅԱԼՆԵՐԻ ՄՇԱԿՈՒՄ ԵՎ ՄՈԴԵԼԻՐՈՒՄ

Ա.03.02 - «Աստղաֆիզիկա» մասնագիտությամբ  
ֆիզիկամաթեմատիկական գիտությունների թեկնածուի  
գիտական աստիճանի հայցման ատենախոսության

ՍԵՂՄԱԳԻՐ

ԵՐԵՎԱՆ – 2018

---

---

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РА  
ЕРЕВАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Багманян Вардан Араевич

ИССЛЕДОВАНИЕ РАДИОГАЛАКТИК В РЕНТГЕНОВСКОМ И  $\gamma$   
ДИАПАЗОНАХ: ОБРАБОТКА И МОДЕЛИРОВАНИЕ ДАННЫХ

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени кандидата  
физико-математических наук по специальности  
01.03.02 – “Астрофизика”

ЕРЕВАН – 2018

Ատենախոսության թեման հաստատվել է Երևանի Պետական Համալսարանի (ԵՊՀ) ռադիոֆիզիկայի ֆակուլտետի գիտական խորհրդում:

Գիտական ղեկավար՝ ֆ.մ.գ.դ., պրոֆ. Յու. Լ. Վարդանյան


Պաշտոնական ընդդիմախոսներ՝ ֆ.մ.գ.թ. Հ. Ա. Հարությունյան  
ֆ.մ.գ.դ., պրոֆ. Ա. Ա. Սահարյան

Առաջատար կազմակերպություն՝ ՀՀ ԳԱԱ Վ.Հ. Համբարձումյանի  
անվան Բյուրականի աստղադիտարան

Պաշտպանությունը կայանալու է 2018 թ. հունիսի 14-ին ժամը 16:00-ին, ԵՊՀ-ում գործող ՀՀ ԲՈՀ-ի «Ֆիզիկա» 049 մասնագիտական խորհրդի նիստում (Երևան, 0025, Ալեք Մանուկյան 1):

Ատենախոսությանը կարելի է ծանոթանալ ԵՊՀ-ի գրադարանում:

Սեղմագիրը առաքված է 2018թ. մայիսի 12-ին:

Մասնագիտական խորհրդի գիտական քարտուղար՝  
ֆիզմաթ. գիտ. թեկնածու 

Ա. Ա. Հակոբյան

---

Тема диссертации утверждена ученым советом факультета радиофизики Ереванского государственного университета (ЕГУ).

Научный руководитель: д-р физ.-мат. наук, проф. Ю. Л. Вартамян

Официальные оппоненты: канд. физ.-мат. наук А. А. Арутюнян  
д-р физ.-мат. наук, проф. А. А. Саарян

Ведущая организация: Бюраканская астрофизическая обсерватория  
имени В. А. Амбарцумяна НАН РА

Защита состоится 14-го июня, 2018 года в 16:00 часов на заседании специализированного совета ВАК 049 "Физика" Ереванского государственного университета (ЕГУ) (Ереван, ул. Алека Манукяна, 1).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ЕГУ.

Автореферат разослан 12-го мая 2018 г.

Ученый секретарь спец. совета  
канд. физ.-мат. наук



А. А. Акопян

## ԱՏԵՆԱԽՈՍՈՒԹՅԱՆ ԸՆԴՀԱՆՈՒՐ ԲՆՈՒԹԱԳԻՐԸ

### Թեմայի արդիականությունը:

Վերջին տասնամյակում Երկրի և արբանյակային կայանների վրա տեղակայված դիտակների տեխնիկական հնարավորությունների զգալի բարելավումը թույլ է տալիս ուսումնասիրել տարբեր աստղաֆիզիկական աղբյուրներում տեղի ունեցող ոչ ջերմային պրոցեսները, գրանցելով դրանց արդյունքում առաջացող տարբեր էներգիաներով ֆոտոններ (բազմալիքային աստղաֆիզիկա): Այս պահին գործող մեծ թվով դիտակների առկայության և դրանցով գրանցած տվյալների բաց լինելու շնորհիվ բազմալիքային աստղաֆիզիկական հանդիսանում է ժամանակակից աստղաֆիզիկայի ամենաառաջատար ու արագ զարգացող ուղղություններից մեկը:

Ժամանակակից դիտակներով հնարավոր է գրանցել աղբյուրներից ոչ ջերմային ճառագայթումը ռադիոյից մինչև բարձր և գերբարձր էներգիաների (ԲԷ; > ՄԷՎ և ԳԲԷ; > ԳԷՎ) և տիրույթներում: Այդպիսի աղբյուրներից են Ակտիվ Գալակտիկական Միջուկները (ԱԳՄ-ները), որոնք հանդիսանում են տիեզերքի ամենահզոր և կայուն աղբյուրները, ինչի շնորհիվ գրանցվում են նույնիսկ մեծ հեռավորությունների վրա: ԱԳՄ-ների կենտրոնական տիրույթի ճառագայթումը մի քանի անգամ գերազանցում է գալակտիկայի այլ մասերի ճառագայթմանը, որը առաջանում է ջերմամիջուկային ռեակցիաներից (աստղերի ճառագայթման հիմնական պրոցեսը) տարբերվող ֆիզիկական պրոցեսներից: Ամենայն հավանականությամբ ԱԳՄ-ների ճառագայթումը պայմանավորված է կենտրոնում գտնվող մեծ զանգվածով մարմնի (ենթադրվում է սև խոռոչ) շուրջը հզոր գրավիտացիայով: ԱԳՄ-ների ներքին կառուցվածքում կարելի է առանձնացնել նեղ և լայն օպտիկական գծերով ճառագայթման տիրույթները, ինչպես նաև կենտրոնական մարմնի շուրջը ձևավորված ակրեցիոն սկավառակից առաջացած շիթը և նրա շուրջ գոյություն ունեցող տորանման («torus») կառուցվածքը: ԱԳՄ-ների ուսումնասիրությունները նաև հնարավորություն են տալիս պարզել տիեզերքի մեծամասշտաբ կառուցվածքը, ինչը շատ կարևոր է դրա ձևավորումն ու էվոլյուցիան հասկանալու համար:

Կախված շիթի՝ դիտողի նկատմամբ ունեցած անկյունից, ԱԳՄ-ները բաժանվում են տարբեր դասերի: Օրինակ՝ ԱԳՄ-ների բլազար ենթադասի դեպքում շիթն ուղղված է դեպի դիտողը և դոպլերյան շեղման շնորհիվ ճառագայթումն ավելի պայծառ է դիտողի համար, իսկ շիթի ավելի մեծ անկյան դեպքում ԱԳՄ-ները պատկանում են ռադիոգալակտիկա ենթադասին, որն իր հերթին բաժանվում է տարբեր դասերի՝ պայմանավորված ռադիո և օպտիկական տիրույթներում դրսևորվող հատկությունների: Տարբեր ալիքային տիրույթներում կատարած ուսումնասիրությունները ցույց են տալիս, որ ԱԳՄ-ների (բլազարներ, ռադիոգալակտիկաներ) ճառագայթման բազմալիքային սպեկտրում գոյություն

ունեն երկու մաքսիմում, մեկը՝ ինֆրակարմիր-օպտիկական, իսկ մյուսը՝ բարձր էներգիաների (ԲԷ)  $\gamma$  տիրույթում: Այդ պատճառով տարբեր դասերի ԱԳՄ-ներում տեղի ունեցող պրոցեսները հասկանալու համար շատ կարևոր են տարբեր հաճախային տիրույթներում ստացված տվյալները, սակայն առանձնակի կարևոր են ուսումնասիրությունները ԲԷ  $\gamma$  տիրույթում, քանի որ 1) ԱԳՄ-ների շիթերում էներգիայի մեծ մասը ճառագայթվում է ԲԷ  $\gamma$ -տիրույթում, 2) այդ աղբյուրներից  $\gamma$ -ճառագայթումն անընդհատ գրանցվում է 2008թ.-ի օգոստոսի 4-ից, ինչը շատ կարևոր է նրանց փոփոխական ճառագայթումն ուսումնասիրելու համար և 3)  $\gamma$ -տիրույթում տվյալներն անհրաժեշտ են ճառագայթման սպեկտրի ԲԷ բաղադրիչի բնույթը հասկանալու համար:

Ատենախոսությունը նվիրված է ԲԷ  $\gamma$ -տիրույթում գրանցված տարբեր դասերի ռադիոգալակտիկաներում տեղի ունեցող պրոցեսների ուսումնասիրությանը, վերլուծելով «Fermi Large Area (Fermi-LAT)» դիտակով 2008-2015թթ. ընթացքում գրանցված տվյալները: Մասնավորապես, հետազոտվել են «Fermi-LAT» դիտակով մինչ այժմ ԲԷ  $\gamma$ -տիրույթում գրանցված 26 ոչ բլազարային ԱԳՄ-ներում (11 Fanaroff-Riley Type I (FRI), 10 FRII և 5 Narrow Line Seyfert 1 (NLSy1) դասի աղբյուրներ) տեղի ունեցող ԲԷ պրոցեսները: Երկար ժամանակահատվածում «Fermi-LAT» դիտակով գրանցված տվյալների վերլուծությունը թույլ է տալիս հետազոտել այդ աղբյուրների սպեկտրները մի քանի ԳէՎ-ից բարձր տիրույթներում (օրինակ, պարզել արդյոք կա շեղում պարզ աստիճանային օրենքից), մանրամասն հետազոտել ԲԷ  $\gamma$ -տիրույթում հոսքի փոփոխականությունը (ինչը թույլ կտա գնահատել ճառագայթման տիրույթի չափերը), առաջարկել նոր կամ փորձարկել մինչ այժմ հայտնի ԲԷ բաղադրիչի առաջացման տեսությունները և այլն: Այն նաև հնարավորություն կտա համեմատել ԲԷ  $\gamma$ -տիրույթում ճառագայթման լուսատվությունը, հոսքը և ֆոտոնային ցուցիչը բլազարների համանման պարամետրերի հետ և քննարկել դրանք ԱԳՄ-ների դասակարգման ընդհանուր տեսության շրջանակում:

### **Ատենախոսության նպատակն ու խնդիրները:**

- Վերլուծել 26 ոչ բլազարային ԱԳՄ-երի «Fermi-LAT» դիտակով 2008-2015թթ. ընթացքում գրանցված տվյալները, օգտագործելով տվյալների մշակման ստանդարտ «binned likelihood» մեթոդը:
- Գնահատել նշված աղբյուրների ճառագայթման հոսքը և ֆոտոնային ցուցիչը, հետազոտել սպեկտրների հնարավոր շեղումները աստիճանային օրենքից:
- Հետազոտել հոսքի փոփոխականությունը երկար և կարճ ժամանակահատվածներում՝ օգտագործելով տվյալների տրոհման նորմալ և ադապտիվ («adaptive») եղանակները:

- Մանրամասն հետազոտել ԲԷ  $\gamma$ -տիրույթի ամենապայծառ NGC 1275 ռադիոգալակտիկայի ճառագայթումը հանգստի և բռնկումների ժամանակ:

- Գնահատել NLSy1 դասի աղբյուրների ԲԷ  $\gamma$ -ճառագայթման լուսատվությունը, հոսքը և ֆոտոնային ցուցիչը, հետազոտել այդ աղբյուրների շիթերում մասնիկների արագացման և ճառագայթման մեխանիզմները:

- Հետազոտել PKS 0625-25 ռադիոգալակտիկայի ԲԷ և ԳԲԷ  $\gamma$ -տիրույթներում ճառագայթման մեխանիզմները, գնահատել շիթը նկարագրող հիմնական պարամետրերը (օրինակ՝ մագնիսական դաշտը, լուսատվությունը, էլեկտրոնների առավելագույն էներգիան և այլն):

### **Գիտական նորույթ:**

- Վերլուծվել է 26 ոչ բլազարային ԱԳՄ-ների 2008-2015թթ. ընթացքում «Fermi-LAT» դիտակով գրանցված տվյալները, ցույց է տրվել, որ նրանց ԲԷ  $\gamma$ -տիրույթում ճառագայթման ֆոտոնային ցուցիչը փոփոխվում է 1.84 – 2.86, իսկ հոսքը  $(1.44 - 342.4) \times 10^{-8}$  ֆոտոն  $\text{սմ}^{-2}$  վրկ $^{-1}$  տիրույթներում:  $\Gamma - L_\gamma$  հարթության մեջ ոչ բլազարային ԱԳՄ-երի լուսատվությունը փոփոխվում է  $1.12 \times 10^{41}$  էրգ վրկ $^{-1}$ -ից  $7.85 \times 10^{46}$  էրգ վրկ $^{-1}$  տիրույթում, որտեղ ամենափոքր լուսատվությունը ունեն FRI աղբյուրները, իսկ ամենամեծը Steep Spectrum Radio quasar (SSRQ)-ները և NLSy1-ները:

- Ցույց է տրվել, որ  $\gamma$  տիրույթում գրանցված ռադիոգալակտիկաների մեծամասնության դիֆերենցիալ սպեկտրը լավագույնս նկարագրվում է աստիճանային օրենքով, սակայն NGC 1275, NGC 6251, SBS 0846+513 և PMN J0948+0022 աղբյուրների սպեկտրում գրանցվել է շեղում այդ օրենքից: PKS 0625-25 և 3C 380 աղբյուրների սպեկտրներում նկատվում են շեղումներ համապատասխանաբար  $131.2 \pm 88.04$  ԳէՎ և  $55.57 \pm 50.74$  ԳէՎ էներգիաներում, սակայն աղքատ վիճակագրությունը թույլ չի տալիս այն միարժեքորեն պնդել:

- Ցույց է տրվել, որ NLSy1 դասի 1H 0323+342, SBS 0846+513 և PMN J0948+0022 աղբյուրների հոսքը կտրուկ փոփոխական է, ինչն ուղեկցում է նաև ճառագայթման ֆոտոնային ցուցիչի փոփոխությամբ, իսկ 3C 111, Cen A core, 3C 207, 3C 275.1, 3C 380, 4C+39.23B, PKS 1502+036 և PKS 2004-447 աղբյուրների հոսքը փոփոխական է երկար ժամանակահատվածներում:

- NGC 1275-ի ԲԷ տիրույթում ուսումնասիրությունները ցույց են տալիս երկու հզոր բռնկումներ 2015թ. հոկտեմբեր և 2016 թ. դեկտեմբեր/2017 թ. հունվար ամիսներին: Վերջինիս դեպքում հոսքի առավելագույն արժեքը հասել է  $(3.48 \pm 0.87) \times 10^{-6}$  ֆոտոն  $\text{սմ}^{-2}$  վրկ $^{-1}$ , որին համապատասխանում է  $\approx 3.84 \times 10^{45}$  էրգ վրկ $^{-1}$  իզոտրոպիկ լուսատվությունը: Ինչպես նաև այս բռնկման ժամանակ է գրանցվել  $\gamma$ -ճառագայթման հոսքի ամենաարագ

փոփոխականությունը՝  $1.21 \pm 0.22$  ժամ, ինչը ցույց է տալիս, որ ճառագայթումը առաջանում է շիթի ենթապարսեկ չափով տիրույթից: Նշենք, որ այսպիսի արագ փոփոխականություն երբևէ չի գրանցվել այլ ռադիոգալակտիկայից:

- PKS 0625-35 ռադիոգալակտիկայի «Swift UVOT/XRT» և «Fermi-LAT» դիտակներով գրանցված տվյալների մշակման արդյունքները ցույց են տալիս, որ տարբեր հաճախային տիրույթներում ճառագայթումը բացատրվում է շիթում մինչև 50 ՏէՎ արագացած էլեկտրոնների սինքրոտրոնային ճառագայթումով և սինքրոտրոն ֆոտոնների հակադարձ կոմպտոնյան ցրումով:

### **Ստացված արդյունքների գիտական և գործնական արժեքը**

ԲԷ  $\gamma$ -տիրույթում մեծ թվով աղբյուրների դիտումներից ստացված տվյալների մշակման արդյունքներից ձևավորված տվյալների բազան կարող է օգտագործվել ոչ բլազարային ԱԳՄ-երում տեղի ունեցող ոչ ջերմային պրոցեսները հետազոտելու համար:

NLSy1 դասի աղբյուրները միայն վերջերս են հաստատել որպես  $\gamma$  ճառագայթման աղբյուրներ, և այդ տիրույթում ճառագայթման բնութագրերի (հոսքը, ֆոտոնային ցուցիչը, հոսքի փոփոխությունը ժամանակի ընթացքում և այլն) գնահատումը ունի կարևոր նշանակություն այդ աղբյուրների ֆիզիկական հասկանալու համար:

NGC 1275 և PKS 0625-35 աղբյուրների ուսումնասիրությունների արդյունքները կարող են օգտագործվել ռադիոգալակտիկաների շիթերի ենթապարսեկ չափերով տիրույթներում մասնիկների արագացման և ճառագայթման պրոցեսների հետազոտ հետազոտություններում:

### **Պաշտպանության ներկայացվող ատենախոսության հիմնական դրույթները**

1) Գնահատվել են մինչ այժմ ԲԷ  $\gamma$ -տիրույթում գրանցված ոչ բլազարային ԱԳՄ-երի ճառագայթման բնութագրերը:

2) NGC 1275, NGC 6251, SBS 0846+513 և PMN J0948+0022 աղբյուրների  $\gamma$  ճառագայթման դիֆերենցիալ սպեկտրներում հայտնաբերվել են շեղումներ աստիճանային օրենքից:

3) Հայտնաբերվել է, որ NGC 1275, 1H 0323+342, SBS 0846+513 և PMN J0948+0022 աղբյուրների  $\gamma$ -ճառագայթման հոսքերը կտրուկ փոփոխական են կարճ ժամանակահատվածներում, իսկ 3C 111, Cen A core, 3C 207, 3C 275.1, 3C 380, 4C+39.23B, PKS 1502+036 և PKS 2004-447 աղբյուրների հոսքերը երկար:

4) Հայտնաբերվել է NGC 1275 աղբյուրի  $\gamma$ -տիրույթում ճառագայթման հոսքի կտրուկ փոփոխականություն չափազանց կարճ ժամանակահատվածում ( $1.21 \pm 0.22$  ժամ), երբ հոսքը աճել է մինչև  $(3.48 \pm 0.87) \times 10^{-6}$  ֆոտոն սմ $^{-2}$ վրկ $^{-1}$ :

5) Ցույց է տրվել, որ PKS 0625-35 ռադիոգալակտիկայի  $10^7 - 10^{27}$  Հց տիրույթում ճառագայթումը բացատրվում է մինչև 50 ՏէՎ արագացած էլեկտրոնների սինքրոտրոնային ճառագայթմամբ և նույն էլեկտրոնների կողմից սինքրոտրոնային ֆոտոնների հակադարձ կոմպտոնյան ցրումով:

6) Ցույց է տրվել, որ NLSy1 աղբյուրների  $\gamma$  ճառագայթումը, որը բնութագրվում է կարճ ժամանակահատվածում արագ փոփոխականությամբ առաջանում է շիթի կոմպակտ՝ մի քանի անգամ  $10^{16}$  սմ տիրույթից: Իսկ ԲԷ  $\gamma$ -տիրույթում ճառագայթումը կարող է բացատրվել սինքրոտրոնային ֆոտոնների հակադարձ կոմպտոնյան ցրման մեխանիզմով:

### **Աշխատանքի ներկայացումը:**

Ատենախոսության հիմնական արդյունքները ներկայացվել են հետևյալ միջազգային գիտաժողովներում.

- «The 6th International Symposium on High-Energy Gamma-Ray Astronomy (Gamma 2016)», Հայդելբերգ, Գերմանիա,
- «High-Energy Phenomena in Relativistic Outflows VI», Մոսկվա, Ռուսաստան, (2017),

և քննարկվել Երևանի պետական համալսարանի ռադիոֆիզիկայի ֆակուլտետում և ՀՀ ԳԱԱ ԻԿՐԱՆԵՏ կենտրոն ՄԿ-ում:

### **Հրապարակումները**

Ատենախոսության թեմայով հրատարակվել է 5 գիտական աշխատանք, որոնց ցանկը ներկայացված է սեղմագրի վերջում:

### **Աշխատանքի կառուցվածքը:**

Ատենախոսությունը կազմված է առաջաբանից, 5 գլուխներից և վերջաբանից: Այն պարունակում է 26 նկար, 11 աղյուսակ և 190 հղումներ, իսկ ծավալը կազմում է 130 էջ:

## ԱՏԵՆԱԽՈՍՈՒԹՅԱՆ ԲՈՎԱՆԴԱԿՈՒԹՅՈՒՆԸ

**Առաջաբանում** հակիրճ ներկայացված են թեմայի կարևորությունը և արդիականությունը, մատնանշելով առաջադրված նպատակներն ու խնդիրները, ատենախոսության գիտական նորությունը, ինչպես նաև թեմային վերաբերող մինչ այժմ իրականացված հետազոտությունները:

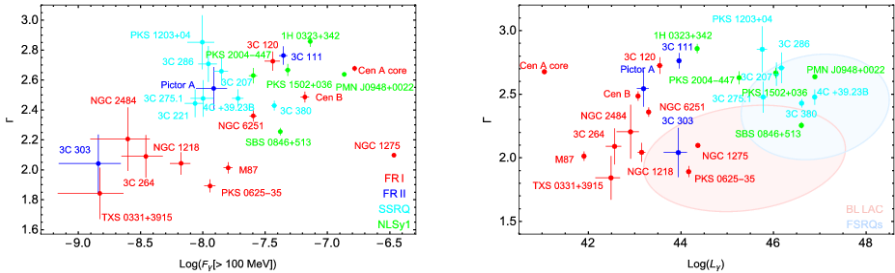
**Առաջին գլխում** համառոտ ներկայացված է ԱԳՄ-ների միասնական տեսությունը, որի հիման վրա ԱԳՄ-ները դասակարգվում են տարբեր դասերի (ռադիոգալակտիկաներ, բլազարներ, NLSy1 գալակտիկաներ և այլն), քննարկելով նրանց հիմնական կառուցվածքային առանձնահատկությունները: Նաև համառոտ ներկայացված են «Ferm-LAT» և «Swift UVOT/XRT» դիտակների կառուցվածքը, աշխատանքի սկզբունքները, գրանցման եղանակները և այլն: Այնուհետև, մանրամասն քննարկվել են «Fermi-LAT» դիտակով գրանցված տվյալների ներբեռնման, տվյալների մշակման և տվյալների մոդելավորման համար անրաժեշտ այլ ֆայլերի պատրաստման քայլերը: Նաև, մանրամասն ներկայացված են «Swift UVOT/XRT» դիտակներով գրանցված տվյալների մշակման քայլերը, ներառյալ աղբյուրի և ֆոնային ճառագայթման տիրույթների ընտրության սկզբունքները, տվյալների խմբավորման եղանակները և «XSPEC» ծրագրով սպեկտրալ անալիզի մեթոդները:

**Երկրորդ գլխում** ուսումնասիրվել են «Fermi-LAT» դիտակով գրանցված ԱԳՄ-ների երրորդ կատալոգում (3LԱԿ) ներառված ոչ բլազարային ԱԳՄ-ների (11 FRI, 10 FRII, 6 SSRQ և 5 NLSy1)  $\gamma$ -տիրույթում ճառագայթման բնութագրերը, վերլուծելով 2008թ. օգոստոսի 4-ից մինչև 2015թ. օգոստոսի 4-ը «Fermi-LAT» դիտակով գրանցված տվյալները:

Սպեկտրալ անալիզի արդյունքները ցույց են տալիս, որ աղբյուրների  $\gamma$  ճառագայթման դիֆերենցիալ սպեկտրները լավագույնս նկարագրվում են աստիճանային օրենքով ( $N(E) \sim E^{-\Gamma}$ ), որտեղ ֆոտոնային ցուցիչները ( $\Gamma$ ) փոփոխվում են 1.84 – 2.86 տիրույթում: Ամենափոքր ֆոտոնային ցուցիչը (այսինքն սպեկտրում ավելի շատ ազդեցություն ունեն ԲԷ ֆոտոնները) գրանցվել է PKS 0625-35-ի համար  $\Gamma = 1.89 \pm 0.04$ , իսկ ամենամեծը 1H 0323+342 աղբյուրի դեպքում՝  $\Gamma = 2.86 \pm 0.04$ : Գրանցված աղբյուրներից ամենապայծառների հոսքերը գերազանցում են  $10^{-7}$  ֆոտոն սմ<sup>-2</sup> վրկ<sup>-1</sup>, իսկ ամենափոքր հոսքը գրանցվել է 3C 303 աղբյուրից և կազմում է  $(1.44 \pm 0.75) \times 10^{-9}$  ֆոտոն սմ<sup>-2</sup> վրկ<sup>-1</sup>: Համեմատելով տարբեր դասերի աղբյուրներից գրանցված հոսքերը և ֆոտոնային ցուցիչները (նկար 1-ում ձախ կողմում) ակնհայտ է, որ FRI դասի աղբյուրները ունեն համեմատաբար փոքր ֆոտոնային ցուցիչներ (միջին արժեքը  $\Gamma_{\text{մ}} \approx 2.22$ ), իսկ նրանց հոսքերը փոփոխվում են  $\approx 1.5 \times 10^{-9}$  ֆոտոն սմ<sup>-2</sup> վրկ<sup>-1</sup>-ից մինչև  $\approx 3.6 \times 10^{-8}$  ֆոտոն սմ<sup>-2</sup> վրկ<sup>-1</sup>:



FRII/SSRQ դասերի աղբյուրները զբաղեցնում են համեմատաբար նույն տիրույթը, այսինքն, նրանց ֆոտոնային ցուցիչները փոփոխվում են  $(2.3 - 2.7)$ , իսկ հոսքերը  $(0.9 - 4) \times 10^{-8}$  ֆոտոն  $\text{սմ}^{-2}$  վրկ $^{-1}$  տիրույթներում: Նկատելիորեն տարբերվող հատկություններ ունեն NLSy1 դասի աղբյուրները, նրանց դեպքում  $\Gamma > 2.3$ , իսկ հոսքը  $\geq 10^{-7}$  ֆոտոն  $\text{սմ}^{-2}$  վրկ $^{-1}$ :



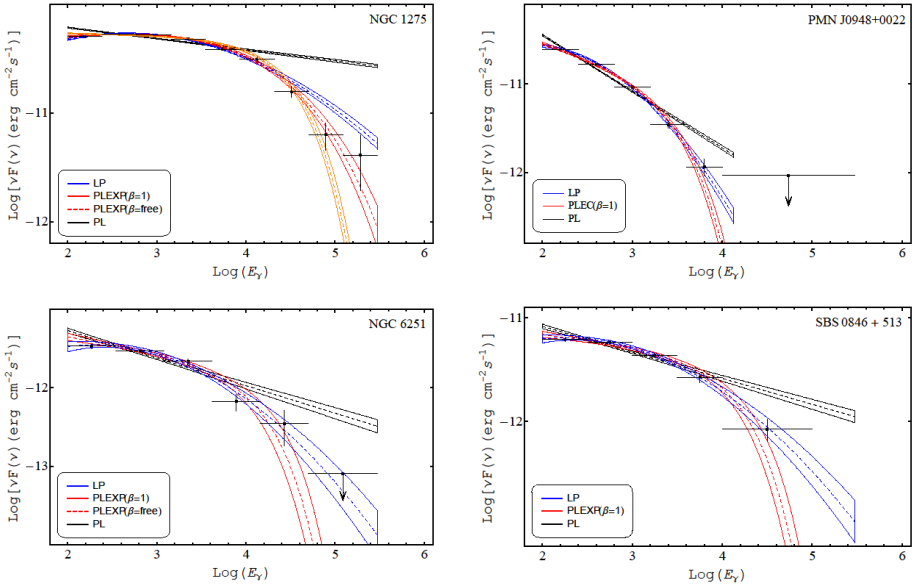
Նկար 1. FRI, FRII, SSRQ և NLSy1 աղբյուրների  $\gamma$  տիրույթում ճառագայթման ֆոտոնային ցուցիչների և հոսքերի կախվածությունը պատկերված է ձախ կողմում, իսկ ֆոտոնային ցուցիչների և լուսատվությունների կախվածությունը աջ կողմում:

Նկար 1-ում (աջ կողմում)  $\Gamma - L_\gamma$  հարթությանը վրա համեմատված են FRI  $\gamma$  տիրույթում մինչ այժմ գրանցված բոլոր բլազարների և ոչ բլազար ԱԳՄ-ների լուսատվությունները և ֆոտոնային ցուցիչները, որտեղից երևում է, որ դոպլերյան շեղման շնորհիվ բլազարները զբաղեցնում են ավելի բարձր լուսատվության տիրույթը:

Հետաքրքիր է, որ ռադիոգալակտիկաների դասերը նույնպես զբաղեցնում են տարբեր տիրույթներ: Օրինակ, FRI դասի աղբյուրները հիմնականում զբաղեցնում են  $L_\gamma \leq 3 \times 10^{44}$  էրգ վրկ $^{-1}$  և  $\Gamma \leq 2.3$ , իսկ FRII-ները  $L_\gamma \geq 3 \times 10^{44}$  էրգ վրկ $^{-1}$  և  $\Gamma > 2.3$  տիրույթները: SSRQ և NLSy1 դասերի աղբյուրները զբաղեցնում են  $\Gamma > 2.3$  և  $L_\gamma > 10^{45}$  էրգ վրկ $^{-1}$  տիրույթը, որը ավելի բնութագրական է բլազարների համար: Նման բաշխումը ուղիղ հետևում է ԱԳՄ-ների դասակարգման ընդհանուր տեսությունից, ամենաթույլ FRI-երին հետևում են FRII-ները, որոնց հաջորդում են շիթի ավելի փոքր թեքման անկյունով SSRQ-ները: Ամենայն հավանականությամբ ռադիոգալակտիկաների տարբեր բաշխումները  $\Gamma - L_\gamma$  հարթության վրա պայմանավորված են նրանցում մասնիկների արագացման և ճառագայթման պրոցեսներով:

NGC 1275, NGC 6251, SBS 0846+513, PMN J0948+0022, PKS 0625-25 և 3C 380 աղբյուրների  $\gamma$ -ճառագայթման սպեկտրներում նկատվում են շեղումներ աստիճանային օրենքից մի քանի ԳԷՎ-ից մեծ էներգիաներում (նկար 2): Օգտագործելով «log likelihood ratio test» մեթոդը, ցույց է տրվել, որ NGC 1275-ի

սպեկտրը կարելի է նկարագրել  $N(E) \sim E^{-\Gamma} \exp[(E/E_c)^\beta]$  մոդելով, որտեղ  $\Gamma = 1.86 \pm 0.03$ ,  $\beta = 0.43 \pm 0.04$  և  $E_c = 6.24 \pm 2.30$  ԳէՎ, իսկ մնացածների համար (բացառությամբ PKS 0625-25 և 3C 380) ավելի նախընտրելի է «log-parabola» մոդելը: PKS 0625-25 և 3C 380 աղբյուրների սպեկտրներում նկատվում են շեղումներ համապատասխանաբար  $131.2 \pm 88.04$  ԳէՎ և  $55.57 \pm 50.74$  ԳէՎ էներգիաներում, սակայն փոքր վիճակագրության պատճառով հնարավոր չէ սամիարժեքորեն պնդել:

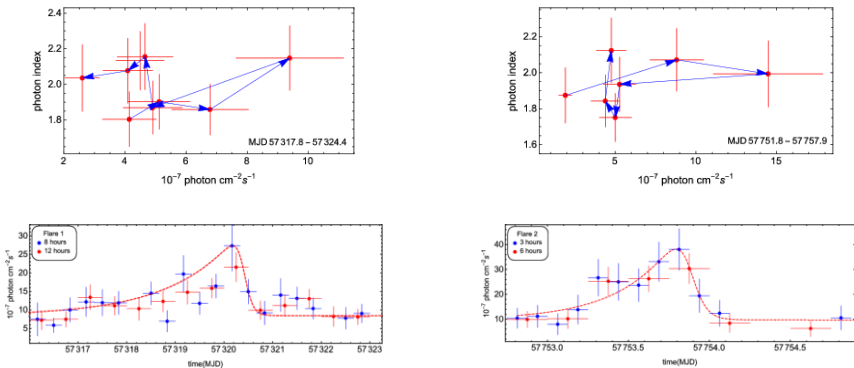


Նկար 2: NGC 1275, NGC 6251, PMN J0948+0022 և SBS 0846+513 աղբյուրների ճառագայթման սպեկտրները 100 ՄէՎ-ից 300 ԳէՎ տիրույթում:

Ուսումնասիրվել է նաև ընտրված աղբյուրների  $\gamma$ -տիրույթում ճառագայթման հոսքի փոփոխությունը ժամանակի ընթացքում: NGC 1275, 1H 0323+342, SBS 0846+513 և PMN J0948+0022 աղբյուրների դեպքում գրանցվել է հոսքի կտրուկ ուժեղացում մի քանի օրերի ընթացքում, իսկ 380, 3C 111, Cen A (ցածր էներգիական բաղադրիչ), PKS 1502+036 և PKS 2004-447 աղբյուրների հոսքերը փոփոխական են ամիսների ընթացքում, մինչդեռ 3C 207, 3C 275.1 և 4C +39.23B աղբյուրների դեպքում փոփոխականությունը մեկ կամ կես տարվա ընթացքում է: Սա ցույց է տալիս, որ այդ աղբյուրներից  $\gamma$  ճառագայթումը առաջանում է շիթի կոմպակտ տիրույթներից:

**Երրորդ գլխում** մանրամասն հետազոտվել է ԲԷ  $\gamma$ -տիրույթի ամենապայծառ NGC 1275 ռադիոգալակտիկայի բազմալիքային (օպտիկական/ՌԻՄ, ռենտգենյան և

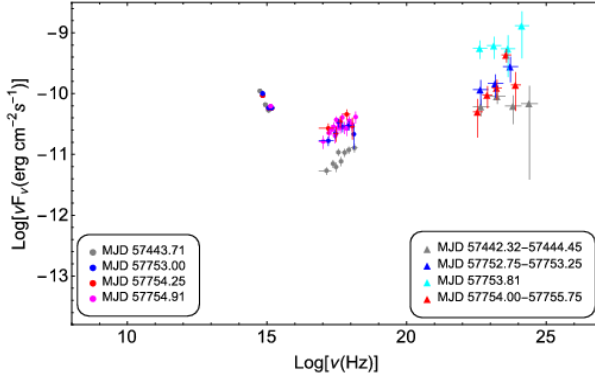
$\gamma$ ) տիրույթում ճառագայթման հատկությունները: Օգտագործելով «Fermi-LAT» դիտակով 2008թ. օգոստոսի 4-ից մինչև 2017թ. մարտի 15-ը գրանցված տվյալները ուսումնասիրվել է  $\gamma$ -տիրույթում հոսքի ժամանակային փոփոխականությունը, օգտագործելով ժամանակների տրոհման նորմալ և ադապտիվ (երբ յուրաքանչյուր ինտերվալում հոսքի գրանցման անորոշությունը կազմում 15%) եղանակները: Ստացված արդյունքները ցույց են տալիս, որ աղբյուրը  $\gamma$ -տիրույթում ժամանակ առ ժամանակ պայծառանում է: Ամենահզոր բռնկումները գրանցվել են 2015թ. հոկտեմբերին (Բռնկում 1 [Բ1]) և 2016թ. դեկտեմբերի վերջից մինչև 2017թ. սկիզբ (Բռնկում 2 [Բ2]):



Նկար 3: Վերևում ներկայացված է ֆոտոնային ցուցչի և հոսքի փոփոխությունը Բ1 և Բ2 բռնկումների ընթացքում պատկերված կապույտ սլաքով, իսկ ներքևում ցույց է տրված հոսքի ժամանակային փոփոխությունը Բ1 և Բ2 բռնկումների ժամանակ:

Մասնավորապես 2016թ. դեկտեմբերի 31-ին գրանցվել է այս աղբյուրի  $\gamma$  ճառագայթման հոսքի երբևէ գրանցված առավելագույն արժեքը՝  $(3.48 \pm 0.87) \times 10^{-6}$  ֆոտոն  $\text{սմ}^{-2}$  վրկ  $^{-1}$  չափված 3 ժամվա ընթացքում, որին համապատասխանում է  $L_{\gamma} \approx 3.84 \times 10^{45}$  էրգ վրկ  $^{-1}$  իզոտրոպիկ լուսատվություն: Սա ավելի բնորոշ է BL Lac դասի բլազարների և հետևաբար  $\gamma$ -տիրույթում ճառագայթումն առաջանում է շատ մեծ էֆեկտիվությամբ: Հետաքրքիր է, որ Բ1-ի և Բ2-ի ժամանակ հոսքի և ֆոտոնային ցուցչի հարթության վրա նկատելի են համապատասխանաբար ժամսլաքին հակառակ և ժամսլաքի ուղղությամբ պտույտներ, որոնք կարող են առաջանալ մասնիկների արագացման կամ էներգիայի կորստի հետևանքով (նկար 3 վերևի մասում): Օրինակ, եթե բռնկման ժամանակ մասնիկների արագացումը ավելի արագ է, քան նրանց էներգիայի կորուստը, ապա բռնկումը տարածվում է ցածրից բարձր էներգիաներ և կնկատվի պտույտ ժամսլաքին հակառակ ուղղությամբ, իսկ հակառակը կգրանցվի, երբ էներգիայի կորուստը ավելի արագ է տեղի ունենում: Բ2-ի ժամանակ ժամսլաքի ուղղությամբ պտույտը ցույց է տալիս, որ

այդ ժամանակ հիմնական ազդեցությունը տալիս են մեծ էներգիայով էլեկտրոնները, ինչը հաստատում է նաև այն փաստով, որ այդ ժամանակահատվածում է գրանցվել NGC 1275 աղբյուրից ամենամեծ էներգիայով ֆոտոնը (241.2 ԳէՎ):



Նկար 4. NGC 1275 աղբյուրի բազմալիքային՝ օպտիկական/ՈՒՄ, ռենտգենյան և ԲԷ  $\gamma$  տիրույթներում ճառագայթման սպեկտրները Բ2 բռնկման ընթացքում և հանգստի վիճակում:

Այդ բռնկումների ժամանակ գնահատվել են նաև հոսքի աճման և նվազման ժամանակները, կառուցելով հոսքի ժամանակի ընթացքում փոփոխության կորերը ավելի կարճ ինտերվալների համար (Բ1-ի համար 8 ժամվա, իսկ Բ2-ի դեպքում 3 ժամվա), որոնք պատկերված են նկար 3-ի ներքևի մասում: Ստացվել է, որ հոսքի ամենակարճ փոփոխության ժամանակը հավասար է  $1.21 \pm 0.22$  ժամի, ինչը բնորոշ է միայն շատ պայծառ բլազարներին և երբևէ չէր գրանցվել այլ ռադիոգալակտիկաների դեպքում:

Աղբյուրի բազմալիքային տիրույթում ճառագայթման սպեկտրները չափված Բ2 բռնկման ժամանակահատվածում և հանգիստ վիճակում պատկերված են նկար 4-ում, պատրաստված «Swift UVOT/XRT» և «Fermi-LAT» դիտակներով օպտիկական/ՈՒՄ, ռենտգենյան և ԲԷ-ի  $\gamma$  տիրույթներում գրանցված տվյալների վերլուծության արդյունքում: Բարձր էներգիաների  $\gamma$  տիրույթում հոսքի փոփոխականությունը կարճ ժամանակահատվածում ( $1.21 \pm 0.22$  ժամ) թույլ է տալիս եզրակացնել, որ ճառագայթման տիրույթի չափը չի կարող գերազանցել  $R \leq t \times c \times \delta / (1 + z) = 5.22 \times 10^{14} (\delta/4)$  սմ-ը, որտեղ  $\delta$ -ն դոպլերյան շեղման գործակիցն է,  $c$ -ն լույսի արագությունը,  $z$ -ը կարմիր շեղումն է, իսկ  $t$ -ն հոսքի փոփոխականության ժամանակահատվածն է: Սա նշանակում է, որ ճառագայթումը առաջանում է շիթի ենթապարսեկ չափերով տիրույթից:

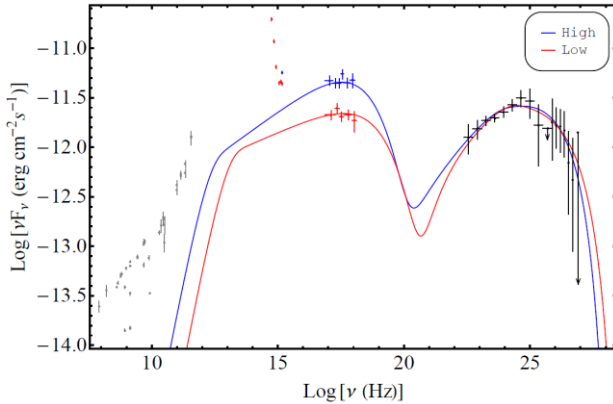
Նկատելի է, որ բռնկման ժամանակ ցածր էներգիական բաղադրիչի առավելագույն արժեքը համարյա չի փոփոխվում, իսկ ԲԷ բաղադրիչը շեղվում է դեպի ավելի մեծ էներգիաների տիրույթը: Նման շեղումը հնարավոր չէ բացատրել սինքրոտրոն/ սինքրոտրոնային ֆոտոնների հակադարձ կոմպտոնային ցրման մեխանիզմով և ավելի բարդ մոդելներ են անրաժեշտ: Օրինակ,  $\gamma$  տիրույթի ճառագայթումը կարող է առաջանալ շիթի լույս կառուցվածքում, որը շարժվում է ավելի մեծ արագություններով և ունի ավելի մեծ դոպլերյան շեղման գործակից կամ մասնիկների արագացումը և ճառագայթումը կարող են տեղի ունենալ տարբեր տիրույթներում («two-zone» մոդելներ):

**Չորրորդ գլխում** հետազոտվել են PKS 0625-35 ռադիոգալակտիկայի շիթում մասնիկների ճառագայթման մեխանիզմները վերլուծելով վերջին 9 տարիների (2008-2017թթ.) ընթացքում «Fermi-LAT» և այդ ընթացքում «Swift UVOT/XRT» դիտակներով գրանցված բոլոր տվյալները: Այս աղբյուրի ընտրությունը պայմանավորված է այն փաստով, որ այն ՏԷՎ տիրույթում մինչև այժմ գրանցված 4 ոչ բլազարային ԱԳՄ-ներից մեկն է: Աղբյուրի ռենտգենյան տիրույթում հոսքի ժամանակային պայծառության կորից նկատելի է, որ 2009 թ. նոյեմբերին ռենտգենյան տիրույթում հոսքը ( $F_{0.3-10 \text{ կէՎ}} = (15.86 \pm 0.90) \times 10^{-12} \text{ էրգ սմ}^{-2} \text{ վրկ}^{-1}$ ) համեմատած հանգիստ վիճակի հետ աճել է մոտ 2.3 անգամ, իսկ ֆոտոնային ցուցիչը փոքրացել է՝  $\Gamma_x = 1.97$  (հանգիստ վիճակում  $\Gamma_x = 2.26$ ): ԲԷ  $\gamma$ -տիրույթում հոսքի հնարավոր փոփոխականությունը պարզելու համար կառուցվել են 60- և 90-օրյա պայծառության կորերը:  $\chi^2$ -ի անալիզը ցույց է տալիս, որ 90-օրական ինտեգրվածներով պայծառության կորում նկատվում է ցածր հավանականությամբ՝  $P(\chi^2) = 99.951\%$  հոսքի փոփոխականություն:

Աղբյուրի ճառագայթման սպեկտրը մոդելավորվել է ռենտգենյան տիրույթի ակտիվ և հանգիստ վիճակներում, օգտագործելով էլեկտրոնների սինքրոտրոն/ սինքրոտրոնային ֆոտոնների հակադարձ կոմպտոնային ցրման մեխանիզմը, որը հանդիսանում է ռադիոգալակտիկաներից ճառագայթման հիմնական մեխանիզմը: Ամենայն հավանականությամբ այդ ճառագայթումը առաջանում է շիթի կոմպակտ և արագ շարժվող տիրույթից, որտեղ էլեկտրոնները ունեն  $N'_e(E'_e) = N'_0 (E'_e/m_e c^2)^{-\alpha} \exp[-E'_e/E'_{cut}]$  էներգիական բաշխվածություն (հետևում է արագացման տեսություններից) և փոխազդելով մագնիսական դաշտի հետ ճառագայթում են ռադիո-ռենտգենյան տիրույթներում (սինքրոտրոն ճառագայթում): Այնուհետև այդ սինքրոտրոնային ֆոտոնները նորից փոխազդելով էլեկտրոնների հետ ճառագայթում են ԲԷ և ԳԲԷ  $\gamma$  տիրույթներում (հակադարձ կոմպտոնյան ցրում): Տեսական մոդելավորման ժամանակ ազատ պարամետրերը զնահատելու համար օգտագործվել է «Markov chain Monte Carlo» մեթոդը, ինչը թույլ է տալիս գտնել

պարամետրերի այն համախումբը (և նրանց անորոշությունները), որը վիճակագրորեն լավագույնս նկարագրում է գրանցված սպեկտրները:

Մոդելավորման արդյունքները պատկերված են նկար 5-ում, որտեղ պատկերված է նաև օպտիկական/ՌՄ տիրույթում աղբյուրի ճառագայթման հոսքը, սակայն դրանք տվյալների մոդելավորման ժամանակ հաշվի չեն առնվել, քանի որ նրանց աճող տեսքը ցույց է տալիս, որ նրանք չեն կարող առաջանալ շիթում սինքրոտրոն ճառագայթումից:



Նկար 5. PKS 0625-35-ի բազմալիքային տիրույթում ճառագայթման սպեկտրը մոդելավորված սինքրոտրոն/սինքրոտրոնային ֆոտոնների հակադարձ կոմպտոնային ցրման մեխանիզմով:

Նաև հաշվի չեն առնվել ռադիո տիրույթի տվյալները (մոխրագույն կետեր), քանի որ այդ տիրույթում ճառագայթումը առաջանում է ցածր էներգիայով էլեկտրոններից, որոնց կյանքի տևողությունը ավելի երկար է և կարող են առաջանալ ավելի տարածված տիրույթներից: Ստացվել է, որ ռենտգենյան, ԲԷ և ԳԲԷ  $\gamma$ -տիրույթներում գրանցված սպեկտրները կարելի է բացատրել, երբ շիթում էլեկտրոնները արագանում են մինչև 50 ՏԷՎ էներգիաները և նրանց էներգիական բաշխվածությունը նկարագրվում է  $\alpha = 2.63 - 2.76$  ցուցիչներով աստիճանային օրենքով: Քանի որ, սինքրոտրոնային ճառագայթման ինտեփվությունը կախված է ճառագայթող էլեկտրոնների թվից, դոպլերյան շեղումից և մագնիսական դաշտից, ապա ռենտգենյան տիրույթում աճը կարելի է բացատրել, եթե մագնիսական դաշտը փոփոխվում է  $B = (8.95 \pm 2.43)$  մԳս-ից մինչև  $B = (16.27 \pm 3.95)$  մԳս: Շիթի անրաժեշտ հզորությունը  $(5.83 - 7.56) \times 10^{43}$  էրգ վրկ $^{-1}$  է, որը կազմում է աղբյուրի առավելագույն էդինգտոնյան լուսատվության միայն մի փոքր մասը (0.018 – 0.023) %:

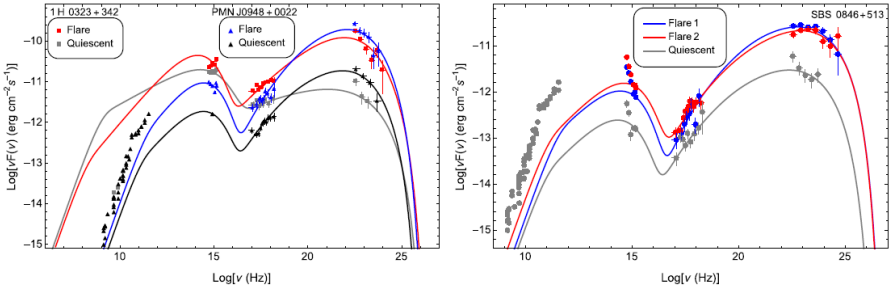
**Հինգերորդ գլխում** մանրամասն հետազոտվել են NLSy1 դասի 1H 0323+342, PMN J0948+0022 և SBS 0846+513 աղբյուրների ճառագայթումը բազմալիքային

տիրույթում վերլուծվելով «Fermi-LAT» և «Swift UVOT/XRT» դիտակներով 8.8 տարվա ընթացքում գրանցված տվյալները: NLSy1-ները միայն վերջերս են հաստատվել որպես  $\gamma$ -ճառագայթման աղբյուրներ և առանձնանում են բարձր  $\gamma$ -ճառագայթման լուսատվությամբ համեմատած ռադիոգալակտիկաների հետ: Յուրաքանչյուր աղբյուրի համար պատրաստվել են օպտիկական/ՌԼ, ռենտգենյան և ԲԷ  $\gamma$ -տիրույթների պայծառության կորերը և հետազոտվել են նշված տիրույթներում բռնկումների ժամանակ հոսքերի միաժամանակյա, ինչպես նաև ոչ միաժամանակյա փոփոխությունները: Օգտագործելով ԲԷ  $\gamma$ -տիրույթի պայծառության կորը յուրաքանչյուր աղբյուրի համար, պատրաստված ժամանակի ադապտիվ բաժանման եղանակով (յուրաքանչյուր ինտերվալին համապատասխանում է 20% անորոշություն), առանձնացվել են աղբյուրների ճառագայթման ակտիվ (բռնկումների) և հանգիստ վիճակները: Այնուհետև բռնկումների ժամանակահատվածների համար իրականացվել է ժամանակային անալիզ, այսինքն գնահատվել է հոսքի աճման և նվազման ժամանակները: Ստացվել է, որ 1H 0323+342, PMN J0948+0022 և SBS 0846+513 աղբյուրների հոսքերը փոփոխական են կարճ՝ համապատասխանաբար  $t = 0.49 \pm 0.26$  օր,  $t = 0.47 \pm 0.17$  օր և  $t = 0.97 \pm 0.32$  օր ժամանակահատվածներում, որը նման է բլազարների փոփոխական  $\gamma$  ճառագայթմանը: Այս արդյունքները թույլ են տալիս գնահատել, որ աղբյուրներում ճառագայթման տիրույթների չափերը չեն գերազանցում մի քանի անգամ  $10^{16}$  սմ, ինչը համադրելով գրանցված մեծ լուսատվության հետ, կարող ենք միանշանակ պնդել, որ այդ ճառագայթումը առաջանում է միջուկին շատ մոտ տիրույթներից:

$\gamma$ -տիրույթում ստացված պայծառության կորերում նկատելի են հոսքի կտրուկ բռնկումներ կարճ ժամանակահատվածներում: Օրինակ 1H 0323+342 աղբյուրը հիմնականում գտնվում է հանգիստ վիճակում, սակայն մի քանի անգամ հոսքը կտրուկ աճել է: Ամենազգալի աճը գրանցվել է MJD 56534.3-ին, երբ հոսքը կազմել է  $(1.98 \pm 0.31) \times 10^{-6}$  ֆոտոն սմ<sup>-2</sup> վրկ<sup>-1</sup> չափված 16.2 ժամվա ընթացքում, իսկ ֆոտոնային ցուցիչը եղել է  $2.22 \pm 0.15$ , որից հետո աղբյուրի ճառագայթումը նորից գտնվել է հանգստի վիճակում: SBS 0846+513 աղբյուրի համար կարելի է առանձնացնել մի քանի բռնկումներ, սակայն նրանց ռոժգնությունը ավելի փոքր է համեմատած 1H 0323+342-ի հետ: Ամենամեծ հոսքը գրանցվել է MJD 56145.6-ին  $(6.35 \pm 1.12) \times 10^{-7}$  ֆոտոն սմ<sup>-2</sup> վրկ<sup>-1</sup> արժեքով: Այս ակտիվ վիճակը շարունակվել է մինչև MJD 56146.8, երբ հոսքը եղել է  $(4.15 \pm 1.04) \times 10^{-7}$  ֆոտոն սմ<sup>-2</sup> վրկ<sup>-1</sup>, իսկ ֆոտոնային ցուցիչը  $1.73 \pm 0.10$ : PMN J0948+0022 աղբյուրը մի քանի անգամ գտնվել է ակտիվ  $\gamma$  ճառագայթման վիճակներում, որոնց ընթացքում հոսքի առավելագույն արժեքը եղել է  $(1.51 \pm 0.31) \times 10^{-6}$  ֆոտոն սմ<sup>-2</sup> վրկ<sup>-1</sup>, որը  $z = 0.585$  կարմիր շեղման դեպքում

համապատասխանում է  $L_\gamma \approx 1.09 \times 10^{48}$  էրգ վրկ $^{-1}$  լուսատվությանը: Պետք է նշել, որ այսպիսի մեծ լուսատվություն գրանցվել է միայն ամենապայծառ FSRQ դասի բլազարներից:

Յուրաքանչյուրի աղբյուրի  $\gamma$ -ճառագայթման հանգիստ և ակտիվ վիճակների համար կառուցվել են էներգիայի սպեկտրալ բաշխվածությունները ներառելով նաև «Swift UVOT/XRT» դիտակներով գրանցված տվյալները:



Նկար 6. Ձախ մասում պատկերված են 1H 0323+342 և PMN J0948+0022, իսկ աջ մասում SBS 0846+513 աղբյուրների բազմալիքային սպեկտրները մոդելավորած սինքրոտրոնային/սինքրոտրոնային ֆոտոնների հակադարձ Կոմպտոնային ցրման մեխանիզմով:

Շիթերում տեղի ունեցող պրոցեսները հետազոտելու համար դիտարկվող աղբյուրների ճառագայթման սպեկտրները մոդելավորվել են սինքրոտրոնային/սինքրոտրոնային ֆոտոնների հակադարձ կոմպտոնային ցրման մեխանիզմով, որոնց արդյունքները պատկերված են նկար 6-ում:

1H 0323+342 աղբյուրի ակտիվ և հանգիստ վիճակներում ճառագայթումը կարելի է բացատրել որպես միևնույն էլեկտրոնների սինքրոտրոնային/սինքրոտրոնային ֆոտոնների հակադարձ կոմպտոնյան ցրման մեխանիզմով, եթե էլեկտրոնների էներգիական բաշխվածությունները նկարագրվում են համապատասխանաբար  $\alpha = 1.90 \pm 0.07$  և  $\alpha = 2.49 \pm 0.06$  ցուցիչներով աստիճանային օրենքով, իսկ նրանց առավելագույն էներգիան  $E_{cut} = (68.55 \pm 8.10)$  ԳէՎ և  $E_{cut} = (52.40 \pm 6.30)$  ԳէՎ է: Ակտիվ վիճակում աստիճանային ցուցիչ նվազումը և առավելագույն էներգիայի աճը պայմանավորված են ռենտգենյան և  $\gamma$  տիրույթներում հոսքի աճով: Շիթի ընդհանուր հզորությունը ակտիվ վիճակում գնահատվել է  $L_{2\text{իթ}} = 2.25 \times 10^{45}$  էրգ վրկ $^{-1}$  և  $L_{2\text{իթ}} = 0.56 \times 10^{45}$  էրգ վրկ $^{-1}$  հանգիստ վիճակում:

SBS 0846+513 աղբյուրի բազմալիքային սպեկտրի մոդելավորումը կատարվել է ճառագայթման հանգիստ և երկու բռնկումների ժամանակ: Հետաքրքիր է, որ բռնկման և հանգստի վիճակներում ճառագայթման սպեկտրները կարելի է բացատրել, երբ էլեկտրոնների բաշխումը նկարագրվում է  $\alpha = 2.00$  ցուցիչով,



սակայն առավելագույն էներգիան աճել է բռնկման վիճակում և կազմել է  $E_{cut} = 148.35 - 159.45$  ԳէՎ: Շիթի գնահատված հզորությունները բռնկման և հանգիստ վիճակներում համապատասխանաբար  $L_{2իթ} = (5.79 - 8.20) \times 10^{45}$  էրգ վրկ<sup>-1</sup> և  $L_{2իթ} = 1.90 \times 10^{45}$  էրգ վրկ<sup>-1</sup> են՝ հիմնականում պայմանավորված արագացված մասնիկների կինետիկ էներգիաներով:

PMN J0948+0022 աղբյուրի դեպքում մոդելավորվել է ճառագայթման սպեկտրը, երբ  $\gamma$ -տիրույթում գրանցվել է առավելագույն հոսքը: Արդյունքում, էլեկտրոնների էներգիական բաշխումը հանգիստ վիճակի համար նկարագրվում է  $\alpha = 1.93 \pm 0.12$  և  $E_{cut} = (30.19 \pm 5.32)$  ԳէՎ պարամետրերով, իսկ բռնկման վիճակում, երբ  $\alpha = 1.75 \pm 0.12$  և  $E_{cut} = (47.33 \pm 5.93)$  ԳէՎ: Շիթի հզորությունը հանգստի և բռնկման վիճակներում փոփոխվում է  $(1.54 - 7.03) \times 10^{45}$  էրգ վրկ<sup>-1</sup> տիրույթում:

### **Եզրակացություն**

- Վերլուծվել են 26 ոչ բլազարային ԱԳՄ-երի 2008-2015թթ. ընթացքում ԲԷ  $\gamma$  տիրույթում դիտարկումների արդյունքները: Համեմատվել են տարբեր դասերի ռադիոգալակտիկաներից ճառագայթման հոսքերը, ֆոտոնային ցուցիչները և ստացված արդյունքները քննարկվել են ԱԳՄ-ների դասակարգման ընդհանուր տեսության շրջանակում:

- Ցույց է տրվել, որ աղբյուրների մեծամասնության դեպքում դիֆերենցիալ սպեկտրը նկարագրվում է աստիճանային օրենքով, սակայն NGC 1275, NGC 6251, SBS 0846+513 և PMN J0948+0022 աղբյուրների դեպքում գրանցվել է շեղում այդ օրենքից մի քանի ԳէՎ էներգիաների տիրույթում:

- Օգտագործելով հոսքերի ժամանակի ընթացքում փոփոխության ուսումնասիրության ադապտիվ եղանակը ցույց է տրվել, որ NGC 1275, 1H 0323+342, SBS 0846+513 և PMN J0948+0022 աղբյուրների  $\gamma$  ճառագայթման հոսքը կտրուկ փոփոխական է: 3C 111, Cen A core, 3C 207, 3C 275.1, 3C 380, 4C+39.23B, PKS 1502+036 և PKS 2004-447 աղբյուրների դեպքում հոսքը փոփոխվում է մի քանի ամիսների ընթացքում:

- Ցույց է տրվել, որ NGC 1275 աղբյուրի ճառագայթումը  $\gamma$ -տիրույթում փոփոխական է չափազանց կարճ՝  $1.21 \pm 0.22$  ժամվա ընթացքում երբ հոսքը աճում է մինչև  $(3.48 \pm 0.87) \times 10^{-6}$  ֆոտոն սմ<sup>-2</sup> վրկ<sup>-1</sup>: Այս աղբյուրից մինչ այժմ գրանցված հզոր բռնկումներից առաջինը՝ (2015թ. հոկտեմբեր), պայմանավորված է էլեկտրոնների արագացմամբ, մինչդեռ երկրորդը՝ (2016թ. դեկտեմբեր/2017թ. հունվար) էներգետիկ էլեկտրոնների էներգիայի կորստով:

- Հետազոտվել է PKS 0625-35 աղբյուրի ճառագայթումը ռադիոյից մինչև ԳԲԷ  $\gamma$  տիրույթները: Ցույց է տրվել, որ ռենտգենյան տիրույթում ակտիվ և

հանգիստ վիճակներում ճառագայթումը կարող է բացատրվել սինքրոտրոն/ սինքրոտրոնային ֆոտոնների հակադարձ կոմպտոնայան ցրման մեխանիզմով, եթե շիթում էլեկտրոնները արագանում են մինչև 50 ՏէՎ, իսկ շիթի հզորությունը  $(5.83 - 7.56) \times 10^{43}$  էրգ վրկ<sup>-1</sup> կարգի է:

- Գնահատվել է NLSy1 դասի աղբյուրների Բէ  $\gamma$ -տիրույթում ճառագայթման հիմնական պարամետրերը, ցույց է տրվել, որ հոսքը օրական ժամանակահատվածներում ցուցաբերում է փոփոխականություն, իսկ ճառագայթումը առաջանում է շիթի մի քանի անգամ  $10^{16}$  սմ չգերազանցող տիրույթից:

### **Ատենախոսության թեմայով հրատարակված աշխատանքների ցանկը**

1. Baghmanyan V., “Gamma-ray variability of NGC 1275”, AIP Conference Proceedings, Volume 1792, Issue 1, id. 050007, 6 pp., (2017).
2. Baghmanyan, V., Gasparyan, S., & Sahakyan, N., “Rapid gamma-ray variability of NGC 1275”, The Astrophysical Journal, Volume 848, doi: 10.3847/1538-4357/aa8c7b, 8 pp, (2018).
3. Sahakyan, N., Baghmanyan, V., & Zargaryan, D., “Fermi-LAT observation of non-blazar AGNs”, Accepted for publication in Astronomy & Astrophysics., 11 pp, (2018).
4. Baghmanyan, V., & Sahakyan, N., “X-ray and  $\gamma$ -ray emissions from NLSy1 galaxies”, International Journal of Modern Physics D, Vol. 27, 1844001, 9 pp, (2018).
5. Baghmanyan, V., Tumanyan, M., Sahakyan N., & Vartanyan, Y., “High-energy  $\gamma$ -ray emission from PKS 0625-35”, Astrophysics, 61, 160-170, 2018.

## SUMMARY

This thesis is devoted to study High Energy (HE) emission processes in the non-blazar subclass of Active Galactic Nuclei (AGN). AGNs constantly emit electromagnetic radiation for a very long period and are among the most powerful long-lived objects in the Universe. AGNs are strong emitters in all the observed energy bands (from radio to VHE  $\gamma$ -ray bands) being one of the most studied sources. After the initial 4 years, Fermi-LAT observed not only more than 1000 blazars, but also 26 AGNs (mostly radiogalaxies), which show different characteristics compared to blazars. The study of these AGNs properties and comparison with similar parameters of blazars is crucial for understanding the AGNs features in the  $\gamma$ -ray band.

**In Introduction** the AGN types and structures, the novelty, the main goals and methods of the thesis are presented and described.

**In Chapter 1** the main unification model of AGNs classification is briefly described, mainly considering the broadband properties of non-blazar AGNs (FRI, FRII, SSRQ and NLSy1). And the structures of Swift and Fermi-LAT telescopes are described in detail, presenting their technical parameters, observational methods, data extraction and reduction steps.

**In Chapter 2** the spectral and temporal properties of  $\gamma$ -ray emission from non-blazar AGNs are investigated using Fermi-LAT data accumulated during 2008-2015. It is shown that non-blazar AGNs have a  $\gamma$ -ray photon index in the range of 1.84 – 2.86 and a flux varies from a few times  $10^{-9}$  photon  $\text{cm}^{-2} \text{s}^{-1}$  to  $10^{-7}$  photon  $\text{cm}^{-2} \text{s}^{-1}$ . Over long time periods the power-law provides an adequate description of the  $\gamma$ -ray spectra of almost all sources. Significant curvature is observed in the  $\gamma$ -ray spectra of NGC 1275, NGC 6251, SBS 0846+513 and PMN J0948+0022, where log-parabola or power-law with exponential cut-off models give better description of their spectra. The  $\gamma$ -ray spectra of PKS 0625-25 and 3C 380 show a possible deviation from a simple power-law shape, indicating a spectral cutoff around the observed photon energy of  $E_{\text{cut}} = 131.2 \pm 88.04$  GeV and  $E_{\text{cut}} = 55.57 \pm 50.74$  GeV, respectively. In the  $\Gamma - L_{\gamma}$  plane, the luminosities of non-blazar AGNs spread in the range of  $(10^{41} - 10^{47})$  erg  $\text{s}^{-1}$  where FRI radio galaxies have the lowest luminosities (but typically appears with a harder photon index), while in the case of SSRQs/NLSy1s the highest luminosities are observed (with softer photon indices). The  $\gamma$ -ray emission from NLSy1s, 1H 0323+342, SBS 0846+513 and PMN J0948+0022 is variable showing flares in short scales, sometimes accompanied by a moderate hardening of their spectra (e.g., on MJD 56146.8 the  $\gamma$ -ray photon index of SBS 0846+513 was  $\Gamma = 1.73 \pm 0.14$ ). 3C 111, Cen A core, 3C 207, 3C 275.1, 3C 380, 4C+39.23B, PKS 1502+036 and PKS 2004-447 show a long-timescale flux variability in the  $\gamma$ -ray band.

**In Chapter 3** the  $\gamma$ -ray emission from the brightest radio galaxy NGC 1275 in MeV/GeV band is investigated by a detailed analysis of the  $\gamma$ -ray light curve using the Fermi-LAT data accumulated in 2008-2017. Major  $\gamma$ -ray flares were observed in October 2015 and December 2016/January 2017, when the source reached a daily peak flux of  $(2.21 \pm 0.26) \times 10^{-6}$  photon  $\text{cm}^{-2} \text{s}^{-1}$  and the maximum flux measured within 3 hours is  $(3.48 \pm 0.87) \times 10^{-6}$  photon  $\text{cm}^{-2} \text{s}^{-1}$ , which corresponds to isotropic  $\gamma$ -ray luminosity of  $\approx 3.84 \times 10^{45}$  erg  $\text{s}^{-1}$ . The most rapid flare had e-folding time as short as  $1.21 \pm 0.22$  hours, which had never been previously observed for any radio galaxy in  $\gamma$ -ray band. Also  $\gamma$ -ray spectral changes were observed during these flares: in the flux versus photon index plane the spectral evolution follows correspondingly a counter clockwise and a clockwise loop inferred from the light curve generated by an adaptive binning method. The observed hour-scale variability suggests a very compact emission region ( $R_\gamma \leq 5.22 \times 10^{14}$  ( $\delta/4$ ) cm) implying that the observed emission is most likely produced in the sub-parsec scale of the jet. During the active periods the  $\gamma$ -ray photon index hardened, shifting the peak of the high energy spectral component to  $>\text{GeV}$ , making it difficult to explain the observed X-ray and  $\gamma$ -ray data with the standard one-zone synchrotron self-Compton model.

**In Chapter 4** the  $\gamma$ -ray emission from the radio galaxy PKS 0625-35 is investigated using the Fermi-LAT data accumulated during 2008-2017.  $\gamma$ -rays have been detected with a detection significance of about  $32.3\sigma$  up to 100 GeV. A power law spectrum with a photon index of  $1.88 \pm 0.04$  and an integrated flux of  $F_\gamma = (1.02 \pm 0.10) \times 10^{-8}$  photon  $\text{cm}^{-2} \text{s}^{-1}$  above 100 MeV successfully describes the  $\gamma$ -ray data up to 100 GeV. There is a hint of deviation from a simple power-law shape around tens of GeV energies; however, the low statistics does not allow to reject the power law model.

Using the Markov Chain Monte Carlo method for model parameters estimation, the spectral energy distributions during high and low X-ray states are modeled with one-zone leptonic models that include the synchrotron, synchrotron self Compton processes. The modeling shows that in the jet of PKS 0625-35 the particles (electrons) are accelerated to higher  $> 50$  TeV energies.

**In Chapter 5** the multiwavelength emission properties of 1H 0323+342, SBS 0846+513 and PMN J0948+0022 NLSy1 galaxies are discussed, using the  $\gamma$ -ray data from the last 8.8 years Fermi-LAT observations as well as available Swift (UVOT/XRT) data. The temporal analyses showed that  $\gamma$ -rays are produced from a compact region few times  $10^{16}$  cm and one-zone synchrotron/synchrotron self-Compton model can satisfactorily reproduce their observed broadband spectra.

## РЕЗЮМЕ

Данная диссертация посвящена изучению высокоэнергетических процессов в не блазарном подклассе активных галактических ядер (АГЯ). АГЯ постоянно излучают электромагнитное излучение в течение очень длительного периода и являются сильными источниками излучения во всех наблюдаемых энергетических диапазонах (от радиоволн до диапазона  $\gamma$  лучей сверхвысоких энергий) и поэтому всегда относятся к числу наиболее изучаемых источников. В течении четырехлетних наблюдений телескопа “Fermi-LAT” в  $\gamma$  диапазоне были зарегистрированы около 26 не блазарные АГЯ, которые не обладают характеристиками присущим блазарам. Изучение этих источников и их сравнение с аналогичными параметрами блазаров имеет ключевое значение для понимания особенностей АГЯ в  $\gamma$  диапазоне.

**В введении** представлены и описаны типы и структуры АГЯ, новизна диссертации, основные цели и использованные методы.

**В первой главе** кратко описывается основная модель классификации АГЯ, с учетом широкополосных свойств не блазарных АГЯ (FRI, FR II, SSRQ и NLSy1). Представлены основные свойства телескопов “Swift” и “Fermi-LAT” с описанием их технических параметров, методов наблюдений и анализ данных.

**Во второй главе** исследованы спектральные и временные свойства  $\gamma$ -излучения не блазарных АГЯ с использованием данных “Fermi-LAT”, накопленных в течение 2008-2015 гг. Было получено, что не блазарные АГЯ имеют индекс  $\gamma$  квантов 1.84 – 2.86, а поток от несколько раз  $10^{-9}$  фотон  $\text{см}^{-2} \text{сек}^{-1}$  до  $10^{-7}$  фотон  $\text{см}^{-2} \text{сек}^{-1}$ . Спектры большинства источников описываются степенным законом (СЗ), исключениями являются NGC 1275, NGC 6251, SBS 0846+513 и PMN J0948+0022, которые хорошо описываются законом логарифмической параболы или степенным законом с экспоненциальным обрезанием. Спектры  $\gamma$  излучения PKS 0625-25 и 3C 380 показывают возможное отклонение от обычной СЗ формы, что намекает на спектральное обрезание вокруг наблюдаемой энергии фотонов на  $E_{\text{cut}} = 131.2 \pm 88.04$  ГэВ и  $E_{\text{cut}} = 55.57 \pm 50.74$  ГэВ соответственно.  $\gamma$ -излучение от NLSy1, 1H 0323+342, SBS 0846+513 и PMN J0948+0022 источников является переменным в коротких временных отрезках, иногда приводящих к тому, что спектр становится умеренно жестким (например, фотонный индекс  $\gamma$  излучения SBS 0846+513 в MJD 56146.8 был  $\Gamma = 1.73 \pm 0.14$ ). Также были исследованы 3C 111, ядро Центавра А, 3C 207, 3C 275,1, 3C 380, 4C+39,23В, PKS 1502+036 и PKS 2004-447, которые демонстрируют изменчивость потока в  $\gamma$ -диапазоне в больших временных масштабах.

**В третьей главе** обсуждается излучение NGC 1275, самой яркой радиогалактики в МэВ/ГэВ диапазоне. Сделан детальный анализ кривой  $\gamma$ -излучения с

использованием данных “Fermi-LAT”, накопленных в 2008-2017 годах. Самые яркие  $\gamma$  вспышки наблюдались в октябре 2015 г. и в декабре 2016 г./январе 2017г., когда источник достиг суточного пикового потока в  $(2.21 \pm 0.26) \times 10^{-6}$  фотон  $\text{см}^{-2} \text{сек}^{-1}$  и  $(3.48 \pm 0.87) \times 10^{-6}$  фотон  $\text{см}^{-2} \text{сек}^{-1}$ , что соответствует изотропной  $\gamma$  светимости  $\approx 3.84 \times 10^{45}$  эрг  $\text{сек}^{-1}$ . Характерное время экспоненциального затухания самой быстрой вспышки составило  $1.21 \pm 0.22$  час, что никогда ранее не наблюдалось ни для одной радиогалактики в  $\gamma$  диапазоне. На этих вспышках наблюдались также спектральные изменения  $\gamma$  излучения. Исходя из кривой яркости, генерированной методом адаптивного биннинга, было показано, что в плоскости фотонного индекса и потока, спектральная эволюция имеет направление против часовой стрелки для первой вспышки и по часовой стрелке в случае второй. Наблюдаемая быстрая переменность потока предполагает очень компактную область излучения ( $R_{\gamma} \leq 5.22 \times 10^{14}$  ( $\delta/4$ ) см). Это означает, что наблюдаемое излучение скорее всего вырабатывается в субпарсекной области струе. В периодах активности  $\gamma$  излучение становится более жестким, смещая пик спектрального компонента высоких энергий в сторону  $> \text{ГэВ}$ , что затрудняет объяснение с помощью синхротронной само комптоновской (ССК) модели.

**В четвертой главе** рассмотрено  $\gamma$  излучение радиогалактики PKS 0625-35 с использованием данных “Fermi-LAT”, накопленных в течение 2008-2017гг.  $\gamma$  излучение до 100 ГэВ было зарегистрировано со значимостью обнаружения около  $32.3\sigma$ . Спектр со СЗ с индексом фотона  $1.88 \pm 0.04$  и интегрированным потоком в  $F_{\gamma} = (1.02 \pm 0.10) 10^{-8}$  фотон  $\text{см}^{-2} \text{сек}^{-1}$  хорошо описывает данные  $\gamma$  излучения до 100 ГэВ. Есть признаки отклонения от простой формы СЗ около энергии в десятки ГэВ, однако малая статистика не позволяет сделать однозначный вывод. Спектральное распределение при высоких и низких энергиях рентгеновского излучения моделируются с использованием однозонных лептонных моделей, которые включают ССК процессы. Параметры модели оцениваются методом Марковских цепей Монте-Карло. Моделирование показывает, что в струе PKS 0625-35 частицы (электроны) ускоряются до энергий выше 50 ТэВ.

**В пятой главе** обсуждаются многоволновые эмиссионные свойства галактик 1H 0323+342, SBS 0846+513 и PMN J0948+0022 NLSy1 с использованием данных  $\gamma$  излучения за последние 8.8 лет наблюдения “Fermi-LAT”, а также доступные данные “Swift (UVOT/XRT)”. Временной анализ показал, что  $\gamma$  излучение исходит из компактной области (несколько раз  $10^{16}$  см), а однозонная ССК модель удовлетворительно воспроизводит наблюдаемые широкополосные спектры.