

Տարեկան հաշվետվություն 2025 թ.

Ա. Ի. Ալիխանյանի անվան
Ազգային Գիտական Լաբորատորիա
(Երևանի Ֆիզիկայի Ինստիտուտ)
Հիմնադրամ

Հ. Վարդապետյանի անվան
Փորձարարական Ֆիզիկայի Բաժանմունք

ՓՖԲ-ի ղեկավար՝ Ֆիզմաթ գիտությունների դոկտոր Հ.Մարուքյան

Փորձարարական Ֆիզիկայի Բաժանմունքի 2025 թ. ընթացիկ հաշվետվություն

75 ՄԷՎ Էներգիայով Էլեկտրոնային գծային արագացուցիչում կատարված աշխատանքները

Ա. Ի. Ալիխանյանի անվան Ազգային Գիտական Լաբորատորիա (ԱԱԳԼ) Փորձարարական Ֆիզիկայի Բաժանմունքի (ՓՖԲ-ի) արագացուցչային խումբ, ղեկավար՝ Ա. Հակոբյան

2025 թվականին 75 ՄԷՎ Էներգիայով էլեկտրոնային գծային արագացուցիչում իրականացվել են հետևյալ աշխատանքները.

- ✓ ավարտվեցին դիպոլային մագնիսական վերլուծիչի (անալիզատորի) տրամաչափման աշխատանքները, կատարվեցին էլեկտրամագնիսի զննումը, վերանորոգման և պրոֆիլակտիկ աշխատանքները, որոնք երկար տարիներ չէին անցկացվել բարդ ռադիացիոն պայմանների պատճառով,
- ✓ ստուգվեց մագնիսական անալիզատորի դաշտի համասեռությունը, մնացորդային և ցրված դաշտերը,
- ✓ կատարվեցին ռեգլամենտով պահանջվող յուրաքանչյուր սեանսից առաջ նախատեսված գծային համալիրի պրոֆիլակտիկ աշխատանքները:

Շնորհիվ այդ աշխատանքների 2025 թվականին բարեհաջող իրականացվել են հետևյալ գիտափորձերը.

Ամիս	Գիտախումբ
Հունիս	ՓՖԲ՝ Ա. Հակոբյան, Տ. Քոթանջյան
Հունիս	ՓՖԲ՝ Տ. Քոթանջյան
Հուլիս	ՓՖԲ՝ Ռ. Ավետիսյան
Հուլիս	ՓՖԲ՝ Տ. Քոթանջյան
Հուլիս	ԵՊՀ՝ Ա. Բալարեկյան
Հուլիս	ՓՖԲ՝ Ռ. Ավետիսյան
Օգոստոս	ՓՖԲ՝ Տ. Քոթանջյան
Օգոստոս	ՓՖԲ՝ Ռ. Ավետիսյան

Նոյեմբեր	ՓՖԲ՝ Ա. Հակոբյան, Տ. Քոթանջյան
Դեկտեմբեր	ՓՖԲ՝ Տ. Քոթանջյան
Դեկտեմբեր	ՓՖԲ՝ Հ. Մկրտչյան
Դեկտեմբեր	ՓՖԲ՝ Տ. Քոթանջյան
Դեկտեմբեր	ՓՖԲ՝ Հ. Մկրտչյան

ԱԱԳԼ Ֆիզիկայի կիրառական հետազոտությունների բաժնի 240/2 խումբը նախապատրաստվում է ՓՖԲ-ի 100/9 արագացուցչային խմբի հետ համատեղ 75 ՄԷՎ գծային արագացուցիչի էլեկտրոնային փնջերի կիրառմամբ կատարել պրոֆիլավորում իրենց կողմից մշակված տատանվող լարի մոնիտորներով XY-կայանի օգտագործմամբ:

Նախատեսվում է 240/2, 100/9 խմբերի և Institute for Nuclear Research, Dubna, Radiomics E1, Dubna, 75 ՄԷՎ գծային արագացուցիչի էլեկտրոնային փնջերի կիրառմամբ կատարել 123I բժշկական ռադիոիզոտոպի արտադրման նախագծի մշակում՝ հիմնված վանադիումի կոնվերտորի և քսենոնի թիրախի վրա:

Նախատեսվում է համագործակցել 240/2 խմբի հետ արագացնող սեկցիաների ջերմակայունացման նոր համակարգի նախագծի և իրագործման աշխատանքներում:

2025 թ. տպագրված հոդվածները.

1. A.S. Hakobyan, L.R. Vahradyan, L.A. Poghosyan, T.V. Kotanjyan, H.H. Marukyan. «On the Divergence and Profile of the Beam of the LUE-75 Linear Electron Accelerator Operating at the AANL (YerPhi)», vol. 60, p. 121, (2025).
2. M. Krmar, R. Smolovi´, N. Jovančevi´, D. Maleti´, Y. Teterev, S. Mitrofanov, K.D. Timoshenko, S.I. Alexeev, H. Marukyan, A. Hakobyan. «Some results of ²⁰⁹Bi photoactivation experiment», Eur. Phys. J. A, vol. 61, p. 20, (2025).
3. A.Y. Aleksanyan, S.M. Amirkhanyan, N.A. Demekhina, A.A. Gevorgyan, H.R. Gulkanyan, V.B. Ghavalyan, A.S. Hakobyan, L.A. Poghosyan, T.V. Kotanjyan. Photodisintegration of manganese with formation of scandium radioisotopes at maximum bremsstrahlung photons energy of 40, 55 and 70 MeV. Eur. Phys. J. A 61, 95 (2025).

Հետազոտություններ CERN միջազգային կենտրոնում (LHC)

CMS-գիտափորձ

ԱԱԳԼ-«CMS» խումբ

Ղեկավար՝ Ա. Թումասյան

Անդամներ՝ Ա. Պետրոսյան, Ա. Գևորգյան, Ա. Հայրապետյան, Գ. Բաղդասարյան և Ա. Զոհրաբյան, Ա. Բեյլան

Շարունակվել են CMS-գիտափորձի ֆիզիկական անայիզի և սերվիսային աշխատանքները, ինչպես նաև Ցածր ուժեղացման հեղեղային դիոդների (LGAD) թեստավորման և սենսորների կարդացող էլեկտրոնիկայի մշակման աշխատանքները:

ԱԱԳԼ-ում զարգացվել են LGAD դետեկտորների թեստավորման և կարդացող էլեկտրոնիկայի մշակման աշխատանքները, որոնք իրականացվում են Է. Ֆերմիի անվ. ազգային արագացուցչային լաբորատորիայի (FermiLab, ԱՄՆ) հետ ակտիվ համագործակցությամբ: Հաշվետու ժամանակահատվածում իրականացվել են հետևյալ աշխատանքները.

- Խմբի անդամների մասնակցությամբ FermiLab-ում իրականացվել են FCFD չիպի երկրորդ մոդիֆիկացիայով հագեցած սթրիփային դետեկտորի թեստավորման աշխատանքները: Փորձարկումներն իրականացվել են օգտագործելով ինֆրակարմիր լազերային ճառագայթման աղբյուր: Նկար 1-ում ներկայացված են թեստավորված սթրիփային սենսորին միացված FCFD չիպը և թեստավորման համակարգը:



Նկար 1. FCFD չիպը (ձախից) և թեստավորման համակարգը:

Թեստավորումը իրականացվել է յուրաքանչյուր առանձին սթրիփի համար:

Գրանցված լավագույն ժամանակային լուծողականությունը կազմել է 16.47 պկվ:

- FermiLab-ում մշակվել է կոսմիկական մյուոններով ETL (CMS EndCap Timing Layer) մոդուլի թեստավորման համակարգը: Այն կազմված է 2 սիլիցիումային ֆոտոբազմապատկիչներից, 2x2 կառուցվածքով LGAD սենսորով էլեկտրական շղթայից, թեստավորվող ETL-մոդուլից և բարձր ժամանակային լուծողականությամբ բազմականալ սիլիցիումային ֆոտոբազմապատկիչից, որը ծառայում է որպես տրիգերային համակարգ: Մրա միջոցով հնարավոր եղավ չափել ETL-մոդուլի էֆեկտիվությունը, որը կազմել է շուրջ 30%:
- ԱԱԳԼ-ում ստեղծվող փորձարարական համակարգի կառուցման հարցում գրանցվել է զգալի առաջընթաց և այն շատ մոտ է ավարտուն վիճակին (600 և 1024 նմ ալիքի երկարությամբ լազերային թեստավորման համակարգ՝ փորձարարական ստեղծ, 1մկմ լուծողականությամբ սենսորների դիրքի կառավարման հենակ, ցածր և բարձր

լարման սնուցման աղբյուրներ (ավելի լավ բնութագրերովները գնման փուլում են), DAQ համակարգ, համակցված փորձական օսցիլոգրաֆ (փոխարինվելու է ավելի լավ օսցիլոգրաֆով), ինչպես նաև մշակված է ծրագրային ապահովումը):

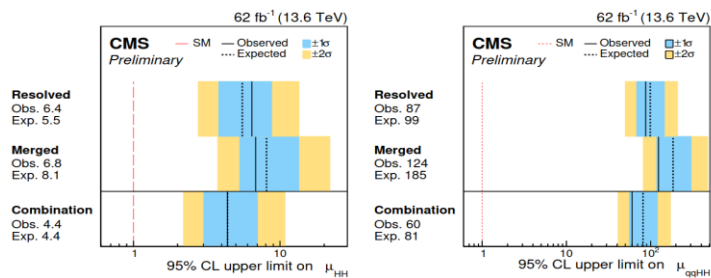
(Կատարողներ՝ Ա. Հայրապետյան, Ա. Թումասյան, Գ. Բաղդասարյան, Ա. Զոհրաբյան)

Շարունակվել է խմբի ակտիվ մասնակցությունը CMS գիտափորձի սերվիսային աշխատանքներում, որով փակվել են խմբի պարտավորվածությունները CMS-ի նկատմամբ: Աշխատանքները իրականացվել են CMS գիտափորձի տվյալների բազայի արդիականացման, հաղորնային կալորիմետրի տվյալների մշակման, որակավորման և մոնիտորինգի համակարգի թարմացման ուղղությամբ, ինչպես նաև CMS-ում ծանր իոնների ֆիզիկայի համար Մոնտե-Կառլո գեներատորների և CMSSW միջավայրում ծրագրային փաթեթների թարմեցման ուղղությամբ:

(Կատարողներ՝ Ա. Հայրապետյան, Ա. Գևորգյան, Ա. Պետրոսյան, Ա. Բելյան):

Շարունակվում է խմբի ակտիվ ներգրավվածությունը CMS ֆիզիկական անալիզի խնդիրներում: Այս նպատակով հաշվետու ժամանակահատվածում իրականացվել են հետևյալ աշխատանքները.

- Ավարտվել են 4b տրոհման կանալում Հիգգս մասնիկային զույգի (HH) որոնման աշխատանքները 2022-2023թթ. 13.6 ՏէՎ էներգիայով պրոտոն-պրոտոն բախումների $\sim 62\text{Ֆբ}^{-1}$ ինտեգրալ լուսատվությամբ փորձարարական տվյալներում: Այս աշխատանքը անալիզի ռազմավարության օպտիմալացումից հետո իրականացվել է կինեմատիկական երկու ռեժիմներում՝ «Merged» և «Resolved»: Դիտարկվել է HH-զույգի ծնման ոչ միայն հիմնական՝ գլյուոն-գլյուոն միաձուլման (ggF), այլև դրան հաջորդող վեկտորբոզոնային միաձուլման (VBF) մեխանիզմով HH-զույգի ծնումը, որի համար մշակվել է անալիզի առանձին կատեգորիա՝ VBF: Արդյունքները ներկայացվել են նշված պրոցեսի կտրվածքի համար վերին սահմանի գնահատմամբ, որը տրվել է Ստանդարտ մոդելի (ՄՄ) շրջանակներում կանխատեսվող կտրվածքի համեմատ (նկար 2):

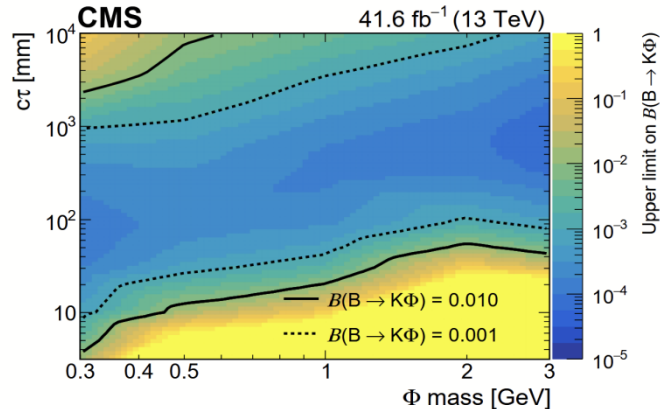


Նկար 2. Ինքլյուզիվ՝ ggF+VBF (ձախից), և միայն VBF (աջից) կատեգորիաներում 95% վստահելիության աստիճանով HH-զույգի ծնման կտրվածքի վերին սահմանի գնահատականը (չափված և սպասվող) «Resolved» և «Merged» ռեժիմներում, ինչպես նաև դրանց կոմբինացված գնահատականը:

Միննույն ժամանակ 95% վստահելիության աստիճանով տրվել է H-մասնիկի սեփական կապի հաստատունի թույլատրելի տիրույթը՝ $-3.3 < \kappa_\lambda < +9.7$, արտահայտված ՄՄ-ով կանխատեսած արժեքով՝ $\kappa_\lambda = \lambda/\lambda_{SM}$, որտեղ λ_{SM} -ը ՄՄ շրջանակներում H մասնիկի սեփական կապի հաստատունն է (եռամասնիկ HHH՝ λ_{HHH}): Կատարվել է 2016-2018թթ. տվյալներում նույն անալիզի վերահաշվարկը նոր ալգորիթմներով, որի արդյունքում ~25% զգայնության աճ է գրանցվել նախկինում հրատարակված արդյունքների հետ համեմատած: Այս աշխատանքն անցել է CMS-ի բոլոր փորձաքննությունները և հրատարակվել՝ CMS-PAS-HIG-24-010 (<https://cds.cern.ch/record/2947325?ln=en>): Նաև պատրաստվել է հոդվածը ամսագրային տպագրության համար: Ընթանում են ~ 109 ΦF^{-1} ինտեգրալ լուսատվությամբ 2024թ. տվյալների մշակման աշխատանքները: (Կատարողներ՝ Ա. Թումասյան)

Հիզգս մասնիկի b-քվարկային զույգի տրոհման որոնումը վեկտոր-բոզոնային միաձուլման պրոցեսում (VBF), ինչպես նաև նույն մեխանիզմով ծնվող և c-քվարկային զույգի տրոհվող Հիզգս մասնիկի որոնումը 2022-2024թթ. CMS (LHC) տվյալներում: Մշակվել և կիրառվել են մոդելավորման անճշտությունների շտկման նոր մեթոդներ, որոնք ապահովում են ավելի լավ համապատասխանություն փորձարարական տվյալների հետ համեմատությունում: Ընթանում են մշակումների և ներքին կոլլաբորացիոն հոդվածների ձևակերպման աշխատանքները՝ CMS AN-2025/170, CMS AN-2024/243: «VBF-Hbb» պրոցեսի ուսումնասիրության խնդրում ներմուծվել է առանձին (էքսկլյուզիվ) կատեգորիա, որտեղ դիտարկվում է այս պրոցեսը լրացուցիչ ֆոտոնի առկայությամբ: Սրա նպատակահարմարությունն առաջացել է CMS-ում 2024թ-ից սկսած նոր ֆոտոնային տրիգգերների ներմուծմամբ պայմանավորված: Այս աշխատանքն հանդիսանում է նախագծի կատարող Ա. Գևորգյանի ասպիրանտական թեման: Աշխատանքներն իրականացվում են DESY (Համբուրգ, Գերմանիա) և UCSD (Սան Դիեգո, ԱՄՆ) խմբերի մասնակիցների հետ համատեղ: (Կատարողներ՝ Ա. Թումասյան, Ա. Գևորգյան)

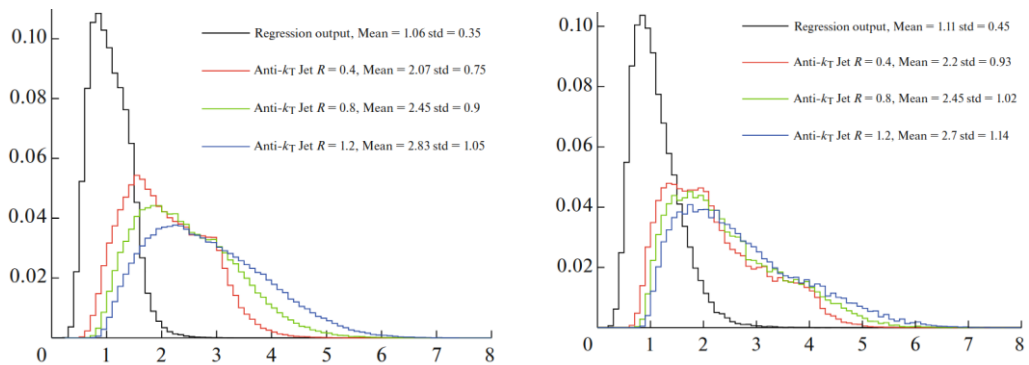
CMS գիտափորձի 2018թ. տվյալներում ՄՄ-ից դուրս մի շարք սուպերսիմետրիկ մոդելներով կանխատեսվող երկար ապրող մասնիկների (Long Lived Particles, LLP) որոնումը b-մեզոնների տրոհումներում: Այս մասնիկների որոնումը կատարվում է CMS գիտափորձի մյուռնային համակարգում դրանց տրոհման երկու սցենարներով՝ $\pi^+\pi^-$ և $\pi^0\pi^0$, և տարբեր մոդելային պարամետրերի դեպքում: Կատարվել է տրիգգերային էֆեկտիվության շտկման գործակիցների վերահաշվարկ՝ օգտագործելով $J/\Psi \rightarrow \mu\mu$ պրոցեսը, ամփոփվել են սիստեմատիկ սխալների հաշվարկները, տրվել է հիպոթետիկ տրոհման հավանականության (Branching Ratio՝ BR) վերին սահմանի գնահատականը ՄՄ-ով կանխատեսվող լրիվ BR-ի համեմատ (նկար 3), արդյունքները անցել են ներկոլլաբորացիոն ստուգման բոլոր փուլերը և հրատարակվել են (CMS-PAS-EXO-24-004), ամսագրային հոդվածը ուղարկվել է հրատարակման: Հրատարակվել է նաև հոդված այս խնդրում որոնման նորարարական ալգորիթմների վերաբերյալ (doi.org/10.1134/S1068337225700148):



Նկար 3. 95% վստահելիության աստիճանով հիպոթետիկ տրոհման BRի վերին սահմանը՝ կախված LLP-մասնիկի զանգվածից և կյանքի տևողությունից:

(Կատարողներ՝ Ա. Հայրապետյան)

- «SPD-NICA» (Դուբնա,ՌԴ) գիտափորձում մասնիկների կլաստերների ռեկոնստրուկցիայի և պարտոն-ինիցիատորի կինեմատիկական պարամետրերի վերականգնումը: Մեծ էներգիաների դեպքում հաղորնիզացիայի արդյունքում ձևավորված անգույն մասնիկների կլաստերի (հաղորնային շիթի) 4-իմպուլսը շատ մոտ է պարտոն-ինիցիատորի 4 իմպուլսին, ինչը գիտափորձում հնարավորություն է տալիս վերականգնել չգրանցվող պարտոնի կինեմատիկական բավականին ճշգրիտ: Իրավիճակն այլ է ցածր էներգիաների դեպքում (օր. NICA կոլլայդերի էներգիան՝ 27 ԳԷՎ քք-բախումներում): Այստեղ շիթի վերականգնումը և դրա կինեմատիկայի կապը նախնական պարտոնի կինեմատիկայի հետ շատ հեռու են միանշանակությունից: Շիթային ալգորիթմների միջոցով վերականգնված 4 իմպուլսը հիմնականում խիստ տարբերվում է նախնական պարտոնի 4 իմպուլսից: Սակայն մեքենայական ուսուցման ռեգրեսիոն մեթոդի կիրառությունը թույլ տվեց էականորեն լավացնել այս պատկերը (նկար 4):



Նկար 4. $P_T^{\text{Jet}} / P_T^{\text{Parton}}$ բաշխվածությունը $P_T^{\text{Jet}} > 3$ ԳԷՎ (ձախից) և $P_T^{\text{Jet}} > 4$ ԳԷՎ (աջից) դեպքերում շիթային ալգորիթմների և ռեգրեսիայի կիրառմամբ:

Կտրուկ լավանում է համապատասխանությունը P_{T}^{jet} և P_{T}^{Parton} միջև: Սրա վերաբերյալ հաշվետու ժամանակահատվածում տպագրվել է 2 հոդված:
(Կատարողներ՝ Ա. Թումասյան)

- Ծանր իոնների բախումներում Υ -հաղորնային կոռելյացիաների ֆիզիկական վերլուծության շրջանակներում կատարվել են զգալի աշխատանքներ՝ ուղղված ստացված արդյունքների ճշգրտության և հուսալիության բարձրացմանը: Արդյունքները ավելացվել են պատրաստված ներքին կոլլաբորացիոն հոդվածին AN-2019/087:
(Կատարողներ՝ Ա. Բեյլան)

Ջեկույցներ գիտաժողովներում

1) Dzmitry Budkouski, Armen Tumasyan, Sergei Shamatov, “Hadron Cluster Finding in the SPD/NICA / 2024 “, MMCP2024, October 20-25, 2024, Yerevan, Armenia,
<https://indico.jinr.ru/event/4467/overview>

2) Aram Hayrapetyan, “Development and characterization of modules for the CMS Endcap Timing Layer for High-Luminosity LHC”, April 3-6 2024. APS April Meeting 2024, Sacramento, California, USA, (https://cms-mgt-conferences.web.cern.ch/conferences/conf_display.aspx?cid=3595)

Կազմակերպած գիտական միջոցառումներ

Խմբի անդամների մասնակցությամբ կազմակերպվել է միջազգային գիտաժողով “MMCP2024”, October 20-25, 2024, Yerevan, Armenia,
<https://indico.jinr.ru/event/4467/overview>

Հրապարակումներ գիտական ամսագրերում՝ 88

ATLAS-գիտափորձ

Անդամներ՝ Լ. Սարգսյան (խմբի ղեկավար), Ա. Կոծինյան (խմբի ղեկավարի տեղակալ), Հ. Մարուքյան (ազգային կոնտակտային ֆիզիկոս), Ս. Ասատրյան (ասպիրանտ), Դ. Ավետիսյան (ուսանող), Ա. Մեմուշին (ասպիրանտ), Ռ. Օգանեզով, Հ. Օգանեզով, Ֆ. Ադամյան, Գ. Ախպերջանյան, Ա. Յանդյան

Խմբի կողմից 2025 թ. կատարված աշխատանքները.

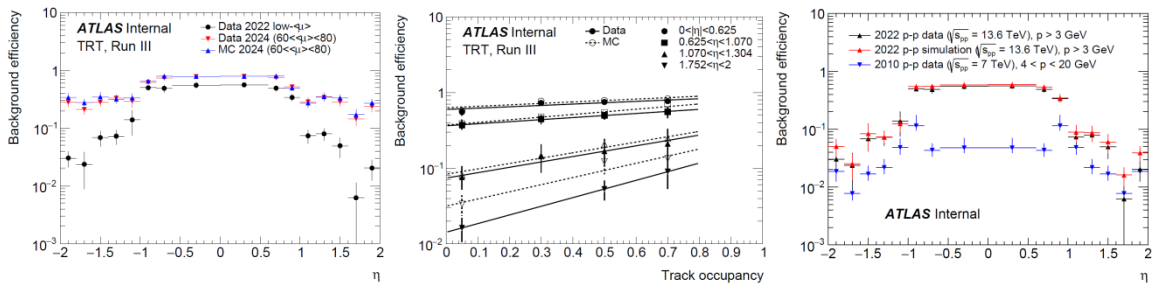
1. **CERN-ում SPS արագացուցչի տեստային փնջի վրա ATLAS դետեկտորի հաղորնային կալորիմետրի ուսումնասիրություններ.**

Ուսումնասիրվել են ATLAS-ի Tile կալորիմետրի փորձնական մոդուլների բնութագրերը 10 ԳէՎ-ից մինչև 180 ԳէՎ էներգիայով հաղորնների փնջերով (պիոններ, պրոտոններ, կաոններ), հետապնդելով միաժամանակ TileCal-ի հանգույցների արդիականացման նպատակ: Վերլուծվել են մոդուլներիցից ստացված տվյալները և իրականացվել է ML մոդելավորում:

2. **Transition Radiation Trigger-ի (TRT) օգնությամբ մասնիկների հավանական նույնականացման (LH-PID) ուսումնասիրություններ.**

LH PID-ի աշխատանքը RUN III ընթացքում (2022թ. և 2024թ.) ուսումնասիրվել և համեմատվել է: Ուսումնասիրությունները կատարվել են տվյալների և MC մոդելավորման համար առանձին տարբեր հետքերի զբաղվածության, մեկ “bunch” փնջի հատման ժամանակ պրոտոն-պրոտոնային փոխազդեցությունների միջին թվի ($\langle\mu\rangle$) և պսևդոարագության միջակայքերի համար: TRT-ն ունի զգալի ներդրում էլեկտրոնների և հաղորնների (հիմնականում պիոնների) տարանջատման գործում:

Պատրաստվել է գրաֆիկների փաթեթ Run III-ի PID արդյունավետության վերաբերյալ, որոնց մի մասը կներառվի TRT-ի սպասվող գիտական հոդվածում:



Նկ. 1. — Ֆոնի էֆեկտիվության կախվածությունը պսևդոարագությունից և հետագծի խտությունից:

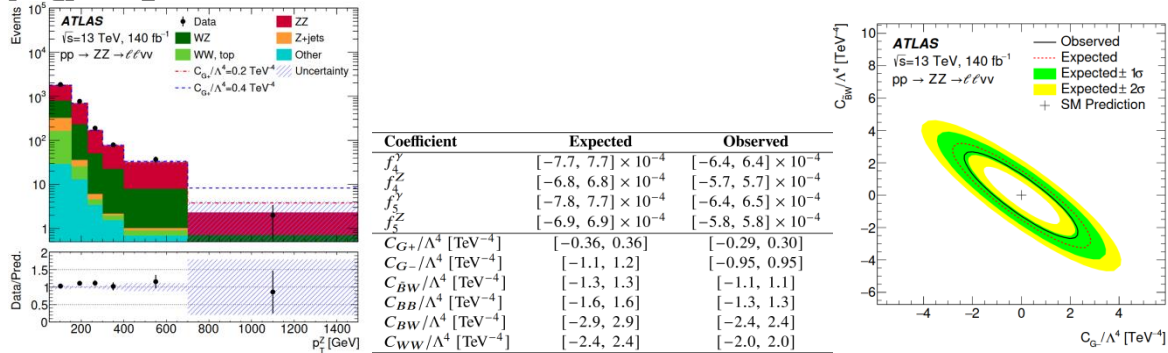
3. **Z(νν) անալիզում nTGC ուսումնասիրության համար սիստեմատիկ անորոշությունների ներդրում.**

9 EFT Վիլսոնի գործակիցների և 6 VF պարամետրերի սահմանափակումները (limits) սահմանվել են օգտագործելով Z(νν) պրոցեսը և ATLAS Run II տվյալների բազան: Ուսումնասիրությունն իրականացվել է վերակառուցման (reconstruction) մակարդակով. սահմանվել են միաչափ և երկչափ սահմանափակումներ, իսկ բոլոր համակարգային անորոշությունները ներառվել են սահմանաչափերի որոշման ընթացակարգում՝ որպես «խանգարող» պարամետրեր (nuisance parameters):

4. **CP խախտման (CP violation) ուսումնասիրություն ZZ–ℓℓνν պրոցեսում**

Օգտագործելով ZZ–ℓℓνν պրոցեսը և ATLAS Run II տվյալների բազան՝ սահմանվել են ոչ ստանդարտ եռակի չեզոք գեյջ բոզոնների կապերի (nTGCs) 6 EFT Վիլսոնի գործակիցների և 4 զագաթնային ֆունկցիաների (VF) պարամետրերի

սահմանափակումներ: Հետազոտությունն իրականացվել է վերակառուցման մակարդակով, որտեղ հաշվարկվել են միաչափ և երկչափ սահմանափակումներ՝ բոլոր համակարգային անորոշությունները ներառելով որպես «խանգարող» պարամետրեր (nuisance parameters): Ստացված արդյունքների համաձայն՝ VF պարամետրերի սահմանափակումները լավագույնն են աշխարհում, իսկ Վիլսոնի գործակիցների սահմանափակումները՝ լավագույնը՝ ZZ գործընթացի համար ստացվածների շարքում: Հավանականության ֆունկցիայի (likelihood) կառուցման համար հիմք է հանդիսացել երկլեպտոնային համակարգի լայնական իմպուլսի (pT) բաշխումը



Նկ. 2. (ձախ) Միաչափ սահմանափակումների արդյունքները և երկչափ սահմանափակման կոնտուրի օրինակը ներկայացված են Նկար 2-ում (կենտրոն և աջ):

5. Monte Carlo (MC) համեմատական վերլուծություն.

Իրականացվել են շիթերի ձևավորման մոդելավորման համեմատական ուսումնասիրություններ՝ օգտագործելով Pythia8 և Herwig7 գեներատորները: Սա թույլ է տվել գնահատել տարբեր հաղորնիզացիոն մոդելների ազդեցությունը վերջնական արդյունքների վրա:

6. Ինկլյուզիվ շիթերի չափումներ և տեսական համեմատություն.

Պրոտոն-պրոտոնային բախումների ժամանակ ինկլյուզիվ շիթերի կտրվածքների և շիթերի զանգվածի կախվածության չափումներ՝ օգտագործելով CERN-ի ATLAS դետեկտորով Run-2 և Run-3 փուլերում ստացված տվյալները՝ տարբեր շառավիղերի (R) համար: Արդյունքների համեմատում NNLO QCD տեսական կանխատեսումների հետ՝ ուժեղ փոխազդեցության մոդելների ճշգրտության ստուգման և ոչ-պերտուրբատիվ ֆիզիկական էֆեկտների ներդրման գնահատման նպատակով: Շիթերի էներգիայի և զանգվածի տրամաչափման մեթոդների բարելավում՝ ապահովելու ATLAS դետեկտորում կատարվող ֆիզիկայի վերլուծությունների բարձր ճշտություն և հուսալիություն:

7. COMBAT. ATLAS TileCal-ի կալիբրացիոն գործառնությունների կառավարման բոտ (Calibration Operations Management Bot for ATLAS TileCal)

TileCal-ի միջոցով hadron-ային էներգիայի ճշգրիտ չափումը ATLAS փորձաքննությունում հիմնվում է տրամաչափման համակարգերի վրա, որոնք անընդհատ արտադրում են կարևոր վիճակագրական հաստատումներ՝

օգտագործելով Յեզիուսի, Լագերի, Լիցքի ներարկման և Minimum Bias համակարգերը: Այս պայմանական տվյալների ամբողջականությունն ու դրանց ճշգրիտ կիրառելիության ինտերվալը (IOV) վճռական նշանակություն ունեն ֆիզիկոսների վերլուծությունների համար, սակայն գործող COOL տվյալների բազան ծանրաշարժ է և աստիճանաբար փոխարինվում է ժամանակակից CREST ենթակառուցվածքով: COMBAT նախագիծն ուղղված է TileCal տրամաշափման համակարգի արմատական արդիականացմանը՝ ներդնելով հետևյալ առանցքային լուծումները. Նախագծի հիմնական նորարարությունը բնական լեզվի մշակման ինտերֆեյսն է (Natural Language Interface), որը թույլ է տալիս ֆիզիկոսներին կառավարել համակարգն ինտուիտիվ հրամանների միջոցով: Օգտագործվում է Pydantic վավերացումը (validation) տվյալների անվտանգությունը և կառուցվածքային ամբողջականությունը խստորեն վերահսկելու համար: Տեխնիկական նորարարություն և մոտեցում (The "How"). Խումբը առաջարկել է կիրառել համակարգային արդիականացման նորարարական մոտեցում, որի շրջանակներում արդեն իսկ հաջողությամբ մշակվել և ներկայացվել է Հայեցակարգի ապացույցը (Proof of Concept - POC):

8. Continues Integration (CI)/ Continues Deployment (CD) և Ավտոմատացում (Նոր առաջադրանք)

GitLab CI-ի միջոցով Tile թողարկումների և TDAQ կախվածությունների ավտոմատացված կառավարման սահմանում՝ ներառյալ ամենօրյա (nightly) հավաքագրումները և միավոր թեստերը (unit tests):

9. Մոնիտորինգի համակարգերի արդիականացում (Նոր առաջադրանք)

Հովացման համակարգի վահանակների (dashboards) միգրացիա InfluxDB-ից դեպի կենտրոնական DCS Grafana (PostgreSQL աղբյուրով) և փորձագետների պահանջների հիման վրա նոր վերլուծական գործիքների մշակում:

10. Դիմային (Front-end) էլեկտրոնիկայի մշակում, զարգացում՝ Ցածր լարման համակարգի (LVPS) համար;

11. Ներդրում Phase II արդիականացման նախագծում: Պատասխանատվություն՝ LV ծառայությունների հավաքագրում, AuxBoard-ի նախագծում, ընդունման տեստեր և տեղադրում.

Deliverables:

PBS	Item	CORE value (k)
4.5	Low voltage power supply system	1
4.5.1	LVPS bricks	
4.5.2	LVPS DCS	
4.5.2.1	ELMB motherboards, production, assembly	
4.5.2.2	Phase-II ELMs for ELMB motherboards	
4.5.3	200 V bulk power supplies	
4.5.4	LVPS mechanics	
4.5.5	LVPS Services	
4.5.5.1	Production of auxiliary control boards	
4.5.5.2	AUXBOARD cables & connectors	
4.5.5.3	New StarBoxes	
4.5.5.4	LV services assembly, acceptance tests and installation	

Contribution by Funding Agency:

Armenia	LV services assembly, acceptance tests and installation
Czech Republic	Phase-II ELMs for ELMB motherboards procurement 200 V bulk power supplies LVPS Mechanics
JINR	LV services: new Auxiliary control boards, cables
Slovak Republic	LV services: new Auxiliary control boards, cables
South Africa	LVPS bricks prototype, specifications, irradiation tests, production

12. TDAQ համակարգչային ադմինիստրացիա և ենթակառուցվածքների սպասարկում Point 1-ում.

Point 1 տարածքում համակարգչային ենթակառուցվածքների անխափան աշխատանքի ապահովում, ներառյալ հասանելիության ծրագրերի (Access software), տեսախցիկների, անվտանգության համակարգերի և տեղեկատվական մոնիտորների տեխնիկական սպասարկումն ու կառավարումը:

13. Նախագծային և շինարարական աշխատանքներ Point 1-ում.

Աշխատանք նախագծման և շինարարության ոլորտում՝ ուղղված Point 1 կայանի ենթակառուցվածքների բարելավմանը: Տեխնիկական սպասարկում և օժանդակ բաղադրիչների մոնտաժ. Սպասարկման (maintenance) փուլում հասանելիության ենթակառուցվածքների (access parts) ձևափոխում և դետեկտորի նոր օժանդակ բաղադրիչների տեղադրում ու կարգաբերում

Հերթափոխներ

- TileCal, TRT փորձնական փնջի
- Calo/FWD ATLAS-ի կառավարման սենյակում
- TileCal-ի տվյալների որակի վավերացման (DQL, DQV)
- TileCal DCS փորձագետի

Մասնակցած առկա և հեռավար միջոցառումների ցանկ

- TileCal collaboration week (CERN) : L. Sargsyan, R. Oganezov, [Low Voltage: Aux boards, production status](#), February, 2025
- TileCal collaboration week (CERN) : L. Sargsyan, [Tile report on CREST tests](#), February 2025
- TileCal collaboration week (CERN) : L. Sargsyan, R. Oganezov, [Low Voltage: Aux boards, production status](#), May 2025
- TileCal collaboration week (CERN) : L. Sargsyan, [Tile Crest development](#), May
- TileCal collaboration week (Cape Town) : L. Sargsyan, R. Oganezov, [Low Voltage: Aux boards, production status](#), September 2025
- TileCal collaboration week (Cape Town) : L. Sargsyan, D. Avetisyan, [Tile CREST ToolDevelopment, October 2025](#)
- TRT days (CERN): A. Semushin, pHT turn-on (Run 3), 06.10.2025
- Tilecal Calibration, Data Quality, Performance and Processing (CERN), L. Sargsyan, D. Avetisyan, TileCal Calibration CREST Tool Development: Calibration Management Bot, 1.12.2025
- Tilecal Calibration, Data Quality, Performance and Processing (CERN), S. Asatryan, Test Beam analysis on the isolated hadron response with the projective eta configuration - Public Plots, 15.12. 2025

ALICE-գիտափորձը

Խմբի գործունեության հիմնական ուղղություններն են՝ ALICE գիտափորձի տվյալների հավաքագրում, մշակում և ստացված արդյունքների նկարագրություն ֆենոմենոլոգիական մոդելների օգնությամբ: Ինչպես նաև՝ ճարտարագիտական աշխատանքներ կապված ALICE գիտափորձի ITS (Inner Tracking System) դետեկտորի արդիականացման հետ (ITS3):

Սմբատ Գրիգորյանը շարունակել է մասնակցել K^+, K^- կամ K^0, \bar{K}^0 մեզոնների զույգերի ֆեմպտոսկոպիկ կոռելիացիաների ֆիզիկայի ուսումնասիրությանը p-Pb և Pb-Pb բախումներում 5.02 TeV էներգիայի համար: Նա մշակել է ֆենոմենոլոգիական Blast-Wave-Tsallis-Power մոդելը, որը լավ նկարագրում է LHC և RHIC կոլադերներում իրականացրած նույնական միջուկների բախումներում (Pb-Pb, Xe-Xe, Au-Au, U-U) չափված զանազան հաղորդների լայնակի իմպուլսի սպեկտրները, ինչպես նաև էլիպտիկ հոսքի մեծությունները v_2 : Այս աշխատանքի արդյունքները հրատարակվել են arXiv:2509.01807-ում և շուտով կհրատարակվեն նաև Phys.Rev.C ամսագրում:

Վադիմ Սամսոնովը շարունակել է իր աշխատանքը CERN-ում՝ նվիրված ALICE գիտափորձի ITS3 դետեկտորի արդիականացմանը: Մասնավորապես, WP5 աշխատանքային խմբի կազմում նա կատարել է ITS3-ի տարբեր նախատիպերի ջերմային փորձարկումներ ատրոմիկ թունելում: Ապահովել է այդ նախատիպերի կապը DAQ համակարգի հետ:

ՍՍԳԼ-COMPASS համագործակցություն

Ղեկավար՝ Բ. Պարսամյան

Անդամներ՝ Հ. Մարուքյան, Ա. Մովսիսյան, Ա. Հոդմրցյան, Ս. Աստրյան, Դ. Խուրշուդյան

2025 թվականի ընթացքում խմբի աշխատանքները կենտրոնացված էին հետևյալ խնդիրների ուսումնասիրության վրա.

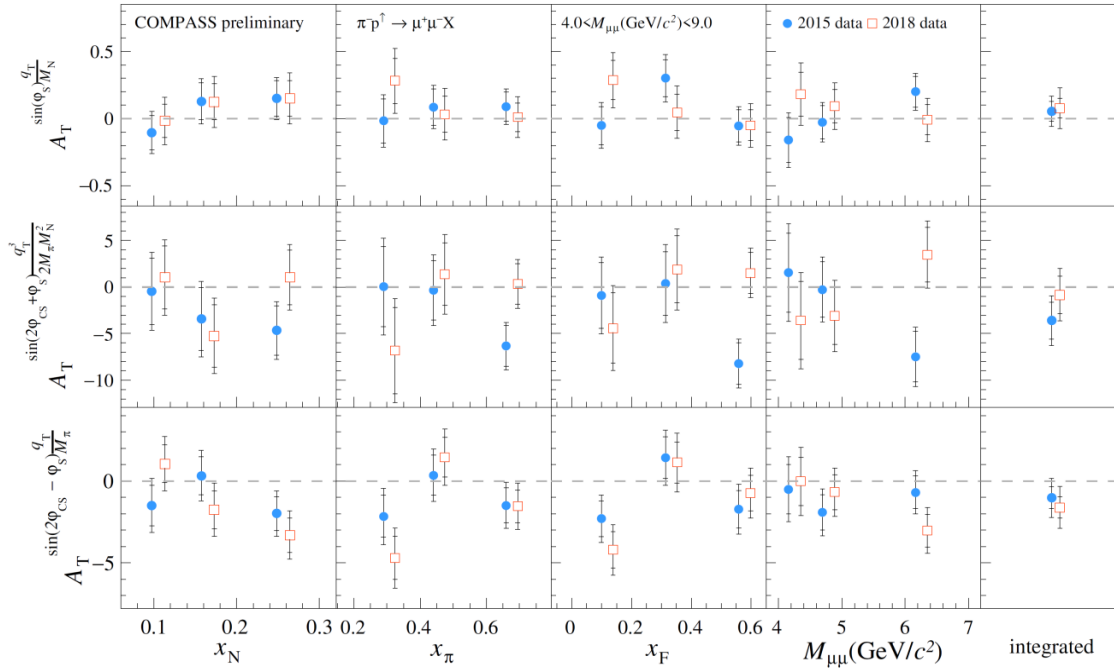
Drell-Yan պրոցեսի վերլուծություններ

Պիոն-նուկլոն բախումներում դիլեպտոնների ծնման պրոցեսում լայնակի սպինից կախված ազիմուտային ասիմետրիաների ուսումնասիրումը: 2023 թվականին լայնակի սպինից կախված ասիմետրիաների (TSAs) վերջնական վերլուծությունը խմբի գործունեության հիմնական ուղղություններից մեկն էր, որտեղ խումբն առաջատար դեր ուներ: Drell-Yan պրոցեսում սպինային (և ոչ սպինային) ազիմուտային ասիմետրիաների

չափումները նուկլոնի եռաչափ սպինային կառուցվածքի ուսումնասիրման ամենադասական մոտեցումներից են, մասնավորապես՝ լայնակի իմպուլսից կախված (TMD) պարտոնային բաշխման ֆունկցիաների (PDF) միջոցով: Սպինից անկախ ազիմուտային ասիմետրիաների չափումը Drell-Yan-ի պրոցեսում հանդիսանում է ամենադասական մոտեցումներից մեկը՝ ուսումնասիրելու նուկլոնի սպինի եռաչափ կառուցվածքը և, ավելի կոնկրետ, լայնակի իմպուլսից կախված (TMD) պարտոնային բաշխման ֆունկցիաները (PDFs): Միակողմանի բևեռացված ռեակցիաներում երկու լեպտոնների ծնման պրոցեսի կտրվածքը պարունակում է հինգ (3 առաջատար twist և 2 ենթաառաջատար twist) թիրախի TSA-ներ: COMPASS գիտափորձը հավաքել է Drell-Yan-ի տվյալներ 2015 և 2018 թվականներին՝ օգտագործելով 190 ԳԷՎ/վրկ. իմպուլսով π մեզոնների փունջը, որը ընկնում է լայնակի բևեռացված պրոտոնային (NH3) թիրախի վրա:

Drell-Yan և կիսահնկյուզիվ խորը ոչ-առաձգական (SIDIS) ցրման պրոցեսներում գր-կշռված TSA-ները TMD PDF-ների հասանելիության այլընտրանքային և լրացուցիչ միջոցներ են: Համապատասխան տեսական շրջանակը ձևավորվել է 1990-ականների կեսերին (տես՝ Phys. Rev. D 54 (1996) 1229 և Phys. Lett. B 406 (1997) 373) և առաջին անգամ կիրառվել է COMPASS-ում՝ SIDIS տվյալներից Միվերսի PDF-ի առաջին լայնակի մոմենտների (k_{T^2} ինտեգրալների) դուրսբերման համար (տես՝ Nucl. Phys. B 940 (2019) 34): Այս մեթոդը թույլ է տալիս որոշել PDF-ների k_{T^2} մոմենտները՝ առանց բաշխման ֆունկցիայի կամ (SIDIS-ի դեպքում) ֆրագմենտացիոն ֆունկցիաների համար լայնակի իմպուլսի կախվածության ֆունկցիոնալ ձևի վերաբերյալ որևէ ենթադրության: Այն հիմնված է ասիմետրիաների չափման վրա, որոնք կշռված են փորձնականորեն հասանելի լայնակի իմպուլսով վերջնական վիճակի հաղորոնների (SIDIS-ում) կամ դիլեպտոնային զույգերի (Drell-Yan-ում) համար, և որն ընդլայնվել է նաև Drell-Yan-ում TSA-ների վրա:

գր-ով կշռված երեք առաջատար կարգի Drell-Yan TSA-ների (wTSA) արդյունքները ներկայացված են Նկար 1-ում: Ինչպես դասական TSA-ների դեպքում, այնպես էլ չափված Միվերսի և “Transversity” wTSA-ները որակակապես համընկնում են մոդելային կանխատեսումների և նշանի փոփոխության հիպոթեզի հետ: Միալայնի արտաքին եզրերը ներկայացնում են գումարային անորոշությունները՝ ներառյալ վիճակագրական և սխտեմատիկ ներդրումները, մինչդեռ ներքին եզրերը ներառում են միայն վիճակագրական անորոշությունները: Միստեմատիկ անորոշությունները գնահատվել են լայնածավալ ուսումնասիրությունների միջոցով՝ ներառյալ կեղծ ասիմետրիաների ուսումնասիրությունը, որոնք առաջանում են պոտենցիալ արքսպատանս էֆեկտներից, տվյալների հավաքման տարբեր ժամանակահատվածներից ստացված արդյունքների համադրելիության ստուգումից, ինչպես նաև հատուկ Մոնտե-Կարլո մոդելավորումները: Լցման (dilution) և ապաբևեռացման գործոնների ուղղումները կատարվել են դեպք առ դեպք հիմքով, ինչը պահանջել է մեթոդաբանական լրացուցիչ զարգացումներ՝ համեմատած SIDIS վերլուծության հետ (Nucl. Phys. B 940 (2019) 34):



Նկ. 1. q_T -կշռված Միվերսի, “pretzelosity” և “transersity” ասիմետրիաների կինեմատիկ կախվածությունը՝ ստացված ընդլայնված բարձր զանգվածի միջակայքում 2015 թվականի (կապույտ կետեր) և 2018 թվականի (դատարկ քառակուսիներ) տվյալների հիման վրա:

Drell–Yan պրոցեսում չբևեռացված կամ բևեռացումից անկախ ազիմուտային ասիմետրիաներ բարձր զանգվածի միջակայքում:

Drell–Yan չբևեռացված, կամ բևեռացումից անկախ, ազիմուտային ասիմետրիաների վերլուծությունը բարձր զանգվածի շրջանում շարունակվում է: Երեք չբևեռացված ասիմետրիաներ (UA) առկա են Drell-Yan-ի կտրվածքում: Ի տարբերություն սպինից կախված ասիմետրիաների, UA-ի վերլուծությունը պահանջում է արքեպտանսի ուղղումներ Մոնտե-Կարլո հաշվարկների հիման վրա և քննարկվում է առանձին: Այս վերլուծությունը մեծապես սերտորեն կապված է COMPASS-ում զուգահեռ իրականացված չբևեռացված Drell-Yan կտրվածքի վերլուծության հետ, քանի որ երկու ուսումնասիրություններն էլ հիմնվում են նույն MC ուղղումների շրջանակի վրա:

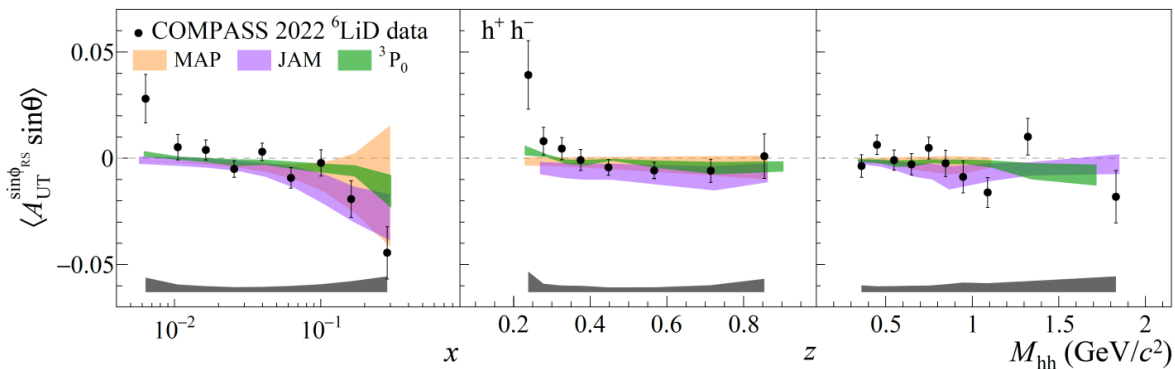
Չնայած զգալի առաջընթացին և փորձարարական համակարգի ու չափման պայմանների Մոնտե-Կարլոյի նկարագրության էական բարելավումներին, դեռևս պահանջվում է լրացուցիչ աշխատանք՝ հասկանալու համար կտրվածքների արդյունքներում դիտվող ժամանակային տատանումները և Մոնտե-Կարլո և փորձարարական տվյալների միջև եղած անհամապատասխանությունները: Այս նպատակով ընթացիկ ուշադրությունը տեղափոխվել է MC-իրական տվյալներ (MC/RD) մանրամասը համեմատությունների վրա J/ψ զանգվածի շրջանում, որտեղ վիճակագրությունը զգալիորեն ավելի բարձր է և ընդհանուր պատկերը՝ ավելի հստակ: Այս համեմատությունները կատարվում են բազմակի կինեմատիկ բիններում՝ x_F , q_T և դիլեպտոնային զանգված փոփոխականների

նկատմամբ, տարբեր տրիգերային կոնֆիգուրացիաների համար, ինչպես նաև մի քանի անկյունային չափումներում՝ ներառյալ $\cos\theta_{CS}$ և φ_{CS} : Այս բազմաչափ մոտեցումը կարևոր է տվյալների և մոդելավորման միջև հնարավոր անհամապատասխանությունները բացահայտելու և դիտվող տարբերությունների աղբյուրը հասկանալու համար:

2022 թվականի SIDIS տվյալների վերլուծությունը

2022 թվականի տվյալների վրա հիմնված SIDIS դիհադրոնային TSA-ների վերջնական արդյունքները:

“Transversity” պարտոնային բաշխման ֆունկցիայի ուսումնասիրման այլընտրանքային մոտեցումը SIDIS պրոցեսում դիհադրոնների ծնման չափումներն են, մասնավորապես՝ հակադիր լիցքերով հադրոնային զույգերի ($h^+ h^-$), որոնք առաջանում են “current” ֆրագմենտացիայի t_1 ճաշյալ: Այս դեպքում “transversity” PDF-ը զուգորդվում է քիրալ-կենտ դիհադրոնային ֆրագմենտացիոն ֆունկցիայի (DiFF) հետ, որը նկարագրում է լայնակի բևեռացված քվարկի՝ ջրեռացված հադրոնների զույգի ֆրագմենտացիայի սպինից կախված բաղադրիչը: Սա հանգեցնում է $\sin(\varphi_R - \varphi_S - \pi)$ ձևին բնորոշ ազիմուտային մոդուլացիայի, որտեղ φ_R -ը դիհադրոնային համակարգի ազիմուտային անկյունն է:



Նկ. 2. Չափված դիհադրոնային TSA-ները՝ x , z և M_{hh} փոփոխականների ֆունկցիայի տեսքով: Մոխրագույն շերտերը ներկայացնում են համապատասխան գումարային անորոշությունները: Համեմատության համար ցուցադրված են նաև տարբեր մոդելների հաշվարկները՝ հիմնված [PRD109, 034024 (2024)] (JAM), [PRL120, 192001 (2018)] (MAP) և [CPC 292, 108886 (2023)] (3P0) աշխատանքների վրա:

SIDIS 2022 տվյալներից ստացված PID TSA-ների առաջին արդյունքները: Անցյալ տարի ԱՄԳԼ խումբը սկսել է 2022 թվականի տվյալների վրա հիմնված նույնականացված հադրոնների վերլուծությունը: Մինչ COMPASS-ի RICH դետեկտորի տվյալները ստուգվում էին կայունության և մասնիկների նույնականացման (PID) արդյունավետության տեսանկյունից, խումբը ստացել է PID-ով առաջին արդյունքները՝ կենտրոնանալով K^0 -ի վրա: 2025 թվականին մեկնարկված 2022 թվականի տվյալների նոր

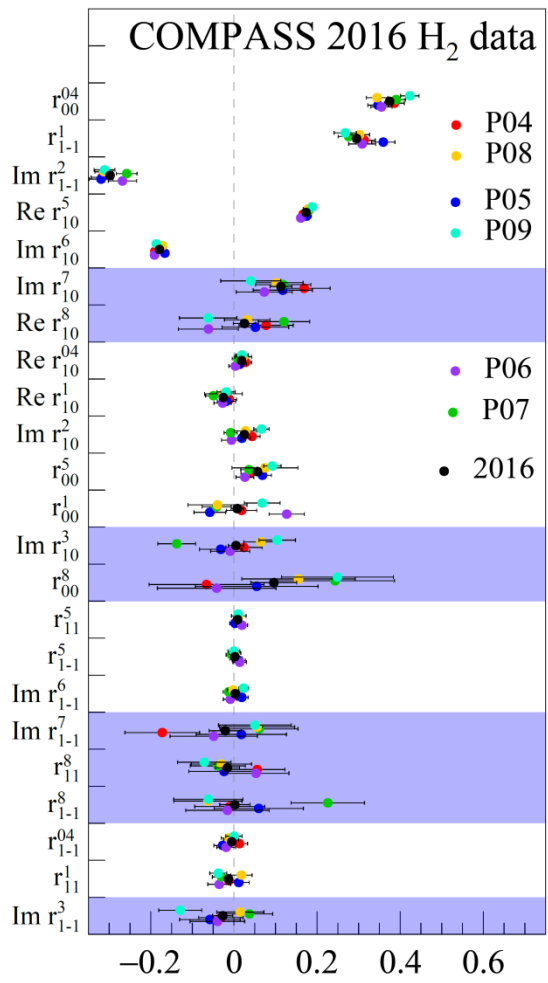
զանգվածային վերամշակման ընթացքում դիտվել է վերականգնված K^0 դեպքերի թվի աճ՝ մինչև 20%:

Վերամշակումը դեռևս շարունակվում է, և ներկայում խումբը կենտրոնացած է RICH դետեկտորի արդյունավետության և PID մաքրության որոշման համար նախատեսված հատուկ շրջանակի մշակման վրա: Սա անհրաժեշտ քայլ է՝ մինչև ամբողջական PID-հիմքով ֆիզիկական վերլուծություններին անցնելը, որոնք նախատեսվում են հաջորդ տարի: Խմբի անդամները ակտիվորեն ներգրավված են 2022 թվականի COMPASS տվյալների վերլուծության բոլոր փուլերում:

Ընտրված գործունեություն

- ԱՄԳԼ խումբը ակտիվորեն մասնակցել է մի շարք այլ վերլուծությունների և ուսումնասիրությունների, այդ թվում՝

- Սպինային խտության մատրիցի էլեմենտների (SDME) դուրսբերում և ուսումնասիրություն մյուռոններով էկսկյուզիվ ϕ -մեզոնի ծնման պրոցեսում COMPASS գիտափորձի շրջանակում (DVCS-2016 տվյալներ): Մասնակցություն վերլուծության բոլոր փուլերին՝ սկսած դեպքերի խաչաձև ստուգումից և SIDIS ֆոնի բաժնի գնահատումից մինչև SDME-ների վերջնական դուրսբերումը: Սպինային խտության մատրիցի էլեմենտները տալիս են էկսկյուզիվ վեկտոր-մեզոնների ծնման “helicity” կառուցվածքի ամբողջական նկարագրություն և հանդիսանում են հիմնարար գործիք ռեակցիայի մեխանիզմների և նուկլոնի կառուցվածքի ուսումնասիրության համար: COMPASS-ում SDME-ները լայնորեն ուսումնասիրվել են լեպտոն-նուկլոն ցրման մեջ էքսկյուզիվ վեկտոր-մեզոնների ծնման համատեքստում: Ներկայումս հատուկ ուշադրություն է դարձվում ϕ -մեզոնին: Գերակշռող $s\bar{s}$ կազմի և ոչ-տարօրինակ փոխանակումների ուժեղ ճնշման շնորհիվ էքսկյուզիվ ϕ ծնումը հանդիսանում է գլուոնային դինամիկայի և ընդհանրացված պարտոնային բաշխումների (GPD) ուսումնասիրության բացառիկ մաքուր զոնդ՝ ավելի քիչ զգայուն լինելով ոչ բնական “parity” փոխանակումների նկատմամբ՝ համեմատած ավելի թեթև վեկտոր-մեզոնների հետ: COMPASS-



ում ϕ SDME-ների դուրսբերումը իրականացվում է $\phi \rightarrow K^+ K^-$ տրոհման ամբողջական անկյունային վերլուծության միջոցով, ինչը հնարավորություն է տալիս հասանելիություն ստանալ ինչպես սպինի պահպանմամբ, այնպես էլ սպինի շրջմամբ ամպլիտուդներին և իրականացնել s -ալիքային “helicity”-ի պահպանման խիստ ստուգումներ ու դրա հնարավոր խախտումները: Բարձր ճշգրտությամբ COMPASS տվյալները զգայուն են “helicity”-ի նուրբ էֆեկտների նկատմամբ և թույլ են տալիս մանրամասն համեմատություններ իրականացնել GPD հիմքով և Ռեջոն տիպի մոդելների կանխատեսումների հետ՝ էական սահմանափակումներ դնելով միջանկյալ էներգիաների տիրույթում էքսկյուզիվ վեկտոր-մեզոնների ծնման մեխանիզմների վրա: Սպինային խտության մատրիցի էլեմենտները ներկայումս դուրս են բերվում 2016 թվականին հավաքված տվյալների վեց փուլերից և այնուհետև ուղղվում են դետեկտորի արքեպատանսը հաշվի առնելով: Նկար 3-ում ներկայացված են առաջին հաջող խաչաձև ստուգման արդյունքները, որտեղ բոլոր վեց փուլերից ստացված SDME-ները ցուցադրված են միասին՝ ցույց տալով լավ ներքին համադրելիություն:

- Ֆիզիկական այս արդյունքներից բացի, խումբը ակտիվորեն ներգրավված է համագործակցության շրջանակում SIDIS, Drell–Yan և GPD վերլուծությունների հետ կապված մի շարք ծառայողական առաջադրանքներում: Բակուր Պարսամյանը հանդիսանում է COMPASS համագործակցության վերլուծությունների համակարգող (Analysis Coordinator).

Ընտրված հրապարակումներ և հաշվետվություններ

- LHCspin: A Polarized Gas Target for the LHC, LHCspin Collaboration, A. Accardi et al., arXiv:2504.16034 [hep-ex] (2025).
- Spectroscopy of Strange Mesons and First Observation of a Strange Crypto-Exotic State with $JP=0^-$ COMPASS Collaboration, G.D. Alexeev et al., arXiv:2504.09470 [hep-ex] (2025).
- Measurement of the Hard Exclusive π^0 Muoproduction Cross Section at COMPASS, COMPASS Collaboration, G.D. Alexeev et al., Phys. Lett. B 870 (2025) 139832, arXiv: 2412.19239 [hep-ex].
- Multiplicities of Positive and Negative Pions, Kaons, and Unidentified Hadrons from Deep-Inelastic Scattering of Muons off a Liquid Hydrogen Target, COMPASS Collaboration, G.D. Alexeev et al., Phys. Rev. D 112 (2025) 012002, arXiv:2410.12005 [hep-ex].
- Technical Design Report of the Spin Physics Detector at NICA, SPD Collaboration, V. Abazov et al., Nat. Sci. Rev. 1 (2024) 1, arXiv:2404.08317 [hep-ex].

Գիտաժողովներ և հրավիրված զեկույցներ

1. Bakur Parsamyan: Main co-organizer and co-chair of the organization committee for the joint "20th International Workshop on Hadron Structure and Spectroscopy" and 5th workshop on "Correlations in Partonic and Hadronic Interactions" (IWHSS-QCD-N⁷-2025), September 1 – September 5, 2025, San-Sebastian, Spain
2. Bakur Parsamyan: Co-organizer and co-chair of the organization committee for the "Strangeness in Hard Processes (SHP-2025)", December 15 – 19, 2025, Frascati, Italy

3. Bakur Parsamyan: Main-organizer and chair of the organization committee for a series of “COMPASS Analysis Phase” (COMAP) international mini-workshops at CERN (six workshops in 2024)
4. Poetic 2025 – “Physics Opportunities at an Electron-Ion Collider XI”, February 24-28, 2025, Miami, US
Bakur Parsamyan: “Recent Highlights and Perspectives on Nucleon Spin and TMD Measurements from Fixed Target Experiments at CERN: COMPASS, AMBER and LHCspin (invited)”
5. DIS 2025 – “XXXII International Workshop on Deep Inelastic Scattering”, March 24-28, 2025, Capetwon, South Africa
Bakur Parsamyan: “Recent Highlights and Perspectives on Nucleon Spin and TMD Measurements from Fixed Target Experiments at CERN: COMPASS, AMBER and LHCspin (invited)”
6. 4th Sardinian Workshop on Spin and related issues (Sar WorS 2025) June 11–13, 2025, Pula (CA), Sardinia, Italy
Bakur Parsamyan: “Spin, Structure, and Synergy: COMPASS and the Experiments of Tomorrow (invited)”

Հրավիրված սեմինարներ

1. NICA-SPD Collaboration Meeting, March 12, 2025, Dubna, Russia
Bakur Parsamyan: “Highlights and Prospects of the COMPASS, AMBER and LHCspin Experiments at CERN: Spin and TMD Structure of Hadrons (invited)”
2. Seminar Series at University of Virginia, June 5, 2025, Virginia, US
Bakur Parsamyan: “Nucleon Structure with the COMPASS Experiment at CERN: Highlights and Perspectives (invited)”

Հրատարակված հոդվածների ցանկ

1. "Strong Interaction Physics at the Luminosity Frontier with 22 GeV Electrons at Jefferson Lab", A. Accardi et al., e-Print:2306.09360 [nucl-ex].
2. "Collins and Sivers transverse-spin asymmetries in inclusive muoproduction of ρ^0 mesons", COMPASS Collaboration. Published in Phys. Lett. B 843 (2023) 137950, e-Print: 2211.00093 [hep-ex].
3. "Spin density matrix elements in exclusive ρ^0 meson muoproduction", COMPASS Collaboration. Published in: Eur.Phys.J.C 83 (2023) 10, 924, e-Print: 2210.16932 [hep-ex].
4. "Double J/ψ production in pion-nucleon scattering at COMPASS", COMPASS Collaboration. Published in: Phys.Lett.B 838 (2023) 137702, e-Print: 2204.01817 [hep-ex].

Մասնակցություն DESY-ում կատարված HERMES գիտափորձին

Ֆիզ-մաթ. գիտ. դոկտոր Հ. Մարուքյան

Ա. Գրիգորյան

Շարունակվել են DESY-ում (Համբուրգ, Գերմանիա) կատարված HERMES գիտափորձում կուտակված տվյալների մշակման և արդյունքների տպագրման աշխատանքները:

Բրուքհեյվենի ազգային լաբորատորիայում (ԱՄՆ) կառուցվելիք ապագա Էլեկտրոն-իոնային կոլայդերի (EIC) առաջնային նպատակներից մեկը նուկլոնների և միջուկների բազմաչափ սպինի և իմպուլսի կառուցվածքի քարտեզագրումն է: Օգտագործվում են տարբեր հասկացություններ՝ լույս սփռելու քվարկների և գլյուոնների բաշխվածության վրա, օրինակ՝ խառը (երկայնական) իմպուլսի և (լայնակի) կոորդինատային տարածության մեջ կամ եռաչափ իմպուլսի տարածության մեջ: Վերջիններս պարփակված են լայնակի իմպուլսից կախված բաշխումների (TMDs) մեջ, որոնք ինտենսիվ հետազոտության կենտրոնում են եղել այն բանից հետո, երբ HERMES փորձը HERA-ում (DESY, Համբուրգ, Գերմանիա) 2004թ.-ին ցույց տվեց, որ գոյություն ունեն էական կոռելյացիաներ՝ քվարկների լայնակի իմպուլսի և ծնող պրոտոնի լայնակի սպինի ուղղվածության միջև, որը սովորաբար նշվում է որպես «Sivers»-ի էֆեկտ:

Ուսումնասիրվում են լեպտոնոված հադրոնների զույգերի ազիմուտալ կոռելյացիաները՝ կախված ընկնող լեպտոնների փնջի քիրալությունից, հետազոտելով դիհադրոնի ֆրագմենտացիան, ինչպես նաև TMD-ները, որոնք զգայուն են նուկլոնի ներսում քվարկ-գլյուոնային կոռելյացիաների նկատմամբ: Դրա համար կվերլուծվի HERMES գիտափորձի լայնածավալ տվյալների հավաքածուն՝ կենտրոնանալով հադրոնների նույնականացման շատ լավ հնարավորությունների վրա, որը թույլ է տալիս վերլուծել պիոններից, կաոններից և նույնիսկ (անտի)պրոտոններից կազմված հադրոնային զույգերը: Գոյություն ունեցող տվյալների հավաքածուների վերաբերյալ այս ուսումնասիրությունները կհամալրվեն ապագա EIC-ի համար իրագործելիության հիմնավորումով և ընդհանուր վերլուծության մոտեցումներում մասնակի-ալիքային ինտեգրման ֆենոմենոլոգիական ասպեկտներով, որոնք առնչվում են EIC-ից ստացվելիք էականորեն ավելի ճշգրիտ տվյալների հետ:

Խիտոզանի նոր ածանցյալների սինթեզ և ուսումնասիրություն

Քիմական գիտությունների թեկնածու Վասակ Ղավայան

2025 թվականին, շարունակվել են խիտին/խիտոզանային համակարգերի ուսումնասիրությունները: Հեռանկարային ու կարևոր ենք համարել շարունակել, մասնավորապես ՀՀ Գեղարքունիքի մարզի Ծովասար բնակավայրում կիրառվող մեղվափեթակների «հանգուցյալ» մեղուներն (լատ. *Apis mellifera armeniaca*) օգտագործել որպես խիտին պարունակող բնական հումք:

Ընթացիկ տարում կատարված աշխատանքների արդյունքում սինթեզվել է խիտոզան (CS) և բնութագրվել նաև՝ *gel permeation chromatography (GPC)*՝ մեթոդի կիրառմամբ: GPC- մեթոդը հնարավորություն է տալիս որոշելու պոլիմերային՝ CS-ային,

համակարգի նմուշի միջին մոլեկուլային կշիռը (ՄՄԿ-AMW): Պոլիմերային համակարգերի համար ՄՄԿ կարևոր բնութագրական մեծություն է և էական ազդեցություն ունի համակարգի ռեակցիոնունակության, լուծելիության, համատեղելիության ու այլ հատկանիշների վրա: Մեր կողմից սինթեզվել է CS միջին թվային՝ M_n -12.376 ու միջին կշռային՝ M_w 20.119, մոլեկուլյար կշիռներով նմուշ նպատակ ունենալով ուսումնասիրել ՄՄԿ ազդեցությունը որոշակի կիրառական օրինակ այրվածքների վերականգնման ուսումնասիրություններում:

Այդ նպատակով շարունակում ենք աշխատանքները սինթեզելու տարբեր ՄՄԿ բնութագրվող CS նմուշներ:

Ընթացիկ՝ 2025 թվականին, չունենք տպագրված աշխատանք:

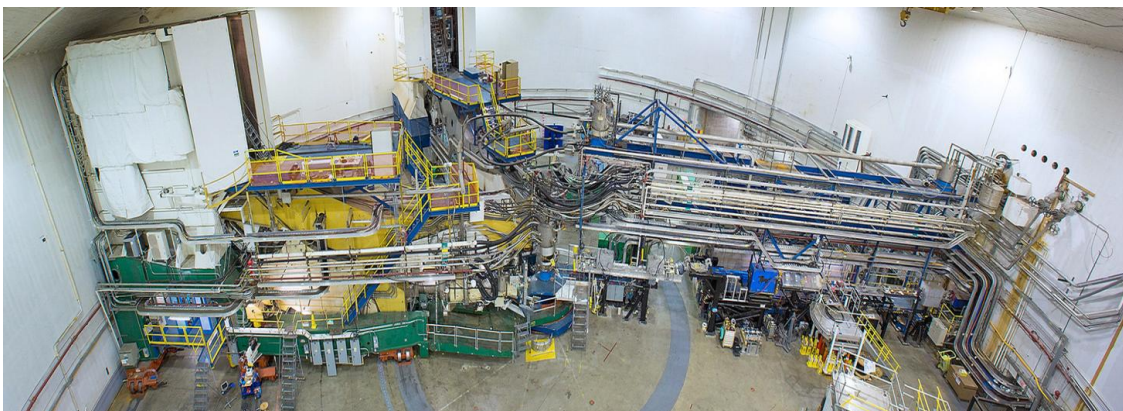
Հաղորդումների կառուցվածքի, առաջացման և բարձր էներգիայի էլեկտրոնների և ֆոտոնների հետ էլեկտրամագնիսական փոխազդեցությունների հատկությունների ուսումնասիրությունը

Ղեկավար՝ ֆիզ. մաթ. գիտ. թեկնածու Նատալիա Դաշյան

Թեման կատարվում է Ջեֆերսոնի անվան լաբորատորիայի հետ ԱԱԳԼ-ի համագործակցության շրջանակում, Ջեֆերսոնի լաբորատորիայի չորս փորձարարական սրահներում (A, B, C, D):

Կատարողներ՝ 100/2 խումբ, 100/1 խմբից Հրաչյա Մարուքյան, 100/11 խմբից Վարդան Թադևոսյան, Համլետ Մկրտչյան, Արթուր Մկրտչյան, 100/3 խմբից Արամ Կակոյան:

Hall-A (փորձարարական սրահ)



A դահլիճի նախագծեր, որոնց մասնակցում են AANL-TJNAF համագործակցության ներկայացուցիչները.

- GEP5 - Large Acceptance Proton Form Factor Ratio Measurements at 13 and 15 (GeV/c)² usin

- GMN - Precision Measurement of the Neutron Magnetic Form Factor up to $Q^2 = 18.0$ $(\text{GeV}/c)^2$ by the Ratio Method
- GEN2 - Measurement of the Neutron Electromagnetic Form Factor Ratio G^E/G^M at High Q

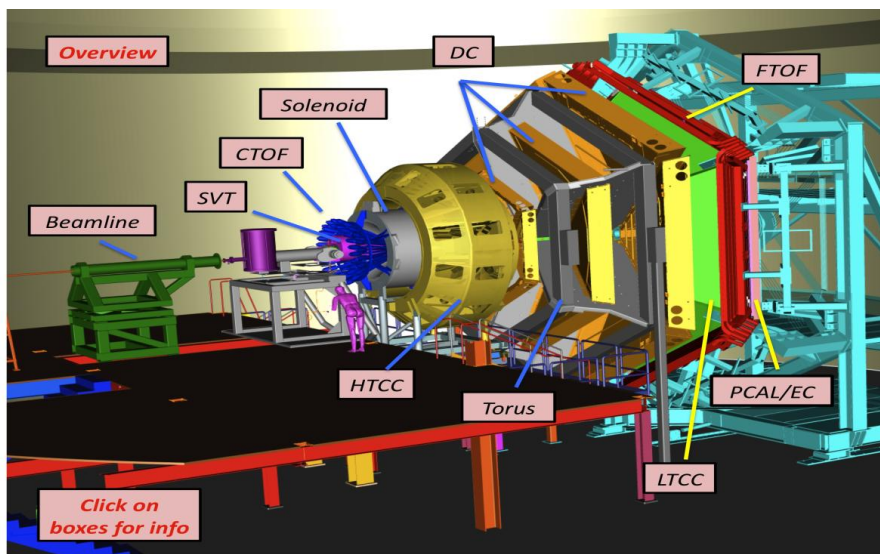
Աշխատանքները 2025 թվականին

2025 թվականին Ջեֆերսոն Լաբարատորիա, A սրահ են գործուղվել ԱԱԳԼ երկու աշխատակիցներ, որոնք մասնակցել են.

- 1656 կանալանի էլեկտրամագնիսական կալորիմետրի տեղադրմանը,
- կաբելային համակարգի միացմանը,
- frontend էլեկտրոնիկայի հավաքման և կարգավորման աշխատանքներին:

Աշխատակիցները մասնակցել են A սրահում ընթացիկ գիտափորձերի կատարմանը, մասնակցել են ~ 40 հերթափոխներին:

Hall-B (փորձարարական սրահ)



Ֆիզիկական ծրագիր.

Շարունակվել է RGA և RGB տվյալների հավաքման հատվածների ընթացքում ստացված E12-12-001, E12-12-001A, E12-11-103B, E12-07-104A գիտափորձերի տվյալների մշակումը:

1. E12-12-001, E12-12-001A "CLAS12 դետեկտորի վրա J/ψ մեզոնի շեմին մոտ ֆոտոդնման ուսումնասիրումը":
2. E12-07-104A. «Դեյտրոն թիրախից Պրոտոն-Հակապրոտոն կոհերենտ էլեկտրաձևում:»

Կատարվում են աշխատանքներ նվիրված մեզոնային վիճակների ուսումնասիրությանը, որոնք տրոհվում են $p\bar{p}$ բարիոնային վիճակներին: Ռեակցիան լրիվ էքսկլուզիվ է և իրականացվել է դեյտրոնի վրա կոհերենտ ֆոտոծման միջոցով: Դիտարկվում է հետևյալ ֆոտոնային ռեակցիան $ed \rightarrow ep\bar{p}d$ և $ed \rightarrow e\pi^+\pi^-d$ որտեղ դեյտրոնի ճշգրիտ նույնականացման համար օգտագործվում են EC (Electromagnetic Calorimeter) դետեկտորից ստացված էներգետիկ բաշխումները:

Աշխատանքի նպատակն է իրականացված գիտափորձերի շրջանակներում ուսումնասիրել հադրոնային վիճակները, մասնավորապես՝ որոնք տրոհվում են պրոտոն-հակապրոտոն զույգի, ինչպես նաև պիոն-հակապիոն զույգի: Այդ նպատակով ուսումնասիրվում են լրիվ էքսկլուզիվ և կիսա-ինկլուզիվ ցրումները դեյտրոնային թիրախի վրա:

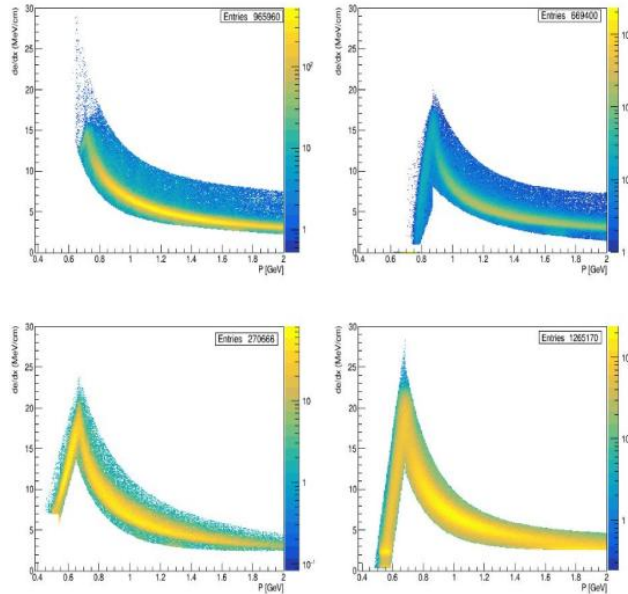
Նկար 1-ում (ձախից աջ և վերից վար) պատկերված է դեյտրոնի էներգետիկ կորուստները TOF դետեկտորների միջով անցելուց՝ կախված գրանցված իմպուլսից՝ առաջնային TOF հաշվիչի երեք շերտերով անցնելուց, և կենտրոնական դետեկտորի TOF (CTOF) անցնելուց: Այս տվյալները օգտագործվելու են դեյտրոնի նույնականացման հավաստիացումը լավացնելու համար:

ԱՄԳԼ-Պlab համագործակցության խումբը կատարել է նաև սերվիսային աշխատանքներ, մասնավորապես՝

Մասնակցություն ALERT փորձի տվյալների հավաքմանը (16 հերթափոխ):

Շարունակվել են էլեկտրամագնիսական կալորիմետրի համար նոր ֆոտոէլետրոնային բազմապատկիչների ստուգման աշխատանքները, որոնք իրականացվել են անմիջապես Պlab-ում: Աշխատանքի նպատակն էր՝ ստուգել նոր ՖԷԲ-երի աշխատանքային կարգավորումները և գրանցման էֆեկտիվությունները տարբեր լարումների համար: Ստուգումները ներառում էին ազդանշանի ինտեգրալի վերլուծություն՝ տարբեր լարումների համար:

Կատարվում են CVT և BMT դետեկտորների հավասարեցման և էֆեկտիվության գնահատման աշխատանքներ: Պարբերաբար մշակվում և փորձարկվում են դետեկտորի հավասարեցման, և որպես հետևանք՝ դետեկտորի էֆեկտիվության գնահատում: Աշխատանքների նպատակն է՝ օգտագործելով հավասարեցման և էֆեկտիվության գնահատման մշակված մեթոդները, ճշգրտել և արդյունավետ օգտագործել ստացված փորձարարական տվյալները: Ընթացիկ տարում կատարվել են դետեկտորի էֆեկտիվության գնահատում՝ օգտագործելով Պlab-ում մշակված մեթոդը:



Նկ. 1. Դեյտրոնի էներգետիկ կորուստների բաշխվածությունը՝ կախված ինպուլսից, TOF-ի սարքեր շերտերի համար:

Hall-C (փորձարարական սրահ)



Խումբը մասնակցել է Jlab-ի C սրահի HMS/SHMS և NPS սպեկտրոմետրներով E12-11-107, E12-11-117, E12-06-104 և E12-24-001 գիտափորձերի կատարմանը և ստացված տվյալների On-Line/Of-Line մշակմանը:

E12-11-107 գիտափորձի նպատակն էր՝ միջին ծանրության միջուկների կառուցվածքային ֆունկցիաների և EMC էֆեկտում կարճ-տարածության կոռելյացիաների (SRC) ուսումնասիրումը: 20սմ հեղուկ LD2 թիրախով, $I \approx 0.3-1.5 \mu\text{A}$ հոսանքի և $E=10.5 \text{ GeV}$ էներգիայի էլեկտրոնային փնջով, կուտակվել է անհրաժեշտ քանակի տվյալներ $d(e,e'ps)$ ռեակցիայի համար, օգտագործելով HMS-ը և SHMS-ը՝ ցրված էլեկտրոնների գրանցման համար, և Large Acceptance Detector (LAD) + GEM սարքերը՝

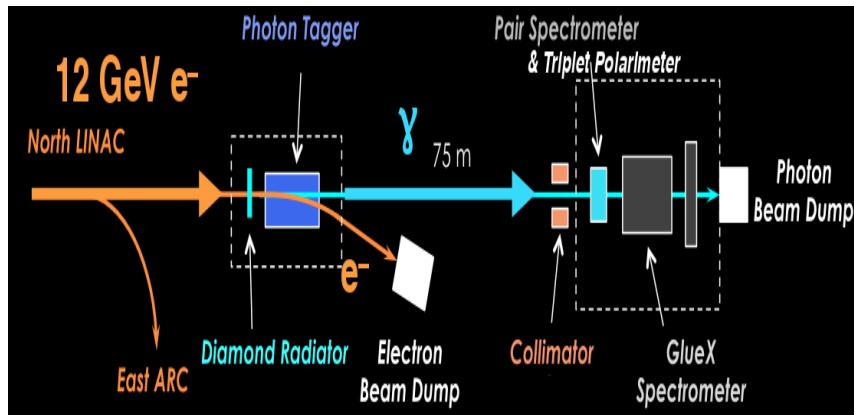
Spectator պրոտոնների գրանցման համար: E12-11-107-ի չափումները տևեց մինչ հուլիսի 14-ը, հետո սկսվեց տվյալների մշակման աշխատանքները:

E12-16-104 գիտափորձի նպատակն էր՝ չափել վիրտուալ ֆոտոնի լայնական և երկայնական բևեռացված բաղադրիչներով պայմանավորված կտրվածքների $R=\sigma_L/\sigma_T$ հարաբերակցությունը համարյա ինկլյուզիվ խորը ոչ-առանձգական ցրման (SIDIS) պրոցեսում: Որպես այս գիտափորձին սերտ կապակցված՝ կատարվեց նաև E12-24-001-ը, որը հայտնի է որպես “nuclear-R-SIDIS”. Այս գիտափորձում նույնպես ուսումնասիրվում է լիցքավորված π մեզոնների SIDIS էլեկտրաձեռնման կտրվածքների $R=\sigma_L/\sigma_T$ հարաբերության կախվածությունը x , Q^2 և z կինեմատիկական պարամետրներից, և հարաբերության միջուկային կախվածությունը: Չափումներում օգտագործվել է HMS սպեկտրոմետրը՝ ցրված էլեկտրոնների, իսկ SHMS-ը՝ լիցքավորված պիոնների (π^\pm) գրանցման համար, ինչպես նաև կրիոգեն LH2, LD2 և C, Al, Cu միջուկային թիրախները:

Չափումներն ավարտվեցին 2025 թվականի սեպտեմբերի 3-ին, երբ կատարվեց նախատեսված ծրագրի մոտավորապես 50%-ը: Այժմ ընթանում են տվյալների տեսակավորման, սանդղականավորման և մշակման աշխատանքները Խմբի անդամները մասնակցել են

- JLab Hall C սրահի և NPS համագործակցության շաբաթական առցանց ժողովներին,
- EIC-ի ընդհանուր և ePIC UG միացյալ գիտաժողովին, Հունիսի 14-18, Ջեֆերսոն լաբ.,

Hall-D (փորձարարական սրահ)



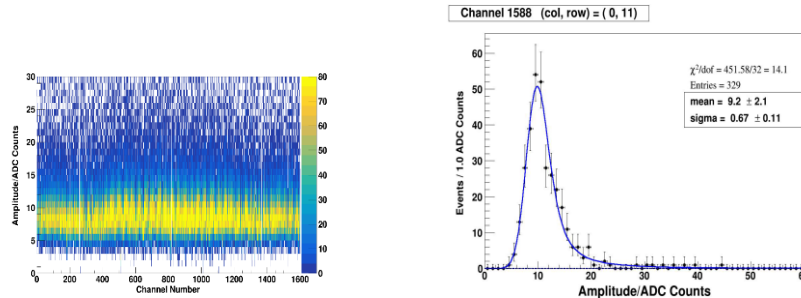
2025 թ.-ին JLab-ի D փորձարարական սրահում կատարվել են հետևյալ աշխատանքները.

1. D սրահում նախորդ տարիներին կառուցված ECAL-ի գործարկման համար կատարվել են մի շարք աշխատանքներ.

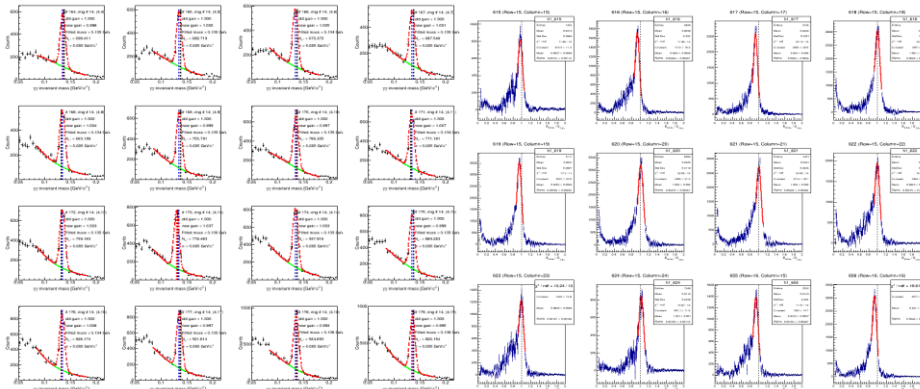
- ECAL LMS-ի մնացած բաղադրիչները տեղադրվել են գործարկման մեկնարկից առաջ:

- ECAL-ը լիովին փորձարկվել է LMS-ի և տիեզերական ճառագայթների միջոցով, բոլոր մոդուլները գործարկվել են ֆոտոնային փնջով նախքան տվյալների հավաքման սկսելը :
- Բոլոր սրիգերները, ներառյալ ECAL-ը և FCAL-ը, փորձարկվել են գործարկումից առաջ, որը թույլ է տվել փնջի գործարկման ժամանակ տվյալների հավաքումը իրականացնել առանց ուշացումների:

ECAL-ի սկզբնական բարձր լարման կարգավորումները որոշվել են տիեզերական ճառագայթների տվյալների միջոցով:



Տիեզերական մասնիկների կողմից ինդուկցված մոդուլում ազդանշանի գազաթնակետային ամպլիտուդը (աջ), ECAL մոդուլների համար ազդանշանային իմպուլսի ամպլիտուդը (ձախ) :



ECAL մոդուլներում π^0 -ի (ձախ) և Υ նմայտոնյան ֆոտոն (աջ) ազդանշանի գազաթների օրինակ:

Կատարվել են բազմակի բարձր լարման կարգաբերումներ՝ օգտագործելով Υ նմայտոնի ցրման և π^0 -ի գրանցման տվյալները, որոնց արդյունքում տրամաչափման գործակիցները հավասարեցվել են մոտավորապես 1.4% ճշտությամբ:

Բոլոր ECAL մոդուլները ներկայումս գործարկվում են:

2. Հեռավար մասնակցել ենք 16 հերթափոխների GlueX-II +JEF գիտափորձերում:

(GlueX-II: an extension of the GlueX spectroscopy program at high intensity and with enhanced particle identification.

JEF: The JLab Eta Factory Experiment: The JEF program aims at performing precision measurements of various η and η' decays with emphasis on rare neutral decays.)

Խմբի անդամները հեռավար մասնակցել են 2025թ կազմակերպած GlueX համագործակցության բոլոր միտինգներին և տպագրության համար պատրաստվող հոդվածների քննարկումներին:

Հրաչյա Մարուքյանը “ Overview of recent GlueX results and future plans ” թեմայով զեկուցել է, CHEP-2025-Yerevan, Sep 29 – Oct 3, կոնֆերանսում: .

Գիտական ամսագրերում JLab- ի 4 համագործակցությունների հրապարակումների ընդհանուր թիվը՝ 18-ն է:

Hall - A

1. D. Abrams et al., "EMC Effect of Tritium and Helium-3 from the JLab MARATHON Experiment", Phys.Rev.Lett. 135 (2025) 6, 062502.
2. S. Li., S. N. Santiesteban, J. Arrigton et al., "Inclusive studies of two- and three-nucleon short-range correlations in ^3H and ^3He ", Phys.Lett.B 868 (2025) 139734.

Hall - B

3. L. Clark, B. McKinnon, D. G. Ireland, et al., (CLAS Collaboration), "Photoproduction of the hyperon using linearly polarized photons with CLAS", Phys. Rev. C 111 (2025) no 2, 025204/10.
4. T. Mineeva, W. K. Brooks, A. El Alaoui, et al., (CLAS Collaboration), "Suppression of neutral-pion production in deep-inelastic scattering off nuclei with the CLAS detector", Phys. Rev. C 112 (2025) no 3, 035203/8.
5. S. J. Paul, S. Morán, M. Arratia, et al., (CLAS Collaboration), "Dihadron azimuthal correlations in deep-inelastic scattering off nuclear targets", Phys. Rev. C 111 (2025), no 3, 035201/32.
6. P. Roy, S. Cao, V. Crede, et al., (CLAS Collaboration), Physical Review C, 2025, 112 (3), 035201/22.
7. A. Kripko, S. Diehl, K. Joo, et al., (CLAS Collaboration), "Multidimensional measurements of beam single-spin asymmetries in semi-inclusive deep- inelastic charged-kaon electroproduction off protons in the valence region ", Phys. Rev. C 112 (2025) no 5, 055202/8.
8. D. S. Carman, A. D'Angelo, L. Lanza, et al., (CLAS Collaboration), "Recoil polarization in electroproduction in the nucleon resonance region with CLAS12" Measurement of single- and double-polarization observables in the photoproduction of meson pairs off the proton using CLAS at Jefferson Laboratory", Phys. Rev. C 112 (2025) no 3, 035206/23.

9. A. Deur, S. E. Kuhn, M. Ripani, et al., (CLAS Collaboration), "Measurement of the nucleon spin structure functions for using CLAS", Phys. Rev. C 111 (202), no3, 035202/33.
10. A. V. Sarantsev, E. Klempt, K. V. Nikonov, et al., "Photoproduction of two charged pions off protons in the resonance region ", Phys. Rev. C 111 (2025), no 3, 035203/19.
11. V. Klimenko, D. S. Carman, R. W. Gothe et al., (CLAS Collaboration), "Inclusive electron scattering in the resonance region off a hydrogen target", Phys.Rev.C 112 (2025) no 2,025201.

Hall - C

12. H. Bhatt et al., "Flavor dependence of charged pion fragmentation functions", Phys. Lett. B 865 (2025)139485.
13. T. Horn et al., "Scintillating glass for precision calorimetry in nuclear physics", Eur. Phys. Journal A 61 (2025) 72.

Hall - D

14. F. Afzal et al., (GlueX Collaboration), "First measurement of a₂₀ (1320) polarized photoproduction cross section", Phys. Rev. C 112 (2025) no 1, 015204.
15. F. Afzal, C.S. Akondi, M. Albrecht et al., (GlueX Collaboration), "Measurement of spin-density matrix elements in $\phi(1020) \rightarrow K_S^0 K_L^0$ photoproduction with a linearly polarized photon beam at $E_\gamma = 8.2\text{--}8.8$ GeV", Phys.Rev.C 112 (2025) no 2, 025203.
16. J.R. Pybus, L. Ehingwr, T. Kolar et al., "First Measurement of Near-Threshold and Subthreshold J/ψ Photoproduction off Nuclei", Phys.Rev.Lett. 134 (2025) 20, 201903.
17. F. Afzal, C.S. Akondi, M. Albrecht, M. Amaryan et al., "Measurement of spin-density matrix elements in $\Delta^{++}(1232)$ photoproduction", Physics Letters B 863 (2025), 139368.
18. F. Afzal, C.S. Akondi, M. Albrecht et al., "Measurement of the total compton scattering cross section between 6.5 and 11 GeV", Phys.Lett.B 870 (2025), 139914.

Մասնակցություն EIC համագործակցության աշխատանքներին

Ղեկավար՝ Հ. Մկրտչյան

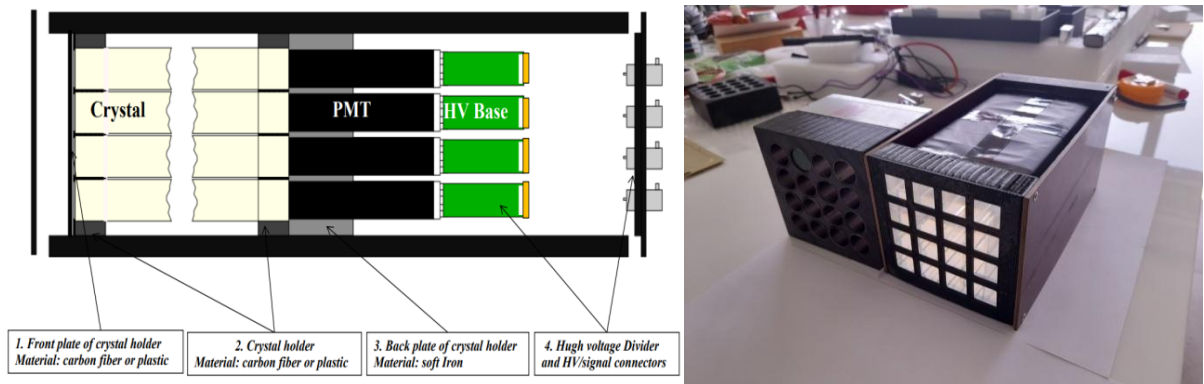
Անդամներ՝ Հ. Մարության, Ա. Մկրտչյան, Ա. Մովսիսյան, Վ. Թադևոսյան, Ա. Հոդմրցյան, Ա. Գրիգորյան, Ս. Ասատրյան, Դ. Ավետիսյան

Էլեկտրոն-իոնային կոլայդերը (EIC), որն այժմ կառուցվում է ԱՄՆ Բրուքհեյվենի ազգային լաբորատորիայում (BNL), լինելու է մասնիկների եզակի արագացուցիչ, որտեղ էլեկտրոնները բախվելու են պրոտոնների և միջուկների հետ՝ նուկլոնի ներքին կառուցվածքը մանրակրկիտ ուսումնասիրելու համար: EIC-ի գիտական ծրագիրը ներառում է բարձր էներգիայի ֆիզիկայի ամենակարևոր և հիմնական հարցերը, ինչպիսիք են՝ նուկլոնի սպինի ծագումը, նուկլոնի և միջուկի եռաչափ կառուցվածքը, գլյուոնի դերը միջուկի կառուցվածքում, հադրոնային զանգվածի ծագումը, Ճշգրիտ էլեկտրա-թույլ փոխազդեցությունը և ստանդարտ մոդելից դուրս ֆիզիկան:

ԱԱԳԼ-ն EIC-ի ֆիզիկական ծրագրին և նրա էլեկտրամագնիսական կալորիմետրի նախագծման և կառուցման աշխատանքներին միացել է 2020 թվականին: Տեղում աշխատանքները հիմնականում կատարվում են ԱԱԳԼ-ի դետեկտորների և մեթոդիկ ուսումնասիրությունների լաբորատոր սենյակում: Ընթացիկ տարում սենյակը դարձյալ համալրվեց ժամանակակից էլեկտրոնիկայի նոր բլոկներով և սարքավորումներով: Խմբում կատարվել են էլեկտրամագնիսական կալորիմետրին վերաբերվող մոդելային հաշվարկներ, կալորիմետրի նախատիպի կառուցում և ուսումնասիրում:

Ուսումնասիրվել են PbWO₄ բյուրեղների բնութագրերը բյուրեղների որակը և չափսերը, օպտիկական թափանցելիությունը, գրանցված լույսի էլքը և այլն:

ԱԱԳԼ-ում նախագծվել և կառուցվել է 4x4 շարվածքով, PbWO₄ բյուրեղներով կալորիմետրի նախատիպ: Այն մանրամասն ստուգվել է կոսմիկական մյուոններով, հետագայում կստուգվի նաև 75 ՄեՎ էլեկտրոնային զծային արագացուցչի փնջով: Նախքան նախատիպի հավաքումը պատրաստվել են բոլոր մեխանիկական մասերը, չափվել և ընտրվել են PbWO₄ բյուրեղները, ստուգվել են ՖԷԲ-ները և նրանց բարձր լարման բաժանիչները: Նախապատրաստվել են ազդանշանային և բարձր լարման մալուխները, էլեկտրոնիկան և DAQ համակարգը:

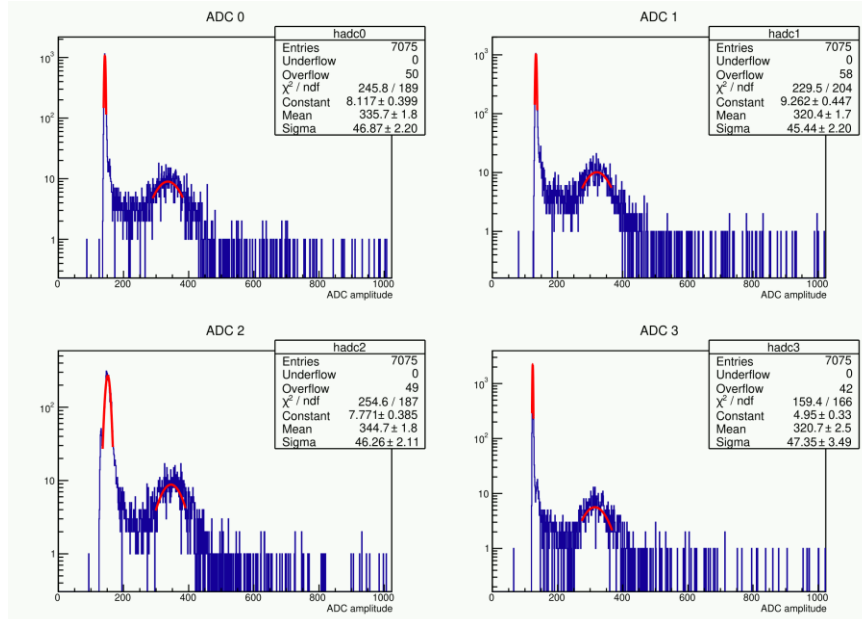


Կալորիմետրի նախատիպի սխեմատիկ պատկերը և որոշ մասերը:

ՖԷԲ-ի ազդանշանները գրանցվում են տվյալների հավաքման էլեկտրոնային համակարգով: Դրանք թվայնացվում են 12 բիթ ինտեգրող տեսակի CAEN V792N QDC անալոգ-թվային փոխարկիչով: Տվյալների հավաքման և գրանցման ծրագիրը հիմնված է CAEN ֆիրմայի ընդհանուր կոդի վրա, որը նախատեսված է «CAEN VME to USB-2.0/Optical Link Bridge» մոդուլի միջոցով QDC, TDC և դիսկրիմինատորների հետ աշխատելու համար: Մեր դեպքում այն հարմարեցված է QDC-ի հետ աշխատելուն: Այն տեղակայված է Fedora Linux օպերացիոն համակարգի տակ աշխատող համակարգչի վրա, որը կցված է վերահսկող մոդուլին USB տիպի մալուխով: Հավաքված տվյալները մշակվում են ROOT տվյալների մշակման ծրագրային փաթեթով:

Նախատիպը ուսումնասիրվել է կոսմիկական ճառագայթներով: Կոսմիկական մյուոններից տրիգեր ձևավորելու համար օգտագործվել է երկու միանման սցինտիլյացիոն հաշվիչներ՝ տեղակայված դետեկտորից վերև և ներքև: Այս հաշվիչների ազդանշաններն, անցնելով 20 մՎ շեմով “CAEN 16 Channel N843 CFD” մոդուլով,

ձևավորում են 40 նվ տևողության NIM ստանդարտի ազդանշաններ, որոնք հաջորդ «N455 Logic Unit» համընկման մոդուլում առաջացնում են 120 նվ լայնության դարպաս (Gate)՝ QDC լիցք-թվային փոխարկիչի համար:



Կոմպիլակսան ճառագայթներով պրոտոտիպի ստուգման ընթացքում ստացված ՖԷԲ-ների ազդանշանի բաշխումներ:

Չափման արդյունքները հրատարակվել են “Journal of contemporary physics(Armenian Academy of Sciences)” ամսագրում:

Ըստ նախնական ծրագրի նախատեսվում էր իրականացնել J/ψ մեզոնների վերականգնում ePIC դետեկտորում գեներացված դեպքերը մշակելիս: Սակայն ստացված տվյալները ցույց տվեցին, որ Pythia գեներատորում էլեկտրոն-պրոտոն փոխազդեցությունները դեռևս ամբողջությամբ ներդրված չեն, ինչի հետևանքով գեներացված նմուշներում J/ψ մասնիկների քանակը սակավ է: Այս պատճառով կատարվել է D⁰ մեզոնների վերականգնում K⁻π⁺ տրոհման միջոցով՝ գյուտների ասիմետրիայի բնութագրման նպատակով: Մոնտե-Կառլո գեներացված մասնիկների բաշխումներում ներդրվել են փորձնական ասիմետրիաներ ֆիքսված (0.05) ամպլիտուդով, որոնք հետագայում վերականգնվել են K⁻π⁺ գույգերի միջոցով

Հրապարակումներ գիտական ամսագրերում՝ ընդհանուր թիվը 3-ն է:

1. H. Mkrtchyan, H. Marukyan, A. Mkrtchyan, A. Shahinyan, V. Tadevosyan, H. Voskanyan, A. Movsisyan and A. Hoghmrtsyan, “Lead Tungstate Electromagnetic Calorimeter Prototype Built in AANL for EIC”, EPJ Web of Conferences 320 (2025) 00049.

2. X. Li, J.K. Adkins, Y. Akiba et al., "Design of the ECCE detector for the Electron Ion Collider", Nucl.Instrum.Meth.A 1073 (2025) 170240.
3. T. Horn et al., "Scintillating glass for precision calorimetry in nuclear physics", Eur. Phys. Journal A 61 (2025) 72.

Մասնակցություն գիտաժողովներին/ժողովներին

1. Հ. Մարուքյան, "Էլեկտրոն-Իոնային Կոլայդերի (EIC) Էլեկտրամագնիսական կալորիմետրի նախագծում, մոդելավորում և նախատիպի պատրաստում", Ամենամյա ամփոփիչ գիտաժողով- 2025, հոկտեմբերի 5-ից 10-ը, Տավուշի մարզի Դիլիջան քաղաք:

Խմբի անդամները մասնակցել են ePIC-ի ընդհանուր և նրա կալորիմետրիայի խմբի աշխատանքներին և շաբաթական գիտաժողովներին, ինչպես նաև ePIC Calorimetry, ePIC Detector-1, ePIC software պարբերական ժողովներին:

Ռեալ և վիրտուալ ֆոտոններով միջուկների ճեղքումը և ֆրագմենտացիա

Ղեկավար՝ ֆիզ.մաթ.գիտ.թեկնածու Ս. Ժամկոչյան

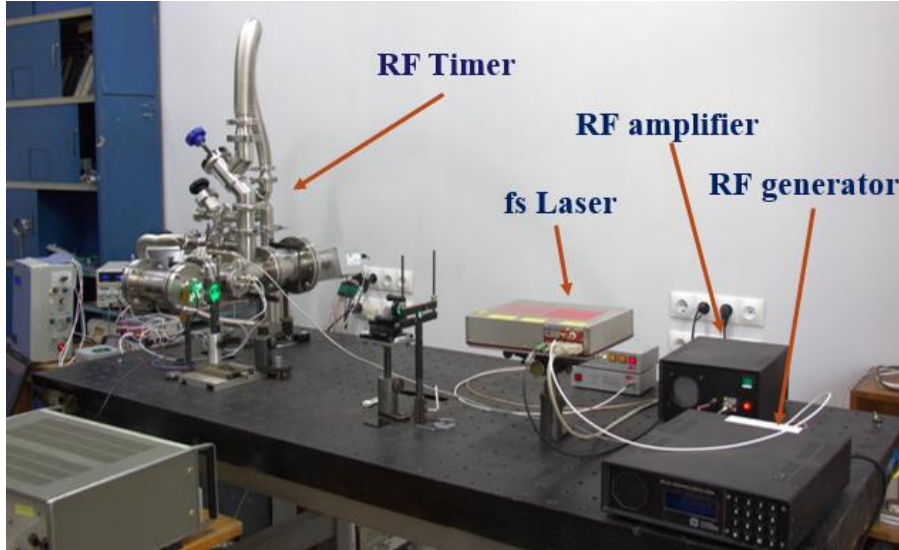
Անդամներ՝ Ա. Մարգարյան, Հ. Վարդանյան, Ս. Աբրահամյան, Հ. Էլբակյան, Ռ. Այվազյան, Գ Սուդյան, Հ. Ռոստոմյան, Ա. Սաֆարյան, Հ. Գևորգյան, Ա. Կակոյան

Խմբի աշխատակիցները մասնակցել են հետևյալ նախագծերի սահմաններում իրականացվող աշխատանքներին՝

1. Գիտական Խմբերի Կամ լաբորատորիաների Ամրապնդմանն Աջակցության 2023թ. մրցույթի դրամաշնորհ, ծածկագիր՝ 23LCG-1C018, վերնագիր՝ «Ռադիոհաճախություններով կառավարվող ժամանակաչափ և հիպերմիջուկային ուսումնասիրությունների նոր հնարավորություններ», ղեկավար՝ Սիմոն Ժամկոչյան, կատարողներ՝ ֆմգթ Ամուր Մարգարյան, ֆմգթ Վանիկ Կակոյան, ֆմգթ Սերգեյ Աբրահամյան, Հասմիկ Ռոստոմյան, ֆմգթ Հայկ Էլբակյան, Մարտին Պինամյան, ֆինանսական ծավալներ՝ 176,000.0 հազար ՀՀ դրամ, կատարման ժամկետ՝ 01.11.2023թ. - 01.11.2028թ.:
2. ISTC AM-2803, 2024-2027, վերնագիր՝ "Radio Frequency Timer based Electron, Photon and Heavy Ion Detectors", ղեկավար՝ Վանիկ Կակոյան, ֆինանսական ծավալներ՝ 360 000 ԱՄՆ դոլար, կատարման ժամկետ՝ 01.03.2024թ. - 01.03.2027թ.:

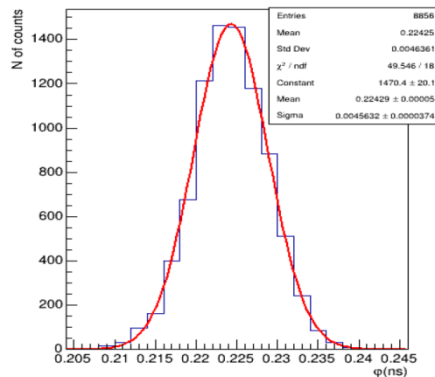
Շարունակվել են ՌՀ թայմերի տեսական և փորձարարական ուսումնասիրությունները: Հիմնական փորձարարական ուսումնասիրությունները կատարվում են լաբորատորիայում, NKT Origami ֆեմտոֆայրկյանային լազերի հետ սինխրոնիզացված հատուկ ստեղծված համակարգի միջոցով (Նկար 1): Այն ներառում է

լազեր, ՌՀ ժամանակաչափ, ՌՀ գեներատոր, ՌՀ ուժեղացուցիչ և այլ կոմպոնենտներ և թույլ է տալիս անմիջապես չափել տարբեր կոմպոնենտների և ազդեցությունը դետեկտորի ժամանակային լուծողականության վրա:



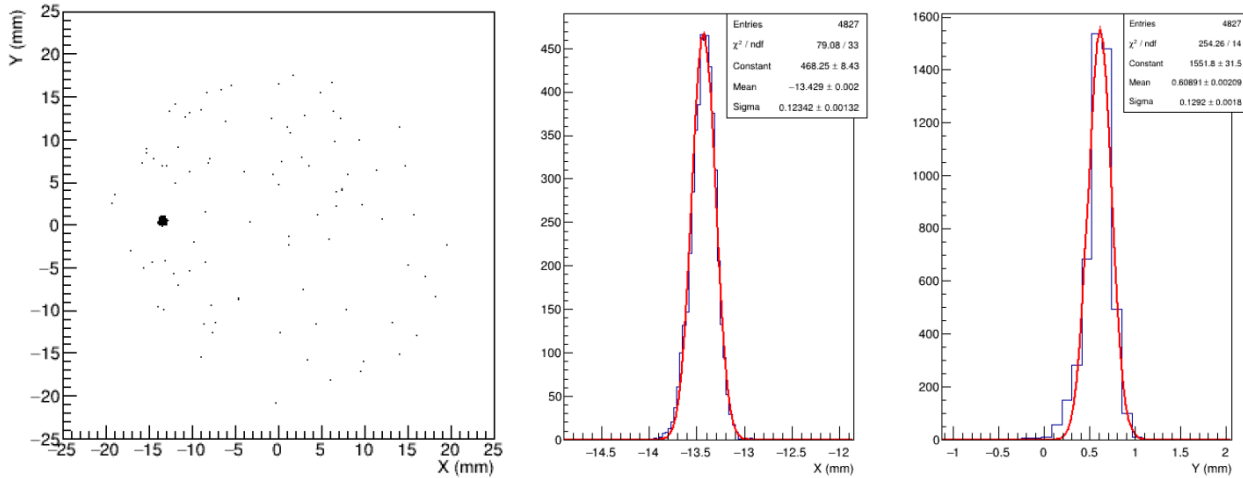
Նկ. 1. Ֆեմտոֆայրկյանային լազերի հետ սինխրոնիզացված հատուկ ստեղծված ժամանակաչափ համակարգ՝ ընդհանուր պատկեր:

Ծավալուն աշխատանքներ են տարվել համակարգի ժամանակային լուծողականությունը բարձրացնելու ուղղությամբ: Փորձարկվել են տարբեր ազդանշանների ուժեղարարներ, կիրառվել է նոր ՌՀ գեներատոր, օպտիմիզացվել է համակարգի երկրաչափությունը, փորձարկվել են տարբեր ֆոտոկաթոդներ: Արդյունքում հաջողվել է ստանալ լավագույն արդյունք՝ մոտ 4.6 պվ լուծողականություն (Նկար 2-ում պատկերված է ստացված ֆոտոէմիսիայի ժամանակային բաշխումը ոսկուց պատրաստված ֆոտոէմիթերի համար):



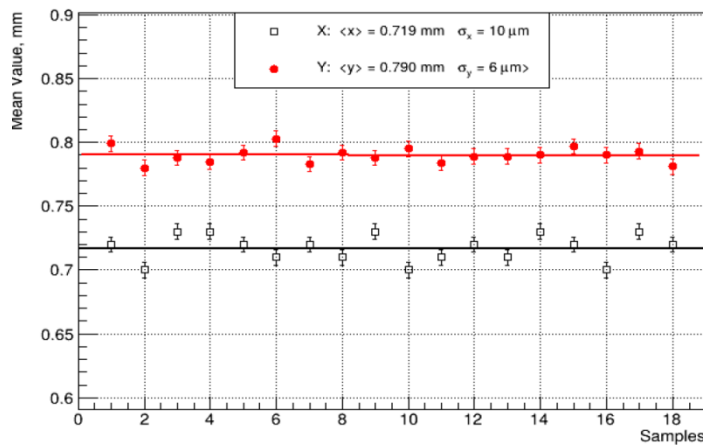
Նկ. 2: Ոսկուց պատրաստված ֆոտոկաթոդից գրանցված ֆոտոէմիսիայի ժամանակային բաշխումը, որը ցուցադրում է ՌՀ ժամանակաչափի ժամանակային լուծողականությունը՝ մոտ 4.6 պվ:

Համակարգի տեխնիկական լուծողականությունը որոշվում է ֆոկուսացման կարողությամբ: Առանց ՌՀ չափումները ցույց են տվել, որ ֆոտոէլեկտրոնները կարող են ֆոկուսացվել մոտ 120 մկմ չափսի կետին (Նկար 3)՝ ինչը, 40 մմ տրամագծով և 500 ՄՀց հաճախականության սքանավորման համար, համապատասխանում է 2 պլ տեխնիկական լուծողականությանը:



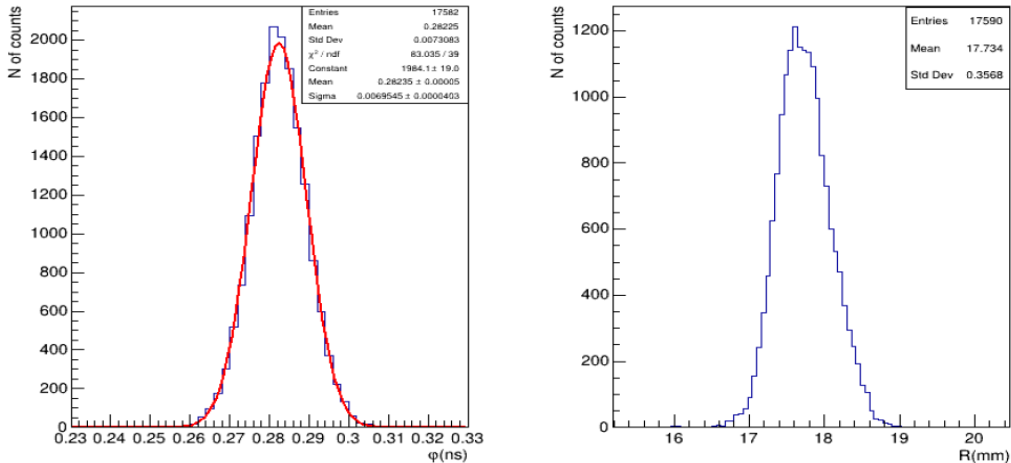
Նկ. 3. Ֆոտոէլեկտրոնների ֆոկուսացում՝ ՌՀ անջատած: Չափ՝ X և Y կոորդինատների երկչափ պատկեր, մեջտեղ՝ X, աջ՝ Y:

Համակարգի կայունության հետազոտությունները ցույց են տվել, որ գրանցված ֆոտոէլեկտրոնային կետի տարածական շեղումը ժամանակի ընթացքում կազմում է մոտ 10 մկմ/ժամ կամ մոտ 200 ֆվ/ժամ (Նկար 4):



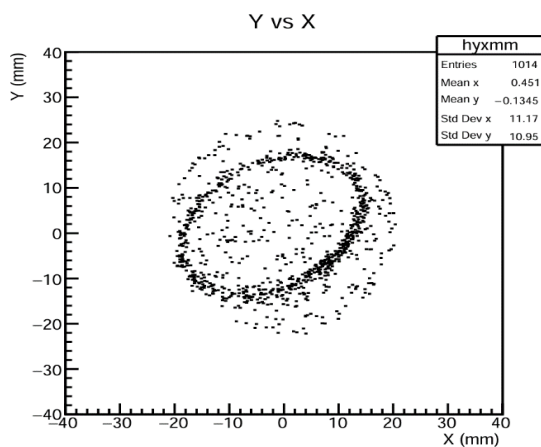
Նկ. 4. Գրանցված ֆոտոէլեկտրոնային կետի կոորդինատային անկայունություն:

Կատարվել են համակարգի փորձարումներ նաև առանց ֆոկուսացման համակարգի միացման, գրանցվել է մոտ 7 պվ լուծողականություն (Նկար 5), ինչը թույլ կտա մշակել ավելի պարզ և կոմպակտ ժամանակաչափի, պահպանելով գերբարձր ժամանակային ճշտություն:



Նկ. 5: Ոսկուց պատրաստված ֆոտոկաթոդից գրանցված ֆոտոէմիսիայի ժամանակային բաշխումը (ձախ) և սքանավորման շրջանագծի շառավղի բաշխումը (աջ)՝ առանց ֆոկուսացման:

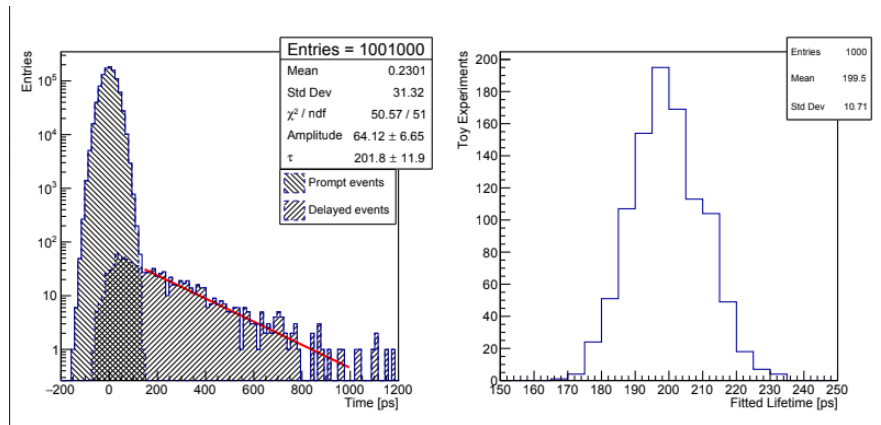
Շարունակվել են աշխատանքներ ՌՀ ժամանակաչափի վրա հիմնված ծանր իոնների դետեկտորի ուղղությամբ: Ցույց է տրվել ալֆա աղբյուրից առաջացած երկրորդական էլեկտրոնների սքանավորման և գրանցման հնարավորություն (Նկար 6):



Նկ. 6. Ալֆա աղբյուրից առաջացած սքանավորված երկրորդական էլեկտրոնների պատկեր:

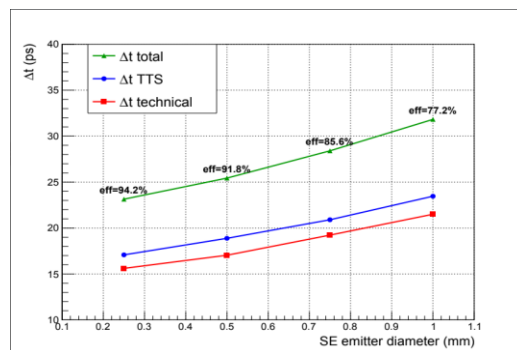
Կատարվել են մանրամասն հաշվարկներ՝ դետեկտորի աշխատունակությունը իրատեսական փորձարարական պայմաններում գնահատելու համար: Նկ. 7-ը ցույց է

տալիս հիպերմիջուկների կյանքի տևողության չափման «խաղային» գիտափորձերի արդյունքները (ձախ՝ մեկ պատահական «խաղային» գիտափորձից ստացված գրանցված ժամանակների բաշխում, աջ՝ վերականգնված հեպերմիջուկների կյանքի տևողության բաշխում 1000 այդպիսի գիտափորձերից), որտեղ հաշվի են առնված գերակշռող ակնթարթային դեպքերը և հետաքրքրող ուշացման դեպքերը, որոնք և համապատասխանում են հիպերմիջուկներին: Սպասվում է, որ 30 պվ լուծողականությամբ ժամանակաչափերի վրա հիմնված դետեկտորը կապահովի մոտ 10 պվ ճշտությամբ հիպերմիջուկների կյանքի տևողության չափում (Նկար 7 աջ):

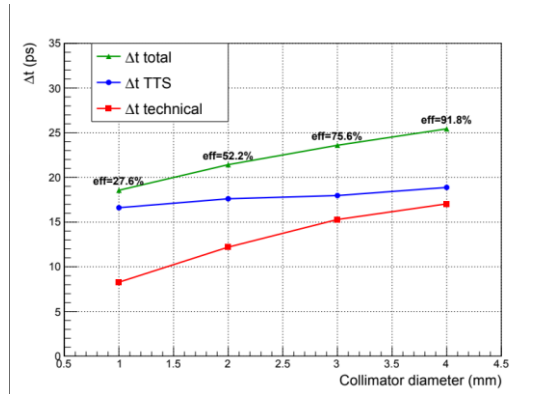


Նկ. 7. Ձախ՝ հաշվարկված «խաղային» գիտափորձի արդյունքներ 10^3 ակնթարթային և ուշացող դեպքերի քանակի հարաբերակցության համար: Դետեկտորի լուծողականությունը ընդունված է 30 պվ, իսկ «իրական» կյանքի տևողությունը՝ 200 պվ: Աջ՝ 1000 այդպիսի գիտափորձերից վերականգնված կյանքի տևողությունների բաշխում:

Գնահատվել է դետեկտորի լուծողականությունը և երկրորդական էլեկտրոնների գրանցման էֆեկտիվությունը տարբեր սկզբնական փնջի չափսերի և երկրորդական էլեկտրոնների կոլիմատորի տրամագծերի համար:



Նկ. 8. Հաշվարկված երկրորդական էլեկտրոնների թռիչքի ժամանակների բաշխում (Δt TTS), տեխնիկական լուծողականություն (Δt technical), ընդհանուր լուծողականություն (Δt total) և էֆեկտիվություն (eff) կախված սկզբնական փնջի չափսից: Կոլիմատորի տրամագիծը՝ 4մմ:



Նկ. 9. Հաշվարկված երկրորդական էլեկտրոնների թռիչքի ժամանակների բաշխում (Δt TTS), տեխնիկական լուծողականություն (Δt technical), ընդհանուր լուծողականություն (Δt total) և էֆեկտիվություն (eff) կախված կոլիմատորի տրամագծից: սկզբնական փնջի չափսը՝ 0.5 մմ:

Բացի ՌՀ ժամանակաչափին նվիրված աշխատանքներին կատարվել են տեսական հետազոտություններ (Հայկ Գևորգյան), որտեղ ուսումնասիրվել են.

- Պարուրաձև շեղիչի հատկությունները,
- Բաղադրյալ զարկերը (ԲԶ, composite pulses),
- Բարձր ճշգրտության, կայուն քվանտային դարպասները (quantum gates),
- Գերլայնաշերտ (ultra-broadband), գերնեղաշերտ (ultra-narrowband), և գերանցաշերտ (ultra-passband) բաղադրյալ բևեռացման կիսալիք ալիքաթիթեղները (composite polarization half-wave plates),
- Գերլայնաշերտ (ultra-broadband) բաղադրյալ բևեռացման պտտիչները (composite polarization rotators),
- Կարգավորելի (tunable) բևեռացման կամայական դանդաղեցուցիչները (arbitrary polarization retarders), պտտիչները (arbitrary polarization rotators) և ղեկավարիչները (arbitrary polarization controllers):

Մասնակցություն գիտաժողովներին/ժողովներին

1. International workshop on Detection Systems and Techniques for fundamental and applied physics - Simon Zhamkochyan - Picosecond resolution time resolved photoelectron emission detection system, Catania, Italy, 2025.
2. The 14th workshop on picosecond timing detectors, electronics and applications - Simon Zhamkochyan - RF PMT: A Picosecond-Resolution Timing Sensor Current Status and Future Perspectives, Elba, Italy, 2025.
3. DRD4 Collaboration meetings (Amur Margaryan).
4. International Workshop on New Photon-Detectors PD2025 - Sergey Abrahamyan - Radio Frequency Photo Multiplier Tube with different photocathodes, Bologna, Italy, 2025.

5. Ամենամյա Ամփոփիչ Գիտաժողով (Միմոն Ժամկոչյան):

Հրատարակումներ գիտական ամսագրերում՝ ընդհանուր թիվը 7-ն է:

1. V. Kakoyan et al, Picosecond resolution photoelectron emission lifetime detection system, JINST, 20 (07), C07030, 2025.
2. D. Adhikari et al, Measurement of the parity-violating asymmetry in the $N \rightarrow \Delta$ transition at low Q^2 , Physical Review C, 112 (1), L012501, 2025.
3. A. R. Balabekyan et al, Low-pressure multi-wire proportional chamber-based fission-fragment sensitive detection system: application in nuclear forensic analysis, Eur. Phys. J. Spec. Top. (2025), <https://doi.org/10.1140/epjs/s11734-025-01689-7>.
4. Hayk L. Gevorgyan, Narrowband and passband composite rotational quantum gates, Physical Review A 111 (5), 052607 (2025).
5. Hayk L. Gevorgyan, Ultra-broadband, ultra-narrowband, and ultra-passband composite polarisation half-wave plates, ultra-broadband composite polarisation π -rotators, and on the quantum-classical analogy, Optics Express 33 (11), 23095 (2025).
6. Hayk L. Gevorgyan et al, Line shape of soft photon radiation generated at zero angle in an undulator with a dispersive medium, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators Spectrometers Detectors and Associated Equipment 1075 (3), 170313 (2025).
7. Hayk L. Gevorgyan and Andon A. Rangelov, Arbitrary polarization retarders and polarization controllers, constructed from sequences of half-Wave and quarter-wave plates, Photonics 12 (8), 754 (2025).

Նանկառուցվածքների և նանոկոստիցայի ուսումնասիրություններ

Ղեկավար՝ Ն. Մարգարյան

Անդամներ. Ս. Մայիլյան, Հ. Բադալյան, Ս. Սեդրակյան, Հ. Վասիլյան, Տ. Օհանյան, Խ. Կիրակոսյան

Խմբի կողմից իրականացվել են մեծածավալ աշխատանքներ, որոնք առնչվում են երկչափ նյութերի ստացմանը: Այդ նպատակով կիրառվել են երեք հիմնական մեթոդներ՝ քիմիական գազափուլային նստեցում (CVD), մեխանիկական շերտազատում, հեղուկ փուլային շերտազատում: Առաջին դեպքում ստացվել են գրաֆեն մեծ մակերես ունեցող շերտեր: Երկրորդ մեթոդը կիրառվել է ոչ միայն գրաֆենի, այլև անցումային մետաղի դիսակոդենիդային (TMD) կիսահաղորդիչների շերտազատման նպատակով: Արդյունքում ստացվել են գրաֆենի, մոլիբդենի դիսելենիդի և վոլֆրամի դիսելենիդի մեկ ատոմական շերտեր: Երրորդ մեթոդով ստացվել են շերտերի տարբեր քանակներով, դոփացված գրաֆենային թաղանթներ՝ կառավարելի օպտիկական հատկություններով:

Ստացված նմուշները հետազոտվել են ռամանյան սպեկտրոսկոպիայի, Ֆուրյե ձևափոխված ենթակարմիր սպեկտրոսկոպիայի (FTIR), լյումինեսցենցիոն սպեկտրոսկոպիայի և այլն մեթոդներով: Այս ուղղությամբ կատարվել է փորձի փոխանակություն նախագծի գործնկերոջ՝ Նոտր Դամի Համալսարանի պրոֆեսոր Պյոտր Ստեփանովի հետ: Այդ նպատակով կազմակերպվել են փոխադարձ այցեր:

Նոտր Դամի Համալսարան այցի ընթացքում մեր կողմից պատրաստված երկչափ նյութերի հիմքով պատրաստվել են նանոսարքեր և հետազոտվել: Այդ նպատակով կիրառվել են գործընկերոջ ղեկավարած լաբորատորիայում առկա տրանսֆերային մանրադիտակահեն կայանքն ու այլ սարքավորումներ: Նանոսարքերի պատրաստման մյուս փուլն իրականացվել է Նոտր Դամի Համալսարան 100 դասի մաքրասենյակում, որտեղ ի թիվս այլնի կիրառվել է էլեկտրոնաճառագայթային վիմագրություն (Electron Beam Lithography, EBL): Մշակվել են նանոսարքերի դիզայններ, որոնք կկիրառվեն նաև ԱԱԳԼ-ում պատրաստվելիք նմուշների համար:

Բարակ թաղանթերի նստեցման շերտերի համար մշակվել է սիլիցիումի մակերևույթին կվարցի աճեցման օպտիմալ մեթոդաբանություն և պատրաստվել են Si/SiO₂ ենթաշերտեր:

ԱԱԳԼ-ում մեկնարկել են տարածաշրջանում համարժեքը չունեցող տրանսֆերային մանրադիտակի հենքով հետերոկառուցվածքների պատրաստման կայանքի հավաքման աշխատանքները: Այդպիսի կայանքը թույլ կտա երկչափ նյութերի հիմքով պատրաստել մուարե կառուցվածքներ, հետերոանցումներ և այլ Վան-դեր-Վալսյան բյուրեղներ:

Տարատեսակ MAX ֆազային նյութերից ստացվել են միաշերտ մաքսիններ (mxene): Ստացված մաքսենները հետազոտվել են օպտիկական, FTIR և ռամանյան սպեկտրոսկոպիային մեթոդների կիրառմամբ: Հետազոտվել է ենթանանոմետրական և նանոմետրական չափի ոսկու մասնիկների ներգործությունը այդ սպեկտրերի վրա: Այստեղ մշակվել է մաքսենների շերտազատման ոչ ավանդական մեթոդաբանություն և կատարվել են օրիգինալ հետազոտություններ՝ խոստումնալից արդյունքներով:

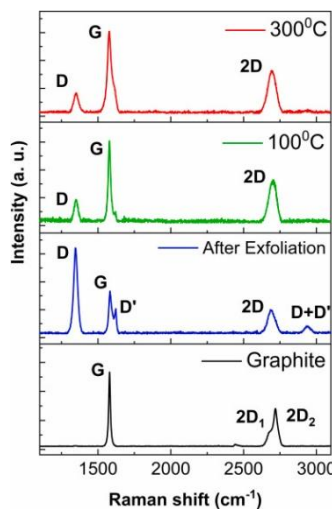
Տարատեսակ երկչափ նյութերի ստացման ու հետազոտության վերջնանպատակը վերջիններիս կիրառությունն է քվանտային դետեկտորներում: Ընդ որում, շատ հաճախ այդպիսի դետեկտորները պատրաստվում են սիլիցիումային ենթաշերտի վրա: Իր հերթին, սիլիցիումային ենթաշերտի տոպոլոգիան կարող է էականորեն ազդել լույս-նյութ փոխազդեցության վրա և լրջորեն փոխել վերջինիս վրա հավաքված հետերոկառուցվածքի հիմքով դետեկտորի աշխատանքային պարամետրերը: Ավելին, սիլիցիումի մակերևույթի նանոչափական խորդուբորդությունները հանգեցնում են վերջինիս վրա նստեցված երկչափ նյութերի մորֆոլոգիայի փոփոխությանը: Հետևաբար շատ կարևոր է հետազոտել սիլիցիումային հարթակի մակերևույթ նանոչափական խորդուբորդությունների ազդեցությունը լույս-նյութ փոխազդեցության վրա և այդպիսով մշակել մակերևույթային տեղաբանության միջոցով օպտիկական հատկությունների կառավարման մոդեռն մեթոդաբանություն: Ի թիվս այլ արդյունքների ստացվել են կարևոր ֆունդամենտալ արդյունքներ, որոնք թույլ են տվել գրել նյութերի

անդրադարձման գործակցի նոր՝ շճգրտված բանաձև, որը ավելի լավ է համնկնում գիտափորձերի արդյունքների հետ:

$$R = \left| \frac{\sqrt{\varepsilon} - 1}{\sqrt{\varepsilon} + 1} \right|^2 \left[1 - 4\sqrt{2\pi} \frac{n}{(\sqrt{\varepsilon} + 1)^2} \frac{\delta^2}{ad} - 8k_0^2 \delta^2 n \right],$$

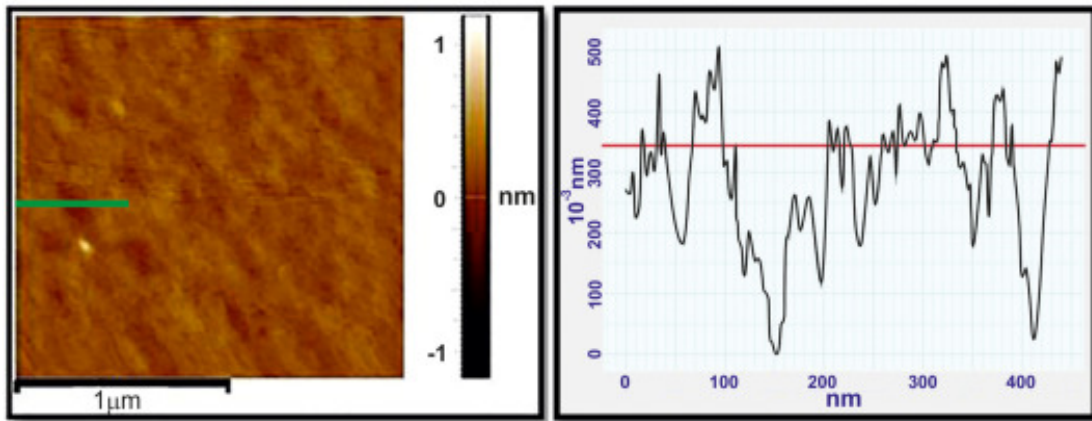
Գիտափորձերի ընթացքում կիրառվել են քիմիական խաժատում և պլազմային մշակում: Այնուհետ, ստացված նանոչափական անհարթությունները հետազոտվել են ատոմաուժային մանրադիտակով (AFM) և կատարվել է մակերևույթի խորդուբորդությունների վերլուծություն ու համեմատություն գաուսյան բաշխման հետ: Ավելին, մշակվել է փորձարարական մեթոդաբանություն, որը թույլ է տալիս նվազեցնել մեծ բեկման ցուցիչ ունեցող նյութերի անդրադարձունակությունը: Սա բացում է այս նյութերի դետեկտորներում և արեզակնային էներգիայի բջիջներում կիրառության նոր հեռանկարներ: Այս ուղղությամբ տպագրվել են երկու գիտական հոդվածներ: (V. Gareyan, N. Margaryan, Zh. Gevorkian, Nanoroughness-induced antireflection and haze effects in opaque systems. *Physical Review A*, 110 (6), 063523,1-15 (2024), 4. Vigen R. Gareyan, Narek B. Margaryan, Zhyrair S. Gevorkian, Antireflectivity and diffuse scattering from rough surfaces. *IET CP*. 2024 (36), 1-5, (2025)):

Կախված ստացման մեթոդաբանությունից, գրաֆենային շերտերը կարող են ներգործված լինել մակերևույթին ադսորբցված մոլեկուլների կողմից: Վերջիններս հարուցում են ոչ միայն դիպոկացիաներ այլև կարող են նվազեցնել sp^2 հիբրիդիզացիայի մակարդակը: Այդպիսի ներգործություն նկատվել է հեղուկ փուլային շերտազատմամբ ստացվող գրաֆենային թաղանթների դեպքում: Տվյալ ուղղությամբ կատարվել են հետազոտություններ, որոնք վերաբերվում են գրաֆենային շերտերի ադսորբանտներից մաքրմանը՝ ջերմային մշակման եղանակով: Ռամանյան սպեկտրոսկոպիայի միջոցով դիտարկվել է դեֆեկտներ առկայությունն ու կոնցենտրացիան նկարագրող մոդաներ էվոլյուցիան (Նկար 1):



Նկ. 1. Ելանյութային գրաֆիտի, շերտազատված գրաֆենի և վերջինիս ջերմային մշակված վիճակների ռամանյան սպեկտրոսկոպի:

Այս ուղղությամբ տպագրվել է գիտական հոդված (N. Margaryan et al, Thermal reduction and fractal analysis of liquid phase exfoliated graphene. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment, 1075, 170407, (2025)): Այդ նույն հոդվածում հրապարակված հետազոտությունները ներառել են նաև գրաֆենային շերտերի օտոէլեկտրոնային հատկությունների վրա նանոչափական խորդուբորդությունների ազդեցությանն առնչվող արդյունքներ: Այդ արդյունքներն ստացվել են գրաֆենային թաղանթների երկրաչափական մոդելավորման և ֆոակտալ անալիզի մեթոդով: Գրաֆենային թաղանթի մակերևույթն ուսումնասիրվել է ատոմաուժային մանրադիտակով (Նկար 2):



Նկ. 2. Գրաֆենային թաղանթի մակերևույթի AFM պատկերն ու զծային սկանավորման արդյունքը:

Գրաֆենի շերտերի կիրառմամբ այս նախագծի շրջանակներում պլանավորվում է պատրաստել դետեկտորներ, որոնք կկիրառվեն նաև տիեզերքում: Մյուս կողմից էլ, տիեզերքում առկա է ուժեղ ճառագայթակտիվ ֆոն: Այդ ճառագայթակտիվ միջավայրում շատ մեծ ներդրում ունեն պրոտոնային փնջերը, որոնք կարող են կործանարար ազդեցություն ունենալ դետեկտորի վրա՝ քայքայելով և վնասելով դետեկտորում կիրառվող նյութերը: Հետևաբար շատ կարևոր է հետազոտել պրոտոնային փնջերի ներգործությունը գրաֆենային շերտերի վրա: Այս ուղղությամբ իրականացվել են մեծածավալ հետազոտական աշխատանքներ, որոնք առնչվում են գրաֆենային շերտեր պրոտոնային փնջերով ճառագայթահարմանը՝ C 18/18 ցիկլոտրոնի կիրառմամբ: Ճառագայթահարումից առաջ և հետո կատարվել են Ռամանյան և FTIR սպեկտրոսկոպիա և Վոլտ-Ամպերային բնութագրերին առնչվող չափումներ: Մշակվել է նաև պարզեցված մեթոդաբանություն ճառագայթահարման միջոցով հեղուկ փուլային շերտազատմամբ ստացված գրաֆենային թաղանթների ենթակարմիր կլանումն ուժեղացնելու և վերջիններիս IR դետեկտորներում կիրառության պոտենցիալն ուժեղացնելու համար: Արդյունքները հրատարակվել են գիտական հոդվածում (1. N. Margaryan et al, Enhancement of infrared absorption of liquid-phase exfoliated graphene by 15.5 MeV proton irradiation in ambient conditions. Materials Letters, 399, 139035 (2025).):

Հրատարակումներ գիտական ամսագրերում՝ ընդհանուր թիվը 6-ն է.

1. N. Margaryan et al, Enhancement of infrared absorption of liquid-phase exfoliated graphene by 15.5 MeV proton irradiation in ambient conditions. *Materials Letters*, 399, 139035 (2025).
2. N. Margaryan et al, Thermal reduction and fractal analysis of liquid phase exfoliated graphene. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment*, 1075, 170407, (2025).
3. V. Kakoyan et al, Picosecond resolution photoelectron emission lifetime detection system. *Journal of Instrumentation*. 20 (07), C07030, (2025).
4. Vigen R. Gareyan, Narek B. Margaryan, Zhyrair S. Gevorkian, Antireflectivity and diffuse scattering from rough surfaces. *IET CP*. 2024 (36), 1-5, (2025).
5. V. Gareyan, N. Margaryan, Zh. Gevorkian // *Modern Theoretical Approach for Description of Antireflectivity / Physics of Particles and Nuclei*, 2025, 56 (6), 1439-1443, 0.1134/S1063779625700649, 1063-7796, 1531-8559.
6. A. Mnoyan, S. Chroay, M. Kim, Kh. Kirakosyan, W. G. Shin, Novel sodium tetrafluoroborate additive for enhancing Boron's energetic performance, *Fuel*, 2026, vol. 405, p. 136504.

Մասնակցություն գիտաժողովներին/ժողովներին

1. Hovhannes Badalyan, Astghik Hovhannisyan, Arevik Arestakyan, Eduard Aleksanyan, Narek Margaryan //Effect of gold nanoparticles on the optical properties of silicon: experimental insightst / 2025.
2. H.I. Badalyan, A.A. Hovhannisyan, T.V. Ohanyan, S. J. Sedrakyan, A.G. Arestakyan, E.M.Aleksanyan, N.B. Margaryan //Experimental Investigation of Gold Nanoparticle–Induced Modifications in Silicon Optical Properties / 2025 / IX International Conference on Electron, Positron, Neutron and X–ray Scattering under the External Influences Book of Abstracts, 19.
3. H. Badalyan, T. Ohanyan, E. Aleksanyan, A. Hovhannisyan, A. Harutyunyan, N. Margaryan, //Vibrational Spectroscopy of Chlorinated and Dechlorinated Graphene Layers / 2025 / IV International Scientific School for Radiation Physics and Related Applications named after Academician Alpik Mkrtychyan Book of Abstracts, 41.
4. Tigran Ohanyan, Hovhannes Badalyan, Astghik Hovhannisyan, Arevik Arestakyan, Eduard Aleksanyan, Narek Margaryan // Surface Enhanced Raman Spectroscopy of Silicon Using Subnanometrical Gold Clusters / 2025.
5. Tigran Ohanyan, Hovhannes Badalyan, Andranik Manukyan, Eduard Aleksanyan, Narek Margaryan //Proton Irradiation Effects on Infrared and Structural Properties of Graphene for 3/ Space Applications / 2025.
6. H. V. Vasilyan, H. I. Badalyan, T. V. Ohanyan, S. J. Sedrakyan, E. Aleksanyan, N. B. Margaryan // Tuning Graphene Interlayer Spacing with Ionic Liquids for CO₂ Absorption

/ 2025 / IV International Scientific School for Radiation Physics and Related Applications named after Academician Alpic Mkrtchyan Book of Abstracts, 47.

7. Harutyun Vasilyan // Quantum Convolutional Neural Networks for Classification / 2025.
8. Harutyun Vasilyan, Hovhannes Badalyan, Tigran Ohanyan, Sargis Sedrakyan, Astghik Hovhannisyanyan, Arpine Martirosyan, Narek Margaryan // Application of Graphene Layers for CO₂ Capture / 2025 / Armenian-German WE-Heraeus Seminar "Optics and its Applications in Quantum Technologies" (OPTICS-QT) Book Of Abstracts, 103
9. H. V. Vasilyan, H. I. Badalyan, T. V. Ohanyan, S. J. Sedrakyan, A. A. Hovhannisyanyan, A. S. Harutyunyan, N. B. Margaryan // Tuning Graphene Interlayer Spacing with Ionic Liquids for CO₂ Absorption / 2025 / IX International Conference on Electron, Positron, Neutron and X-ray Scattering under the External Influences Book of Abstracts, 34.

Ցածր էներգիաների միջուկային ֆիզիկա

Ղեկավար՝ Ռոզա Ավետիսյան

Անդամներ՝ Ի. Քերոբյան, Վ. Յարալով, Յ. Ղարիբյան, Ռ. Ավետիսյան, Հ. Մկրտչյան, Ա. Պետրոսյան, Ա. Գաբրիելյան, Հ. Գևորգյան

Խումբը գործունեություն է ծավալում ցածր էներգիաների միջուկային ֆիզիկայի ուղղությամբ: Հիմնական հետազոտական աշխատանքներն ու գիտափորձերն իրականացնում են ԱԱԳԼ-ի ենթակառուցվածքային բազայի վրա: Հետազոտության համար ընտրվում են ինչպես ֆունդամենտալ նշանակության, այնպես էլ կիրառական միջուկներ, որոնք ուսումնասիրվում են ակտիվացիոն անալիզի մեթոդով:

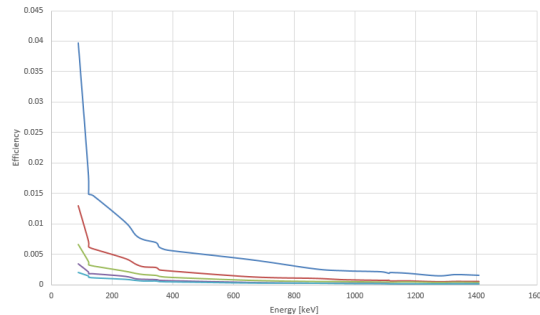
Հաշվետու տարում կատարվել է ԱԱԳԼ-ի էլեկտրոնային գծային ԼՈՒԷ-75 արագացուցիչի արգելակային փնջի վրա գիտափորձ: Գիտափորձի նպատակն է ուսումնասիրել բժշկության մեջ օգտագործման համար քննարկվող ¹⁵⁹Gd և ¹⁵³Gd ռադիոնուկլիդների առաջացումը արգելակային փնջի միջոցով: Նշենք նաև, որ EXFOR միջուկային ֆիզիկայի տվյալների բազան առկա է միայն մեկ աշխատանքի տվյալներ: Գիտափորձը կատարվել է օգտագործելով 30 ՄԷՎ, 40 ՄԷՎ, 50 ՄԷՎ և 60 ՄԷՎ էներգիայի էլեկտրոնների արգելակային փնջերը: Ֆոտոմիջուկային ռեակցիաների ուսումնասիրման համար կիրառվել է ակտիվացիոն անալիզի մեթոդը: Որպես թիրախ օգտագործվեց 250 մկմ հաստությամբ բնական գադոլինիումը, որը բաղկացած է 7 կայուն իզոտոպներից՝ ¹⁵²Gd (0.20%), ¹⁵⁴Gd (2.18%), ¹⁵⁵Gd (14.80%), ¹⁵⁶Gd (20.47%), ¹⁵⁷Gd (15.65%), ¹⁵⁸Gd (24.84%), ¹⁶⁰Gd (21.86%), որպես գամմա արգելակային փնջի մոնիտոր՝ 40 մկմ հաստությամբ բնական պոնձի թիրթղներ: Արգելակային փնջի ստացման համար էլեկտրոնային փնջի դիմաց տեղադրվել է 2 մմ հաստությամբ տանտալե փոխակերպիչ (converter):

Աղյուսակ 1-ում բերված են ¹⁵⁹Gd և ¹⁵³Gd ռադիոնուկլիդների, ինչպես նաև մոնիտոր ռեակցիայի շեմերը և սպեկտրոմետրիկ բնութագրերը:

Աղյուսակ 1. Ուսումնասիրվող նուկլիդների բնութագրերը

Բզոտոպ	Ռեակցիա	Ռեակցիայի շեմ, MeV	Գիսատրոհման պարբերություն $T_{1/2}$	Տրոհման ուղի	γ -զծի էներգիա, keV]	Բնտենսիվություն, %
^{159}Gd	$^{160}\text{Gd}(\gamma, n)$	7.452	18.479 ժ	β^- (100%)	363.543	11.78
^{153}Gd	$^{154}\text{Gd}(\gamma, n)$	8.895	240.4 օր	ϵ (100%)	69.67	2.45
	$^{155}\text{Gd}(\gamma, 2n)$	15.330			97.43	30.
	$^{156}\text{Gd}(\gamma, 3n)$	23.866			103.18	22.1
	$^{157}\text{Gd}(\gamma, 4n)$	30.226				
	$^{158}\text{Gd}(\gamma, 5n)$	38.163				
	$^{160}\text{Gd}(\gamma, 7n)$	51.558				
^{61}Cu	$^{63}\text{Cu}(\gamma, 2n)$	19.738	3.39 ժ		282.956 656	12.7 10.4

Գիտափորձից առաջ իրականացվել է լաբորատոր սենյակում գտնվող CANBERRA ֆիրմայի արտադրության HPGe դետեկտորի տրամաչափումը և էֆեկտիվության գնահատումը: Դետեկտորը համալրված է Digital Signal Analyzer (DSA-LX) ժամանակակից գամմա-սպեկտրոմետրով: Աշխատանքն իրականացվել է ռադիոակտիվ աղբյուրների ամբողջական հավաքածուի կիրառմամբ: Հավաքածուն բաղկացած էր ^{57}Co ; ^{60}Co ; ^{137}Cs , ^{109}Cd ; ^{65}Zn ; ^{22}Na ; ^{133}Ba ռադիոակտիվ աղբյուրներից, որոնք ամբողջությամբ ներառում են հետազոտության համար անհրաժեշտ էներգետիկ տիրույթը: Նկար 1-ում բերված է էֆեկտիվության կախումը, աղբյուրների դետեկտորից տարբեր հեռավորությունների վրա:



Նկ. 1. HPGe դետեկտորի համար էֆեկտիվության կախումը գամմաների էներգիաներից

Նախքան գիտափորձի իրականացումը GEANT4, TALYS 2.0 և EMPIRE 3.2 ծրագրերի միջոցով հաշվարկվել են միջին կշռացված ընդլայնական կտրվածքները ուսումնասիրվող նուկլիդների համար:

Աղյուսակ 2-ում բերված են թիրախի փնջի էներգիաները և հոսանքը, գադոլինիումի թիրախի հաստությունը և հոսանքը, ինչպես նաև ճառագայթման տևողությունը:

Աղյուսակ 2. Գիտափորձի տվյալները

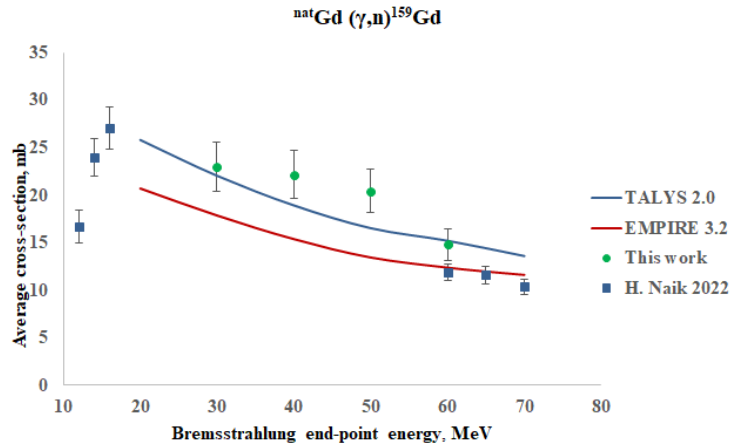
Փնջի էներգիա, ՄէՎ	Փնջի հոսանք, մկԱ	Թիրախ	Չափերը, սմ ²	Ճառագայթման տևողություն, ժամ
30	0.25	Բնական Gd 250 մկմ	2.5x2.5	2
40	0.32			
50	0.4			
60	0.4			

Ճառագայթումից հետո կատարվել են հիմնական Gd և մոնիտոր Cu թիրախների սպեկտրոսկոպիկ չափումները բարձր մաքրության CANBERRA գերմանիում դետեկտորի միջոցով: Արդյունքների մշակումը կատարվել է GENIE 2000 ծրագրային փաթեթի միջոցով:

Օգտվելով Աղյուսակ 1-ի մեջ բերված սպեկտրոմետրիկ տվյալներով և դետեկտորի միջոցով չափումներից հաշվարկվել է հոսանքով միջինացված ընդլայնական կտրվածքի արժեքները ¹⁵⁹Gd համար փնջի 30 ՄէՎ, 40 ՄէՎ, 50 ՄէՎ և 60 ՄէՎ էներգիաների դեպքում: Չափման արդյունքները բերված են Նկար 2-ում EXFOR միջազգային բազայի տվյալների և TALYS 2.0, EMPIRE 3.2 տեսական հաշվարկների հետ համատեղ: Ինչպես երևում է Նկար 1-ից, մեր արդյունքները սխալների տիրույթում համնկնում են [H. Naik] տվյալների հետ:

Մեր արդյունքները առավել մոտ են TALYS 2.0 կողով հաշված տվյալների հետ:

¹⁵³Gd ռադիոնուկլիդի տվյալները դեռևս մշակուման փուլում են, քանի որ նրա երկար կյանքի տևողությամբ պայմանավերված (տես Աղյուսակ 1) չափումները դեռ շարունակվում են:



Նկար 2. Միջին հավասարակշռված ընդլայնական կտրվածքը TALYS 2.0, EMPIRE 3.2 տեսական հաշվարկների և [H.Naik, 2022] աշխատանքի հետ համատեղ

Օգտագործված գրականություն՝

1. Naik, H., Kim, G.N., Schwengner, R. *et al.* Photo-neutron cross-section of ^{nat}Gd in the bremsstrahlung end-point energies of 12–16 MeV and 60–70 MeV. Eur. Phys. J. A **58**, 92 (2022).
<https://doi.org/10.1140/epja/s10050-022-00736-4>
2. GENIE-2000 Basic Spectroscopy S500. <https://genie-2000-basic-spectroscopy-s500.software.informer.com>
3. GEANT4: A Simulation Toolkit. <https://geant4.web.cern.ch/>. Accessed March 5, (2019).
4. Arjan Koning, Stephane Hilaire, Stephane Goriely “TALYS-2.0: Simulation of nuclear reactions” December 2023.
<https://nds.iaea.org/talys/tutorials/talys>
5. M. Herman, R. Capote, M. Sin, A. Trkov et al. EMPIRE-3.2 Malta modular system for nuclear reaction calculations and nuclear data evaluation, August 19, (2015).
<http://www.nndc.bnl.gov/empire/main.html>

Հրապարակումներ գիտական ամսագրերում՝ ընդհանուր թիվը 2-ն է.

1. A. Yu. Petrosyan “Study of Excitation Functions of Proton-Induced Reactions on Natural Tin Using Talys 1.96 and Empire 3.2 Codes” Journal of Contemporary Physics (Armenian Academy of Sciences), 2025, Vol. 60, No. 1, pp. 8–15.
2. R. V. Avetisyan, A. G. Barseghyan, Yu. H. Gharibyan, H. A. Mkrtchyan*, A. Yu. Petrosyan & I. A. Kerobyan “Excitation function of proton-induced production of ^{160}Tb ”. The European Physical Journal Plus, 2025, 27, 140,

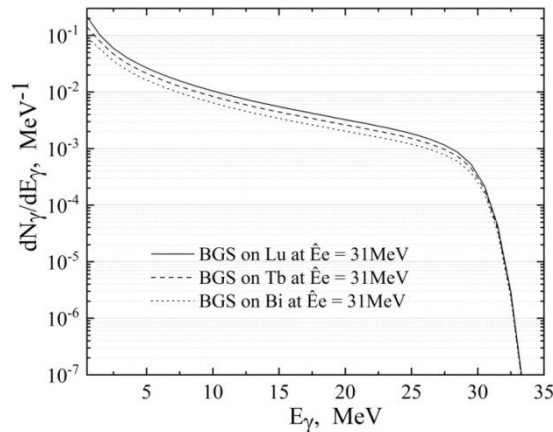
Հազվադեպ միջուկային ռեակցիաների և միջուկային աստղաֆիզիկական հետազոտություններ

Ղեկավար՝ Տիգրան Քոթանջյան

Անդամներ՝ Հ. Գուլքանյան, Լևոն Պողոսյան, Ս. Ամիրխանյան, Ա. Ալեքսանյան, Օ. Պողոսովա, Ա. Սարգսյան, Ա. Շահինյան

Խմբի կողմից Իրականացվել են հետևյալ աշխատանքները.

Ստեղծվել են ֆոտոմիջուկային ռեակցիաների հետազոտման համար նախատեսված թիրախային համակարգեր: GEANT ծրագրային փաթեթի օգնությամբ յուրաքանչյուր ճառագայթվելիք թիրախի համար հաշվարկվել են ԱԱԳԼ-ի էլեկտրոնների գծային արագացուցիչի միջոցով ստացվող արգելակային ֆոտոնների էներգետիկական սպեկտրները՝ արագացված էլեկտրոնների տարբեր E_e էներգիաների դեպքում: Այդ սպեկտրների որոշ օրինակներ պատկերված են Նկար 1-ում:



Նկ. 1. Արգելակային ֆոտոնների էներգետիկական սպեկտրները ^{175}Lu , ^{159}Tb , ^{209}Bi թիրախների համար $E_e = 31$ ՄԷՎ – ի դեպքում:

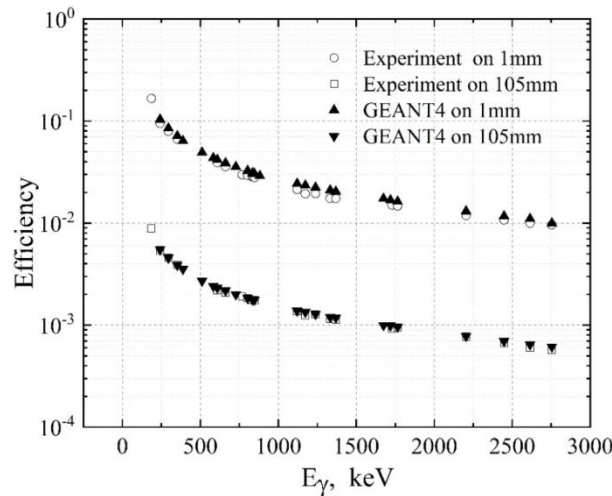
Ձեռք են բերվել ֆոտոններով և պրոտոններով հարուցված միջուկային ռեակցիաների հետազոտման համար նախատեսված թիրախներ (լուտեցիում, տանտալ, իտրիում, տերբիում): Ռենտգեն-ֆլուորեսցենտային և գամմա-ակտիվացման վերլուծության մեթոդներով գնահատվել է թիրախներում առկա խառնուրդների պարունակությունը, որը չի գերազանցել մի քանի տասներորդական տոկոսը:

Թեմայի կատարողները մասնակցել են էլեկտրոնային գծային արագացուցիչ (ՄԿԳ-75) փնջի էներգետիկական սփռվածության նվազեցմանը նպատակամղված աշխատանքներին:

Իրականացվել են Երևանի Ադի հանքում տեղակայված ԱԱԳԼ-ի ստորգետնյա լաբորատորիայի բարեկարգման աշխատանքներ: Իրականացվել է լաբորատորիայում գործող երկու գամմա-սպեկտրաչափերի էֆեկտիվության չափում և հաշվարկ GEANT ծրագրային փաթեթի օգնությամբ (տե՛ս Նկար 2):

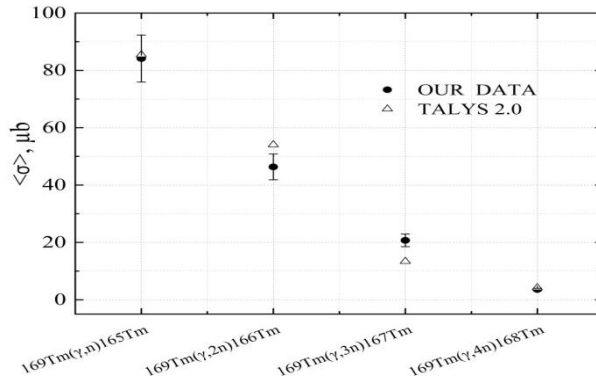
Արգելակային ֆոտոնների փնջերով իրականացվել են տերբիումի, թուլիումի, լյուտեցիումի, տանտալի և բիսմութի թիրախների ճառագայթումներ չորս տարբեր էներգիաների դեպքում՝ $E_e = 28.8, 29.0, 30.5, 31.0$ ՄէՎ: Սկսվել և շարունակվում է ճառագայթված թիրախների գամմա-սպեկտրաչափական վերլուծությունը:

Ավարտին է հասցվել $E_e = 40$ ՄէՎ էներգիայի դեպքում նախկինում ճառագայթված թուլիումի թիրախի գամմա-սպեկտրաչափական վերլուծությունը: Առաջին անգամ չափվել են $^{169}\text{Tm}(\gamma, n)^{165}\text{Tm}$, $^{169}\text{Tm}(\gamma, 2n)^{166}\text{Tm}$, $^{169}\text{Tm}(\gamma, 3n)^{167}\text{Tm}$, $^{169}\text{Tm}(\gamma, 4n)^{168}\text{Tm}$ ֆոտոմիջուկային էրկլյուզիվ ռեակցիաների կտրվածքները, ինչը թույլ է տվել ստուգելու լայնորեն կիրառվող TALYS 2.0 միջուկային ռեակցիաների մոդելի կանխագուշակումները (տե՛ս Նկար 3) և ընտրելու այդ մոդելի գանազան տարբերակներից ամենաօպտիմալները: Ստացված արդյունքներն առցանց եղանակով քննարկվել են օտարերկրյա խորհրդատուի (Ա. Քեչեչյան) հետ:



Նկար 2. Գամմա-սպեկտրաչափի էֆեկտիվության կախումը գամմա-քվանտի էներգիայից: Մալիտակ սիմվոլներով պատկերված են ստանդարտ ռադիոակտիվ աղբյուրներով կատարված չափումների արդյունքները, սև եռանկյունիներով՝ GEANT ծրագրային փաթեթով կատարված հաշվարկները: Նկարում բերված թվերը (1 մմ և 105 մմ) համապատասխանում են ռադիոակտիվ աղբյուրի հեռավորությանը գամմա-սպեկտրաչափի դետեկտորի մակերևույթից:

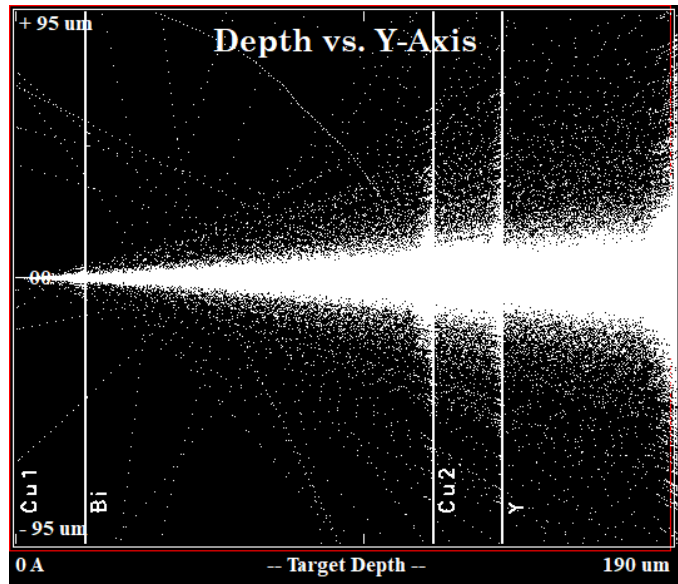
GEANT և SRIM&TRIM ծրագրային փաթեթների օգնությամբ մոդելավորվել է պրոտոնային փնջի անցումը թիրախային համակարգով (տե՛ս Նկար 4) և հաշվարկվել են պրոտոնների փնջի էներգետիկական սպեկտրները բոլոր հետզոտվելիք թիրախներում: Թիրախների ճառագայթումը պրոտոնային փնջով հետաձգվել է (թեմայի կատարողներից անկախ հանգամանքներով) և տեղափոխվել 2026 թ. մինչև C-18 ցիկլոտրոնի պրոտոնային փնջատարի շարքից դուրս եկած վակուումային պոմպերի վերականգման աշխատանքների ավարտը:



Նկ. 3. $^{169}\text{Tm}(\gamma,n)^{165}\text{Tm}$, $^{169}\text{Tm}(\gamma,2n)^{166}\text{Tm}$, $^{169}\text{Tm}(\gamma,3n)^{167}\text{Tm}$, $^{169}\text{Tm}(\gamma,4n)^{168}\text{Tm}$ ռեակցիաների միջինացված կտրվածքները $E_e = 40$ ՄէՎ էներգիայի դեպքում: Սև շրջաններով պատկերված են փորձարարական տվյալները, սպիտակ եռանկյունիներով՝ TALYS 2.0 մոդելի կանխագուշակումները:

Հրապարակումներ գիտական ամսագրերում՝ ընդհանուր թիվը 2-ն է

1. T.V. Kotanjyan et al., “Photodisintegration of Manganese with Formation of Scandium Radioisotopes at Maximum Bremsstrahlung Photons Energy of 40, 55 and 70 MeV”, *European Physical Journal A*. Volume 61, article number 95, (2025).
2. A.S. Hakobyan, et al., On the Divergence and Profile of the Beam of the LUE-75 Linear Electron Accelerator Operating at the AANL (YerPhi). *Journal of Contemporary Physics* (Armenian Academy of Sciences), 60 (2), pages 121-130 (2025).



Նկ. 4. SRIM&TRIM ծրագրային փաթեթների օգնությամբ ^{209}Bi , ^{63}Cu , ^{89}Y թիրախային համակարգի C-18 ցիկլոտրոնի պրոտոնների փնջով ճառագայթման մոդելավորում:

Մասնակցություն գիտաժողովներին

1. A. Aleksanyan, S. Amirkhanyan, H. Gulkanyan, L. Poghosyan, V. Poghosov[†], T. Kotanjyan; Searching for the Photonuclear Reaction $^{209}\text{Bi}(\gamma,4n)^{205}\text{Bi}$ at Near-threshold Energies, «International Scientific Conference "Neutron Physics and Radiation Materials» (NPRM 2025), 27-30 հոկտեմբեր, 2025, բանավոր զեկուցում:
2. A. Aleksanyan, S. Amirkhanyan, A. Aperyanyan, H. Gulkanyan, V. Ghavalyan, T. Kotanjyan, L. Poghosyan, A. Sahakov, A. Shahinyan; Application of proton activation analysis to determine the lithium content in samples. «International Scientific Conference "Neutron Physics and Radiation Materials» (NPRM 2025), 27-30 հոկտեմբեր, 2025, բանավոր զեկուցում:

ՇԲԷ գամմա-ճառագայթների աստղաֆիզիկայի խումբ

Ղեկավար՝ Վ. Սահակյան

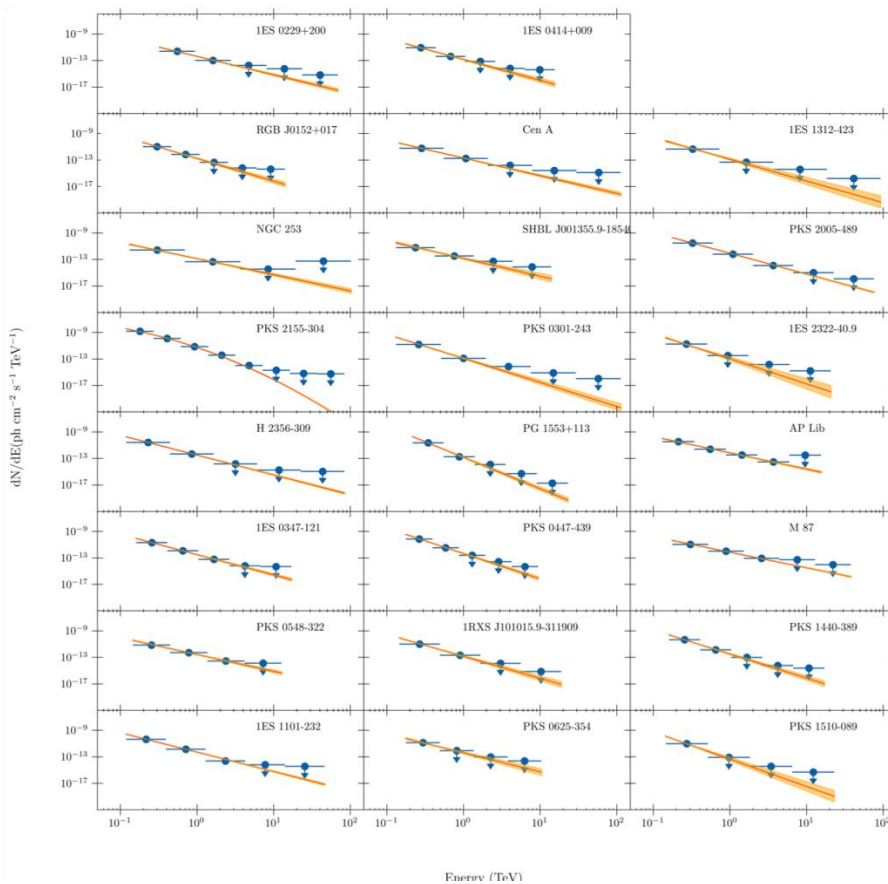
Անդամներ՝ Գ. Պապյան, Մ. Ժամկոչյան, Վ. Ղազարյան

Շատ բարձր էներգիաների (ՇԲԷ, մի քանի տասնյակ ԳԷՎ-ից մինչև մի քանի հարյուր ՏԷՎ) գամմա-ճառագայթների աստղաֆիզիկայի խումբը հաշվետու տարում շարունակել է իրականացնել հետազոտություններ գամմա-աստղաֆիզիկայի ու տիեզերական ճառագայթների ֆիզիկայի բնագավառներում: Խումբը շարունակել է մասնակցել H.E.S.S. (High Energy Stereoscopic System) համագործակցության աշխատանքներին, ուսումնասիրել է 100 ԳԷՎ-ից ցածր էներգիաների տիրույթում չերենկովյան պատկերների վերլուծության առանձնահատկությունները, մշակել է միայնակ էլեկտրոնից կամ ֆոտոնից առաջացած (սկզբնավորված) էլեկտրամագնիսական հեղեղների երկայնական զարգացման անալիտիկ մոտարկման նոր մեթոդ՝ «Ա և Բ մոտարկումների» (Approximation A, B) շրջանակներում:

2025 թ. շարունակվել է H.E.S.S. համագործակցության գիտական ծրագրի իրականացումը՝ գրանցվել են տարբեր դասերի աստղաֆիզիկական աղբյուրների ՇԲԷ γ -ճառագայթման հոսքեր, և ուսումնասիրվել են դրանցում ընթացող ֆիզիկական երևույթները, մասնավորապես՝

- Կազմվել ու ամփոփվել է H.E.S.S.-ի կողմից իրականացված առաջին արտագալակտիկական գամմա-ճառագայթային շրջահայության (HEGS, H.E.S.S. Extragalactic Survey) արդյունքները [1]: Շրջահայությունն ընդգրկում է արտագալակտիկական երկնքի 2004-2012 թթ. դիտումները, որոնք իրականացվել են H.E.S.S.-ի առաջին փուլի (H.E.S.S.-I) ընթացքում, երբ դիտակների համակարգը բաղկացած էր 12 մ տրամագիծ ունեցող 4 պատկերային մթնոլորտային չերենկովյան դիտակներից (ՊՄՉԴ): Դիտումների ընդհանուր ժամանակը կազմել է 2720 ժամ, իսկ ծածկույթը՝ ընդհանուր երկնքի մոտավորապես 5.7%-ը: H.E.S.S.-I-ի դիտումների վերլուծությունից ստացվել են 23 գրանցված աղբյուրներ, որոնք նախկինում հայտնի էին որպես ՇԲԷ գամմա-ճառագայթման աղբյուրներ և որոնք կազմում են H.E.S.S.-ի արտագալակտիկական

շրջահայության HEGS կատալոգը: Կատալոգի հիմնական մասը՝ 23-ից 18-ը, բլազարներ են (BL Lac objects), երկուսը ռադիո գալակտիկաներ (radio galaxies), մեկը՝ հարթ սպեկտրի ռադիոքվազար (flat-spectrum radio quasar), մեկը՝ աստղային գալակտիկա (starburst galaxy) և մեկը՝ անորոշ տիպի աղբյուր: Աղբյուրներից երեքն առանձնացվել են համապատասխանաբար 4.7σ , 5.4σ և 5.7σ վիճակագրական հուսալիությամբ, իսկ մյուսները՝ 6.7σ և բարձր հուսալիությամբ: Աղբյուրների գամմա-ճառագայթների դիֆերենցիալ էներգետիկ սպեկտրները նկարագրելու համար օգտագործվել են երկու տարբեր մոդելներ՝ աստիճանային (power-law, PL)՝ $\phi(E) = \phi_0 \left(E/E_0\right)^{-\Gamma}$, որտեղ ϕ_0 -ն նորմավորման գործակիցն է E_0 էներգիայի դեպքում, իսկ Γ -ն՝ սպեկտրալ ինդեքսը և լոգ-պարաբոլիկ (log-parabola, LP)՝ $\phi(E) = \phi_0 \left(E/E_0\right)^{-\alpha-\beta \log(E/E_0)}$, որտեղ α -ն սպեկտրալ ինդեքսն է E_0 էներգիայի դեպքում, իսկ β -ն՝ սպեկտրի կորությունը: Բոլոր աղբյուրների համար նախընտրելի է աստիճանային մոդելը, բացառությամբ PKS 2155-304-ի, որի համար նախընտրելի է լոգ-պարաբոլիկը: BL Lac աղբյուրների համար միջին սպեկտրալ ինդեքսը կազմել է 3.25 ± 0.53 : Աղբյուրների սպեկտրները բերված են Նկար 1-ում:

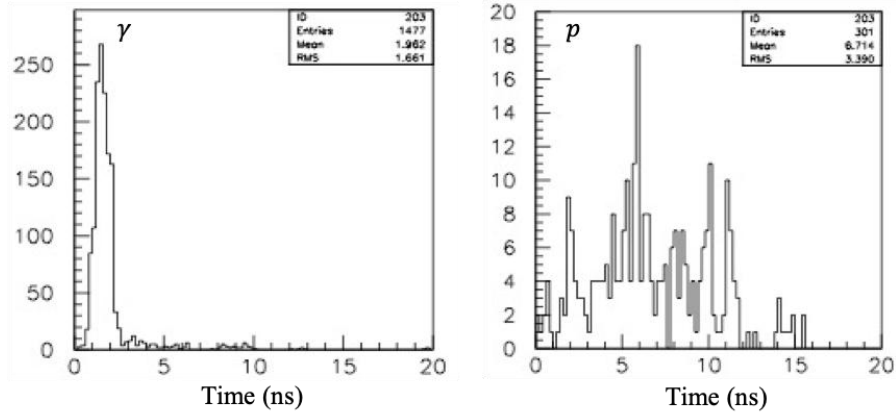


Նկար 1. H.E.S.S.-ի գրանցած աղբյուրների սպեկտրները: Կարմիր գիծը լավագույն համապատասխանության մոդելն է:

Ուսումնասիրվել է նաև աղբյուրների գամմա-հոսքերի ժամանակային փոփոխականությունը: Գրանցված աղբյուրներից յոթը դասակարգվել են որպես փոփոխական և դրանց մեծ մասը (բացառությամբ 1ES 0347-121-ի) արդեն հայտնի էին որպես փոփոխական օբյեկտներ ՏԷՎ էներգիաների տիրույթում: Բոլոր HEGS աղբյուրներն ունեն Fermi-LAT-ի համարժեքներ:

2025թ. իրականացվել են նաև հետևյալ աշխատանքները.

- Շարունակվել են հետազոտությունները 100 ԳԷՎ-ից ցածր էներգետիկ տիրույթում գամմա հեղեղների չերենկովյան պատկերների առանձնացման մաթեմատիկական նոր, ավելի արդյունավետ եղանակ մշակելու ուղղությամբ: Այդ նպատակի համար օգտագործվել է Cherenkov Telescope Array (CTA) ծրագրի Large-Sized Telescope (LST1) ՊՄՉԴ-ի համար մոդելավորված բանկը: LST1 դիտակը տեղակայված է Իսպանիայի Լա-Պալմա կղզու վրա՝ ծովի մակերևույթից 2200 մ բարձրության վրա և ունի 23 մ տրամագիծ, հայելիների 396 մ² ընդհանուր մակերես, 0.1° անկյունային չափեր ունեցող 1855 ֆոտոբազմապատկիչներից բաղկացած ֆոտոընդունիչ և դիտակի 4.5° ընդհանուր տեսադաշտ: Դիտակի էներգետիկ շերտ կազմում է 20 ԳԷՎ՝ տրիգերային մակարդակում և ≈ 30 ԳԷՎ՝ տվյալների վերլուծությունից հետո: LST1 դիտակի նշված բնութագրիչները հաշվի են առնվել մոդելավորված բանկը ստեղծելու ժամանակ: Բանկը գեներացվել է օգտագործելով մաթեմատիկական մոդելավորման փաթեթ, որն ընդգրկում է մթնոլորտային հեղեղի զարգացումը նկարագրող MOCCA (MOnte-Carlo CAscades program by A.M.Hillas) ծրագիրը, ՊՄՉԴ-ների օպտիկական արձագանքը մոդելավորող Ray Tracing ծրագիրը, ինչպես նաև գշերային երկնքի ֆոնի մոդելավորման և չերենկովյան պատկերների պարամետրերի հաշվարկման ծրագրերը: Որպես սկզբնական մասնիկ քննարկվել են սկզբնական գամմա-քվանտները և տիեզերական ճառագայթների մաս կազմող պրոտոններն ու էլեկտրոնները: Գամմա-քվանտներն ու էլեկտրոնները գեներացվել են սկսած 2 ԳԷՎ-ից, իսկ պրոտոնները՝ սկսած 10 ԳԷՎ-ից: Ցույց է տրվել, որ, եթե որպես ֆոն ընդունենք միայն պրոտոնային դեպքերը, ապա չերենկովյան պատկերի երեք պարամետրերի օգտագործմամբ կարելի է հասնել գամմա-դեպքերի առանձնացման արդյունավետության բարելավման 2.41 գործակցի: Ներկայումս հետազոտվում է պատկերների սահմանների որոշման նոր եղանակ, ինչպես նաև չերենկովյան իմպուլսների ձևի օգտագործման հնարավորությունն ազդանշանի առանձնացման արդյունավետության բարձրացման հարցում: Նկար 2-ում բերված են 100 ԳԷՎ էներգիա ունեցող գամմա քվանտից և պրոտոնից առաջացած մթնոլորտային հեղեղների չերենկովյան իմպուլսների օրինակ, երբ հեղեղի անկման հեռավորությունը դիտակից 100 մ է, իսկ զենիթային անկյունը կազմում է գամմա-քվանտի դեպքում 0°, իսկ պրոտոնի դեպքում այն պատահականորեն ընտրվել է դիտակի տեսադաշտում:



Նկար 2. Գամմա-քվանտից (ձախ) և պրոտոնից (աջ) առաջացած հեղեղների չերենկոյվյան իմպուլսների օրինակ LST1 դիտակի դեպքում: Էներգիան՝ 100 ԳԷՎ, անկման հեռավորությունը՝ 100 մ, զենիթային անկյունը՝ 0° (գամմա) և պատահական՝ դիտակի տեսադաշտում (պրոտոն):

• Մշակվել է անալիտիկ նոր մոտարկում՝ գամմա-քվանտից կամ էլեկտրոնից առաջացած էլեկտրամագնիսական հեղեղների երկայնական զարգացման նկարագրման համար՝ «Ա և Բ մոտարկումների» (Approximation A, B) շրջանակներում:

Բացի բազային ֆինանսավորմամբ իրականացվող աշխատանքներից, խումբը կատարում է նաև առաջատար հետազոտությունների աջակցության «Ժամանակակից թվային և ֆենոմենոլոգիական մոտեցումներ ՇԲԷ գամմա-ճառագայթների աստղաֆիզիկայում և տիեզերական ճառագայթների ֆիզիկայում» 21AG-1C085 ծածկագրով գիտական թեման՝ ԱԱԳԼ-ի Փորձարարական ֆիզիկայի և Տիեզերական ճառագայթների ֆիզիկայի բաժանմունքների աշխատակիցների մասնակցությամբ:

Հրապարակումներ գիտական ամսագրերում՝ ընդհանուր թիվը 3-ն է.

1. F. Aharonian, F. Ait Benkhali, J. Aschersleben, ... V. Sahakian, ... et al (H.E.S.S. Collaboration), “The H.E.S.S. extragalactic sky survey with the first decade of observations.” *Astronomy & Astrophysics*, 695, A261 (2025).
2. H. Abe, S. Abe, V. A. Acciari ... V. Sahakian, ... et al, “Multiwavelength study of OT 081: broadband modelling of a transitional blazar.” *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 540, 364–384 (2025).
3. F. Aharonian, F. Ait Benkhali, J. Aschersleben, ... V. Sahakian, ... et al (H.E.S.S. Collaboration), “Detection of very high-energy gamma-ray emission from Eta Carinae during its 2020 periastron passage.” *Astronomy & Astrophysics*, 694, A328 (2025).