

Կարծիք Նարեկ Վ. Սահակյանի «Բլազարների բազմաալիքային և նեյտրինային ճառագայթման ուսումնասիրությունը» թեմայով դոկտորական ատենախոսության վերաբերյալ, ինչը ներկայացված է Ա.04.02 դասիչով մասնագիտությամբ (Տեսական ֆիզիկա), գիտությունների դոկտորի գիտական աստիճանի հայցման համար

Ակտիվ գալակտիկական միջուկների (ԱԳՄ) ամենապայծառ դասը՝ մեծ փոփոխականությամբ բլազարները, ռադիո-ակտիվ ռադիո գալակտիկաներ են, որոնք դիտվում են շիթերի նկատմամբ շատ փոքր անկյան տակ: Բլազարների բազմաալիքային ճառագայթման մեխանիզմների հետազոտումը, տարբեր ժամանակահատվածներում և տարբեր ալիքային տիրույթներում դիտումների օրեցօր ավելացող մեծաքանակ տվյալների տեսական մեկնաբանումը և մոդելավորումը, ժամանակակից բարձր էներգիաների աստղաֆիզիկայի արդիական խնդիրներից են: Ավելին, IceCube-նեյտրինային դիտարանում, 2018թ.-ին գրանցվել է առաջին բարձր էներգիաների (ԲԷ)- (TeV-PeV) նեյտրինային հոսքերը: IceCube-170922A-ն մատնանշում է հյուսիսային կիսագնդում դիտվող, Երկրից 3.7 միլիարդ լուսային տարի հեռավորության վրա գտնվող, TXS 0506+056 բլազարի դիրքի ուղղությունը: Դա նաև համընկնում է վերջինիս γ -բոնկման հետ, ինչը դիտվել է 2017 թվականի ապրիլից Fermi Gamma-ray Space Telescope-առաքելության Large Area Telescope (LAT) դիտակով: Ամեն տարի երկնքի այս կիսագնդից, նեյտրինոների առաջացրած մոտավորապես 70 000 մյու-մեգոնային հետքեր են գրանցվում: IceCube-ի նեյտրինային ազդանշանի համընկնումը γ -բոնկված TXS 0506+056 բլազարի հետ, մատնանշում է բլազարին, որպես գերբարձր ($\geq E_e V = 10^{18}$ eV) էներգիաների տիեզերական ճառագայթների (ԳԷՏՃ) հավանական աղբյուրի: Վերջին 60 տարիների ընթացքում, Volcano Ranch (1962), և հետագա գիտափորձերում, գրանցված ԳԷՏՃ-ների առաջացման մեխանիզմը, հոսքերը, բաղադրությունը, և հանելուկային բնույթը, մինչ օրս մնում են խիստ մարտահրավեր բարձր էներգիաների ֆիզիկայի և աստղաֆիզիկայի համար (R. A. Batista et al., fspas, 2019, vol.6):

Վերոնշյալի առումով, Ն. Սահակյանի աշխատանքը, ինչը նվիրված է բլազարների բազմաալիքային և նեյտրինային ճառագայթման սպեկտրալ էներգիայի բաշխումների (SED) մոդելավորմանը, և շիթերում ընթացող ռելյատիվիստական պրոցեսների հետազոտմանը, մեծ հետաքրքրություն է ներկայացնում բարձր էներգիաների աստղաֆիզիկայի համար: Ատենախոսությունը բաղկացած է ներածությունից, իննը 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, հզոր «flat spectrum radio quasar (FSRQ)» 3C454.3 աղբյուրից առաքված երկարաժամկետ բազմաալիքային ճառագայթումը ուսումնասիրվել է Fermi-LAT և Swift XRT/UVOT դիտակներով ստացված տվյալների միջոցով: Այդ աղբյուրից γ -ճառագայթումը հետազոտվել է վերլուծելով 2008 -2018 թթ. ստացված Fermi-LAT-ի տվյալները՝ 100 MeV- 500 GeV էներգիաների համար: Օպտիկական/ուլտրամանուշակագույն և ռենտգենյան տիրույթում 3C 454.3-ից ճառագայթումը հետազոտվել է վերլուծելով Swift UVOT /XRT դիտակներով 2005-2016թթ. ստացված տվյալները: Վերլուծված տվյալներով պատրաստվել են աղբյուրի միաժամանակյա տվյալներով ստացված SED- γ , որոնք մոդելավորվել են «մեկ տիրույթից լեպտոնային ճառագայթման» մոդելի շրջանակում:

Երկրորդ գլխում, 2008-2021 թթ. ստացված IBL դասի BL Lac բլազարի դիտողական բազմաքանակ տվյալները օգտագործվում են դրա բազմաալիքային ճառագայթման

ճագումնաբանության ուսումնասիրության համար: Ռենտգենյան հոսքի էվոլյուցիան ուսումնասիրվել է համեմատելով հոսքը տարբեր վիճակների ֆոտոնային ինդեքսի հետ: Ռենտգենյան տիրույթում 2020թ. հոկտեմբերի 6-ին գրանցված բնկման ժամանակ հոսքի աճին զուգահեռ ֆոտոնային ցուցիչը դառնում է (2.84 ± 0.03) , ինչի հետևանքով սինքրոտրոնային ճառագայթման բաղադրիչը տեղափոխվում է դեպի ավելի մեծ հաճախությունների տիրույթ ($\sim 10^{17}$ Հց):

Երրորդ գլխում ուսումնասիրվել են HBL դասի 1ES 1218+304 աղբյուրի ճառագայթման մեխանիզմները՝ իրականացնելով 2008-2020թթ. գրանցված տվյալների ժամանակային և սպեկտրալ վերլուծություն: Բարձր սինքրոտրոնային մաքսիմում ունեցող 1ES 1218+304 BL Lac-ի բազմաալիքային ճառագայթման ճագումն ուսումնասիրվել է Swift UVOT/XRT, NuSTAR և Fermi-LAT տվյալների հիման վրա: 2008-2020 թթ. -ին Swift-ը 116 անգամ դիտել է 1ES 1218+304-ը: Շիրում ընթացող ֆիզիկական գործընթացների հետագա պատկերացում կազմելու համար, 1ES 1218+304-ի SED-ը մոդելավորվել է պարզունակ «մեկ տիրույթից լեպտոնային ճառագայթման» սցենարի շրջանակներում:

Չորրորդ գլխում, կատարվել է CTA 102-ից γ -ճառագայթման մանրամասն ուսումնասիրություն բնկման փուլում: CTA 102-ը γ -ճառագայթներում Fermi-LAT-ի կողմից նկատված պայծառ բլազարներից մեկն է: Հետազոտվել է հեռավոր CTA 102 բլազարի բազմահաճախային տիրույթում 2016-2018թթ. գրանցված բնկումների առաջացման ֆիզիկական մեխանիզմները: Հայտնաբերվել է CTA 102-ի γ -ճառագայթային սպեկտրի կորությունը, ինչը կարող է տարբեր ճագումնաբանություն ունենալ:

Հինգերորդ գլխում բերվում է 4FGL J1544.3-0649 ուշագրավ բլազարի օպտիկական/ուլտրամանուշակագույն, ռենտգենյան և γ -ճառագայթման դիտումների վերլուծության արդյունքները: Այդ բլազարը ցույց է տալիս անցողիկի նման բարձր էներգիայի բազմաալիքային ճառագայթում: Ռադիոյի և օպտիկական գրեթե նույնաձև SED-երը, նաև գրանցված ռենտգենյան հոսքերի տիրույթը հաստատում են, որ 4FGL J1544.3-0649 ակտիվ փուլում տիպիկ HBL բլազար է:

Վեցերորդ գլխում կատարվում է ռենտգենյան երկնքի մանրամասն հետազոտությունը, օգտագործելով Swift XRT դիտակով վերջին 15 տարիների ընթացքում ստեղծած՝ սահմանափակ հոսքով ռենտգենյան աղբյուրների բազմաքանակ, նմուշը, ինչը հարուստ տեղեկատվություն է տալիս բլազարների ֆիզիկայի վերաբերյալ: Վերլուծելով NuSTAR դիտակով գրանցված բոլոր բլազարների տվյալները (126 աղբյուր), պատրաստվել է 3-79 keV տիրույթում բլազարների առաջին կատալոգը՝ NuBlazar-ը:

Յոթերորդ գլխում բերվում է IceCube-170922A նեյտրինային ազդանշանի անմիջական շրջապատի վերլուծությունը, ինչը կարևոր է հետևյալ տեսանկյունից.

(1) առաջնային կապը նեյտրինային ազդանշանի և TXS 0506+056 բլազարի միջև բնկման վիճակում, (2) միևնույն ուղղությամբ, 2014-2015 թթ. -ին նեյտրինային բնկման ակտիվության վկայությունը, (3) ուղեկցող միաժամանակյա γ -ճառագայթային բնկման բացակայությունը նույն դիրքից, (4) հարևան պայծառ γ -ճառագայթային PKS 0502+049 աղբյուրի հակադրվող բնկման ակտիվությունը 2014-2015թթ. -ին:

Ութերորդ գլխում հետազոտվում են TXS 0506+056 բլազարի շիրում ընթացող «բազմալրաբերային» (multimessenger) գործընթացները: Ցույց է տրվել, որ գերբարձր էներգիաների նեյտրինոների ճառագայթման ժամանակ, աղբյուրի γ ճառագայթումը կարող է առաջանալ շիրում արագացված պրոտոնների փոխազդեցությունից, օրինակ՝ երբ շիրը փոխազդում է խիտ թիրախի հետ:

Իներոդղ գլխում, Fermi-LAT-ի և Swift UVOT/XRT-ի կողմից դիտարկված տվյալների հիման վրա մեկնաբանվում են առաջին տիեզերական նեյտրինոների TXS 0506+056 աղբյուրի հարևանությամբ գտնվող PKS 0502+049 բլազարի բազմալիքային ճառագայթման մեխանիզմները: Ցույց է տրվել, որ 1) նեյտրինոների ճառագայթման ժամանակ աղբյուրի γ -տիրույթում ճառագայթումը շեղվում է պարզ աստիճանային օրենքից $Ec=(8.50\pm 2.06)$ GeV-ից բարձր տիրույթում և 2) նեյտրինոների ճառագայթման ժամանակ PKS 0502+049 աղբյուրից γ -ճառագայթումը պայմանավորված էր արագացված էլեկտրոններով:

Գիտական նորույթ

- (i) Պատրաստվել է ծրագրային փաթեթ, որը հնարավորություն է տալիս մոդելավորել տարբեր դասերի բլազարների բազմալիքային և նեյտրինային ճառագայթման սպեկտրալ էներգիայի բաշխումը (SED): Ներդրվել է տվյալների վիզուալիզացիայի նոր մեթոդ (SED/Light curve animation), որն առավել արդյունավետ միջոց է հետևելու աղբյուրի ճառագայթումների ժամանակային էվոլյուցիային:
- (ii) 3C 454 բլազարի պասիվ և բռնկվող վիճակները ուսումնասիրելու համար, 3C 454.3-ի 362-ի SED-երը (2008-2018 թթ.) մոդելավորվել են «մեկ տիրույթից լեպտոնային ճառագայթման» սցենարի շրջանակներում:
- (iii) 511 SED-երի նմանատիպ մոդելավորման միջոցով համակարգված կերպով ուսումնասիրվել է լացերտիդների փոփոխվող բազմալիքային ճառագայթումը: Առաջարկվել է դեռևս չբացահայտված բլազարների (անցողիկ բլազարների) բնակչության գոյության վարկածը, որոնք երբեմն կարող են բռնկվել և դառնալ ռենտգենյան և γ -ճառագայթների ուժեղ աղբյուրներ:
- (iv) NuSTAR շտեմարանի բոլոր բլազարների դիտումների համակարգված մշակման արդյունքում, թողարկվել է բլազարների առաջին կոշտ ռենտգենյան սպեկտրների շտեմարանը (NuBlazar):
- (v) Ցույց է տրվել, որ PKS 0502+049 աղավաղում է γ -ճառագայթման տիրույթը ցածր էներգիաների տիրույթում, իսկ TXS 0506+056-ը գերիշխում է մի քանի GeV-ից բարձր էներգիաների տիրույթում: «Բազմալիքային ախտորոշում» ապահովում է մեկ համահունչ պատկեր, որում TXS 0506+056-ը նեյտրինային ճառագայթման միակ աղբյուրն է դիտվող տիրույթում: Նեյտրինային ճառագայթումը ամենայն հավանականությամբ, լեպտոնիկ ծագում ունի:
- (vi) TXS 0506+056 բլազարի շիթից նեյտրինային ճառագայթման մոդելավորումը առաջարկվում է pp-փոխազդեցության սցենարի շրջանակներում: Եթե պրոտոնների էներգիայի բաշխումը $\sim E^{-2.50}$ տեսքի է, և եթե այդպիսի բաշխումը շարունակվում է մինչև $Ec, p=10$ PeV «կտրիչ» էներգիաները, ապա նեյտրինային ճառագայթման սպասվող արագությունը հասնում է մինչև $\sim 0,46$ պատահարի՝ աղբյուրի երկարատև ակտիվ փուլում, կամ $\sim 0,15$, եթե ակտիվությունը տևում է 60 օր՝ համաձայն IceCube-ի դիտումների:

Դիտողություններ

1. Ցանկալի կլիներ տեսնել քննարկվող նյութի ավելի մանրամասն շարադրանքը՝ լրացուցիչ բացատրություններով և պարզաբանումներով, ինչը կխորացնեք ուսումնասիրվող յուրաքանչյուր խնդրի ըմբռնումը: Դրա պակասը հանգեցնում է միասնական տրամաբանության մասամբ թերի լինելուն:
2. Առաջին և վեցերորդ (6.7.5) գլուխներում բերված են, համապատասխանորեն, 3C 454.3 և OJ 287 (կամ 5BZB J0854+2006) բլազարների բազմալիքային, XMM-Newton, Fermi-LAT, Swift UVOT/XRT, NuSTAR դիտակներով դիտումների արդյունքների վերլուծությունները: Մինչդեռ,

հարկ էր նաև անդրադառնալ գրականության մեջ լայնորեն քննարկվող հետևյալ կարևոր հարցին: Որոշ օբյեկտների, ներառյալ նաև նշված երկու բլազարների, հոսքի արագ փոփոխությունների դիտվող ժամանակային սանդղակները, թվում է թե խնդրահարույց են սև խոռոչի ակրեցիոն մոդելների համար: Օրինակ, 60 աղբյուրների համար, նվազագույն փոփոխականության ժամանակային մասշտաբի կախվածությունը բոլորմետրիկ լուսատվությունից պատկերող դիագրամի վրա, (Bassani L., et al, 1983, Astron. Astrophys., vol.125, 52), մի քանի BL Lac օբյեկտներ՝ B2 1308 + 32, 3C 66A, OJ 287, AO 0235 +16 և քվազարներ - LB9743, 3C 454.3, 3C 345, 3C 446, խախտում են ցրման «Թոմսոնյան ռեժիմում» ստացված «Էլիոտ-Շապիրոյի» արգելված գոտու սահմանը: Մաքսիմալ արագությամբ պտտվող Կեոի սև խոռոչի պարագայում, հաշվի առնելով ճառագայթման ասիմետրիկ երկրաչափությունը, այդ սահման տեղաշարժվում է (Abramowich, M.A., Nobili, L., 1982, Nature, vol.300, 506): Սակայն նշված բլազարներից երեքը՝ B2 1308 + 32, 3C 66A, OJ 287, միևնույն է խախտում են նաև «Աբրամովիչ-Նոբիլի» սահման: Այսինքն, դրանց դիտվող չափերը թվում է թե ավելի փոքր են քան կենտրոնական սև խոռոչի պատահարների հորիզոնի սֆերայի չափերն են: Սակայն, ինչպես պարզվեց հետագայում, EGRET դիտակով չափված ակտիվ բլազարների γ -ճառագայթման համար ցրման Թոմսոնյան ռեժիմը պետք է ընդհանրացվի Կլայն-Նիշիմի ռեժիմով (E. W. Liang and H. T. Liu, 2003, MNRAS, **340**, 632, տես նաև G. Z. Xie et al., 2004, AJ, vol.127, 53) և այլն:

3. Քանի դեռ դիտողական բազմաբնույթ տվյալների մշակման մոդելավորումը բավարար չէ քվազար-բլազար անորոշությունների, կամ բլազարների դեմոգրաֆիայի հիմնարար ֆիզիկական հարցերը լուծելու համար, շահեկան կլիներ հետազայում, զուգահեռ, զարգացնել նաև անալիտիկական մոտեցումները: Ֆիզիկայի տեսական-մաթեմատիկական ապարատի կիրառումը կնպաստեր առաջադրել, օրինակ, պտտվող բլազարների մագնիտասֆերայում մասնիկների արագացման նոր մեխանիզմներ, օգտագործելով պտտողական էներգիան, կամ «Լանգմուրյան ալիքների» կենտրոնախույս գրգռումները և առաջացած «պլազմոնների» հետաքրքիր վարքը (automodulation): Հնարավոր կլիներ կառուցել բլազարների սպեկտրալ կորերի և VHE (TeV-ի մոտ էներգիաների)-բոնկումների ընդհանուր անալիտիկական մոդելները, և այլն:

4. Ութերորդ գլխում դիտարկված «մեկ տիրույթից լեպտոն-հադրոնային ճառագայթման» մոդելում, ենթադրվում է, որ TXS0506+056-ի շիթում արագացած պրոտոնները, փոխազդում են խիտ գազային թիրախի հետ (Ahnen M.L., et al., 2018, arXiv:1807.04300): Արդյունքում, γ -ճառագայթները առաջանում են թիրախում չեզոք պիոնների (π^0) տրոհումից, իսկ ($\nu\mu$, νe) նեյտրինոները ծնվում են (π^*) մեզոնների տրոհումից. Բազմալիքային SED-ը և նեյտրինոների ծնման դիտվող արագությունը բացատրելու համար, պրոտոնների էներգիաները պահանջվում է, որ ընկած լինեն (10^{14} - 10^{18}) eV միջակայքում: Հայցորդը նույնպես դիտարկում է pp-փոխազդեցության սցենարը (էջ184, նաև տես պունկտ (vi)-ը), որտեղ անհրաժեշտ է, որ շիթում արագացված պրոտոնների էներգիայի բաշխումը շարունակվի մինչև $Ec, p=10 PeV$ և ավելի «կտրիչ» էներգիաները: Նման ենթադրությունները լրացուցիչ հետազոտման և հիմնավորման լրջագույն կարիք ունեն:

Իրոք, ԱԳՄ-ներում մասնիկների արագացման հնարավոր տիրույթները ներառում են ինչպես կենտրոնական սև խոռոչը և ակրեցիոն սկավառակի անմիջական մերձակայքը, այնպես էլ մեծամասշտաբ կառուցվածքները շիթերը, և այլն: Բլազարներում կա լրացուցիչ խնդիր, որ ռելատիվիստիկական շիթերի պայծառությունը խանգարում է ուղղակի դիտել ակրեցիոն սկավառակի ցանկացած ներդրումը, նույնիսկ եթե այն այլ կերպ առկա է:

Արագացման գործընթացների համար, մասնիկներին մինչև գերբարձր էներգիաները արագացնելու անհրաժեշտ նվազագույն պայմանը Հիլասի (Hillas, A. M., 1984, Ann. Rev. Astron.

Astrophys., vol. 22, 425) «սահմանափակման» պայմանն է՝ մասնիկները կարող են մնալ արագացման շրջանում այնքան ժամանակ քանի դեռ նրանց Լարմորյան շառավիղը փոքր է արագացման տիրույթի չափից: Նույնիսկ ֆիզիկական պարամետրների ամենաձայրահեղ, քիչ հավանական ընտրության պարագայում, սա բավարար պայման չէ երաշխավորելու, որ մասնիկները կարողեն արագանալ մինչև 10^{20} eV էներգիաների սահմանը: Հիլասի պայմանի տեսանկյունից, արագացման համար առավել բարենպաստ պայմանները համապատասխանում են հենց կենտրոնական ակրեցիոն սև խոռոչի անմիջական մերձակայքին (Ptitsyna, K. V. and Troitsky, S. V. (2010), Phys. Usp. 53, 691): Վերջինս ենթադրաբար առաջացրել է ակրեցիոն սկավառակի բարձր էներգիայի մասնիկներից կազմված խիստ ուղղորդված պլազմայի ռեյաֆլեկտիվ ստրալուսային արտանետումը շիթի տեսքով: Մյուս կողմից, «Ընդհանուր հարաբերականության տեսության» շրջանակներում կյանքի կոչված «սև խոռոչների» ֆենոմենոլոգիական մոդելները չեն կարող ապահովել նման էներգիաներ: Իրոք, քանի որ ֆիզիկական տեսությունը (նաև գրավիտացիայի տեսությունը) չի աշխատում սև խոռոչի «պատահարների հորիզոնից» ներս ընկած միջակայքում, ապա հասանելի էներգիաների տեսական վերին սահմանը թերևս $\leq 10^{17}$ eV -ն է, իսկ իրական սահմանը, երբ մասնիկը դեռ ի վիճակի է խույս տալ սև խոռոչի մոտակա շրջակայքից, ավելի ցածր է՝ $\leq 10^{15}$ eV:

Իհարկե, վերոնշյալ դիտողությունները ոչ մի կերպ չեն նսեմացնում ատենախոսության արժեքը: Հայցորդը իմ վրա թողել է բանիմաց մասնագետի տպավորություն ժամանակակից բարձր էներգիաների ֆիզիկայի և աստղաֆիզիկայի բնագավառում: Ես տպավորված եմ բլազարների բազմաալիքային և նեյտրինային ճառագայթման դիտողական բազում և բազմաբնույթ տվյալների բազան համակարգող ծավալուն ուսումնասիրությունից: Միևնույն ժամանակ, հասկանում եմ, որ ատենախոսության շրջանակները հեղինակին թույլ չեն տվել դիտարկել յուրաքանչյուր խնդիրը առավել խորությամբ և մանրամասնորեն: Ակնհայտ է, որ առաջարկված շատ մոտեցումներ դեռ իրենց հաստատմանն են սպասում:

Ատենախոսության առանցքային կետերը

Վերոնշյալ քննարկումից ակնհայտ է դառնում, որ ատենախոսության մեջ հետազոտված խնդիրները առավել արդիական են: Ստացված արդյունքների հավաստիությունը ամբողջովին պայմանավորված է այն բանով, որ մոդելավորումը հիմնված է վիճակագրական ստուգված մեթոդների վրա, իսկ օգտագործված բազմաբնույթ դիտողական տվյալները հաջողությամբ կիրառվել են տարբեր հայտնի խնդիրներում: Բացի այդ, արդյունքների և եզրահանգումների մեծ մասը բազմիցս զեկուցվել և քննարկվել է տվյալ ոլորտի առաջատար փորձագետների հետ միջազգային գիտական սեմինարների և գիտաժողովների ժամանակ:

Բազմաալիքային տիրույթում SED-մոդելավորման համար պատրաստված ծրագրային փաթեթը և հետազոտվող մոդելները զգալի հետաքրքրություն են ներկայացնում՝ բլազարների շիթերի ֆիզիկայի, կենտրոնական սև խոռոչի և ակրեցիոն սկավառակի ֆիզիկայի, VHE-բոնկումների, Տիեզերքի մեծասանդղակ կառուցվածքի, և նեյտրոնների ֆիզիկայի ուսումնասիրության համար:

Ատենախոսության սեղմնագիրը ամբողջապես համապատասխանում է ատենախոսության բովանդակությանը: Միջազգային կենտրոնական գիտական 41 ամսագրերում տպագրված հոդվածները լիովին արտացոլում են ատենախոսության հիմնական արդյունքները: Դրանք ներկայացվել են տարբեր միջազգային գիտաժողովներում և աշխատանքային

հանդիպումներում, քննարկվել են ՀՀ ԳԱԱ ԻԿՐԱՆԵՏ կենտրոնի և Վ. Համբարձումյանի անվան Բյուրականի աստղադիտարանի սեմինարներում:

Ես համարում եմ, որ սույն ատենախոսությունը գիտական թեմայի արդիականությամբ, ստացված հետազոտական արդյունքների ծավալով և կարևորությամբ, բավարարում է Հայաստանի Բարձրագույն Որակավորման Կոմիտեի կողմից՝ ֆիզիկա-մաթեմատիկական գիտությունների դոկտորի գիտական աստիճանի համար ներկայացրած բոլոր պահանջներին, և հեղինակը արժանի է՝ Ա.04.02 դասիչով մասնագիտությամբ (Տեսական ֆիզիկա), ֆիզիկա-մաթեմատիկական գիտությունների դոկտորի աստիճանին:

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

Գ. Տեր-Ղազարյանի ստորագրության իսկությունը հաստատում եմ՝
ԲԱ գիտ. քարտուղար
Ֆիզ.-մաթ. գ. թեկնածու՝ Ե.Նիկողոսյան



13.06.2022թ.