

## **ՊԱՇՏՈՆԱԿԱՆ ԸՆԴԴԻՄԱԽՈՍԻ ԿԱՐԾԻՔ**

**Խաչատրյան Մհեր Յրաչյայի ֆիզիկամաթեմատիկական գիտությունների թեկնածուի գիտական աստիճանի հայցման համար Ա.03.02 «Աստղաֆիզիկա, ռադիոաստղագիտություն» մասնագիտությամբ ՀՀ ԳԱԱ Վ. Յամբարձումյանի անվան Բյուրականի աստղադիտարանում պաշտպանության ներկայացված «Մեքենայական ուսուցման ալգորիթմների կիրառում բլազարների դասակարգման և դրանց ճառագայթման մոդելավորման համար» թեմայով ատենախոսության վերաբերյալ:**

Ատենախոսությունը նվիրված է ժամանակակից աստղաֆիզիկայի երկու ակտիվ ուղղությունների՝ բլազարների բազմաալիքային ճառագայթման ֆիզիկական մեկնաբանության և մեծածավալ աստղագիտական տվյալների մեքենայական ուսուցման մեթոդներով վերլուծության համադրմանը: Բլազարները ռելյատիվիստական շիթերով ակտիվ գալակտիկական միջուկներ են, որոնց ճառագայթումը ձևավորվում է արագացված մասնիկների՝ մագնիսական դաշտերի, ինչպես նաև ներքին և արտաքին ֆոտոնային դաշտերի հետ փոխազդեցությունների արդյունքում: Դրանք կարևոր դեր են խաղում ոչ միայն բարձր էներգիաների աստղաֆիզիկայում, այլև բազմամեսենջերային աստղագիտությունում, քանի որ որոշ բլազարներ դիտարկվում են որպես բարձր էներգիայի նեյտրինոների հնարավոր աղբյուրներ:

Վերջին տարիներին տարբեր տիրույթներում գործող աստղագիտական գործիքների՝ Fermi-LAT, Swift, NuSTAR և պատկերային մթնոլորտային Չերենկովյան դիտակների, ինչպես նաև բազմաալիքային տվյալների արխիվների շնորհիվ կուտակվել է տվյալների հսկայական ծավալ, որի արդյունավետ օգտագործումը պահանջում է ոչ միայն դասական ֆիզիկական մոդելավորում, այլև արագ, ճշգրիտ և ստուգելի հաշվողական մեթոդների կիրառում: Այս համատեքստում մեքենայական ուսուցման մեթոդների կիրառումը բլազարների դասակարգման, սպեկտրալ էներգիայի բաշխումների արագ մոդելավորման և տարբեր ժամանակահատվածներում ստացված մեծածավալ տվյալների համեմատական վերլուծության համար հանդիսանում է արդիական և հեռանկարային գիտական խնդիր: Ուստի Մ. Խաչատրյանի ատենախոսության թեման գիտականորեն կարևոր, արդիական և ժամանակակից աստղաֆիզիկայի զարգացման տեսանկյունից պահանջված հետազոտական ուղղություն է:

### **Ատենախոսության կառուցվածքը և բովանդակությունը**

Ատենախոսությունը բաղկացած է ներածությունից, հինգ գլուխներից, եզրակացությունից և օգտագործված գրականության ցանկից: Ներածությունում հիմնավորվում է աշխատանքի արդիականությունը, ձևակերպվում են հետազոտության նպատակներն ու խնդիրները, ներկայացվում են բլազարների ֆիզիկական առանձնահատկությունները, դրանց բազմաալիքային ուսումնասիրությունների անհրաժեշտությունը, ինչպես նաև մեքենայական

ուսուցման մեթոդների կիրառման հեռանկարները ժամանակակից աստղաֆիզիկական տվյալների մշակման և վերլուծության մեջ:

**Առաջին գլխում** ներկայացվում են բլազարների հիմնական բնութագրերը, դրանց ճառագայթման ֆիզիկական մեխանիզմները և աշխատանքում կիրառվող մեքենայական ուսուցման մեթոդների ընդհանուր նկարագիրը: Քննարկվում են սինքրոտրոնային, ինքնակոմպտոնյան (SSC) և արտաքին հակադարձ Կոմպտոնյան (EC) ճառագայթման սցենարները, ինչպես նաև հետազոտության ընթացքում օգտագործված դիտողական տվյալների աղբյուրները, որոնք հիմք են հանդիսանում հետագա գլուխներում ներկայացված վերլուծությունների համար:

**Երկրորդ գլխում** ուսումնասիրված է Fermi-LAT 4FGL-DR3 կատալոգում անորոշ տեսակի բլազարային թեկնածուների դասակարգման խնդիրը: Հեղինակը կիրառել է գամմա-տիրույթում չափված սպեկտրալ և ժամանակային բնութագրերը՝ համեմատելով մեքենայական ուսուցման տարբեր ալգորիթմների արդյունավետությունը: Ցույց է տրվել, որ gradient boosting decision trees մեթոդը, մասնավորապես LightGBM ալգորիթմը, բարձր արդյունավետությամբ իրականացնում են BL Lac և FSRQ ենթադասերի հավանականային տարանջատումը: Արդյունքում 4FGL կատալոգի մեծ թվով BCU (Blazar Candidate of Uncertain type) աղբյուրների համար ստացվել են դասային հավանականություններ և դասակարգման գնահատականներ, որոնք կարող են օգտակար լինել ինչպես հետագա դիտողական ծրագրերի պլանավորման, այնպես էլ բլազարների բաշխումների ուսումնասիրությունների համար:

**Երրորդ գլխում** մշակվել է կոնվոլյուցիոն նեյրոնային ցանցի վրա հիմնված արագ surrogate մոդել՝ բլազարների մեկ-գոնային SSC ճառագայթման մոդելավորման համար: Ցանցը ուսուցանվել է SOPRANO թվային կոդով հաշվարկված մեծ թվով սպեկտրների հիման վրա և հնարավորություն է տալիս վայրկյաններ կամ տասնյակ վայրկյաններ պահանջող ճառագայթման մոդելավորման հաշվարկները փոխարինել միլիվայրկյանների ընթացքում իրականացվող մոդելավորմամբ: Մեթոդը կիրառվել և փորձարկվել է Mrk 421 և 1ES 1959+650 աղբյուրների սպեկտրալ էներգիայի բաշխումների վերլուծության համար, ինչի արդյունքում որոշվել են մոդելի լավագույն պարամետրերը և ստացվել դրանց ապոստերիոր բաշխումները:

**Չորրորդ գլխում** երրորդ գլխում մշակված մոտեցումը կիրառվել է PKS 2155-304 HSP բլազարի երկարաժամկետ բազմաալիքային ուսումնասիրության համար: Կազմվել և մոդելավորվել են 253 տարբեր ժամանակների սպեկտրալ էներգիայի բաշխումներ, որոնք դասակարգվել են ըստ ակտիվության տարբեր վիճակների: Ստացված արդյունքները ցույց են տալիս, որ տարբեր տիրույթներում դիտվող ակտիվության փոփոխությունները հիմնականում պայմանավորված են մագնիսական դաշտի, էլեկտրոնների առավելագույն էներգիայի, Դոպլերյան գործակցի և մասնիկների էներգիական բաշխման պարամետրերի փոփոխություններով:

**Հինգերորդ գլխում** ուսումնասիրվել է PKS 1441+25 աղբյուրի բազմաալիքային ճառագայթման ծագումը: Հեղինակը մեկ-գոնային արտաքին հակադարձ Կոմպտոնյան (EC) մոդելի շրջանակներում մոդելավորել է տարբեր

Ժամանակահատվածներին համապատասխանող սպեկտրալ էներգիայի բաշխումները (SED-երը) և ցույց տվել, որ 2015 թվականին դիտված ակտիվության տարբեր փուլերը կարող են բացատրվել շիթում ճառագայթման տիրույթի տեղաշարժով՝ լայն գծերի տիրույթի (BLR) ներսից կամ դրա անմիջական հարևանությունից դեպի BLR-ից դուրս գտնվող շրջաններ, որտեղ գերակշռող է դառնում փոշային տորի ինֆրակարմիր ֆոտոնային դաշտը:

Աշխատանքի հիմնական արժեքն այն է, որ մեքենայական ուսուցման մեթոդները չեն դիտարկվում որպես ֆիզիկական մոդելավորմանը փոխարինող գործիք, այլ կիրառվում են վերջինիս արագացման, հնարավորությունների ընդլայնման և վիճակագրական վերլուծության արդյունավետության բարձրացման նպատակով: Բլազարների անորոշ դասի աղբյուրների դասակարգման արդյունքները կարևոր նշանակություն ունեն կատալոգային ուսումնասիրությունների, հետագա դիտողական թիրախների ընտրության և բլազարների տարբեր ենթադասերի համեմատական վերլուծության համար: Մինևույն ժամանակ, կոնվոլյուցիոն նեյրոնային ցանցերի վրա հիմնված surrogate մոդելների մշակումը հնարավորություն է տալիս իրականացնել մեծ թվով սպեկտրալ էներգիայի բաշխումների մոդելավորում, որի իրականացումը ուղղակի թվային հաշվարկների միջոցով զգալի հաշվարկային ռեսուրսներ և ժամանակ կպահանջեր:

Հատկապես կարևոր է, որ ատենախոսությունում մշակված մեթոդները կիրառվել են իրական աստղաֆիզիկական խնդիրների լուծման համար՝ PKS 2155-304 և PKS 1441+25 բլազարների տարբեր ակտիվության վիճակների ֆիզիկական մեկնաբանության նպատակով: Ստացված արդյունքները նպաստում են ռեյատիվիստական շիթերում մասնիկների արագացման պրոցեսների, մագնիսական դաշտի հատկությունների, ճառագայթման տիրույթի տեղակայման, ինչպես նաև արտաքին ֆոտոնային դաշտերի դերի առավել հստակ գնահատմանը: Աշխատանքը կարող է հիմք ծառայել ինչպես հետագա բազմաալիքային մոնիթորինգային ուսումնասիրությունների, այնպես էլ ավելի բարդ լեպտոնային, հադրոնային և հիբրիդային ճառագայթման մոդելների արագացված կիրառման ու զարգացման համար:

## **Դիտողություններ**

Ատենախոսության վերաբերյալ կարելի է նշել հետևյալ դիտողությունները:

1. Երկրորդ գլխում BCU աղբյուրների դասակարգումն իրականացվել է հիմնականում Fermi-LAT-ի գամմա-տիրույթի տվյալների հիման վրա: Ցանկալի կլիներ ավելի մանրամասն քննարկել կատալոգային ընտրության էֆեկտները, բացակայող տվյալների հնարավոր ազդեցությունը և մեթոդի կիրառելիության սահմանները, քանի որ ստացված հավանականային դասակարգումները չեն կարող ամբողջությամբ փոխարինել աղբյուրների սպեկտրոսկոպիկ նույնականացմանը:
2. CNN surrogate մոդելների մշակումը հանդիսանում է աշխատանքի ուժեղ կողմերից մեկը: Մինևույն ժամանակ, օգտակար կլիներ ավելի մանրամասն քննարկել մոդելի վարքը ուսուցման տարածքի սահմաններում, ինչպես նաև գնահատել դիտողական անորոշությունների, նախնական բաշխումների

(priors) և տվյալների ոչ լիարժեք ծածկույթի ազդեցությունը ստացվող ֆիզիկական պարամետրերի գնահատականների և դրանց ապոստերիոր բաշխումների վրա:

Նշված դիտողությունները չեն վերաբերում աշխատանքի հիմնական արդյունքների հավաստիությանը և չեն նվազեցնում ատենախոսության գիտական արժեքը: Դրանք առավելապես մատնանշում են այն ուղղությունները, որոնց հետագա զարգացումը կարող է ընդլայնել կատարված ուսումնասիրությունների կիրառելիության շրջանակը և խորացնել ստացված արդյունքների ֆիզիկական մեկնաբանությունը: Ընդհանուր առմամբ, ատենախոսությունը թողնում է դրական տպավորություն և վկայում է հեղինակի՝ ժամանակակից դիտողական տվյալների վերլուծության, մեքենայական ուսուցման մեթոդների կիրառման և բլազարների ֆիզիկական մոդելավորման բնագավառներում ինքնուրույն գիտահետազոտական աշխատանք իրականացնելու կարողության մասին:

Ատենախոսության սեղմագիրը, ըստ ներկայացված նյութերի, ճիշտ և ամբողջական կերպով արտացոլում է աշխատանքի հիմնական բովանդակությունը, ստացված արդյունքները և ձևակերպված եզրակացությունները: Այն համահունչ է ատենախոսության կառուցվածքին, համարժեքորեն ներկայացնում է հետազոտության հիմնական դրույթները և արտացոլում է աշխատանքի գիտական նշանակությունը:

Ամփոփելով վերը շարադրվածը՝ գտնում եմ, որ Մհեր Հրաչյայի Խաչատրյանի «Մեքենայական ուսուցման ալգորիթմների կիրառում բլազարների դասակարգման և դրանց ճառագայթման մոդելավորման համար» թեմայով ատենախոսությունն իր գիտական արդիականությամբ, կատարված հետազոտությունների ծավալով, մեթոդական մակարդակով և ստացված արդյունքների գիտական արժեքով համապատասխանում է ՀՀ ԲՈԿ-ի կողմից թեկնածուական ատենախոսություններին ներկայացվող պահանջներին: Ատենախոսության հեղինակ Մհեր Հրաչյայի Խաչատրյանն արժանի է Ա.03.02 «Աստղաֆիզիկա, ռադիոաստղագիտություն» մասնագիտությամբ ֆիզիկամաթեմատիկական գիտությունների թեկնածուի գիտական աստիճանի շնորհմանը:

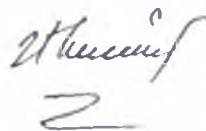
Պաշտոնական ընդդիմախոս՝  
Ֆիզ-մաթ. գիտ. թեկնածու



Գ. Ալավերդյան

Գ. Ալավերդյանի ստորագրությունը հաստատում եմ՝

ԵՊՀ գիտական քննադատ



Մ. Հովհաննիսյան



« 12 » հունիս 2026 թ.