

Կարծիք Դավիթ Ս. Իսրայելյանի «Բլազարների գերմանուշակագույն և ռենտգենյան հատկությունների ուսումնասիրություն» թեմայով, Ա.03.02 - «Աստղաֆիզիկա, օռնիտոստրոգազիտություն» մասնագիտությամբ ֆիզիկա-մաթեմատիկական գիտությունների բնական գիտական աստիճանի հայցման համար ներկայացրած ատենախոսության վերաբերյալ

Այսինքն Գալակտիկական Միջուկների (ԱԳՄ) ակրեցիոն սկավառակներից առաջացած ռեյատիվիստական շիթերը լավ «կոլիմացվում» են հսկայական, երբեմն մինչև MPC հասնող հեռավորությունների վրա: ԱԳՄ-ների ամենահետաքրքիր ենթադասը բլազարներն են, երբ շիթն ուղղված է դեպի դիտողը և Դոպլեր ուժեղացման շնորհիվ ճառագայթումն առավել պայծառ է դիտողի համար: Բլազարների «սպեկտրալ էներգիայի բաշխումը» (ՍԷԲ) բաղկացած է երկու լայն կույտից (humps), որոնք ներառում են մոտ 19 կարգի մեծության հասնող էներգիայի տիրույթ օռնիտից մինչև γ ճառագայթները, երբեմն նույնիսկ հասնում են մինչև TeV տիրույթը:

Տարբեր ժամանակահատվածներում և ալիքային տիրույթներում բլազարների դիտումների մեծաքանակ տվյալների տեսական մոդելավորումը թույլ է տալիս հետազոտել բլազարների շիթերում ընթացող ֆիզիկական պրոցեսները, որոնցում հիմնարար դեր է խաղում արտաքին բաղադրիչը՝ կենտրոնական գերզանգվածով սև խոռոչի ակրեցիոն սկավառակը: Այնուամենայնիվ, ղլխավոր հարցը, թե ինչպես է «միասնական» տիպօրինակ մոդելի շրջանակներում ակրեցիոն սկավառակի և գերզանգվածով սև խոռոչի, դեռևս լավ չհասկացված, փոխազդեցությունը հանգեցնում շիթի ձևավորմանը, մնում է անորոշ:

Ատենախոսությունը նվիրված է բլազարների օպտիկական, գերմանուշակագույն և ռենտգենյան տիրույթներում ճառագայթման հատկությունների ու դրանց մեխանիզմների ուսումնասիրությանը: Այն բաղկացած է ներածությունից, հինգ գլուխներից, ամփոփումից և օգտագործված գրականության ցանկից:

Ներածության մեջ հիմնավորվում է հետազոտվող թեմայի արդիականությունը, բերվում է բնագավառի համառոտ նկարագրությունը, ձևակերպվում է աշխատանքի նպատակը, հիմնական դրույթները, և հակիրճ շարադրվում է դրա բովանդակությունը:

Առաջին գլխում քննարկված են բլազարների շիթերում արագացվող էլեկտրոնների սինքրոտրոնային ճառագայթումը և հակադարձ Կոմպտոնյան (ՀԿ) ցրման մեխանիզմը: Ներկայացված են նաև Swift XRT/UVOT և Fermi-LAT դիտակների հիմնական բնութագրերը, և դրանցով գրանցված տվյալների մշակման հիմնական դրույթները:

Երկրորդ գլխում, swift_xrtproc գործիքի միջոցով, իրականացվել է Swift XRT ռենտգենյան դիտակով 2004թ. դեկտեմբերից մինչև 2020թ. վերջ, 50 անգամից ավել դիտված բոլոր բլազարների տվյալների սպեկտրալ և ժամանակային վերլուծությունը: Տվյալների մշակման արդյունքում ստեղծվել է տվյալների բազան, ինչը ներառում է 65 բլազարների ավելի քան 31000 ռենտգենյան տիրույթի դիտումների սպեկտրերը, դրանք բնութագրող լավագույն պարամետրերը, և ճառագայթման հոսքերը՝ էներգիայի մի քանի տիրույթներում:

Երրորդ գլխում, մշակելով Swift UVOT, Swift XRT և Fermi-LAT դիտակներով գրանցված տվյալները, հետազոտվել են PKS 2155-304 ($z = 0.116$) և S5 0716+71 ($z = 0.31$) պայծառ բլազարների օպտիկական, գերմանուշակագույն, ռենտգենյան և γ տիրույթներում ճառագայթման հատկությունները: Առաջարկվել է ծրագրային փաթեթ, որն իրականացնում է Swift UVOT դիտակով տարբեր

տարիներին գրանցված տվյալների ավտոմատացված վերլուծությունը: Ընտրված աղբյուրների համար պատրաստվել են բազմաալիքային տիրույթում լուսային կորերը:

Չորրորդ գլխում, վերլուծելով 2008-2022թթ. Swift-UVOT, Swift XRT, NuSTAR և Fermi-LAT դիտակներով օպտիկական, գերմանուշակագույն, ռենտգենյան և γ տիրույթներում գրանցված տվյալները, ուսումնասիրվել են CTA 102 ($z = 1.037$) բլազարի բազմահաճախային տիրույթում ճառագայթման մեխանիզմները: Մշակվել են աղբյուրի ճառագայթման միաժամանակյա տվյալներով ՍԷԲ-երը, և հետազոտվել են ճառագայթման տարբեր բաղադրիչների փոփոխությունները ժամանակի ընթացքում (https://youtu.be/jFNkI_psAjo): Ստացված ՍԷԲ-երից 117-ը, որոնք ունեն բավարար քանակությամբ տվյալներ, մոդելավորվել են մեկ տիրույթից լեպտոնային մոդելի շրջանակում՝ ենթադրելով, որ ճառագայթման տիրույթը գտնվում է լայն գծերով տիրույթի ներսում և ՀԿ-ցրման համար հաշվի են առնվել, թե ներքին, և թե արտաքին ֆոտոնային դաշտերը:

Հինգերորդ գլխում, վերլուծելով Swift UVOT/XRT և Fermi-LAT դիտակներով տարբեր տարիների ընթացքում գրանցված տվյալները, մանրամասն ուսումնասիրվել է PKS 0537-286 ($z=3.1$) բլազարի բազմահաճախային տիրույթում ճառագայթման մեխանիզմները: Հետազոտվել է աղբյուրի ճառագայթման հոսքի փոփոխականությունը, գնահատվել հոսքը ակտիվ վիճակներում: Ստացված արդյունքները մոդելավորվել են մեկ տիրույթից լեպտոնային մոդելի շրջանակում՝ ենթադրելով, որ ռենտգենյան և γ տիրույթների տվյալներն առաջանում են (i) միայն սինքրոտրոնային ֆոտոնների և (ii) սինքրոտրոնային և արտաքին ֆոտոնների ՀԿ-ցրումներից: Մոդելավորման արդյունքները ցույց են տալիս, որ ճառագայթող էլեկտրոնների ֆոտոնային ցուցիչը < 1.9 , իսկ շիթում գերակշռում են մասնիկները, որոնց լուսատվությունը (10^{45} – 10^{46}) էրգ վրկ⁻¹ տիրույթում է:

Գիտական նորույթը

1. Swift XRT ռենտգենյան դիտակով 2004- 2020թթ. դիտված բոլոր բլազարների տվյալների մշակման արդյունքում ստեղծվել է տվյալների բազա, ինչը ներառում է 65 բլազարների ավելի քան 31000 ռենտգենյան տիրույթի դիտումների սպեկտրերը:
2. Ստեղծվել է ավելի քան 13600 Swift UVOT դիտումների տվյալների բազա, որը պարունակում է 65 բլազարների հոսքերը V, B, U և W1, M2 և W2 տիրույթներում:
3. Ցույց է տրվել, որ PKS 2155-304 ($z = 0.116$) և S5 0716+71 ($z = 0.31$) պայծառ բլազարների բազմաալիքային ճառագայթումը օպտիկական/ուլտրամանուշակագույն, ռենտգենյան և γ ճառագայթային տիրույթներում փոփոխական է, և զուգորդվում է բազմաթիվ բռնկումներով:
4. CTA 102-ի երկարաժամկետ բազմաալիքային ճառագայթումը ($z = 1.037$) հետազոտվել է 14 տարվա ընթացքում Fermi-LAT, Swift XRT, NuSTAR և Swift-UVOT-ով գրանցված γ -ճառագայթների, ռենտգենյան և ուլտրամանուշակագույն/օպտիկական տվյալների մանրամասն ժամանակային և սպեկտրային վերլուծության միջոցով: Հայտնաբերվել է աղբյուրի ճառագայթման ուժեղ փոփոխականություն բոլոր տիրույթներում: Ստացված ՍԷԲ-երից 117-ը մոդելավորվել են մեկ տիրույթից լեպտոնային/SSC + EIC մոդելների շրջանակներում:
5. PKS 0537-286-ից լայնատիրույթ ճառագայթման ծագումն ուսումնասիրվել է ավելի քան տասը տարվա ընթացքում կուտակված տվյալների վերլուծությամբ: Պարզվել է, որ ռենտգենյան ճառագայթումը բնութագրվում է զգալի կոշտ ֆոտոնային ինդեքսով $\Gamma_{X-ray} \leq 1.3$ և 4×10^{-12} erg cm⁻² s⁻¹ ռենտգենյան հոսքով, որը գրեթե հաստատուն է ավելի քան տասներկու տարի: ՍԷԲ-ը մոդելավորվել է մեկ զոտի լեպտոնային/SSC + EIC մոդելների շրջանակներում:

Դիտողություններ

1. Աշխատանքը կշահի, եթե քննարկված ֆիզիկական խնդիրները հետագայում պատշաճ խորությամբ հետազոտվեն նաև անալիտիկորեն, ինչը ավելի ամբողջական պատկերացում կտա շիթերում ընթացող ֆիզիկական գործընթացների մասին: Մասնավորապես, որպես առաջնահերթություն, պետք է լուծել

ա) արագացման գոտում մասնիկների խտության կինետիկ հավասարումը, և

բ) ճառագայթման գոտում էլեկտրոնային խտության կինետիկ հավասարումը, երբ մասնիկները (էլեկտրոններ, պոզիտրոններ) ենթարկվում են դիֆուզ, հարվածային ալիքի արագացմանը, և ճառագայթում են: Դա հնարավորություն կտա անալիտիկորեն հաշվել ինտենսիվության մեջ արագացման գոտու ներդրումը, սինքրոտրոնային ֆոտոնների կորուստը Z^4 -ցրման պատճառով, զույգի ծնումը, ժամանակից կախված Z^4 -սպեկտրը, բոնկումների ժամանակ ինտենսիվությունը, բոնկումների վարքը, սպեկտրալ ցուցիչի փոփոխությունը հոսքից կախված, դիտվող փոփոխականության ժամանակը և այլն:

2. Ատենախոսության 4-րդ և 5-րդ գլխուխներում ուսումնասիրվել են մեծ կարմիր շեղում ունեցող համապատասխանորեն CTA 102 ($z = 1.037$) և PKS 0537-286 ($z=3.1$) բլազարների բազմահաճախային տիրույթում ճառագայթման մեխանիզմները, որոնք մոդելավորվել են մեկ տիրույթից լեպտոնային/SSC + EIC մոդելների շրջանակներում: EIC մոդելի տեսական մեկնարանությունը առաջարկվել է 1987թ.-ին Բեզելման և Սիկորայի կողմից, այնուհետև դա վերանայվել է (1994, 1997, 2000)թթ. Սիկորայի և մյուսների կողմից, տես օրինակ (A.Celotti et al., 2007, MNRAS, 375, 417): Կանխատեսվում է, որ «արտաքին» (կամ «սաղմնային») ֆոտոնները ճառագայթվում են ակրեցիոն սկավառակի ամենաներքին տիրույթից և լայն գծերով ճառագայթման տիրույթում (LFS) վերամշակումից հետո մտնում են շիթ, որտեղ ենթադրաբար տեղի է ունենում դրանց «զանգվածային» (bulk) կոմպտոնացումը: Այսպիսով, ամբողջ սպեկտրը նախնական տարբերակում մոտարկվում է ցուցչային օրենքի և սև մարմնի ճառագայթման գումարով, ինչը արված է նաև ատենախոսության մեջ: Ընդորում, սկավառակի ֆոտոնների «զանգվածային» կոմպտոնացումը առաջացնում է սպեկտրալ բաղադրիչ, որը ներդրում է սպեկտրի հեռավոր ուլտրամանուշակագույն մասում:

Այս մոդելի հետագա զարգացումը՝ «զանգվածային շարժման կոմպտոնացում» (ՁՇԿ, BMC)-մոդելը, առաջարկվել է Տիտարչուկի կողմից (L. Titarchuk et al., 1997, ApJ, 487, 834): Սպեկտրալ երկու բաղադրիչների գումարի փոխարեն, այն նկարագրում է «զանգվածային» կոմպտոնացման ինքնահամաձայնեցված շարժումը: Թվային և անալիտիկորեն, մոտավոր, լուծվում է ճառագայթման տեղափոխման հավասարումը՝ սև խոռոչների վրա սֆերիկ ստացիոնար ակրեցիայի դեպքում: Ենթադրվում է, որ ամենաներքին տիրույթի շառավիղը վերջավոր է, ինչը զգալիորեն ազդում է վերջնական սպեկտրի վրա: Ցույց է տրվում, որ զուգամիտող հոսքի «զանգվածային» շարժումը ցրում է ֆոտոններին դեպի վեր ավելի արդյունավետ կերպով, քան ջերմային կոմպտոնացումն է, պայմանով, որ էլեկտրոնների ջերմաստիճանը հոսքի մեջ մի քանի keV-ի կարգի է կամ ավելի քիչ: Այս դեպքում, անվերջությունում դիտվող սպեկտրը բաղկացած է փափուկ բաղադրիչից, որը առաջացել է այն մուտքային ֆոտոններից, որոնք մի քանի ցրումներից հետո դուրս են եկել առանց էներգիայի որևէ էական փոփոխության, և ցուցչային օրենքից, որը տարածվում է բարձր էներգիաների տիրույթ և բաղկացած է այն ֆոտոններից, որոնք ենթարկվել են զգալի դեպի վեր ցրման: Ցուցչային օրենքով բաղադրիչի լուսատվությունը համեմատաբար փոքր է փափուկ բաղադրիչի լուսատվությունից: Որքան ավելի անդրադարձնող է ամենաներքին տիրույթը, այնքան ավելի հարթ է դառնում սպեկտրի ցուցչային օրենքով բաղադրիչը:

Կարևոր է հետազայում ՁՇԿ մոդելը նույնպես քննարկել 4-րդ և 5-րդ գլխուխներում հետազոտված մեծ կարմիր շեղում ունեցող բլազարների խնդիրների համար:

3. Ատենախոսության մեջ բազմահաճախային տիրույթում տարբեր ՍԷԲ-երի մոդելավորումը կատարվում է միայն մեկ տիրույթից լեպտոնային մոդելի շրջանակում: Լեպտոնային համասեռ «սինքրոտրոն + շԿ» SSC մոդելը լայնորեն կիրառվում է գրականության մեջ, քանի որ այս մոդելում «ռենտգենյան» բոնկումները բնականոն կորելացվում են «շատ բարձր էներգիաների» (VHE) բոնկումների հետ, ինչը դիտվում է: Միննույն ժամանակ շատ կարևոր խնդիր է բազմահաճախային տիրույթում ՍԷԲ-երի մոդելավորումը քննարկել նաև երկրորդ «հաղորնային» մոդելի շրջանակներում (Mannheim, K. 1993, A&A, 269, 67), որտեղ շիթերում պրոտոնները արագանում են մինչև ($\sim 10^{20}$ eV) գեր-բարձր էներգիաները (ԳԲԷ) և առաջացնում են սինքրոտրոնային «կասկադներ», որի շնորհիվ էլ ձևավորում են բազմահաճախային տիրույթում ճառագայթման ՍԷԲ-երը: Երկրորդ մոդելը խոստումնալից է, քանի որ դա կարող է նաև բացատրել որոշ բլազարների մոտ նեյտրինային ճառագայթումը և տիեզերական ճառագայթների ծագումը, որոնք գրանցվել են մինչև ԳԲԷ-ները: Ավելին, քանի որ ՍԷԲ-ի բարձր էներգիայի կույտի (hump) բնույթը դեռ քննարկման փուլում է, այլընտրանքային բացատրություններն են պրոտոնով հարուցված կասկադները կամ սինքրոտրոնային ճառագայթումները ծայրահեղ ռելատիվիստական պրոտոններից (Mücke, A., et al., T. 2003, Astropart. Phys., 18, 593; Aharonian, F. A. 2000, New Astron., 5, 377): Նշեմ, որ վերոնշյալ բոնկումները և դրանց կորելացիայի հատկությունը նմանապես ունեն իրենց բացատրությունը նաև «հաղորնային» մոդելներում (տես օրինակ Mannheim and Biermann 1992, Astrono. Astrophys. 253, p.L21; Rachen 2001, American Inst. of Phys. Conf. Series, p. 704): Պարզապես այս դեպքում հաշվարկները մի փոքր ավելի բարդ են, քան SSC մոդելի պարագայում է:

Բերված դիտողությունները կրում են առավելապես առաջարկների բնույթ ապագա ուսումնասիրությունների համար և չեն նսեմացնում ատենախոսական աշխատանքի ընդհանուր բարձր գնահատականը: Ատենախոսության թեմայի արդիականությունը կասկած չի հարուցում: Բարձր էներգիաների աստղաֆիզիկական ժամանակակից մեթոդների կիրառմամբ ստացված արդյունքները հավաստի են և ամբողջությամբ ներառված են հայցորդի կողմից հրապարակումներում: Բլազարների բազմաալիքային տիրույթում ՍԷԲ մոդելավորման համար պատրաստված ծրագրային փաթեթը կարող է օգտագործվել աստղաֆիզիկական այլ աղբյուրներում ընթացող ոչ ջերմային գործընթացների ուսումնասիրություններում: CTA 102-ի շիթերում տեղի ունեցող պրոցեսների մանրամասն ուսումնասիրությունը կարևոր նշանակություն ունի «Flat-Spectrum Radio Quasars (FSRQ)» դասի բլազարների ֆիզիկական հասկանալու համար:

Ատենախոսության սեղմնագիրը ամբողջապես համապատասխանում է ատենախոսության բովանդակությանը: Միջազգային գիտական ամսագրերում տպագրված հոդվածները (թվով 4, որոնցից 1-ը առանց համահեղինակների) լիովին արտացոլում են ատենախոսության հիմնական արդյունքները: Դրանք ներկայացվել են տարբեր միջազգային գիտաժողովներում, քննարկվել են ՀՀ ԳԱԱ ԻԿՐԱՆԵՏ կենտրոնի և Վ. Համբարձումյանի անվան Բյուրականի աստղադիտարանի սեմինարներում:

Սույն ատենախոսությունը գիտական թեմայի արդիականությամբ, ստացված հետազոտական արդյունքների ծավալով և կարևորությամբ, բավարարում է Հայաստանի Բարձրագույն Որակավորման Կոմիտեի կողմից ֆիզիկա-մաթեմատիկական գիտությունների թեկնածուի

աստիճանի համար ներկայացրած բոլոր պահանջներին, և հեղինակը արժանի է այդ կոչմանը՝
A.03.02 դասիչով (աստղաֆիզիկա և ռադիոաստղագիտության) մասնագիտությամբ:

Ֆիզ.-մաթ. գ. դոկտոր՝ Գ. Տեր-Ղազարյան
Բյուրականի աստղադիտարանի
«Բարձր էներգիաների աստղաֆիզիկայի» բաժնի վարիչ

Գ. Տեր-Ղազարյանի ստորագրության իսկությունը հաստատում էմ
ԲԱ գիտ. գարտուղար,
Ֆիզ.-մաթ. գ. թեկնածու Ս.Հակոբյան



05/12/2022