

ՊԱՇՏՈՆԱԿԱՆ ԸՆԴԴԻՄԱԽՈՍԻ ԿԱՐԾԻՔ

Նարեկ Սահակյանի «Բլազարների բազմաալիքային և նեյտրինային ճառագայթման ուսումնասիրությունը» ատենախոսության վերաբերյալ՝ ներկայացված Ա.04.02. «Տեսական ֆիզիկա» մասնագիտությամբ ֆիզիկամաթեմատիկական գիտությունների դոկտորի գիտական աստիճանի հայցման

Տարատեսակ աստղաֆիզիկական աղբյուրների ուսումնասիրությունը բազմաալիքային տիրույթում ժամանակակից աստղաֆիզիկայի առավել արագ զարգացող ուղղություններից է: Դա պայմանավորված է մեծ ծավալի դիտողական տվյալների առկայությամբ և այդ տվյալների քանակի շարունակական աճով: Դրանք վերաբերվում են ինչպես էլեկտրամագնիսական ճառագայթմանը տարբեր հաճախային տիրույթներում, այնպես էլ տիեզերական ճառագայթներին տարբեր տեսակի մասնիկների տեսքով: Մասնավորապես, IceCube նեյտրինային դիտակի օգնությամբ կատարված դիտումները հնարավորություն են տալիս աստղաֆիզիկական աղբյուրներն ուսումնասիրել նաև դրանցից եկող բարձր էներգիայի նեյտրինոների գրանցման միջոցով, ինչը լայն հնարավորություններ է ընձեռնում աղբյուրներում տեղի ունեցող ոչ ջերմային երևույթների ուսումնասիրման համար: Այս համատեքստում, տարբեր հաճախային տիրույթներում դիտումների համադրումը նեյտրինային դիտումների հետ և ստացված արդյունքների համապարփակ մոդելավորումը հայտնի տեսական տարբեր մոդելների շրջանակում, թույլ են տալիս հետազոտել աղբյուրներում տեղի ունեցող ոչ ջերմային պրոցեսները: Այդ հետազոտությունները հնարավորություն են տալիս ճշգրտել քննարկվող մոդելները, ինչպես նաև առաջարկել ճառագայթման առաջացման նոր մոդելներ:

Ներկայացված ատենախոսությունում ակտիվ գալակտիկական միջուկների ենթադաս հանդիսացող բլազարների բազմաալիքային տիրույթում դիտումների տվյալների մանրամասն վերլուծության միջոցով ուսումնասիրվել են այդ աղբյուրների ռելատիվիստական շիթերում մասնիկների արագացման և ճառագայթման մեխանիզմները: Բլազարներն արտագալակտիկական ճառագայթման ամենահզոր աղբյուրներից են և դրանց շիթերի առաջացումն ու ուղորդված տարածումը, ինչպես նաև դրանցում տեղի ունեցող պրոցեսների մոդելավորումը ժամանակակից աստղաֆիզիկայի առավել արդիական խնդիրներից են: Հայտնի է, որ այդ շիթերը էլեկտրամագնիսական ճառագայթման ակտիվ աղբյուրներ են և վերջին տարիներին մանրամասն հետազոտվել են տարբեր հաճախային տիրույթներում: Տարիների ընթացքում գրանցված տվյալների վերլուծությունը հնարավորություն է տալիս պարզել շիթերում մասնիկների ճառագայթման մեխանիզմները և այդ մեխանիզմների դինամիկ փոփոխությունը:

Ատենախոսությունը բաղկացած է ներածությունից, ինը գլուխներից, եզրակացությունից և գրականության ցանկից:

Ներածական մասում կատարված է գրականության համառոտ ակնարկ, ներկայացված են աշխատանքի հիմնական խնդիրները և դրանց արդիականությունը, ատենախոսության կառուցվածքը, հակիրճ բովանդակությունը և ստացված հիմնական արդյունքները:

Առաջին գլխում ներկայացված է 3C 454.3 բլազարի բազմահաձախային տիրույթում ճառագայթման մեխանիզմների մանրամասն ուսումնասիրությունը, վերլուծելով օպտիկական, ուլտրամանուշակագույն (ՈւՄ), ռենտգենյան և բարձր էներգիաների գամմա (>100 ՄէՎ) տիրույթներում գրանցված տվյալները: Ցույց է տրվել, որ գամմա տիրույթում 3C 454.3-ն ամենապայծառ բլազարներից է, որի ակտիվ վիճակում ճառագայթման լուսատվությունը աճում է մինչև 2.15×10^{50} էրգ վրկ⁻¹: Աղբյուրը եղել է նաև ակտիվ ճառագայթման վիճակում օպտիկական/ՈւՄ և ռենտգենյան տիրույթներում: Մանրամասն հետազոտվել է աղբյուրի ճառագայթման սպեկտրի փոփոխությունը տարբեր տիրույթներում, բերված են էներգիայի սպեկտրալ բաշխվածությունները (էՄԲ-եր): Առանձնացված մեծ թվով էՄԲ-երի մոդելավորման միջոցով հետազոտվել է շիթում պլազմայի ֆիզիկական վիճակի փոփոխությունը ժամանակի ընթացքում (ճառագայթող մասնիկների էներգետիկ բաշխումը, շիթում մագնիսական դաշտը և այլն): Նման տեսական մոդելավորումը հնարավորություն է տալիս բացատրել բնկումների առաջացման մեխանիզմները:

Երկրորդ գլխում ներկայացված է BL Lac բլազարի շիթում մասնիկների արագացման և ճառագայթման մեխանիզմների ուսումնասիրությունը, վերլուծելով 2008-2021թթ. ընթացքում Swift XRT, Swift UVOT և Fermi-LAT դիտակներով գրանցված տվյալները: Հետազոտելով ժամանակի ընթացքում աղբյուրի ճառագայթման հոսքի փոփոխությունը, ցույց է տրվել, որ օպտիկական, ՈւՄ, ռենտգենյան և բարձր էներգիաների գամմա տիրույթներում հոսքը փոփոխական է և ռենտգենյան տիրույթում հոսքի փոփոխությանը զուգահեռ փոխվում է նաև ճառագայթման սպեկտրի ֆոտոնային ինդեքսը: Մասնավորապես, 2020 թ. հոկտեմբերի 6-ին ռենտգենյան տիրույթում գրանցված բնկման ժամանակ ճառագայթման ֆոտոնային ցուցիչը նվազում է (soft spectrum), և սինքրոտրոնային ճառագայթման բաղադրիչը շեղվում է մեծ հաճախությունների տիրույթ: Բացի դրանից, առանձնացված մեծ քանակությամբ էՄԲ-երը (511) մոդելավորվել են մեկ և երկու տիրույթներից լեպտոնային ճառագայթման տեսության շրջանակում:

Երրորդ գլխում, 2008-2020թթ. ընթացքում օպտիկական, ՈւՄ, ռենտգենյան և բարձր էներգիաների գամմա տիրույթում գրանցված տվյալների մանրամասն ժամանակային և սպեկտրալ վերլուծության միջոցով հետազոտվել են BL Lac դասի 1ES 1218 + 304 բլազարի շիթում ճառագայթման մեխանիզմները: Ցույց է տրվել, որ 0.3-10 կէՎ տիրույթում ճառագայթման ֆոտոնային ինդեքսը հիմնականում 2.0-ից մեծ տիրույթում է, իսկ 3-50 կէՎ միջակայքում՝ 2.56 ± 0.028 տիրույթում: Սակայն որոշ դեպքերում ռենտգենյան տիրույթում ճառագայթման սպեկտրը դառնում է < 1.8 , ինչը նշանակում է, որ աղբյուրի սինքրոտրոնային ճառագայթման բաղադրիչի առավելագույնը 1 կէՎ-ից բարձր տիրույթում է, այսինքն՝ 1ES 1218+304 աղբյուրը վերածվում է «extreme» սինքրոտրոնային բլազարի: Աղբյուրի էՄԲ-ը մոդելավորվել է մեկ տիրույթից սինքրոտրոնային ֆոտոնների հակադարձ

կոմպտոնյան ցրման մեխանիզմով՝ օգտագործելով ճառագայթող էլեկտրոնների տարբեր բաշխվածություններ: Ստացված արդյունքները դիտարկվել են ճառագայթման տիրույթում էլեկտրոնների էվոլյուցիան նկարագրող կինետիկ հավասարման լուծման շրջանակում:

Չորրորդ գլխում ուսումնասիրվել են FSRQ դասի CTA 102 բլազարի գամմա տիրույթում ճառագայթման մեխանիզմները՝ 2016-2017թթ. գրանցված մի քանի ուժեղ բռնկումների ժամանակ: Ցույց է տրվել, որ որոշ ժամանակահատվածներում գամմա տիրույթում CTA 102-ի ճառագայթման սպեկտրը շեղվում է պարզ աստիճանային օրենքից և այդ շեղումը հնարավոր չէ բացատրել լայն գծերով տիրույթից անդրադարձած ֆոտոնների հետ փոխազդեցությամբ պայմանավորված կլանումով: Ռենտգենյան և բարձր էներգիաների գամմա տիրույթներում գրանցված տվյալները մոդելավորվել են ռադիո օպտիկական տիրույթում ճառագայթող էլեկտրոնների վրա սինքրոտրոնային և արտաքին դաշտերի ֆոտոնների հակադարձ Կոմպտոնյան ցրման մեխանիզմով: Ստացված արդյունքները քննարկվել են մասնիկների արագացման և ճառագայթման տարբեր սցենարների շրջանակներում:

Հինգերորդ գլխում, քննարկելով 4FGL J1544.3-0649 աղբյուրի՝ բազմահաճախային տիրույթում ճառագայթման առանձնահատկությունները, առաջարկվել է ժամանակավոր (transient) բլազարների նոր դաս: 4FGL J1544.3-0649 աղբյուրը ռադիո տիրույթում գրանցված բլազար է, որի ճառագայթումը ռենտգենյան և բարձր էներգիաների գամմա տիրույթներում դեռ չէր գրանցվել: Ցույց է տրվել, որ այս աղբյուրի ճառագայթումը ռենտգենյան և գամմա տիրույթներում կտրուկ աճել է 2017թ. մայիսին, որը գրանցվել է Swift XRT, MAXI և Fermi-LAT դիտակներով: Ռենտգենյան և գամմա տիրույթներում ակտիվության ժամանակ փոփոխվում է նաև սինքրոտրոնային ճառագայթման բաղադրիչի մաքսիմումի դիրքը՝ այն հիմնականում փոփոխվում է $10^{16} - 10^{17}$ Հց տիրույթում, սակայն ամենամեծ ինտենսիվությամբ ճառագայթման ժամանակ այն շեղվում է 10^{18} Հց-ից բարձր տիրույթներում:

Վեցերորդ գլխում ներկայացված են ռենտգենյան տիրույթում բլազարների ճառագայթման հատկությունների ուսումնասիրման արդյունքները՝ ստացված Swift դիտակով 2004-2019թթ. ընթացքում գրանցված տվյալների վերլուծման միջոցով, օգտագործելով Swift_DeepSky գործիքակազմը: Բոլոր աղբյուրների համար գնահատվել են հոսքը, ֆոտոնային ինդեքսը, էներգիայի սպեկտրալ բաշխվածությունը և այլն: Ռենտգենյան տիրույթում գրանցված աղբյուրներից ընտրվել են այն բլազարները, որոնք պատկանում են HBL դասին, այսինքն՝ որոնց սինքրոտրոնային ճառագայթման բաղադրիչի առավելագույն հաճախությունն ընկած է բարձր հաճախային տիրույթում ($> 10^{15}$ Հց): Վերլուծելով NuSTAR դիտակով գրանցված բլազարների տվյալները, պատրաստվել է կոշտ ռենտգենյան տիրույթում (hard X-ray) ճառագայթող բլազարների առաջին կատալոգը:

Յոթերորդ գլխում, օգտագործելով բազմահաճախային տիրույթում գրանցված տվյալները, իրականացվել է IceCube-170922A նեյտրինո ազդանշանի առաջացման երկնային տիրույթի շրջապատող մասի տարածական և ժամանակային վերլուծություն: Ուսումնասիրելով գրանցված ազդանշանի ուղղությունը մոտ 1.33° շառավղով

սահմանափակող երկնային տիրույթը և համադրելով տարբեր ալիքային տիրույթներում գրանցված տվյալները, ցույց է տրվել, որ նշված տիրույթը պարունակում է ավելի քան 637 աղբյուրներ՝ ռադիո և/կամ ռենտգենյան տիրույթներում, սակայն դրանցից միայն յոթն ունեն «բլազարանման» ճառագայթման հատկություններ: Ավելի մանրամասն ուսումնասիրության արդյունքում ցույց է տրվել, որ դրանցից՝ նեյտրինոների ճառագայթման աղբյուրը TXS 0506+056 բլազարն է:

Ութերորդը գլխում մոդելավորվել են TXS 0506+056 բլազարի շիթում տեղի ունեցող լեպտո-հադրոնային պրոցեսները և ցույց է տրվել, որ 2017թ. սեպտեմբերի 22-ին IceCube նեյտրինո դիտակի օգնությամբ գրանցված IceCube-170922A ազդանշանը կարող է առաջանալ խիտ թիրախի հետ շիթում արագացված պրոտոնների փոխազդեցությունների արդյունքում: Ցույց է տրվել, որ գրանցված տվյալները (Fermi-LAT և MAGIC դիտակներով գամմա տիրույթի տվյալները և IceCube դիտակով գրանցված նեյտրինո ազդանշանը) կարելի է մոդելավորել, երբ շիթում արագացված պրոտոնների էներգետիկ բաշխումը նկարագրվում է $E^{-2.5}$ օրենքով, և նույն օրենքով շարունակվում է մինչև $E_c = 10$ ՊեՎ: Ուսումնասիրվել են նաև TXS 0506+056 բլազարի 2017-2019 թթ. բազմաալիքային տիրույթում ճառագայթման առանձնահատկությունները, մոդելավորվել է ճառագայթման սպեկտրը լեպտո-հադրոնային մոդելի շրջանակում, գնահատվել է նեյտրինոների ճառագայթման հոսքը:

Իններորդը գլխում ուսումնասիրվել են PKS 0502+049 բլազարի բազմահաճախային տիրույթում ճառագայթման մեխանիզմները: PKS 0502+049-ը շատ մոտ է TXS 0506+056-ի երկնային տիրույթին (հեռու է ընդամենը 1.2°), և այս աղբյուրից ճառագայթող նեյտրինոները հնարավոր է որ գրանցվեին IceCube դիտակով: PKS 0502+049 բլազարի բազմահաճախային տիրույթում ճառագայթման սպեկտրն ավելի լավ մոդելավորվում է լեպտոնային ճառագայթման շրջանակում, երբ գրանցված բարձր էներգիաների գամմա ճառագայթումը բացատրվում է սինքրոտրոնային ֆոտոնների կամ տորանման տիրույթից ճառագայթած ֆոտոնների հակադարձ կոմպտոնյան ցրումով:

Ամփոփելով վերը շարադրվածը, կարող ենք եզրակացնել, որ ատենախոսությունում ստացվել են հիմնարար բնույթի մի շարք նոր և արժեքավոր գիտական արդյունքներ: Ստացված արդյունքները կարևոր նշանակություն ունեն ռեյլատիվիստական շիթերում տեղի ունեցող պրոցեսների ուսումնասիրման համար: Կարևոր է նշել, որ մի շարք բլազարների (օրինակ՝ 3C 454.3, BL lac, CTA 102, 1ES 1218 + 304 և այլն) տարբեր ալիքային տիրույթներում կատարված ուսումնասիրությունների տվյալները կարող են օգտագործվել այլ տեսական մոդելավորման աշխատանքներում: Ստացված արդյունքները կարևոր են նաև նեյտրինո դիտակներով գրանցված տվյալների և բլազարների նույնականացման ու նեյտրինոների ճառագայթման մեխանիզմները ուսումնասիրելու համար:

Ատենախոսությունում ստացված արդյունքներն արդիական են և հրապարակվել են հայտնի միջազգային ամսագրերում: Ատենախոսությունը շարադրված է անգլերեն, սեղմագիրը լիովին արտացոլում է ատենախոսության բոլոր հիմնական դրույթները:

Ատենախոսությունն ընդհանուր առմամբ լավ տպավորություն է թողնում, սակայն նշեմ առկա թերություններ, օրինակ՝

1) Առաջաբանում ցանկալի կլիներ ավելի մանրամասն ներկայացվեր տարբեր դասերի ակտիվ գալակտիկական միջուկները և դրանց հատկությունները, կապը ռեյաֆիկացիայի և կենտրոնական աղբյուրի միջև և այլն: Ցանկալի կլիներ ավելի մանրամասն նկարագրվեր օպտիկական, ՈւՄ, ռենտգենյան և գամմա տիրույթներում գրանցված տվյալների վերլուծության մեթոդները:

2) Երրորդ գլխում, երբ ներկայացվում է աղբյուրի սինքրոտրոնային ճառագայթման բաղադրիչի շեղումը ավելի բարձր հաճախությունների տիրույթ (էջ 76 նկար 3.6) ցանկալի կլիներ ավելի մանրամասն քննարկվեին հնարավոր մեխանիզմները, որոնք կարող էին առաջացնել նման շեղում: Նաև պետք է հետազոտվեր, թե արդյոք նման շեղում նկատվում է բարձր էներգիաների գամմա տիրույթում, թե՛ ոչ:

3) Ատենախոսությունը կշահեր, եթե հինգերորդ գլխում 4FGL J1544.3-0649 ժամանակավոր բլազարի բազմահաճախային տիրույթում ճառագայթման սպեկտրի մոդելավորման արդյունքում ստացված պարամետրերը (աղյուսակ 5.1 նկար 5.3) համեմատվեին հայտնի այլ բլազարների նմանատիպ մոդելավորման արդյունքների հետ:

4) Աշխատանքը կշահեր, եթե ավելի մանրամասն ներկայացվեր, թե ժամանակավոր բլազարների գոյությունն ինչ դեր կարող է ունենալ բարձ էներգիաների նեյտրինոների հնարավոր ճառագայթման աղբյուրների նույնականացման հետազոտություններում:

Նշված դիտողությունները առավելապես ցանկությունների բնույթի են հետագա հետազոտությունների համար և չեն նսեմացնում ատենախոսության գիտական արդյունքների արժեքը: Գտնում եմ, որ Նարեկ Վարդանի Սահակյանի «Բլազարների բազմաալիքային և նեյտրինային ճառագայթման ուսումնասիրությունը» ատենախոսությունը բավարարում է ՀՀ ԲՈԿ-ի կողմից դոկտորական ատենախոսություններին ներկայացվող բոլոր պահանջներին, իսկ նրա հեղինակը արժանի է Ա.04.02 – «Տեսական ֆիզիկա» մասնագիտությամբ ֆիզիկամաթեմատիկական գիտությունների դոկտորի գիտական աստիճանի:

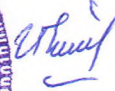
Պաշտոնական ընդդիմախոս,

Ֆիզ.մաթ.գիտությունների դոկտոր, պրոֆեսոր  Ա. Ա. Սահարյան

Պրոֆեսոր Ա. Ա. Սահարյանի նախագրությունը հաստատում եմ՝

ԵՊՀ գիտական քարտուղար



 Մ. Վ. Նովհաննիսյան