

Տարեկան հաշվետվություն 2024 թ.

Ա. Ի. Ալիխանյանի անվան ԱԶԳԱՅԻՆ ԳԻՏԱԿԱՆ
ԼԱԲՈՐԱՏՈՐԻԱ Հիմնադրամ
(Երևանի Ֆիզիկայի Ինստիտուտ)

Հ. Վարդապետյանի անվան
Փորձարարական Ֆիզիկայի Բաժանմունք

ՓՏԲ-ի ղեկավար՝ Ֆիզմաթ գիտությունների դոկտոր Հ.Մարուքյան

Փորձարարական Ֆիզիկայի Բաժանմունքի 2024 թ. ընթացիկ հաշվետվություն

Հաշվետվություն 2024 թ.-ին LINAC-75 գծային արագացուցիչում կատարված աշխատանքների վերաբերյալ

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

2024 թ. LINAC-75 էլեկտրոնային գծային արագացուցչում կատարվել են վերանորոգման-վերականգնողական պրոֆիլակտիկ աշխատանքներ ներառյալ ռեգլամենտով պարտադիր նախատեսված:

Հիմնական ուղղությունները բխում են խմբի գործնության նպատակից՝ ապահովել փնջի ներկա և պոտենցիալ սպառողներին հուսալի պարամետրերով՝ էներգիայով, ինտենսիվությամբ և կայունությամբ, բազմաժամյա սեանսների առկայությամբ, անվտանգությամբ ապահովված փնջերի տրամադրում: Գնալ գծային արագացուցչի մոդերնիզացիայի ճանապարհով, ներմուծել նոր ժամանակակից տեխնիկա:

Ելնելով վերոնշյալից 2024 թ. կատարվել են աշխատանքներ գծային արագացուցչային համալիրի զուգահեռ տեղափոխման հատվածում, որը գտնվում է սինքրոտրոնի սրահում և հանդիսանում է գծային արագացուցչի շարունակություն, վակուումային համակարգի էական փոփոխություններ: Այդ աշխատանքների շնորհիվ՝
ա) վակուումի ստացման ժամանակը կտրուկ կրճատվել է,
բ) վակուումը բարելավվել է այդ հատվածում. ստացվել է $(2 \div 5) \cdot 10^{-6}$ Torr, որը $6 \div 8$ անգամ ավելի բարձր է քան նախկինում:

Դա հնարավոր դարձավ այն բանից հետո, երբ

1. անջատվեցին այլևս չօգտագործվող և վակուումային ծավալը մեծացնող հատվածները,
2. տեղադրվեց նոր տուրբոմոլեկուլյար պոմպ,
3. կտրուկ ձևափոխվեց ֆորվակուումային շղթան,
4. փոխարինվեցին չգործող վակուումային փականները (шнбep) նորերով, ստուգվեց նրանց աշխատանքը փնջի առկայությամբ,
5. ամբողջ զուգահեռ տեղափոխման հատվածը մանրակրկիտ ստուգվեց վակուումային արտահոսքի հայտնաբերիչներով, որոնք նախնապես վերանորոգվեցին և փորձարկվեցին:

Արդյունքում զուգահեռ տեղափոխման փնջատարով բարեհաջող անցկացվեց ցածր ինտենսիվության փնջեր՝ ներառյալ մինչև 60 ՄԷՎ էներգիայով օժտված: Ավելի բարձր էներգիաների համար պահանջվեց մագնիսական վերլուծիչի (магнитный анализатор) տրամաչափում:

Դիպոլային մագնիսական վերլուծիչի տրամաչափման նպատակով կատարվում են հիմնարար աշխատանքներ, որոնք շարունակական են: Կատարվել է վերլուծիչի էլեկտրամագնիսի զննում, էլեկտրական պարամետրերի ստուգման, անհրաժեշտ կորերի ($E = f[B(I)]$) ստացման նպատակով, որտեղ E – էլեկտրոնի էներգիան է, I – էլեկտրամագնիսի միջով անցնող հաստատուն հոսանքն է, B – համասեռ մագնիսական դաշտի ինդուկցիան է բևեռների միջև:

Ներկայումս վերանորոգման և վերականգնման աշխատանքները շարունակվում են:

2024 թ. տպագրված հոդվածները.

- ✓ M. Krmar, N. Jovančević, Ž. Medić, D. Maletić, Yu Teterov, S. Mitrofanov, K. DTimoshenko, S.I. Alexeev, H. Marukyan, I. Kerobyan, R. Avetisyan, R. Dallakyan, A. Hakobyan, L. Vahradyan, H. Mkrtchyan, A. Petrosyan, H. Torosyan «Production of ^{117m}Sn and ^{119m}Sn by photonuclear reactions on natural antimony», Applied Radiation and Isotopes, Volume 208, 111280, 2024.
- ✓ L.R. Vahradyan, A.S. Hakobyan, L.A. Poghosyan, G.D. Movsesyan, H.H. Marukyan. «On the output vacuum windows of accelerator facilities used in the AANL (YerPhI) experiments» – տպագրության փուլում է:

Հետազոտություններ CERN միջազգային կենտրոնում (LHC)

CMS-գիտափորձ

ԱՄԳԼ-«CMS» խումբ

Ղեկավար՝ Ա. Թումասյան

Կարարողներ Ա. Պետրոսյան, Ա. Գևորգյան, Ա. Հայրապետյան, Գ. Բաղդասարյան և Ա. Զոհրաբյան

1. 13 ՏԷՎ Էներգիայով pp-բախումների 2016-18թթ CMS(LHC) փորձարարական տվյալներում Վեկտոր-բոզոնային միաձուլման մեխանիզմով H-բոզոնի ծնման և b-քվարկային գույգի տրոհման (VBF H→bb) պրոցեսի ուսումնասիրության արդյունքները տպագրվել են:

Ազդանշանի չափված/սպասվող արտահայտված շրջությունը կազմում է 2.4/2.7 ստանդարտ շեղում՝ $\sigma_{obs} (\sigma_{exp}) = 2.4\sigma (2.7\sigma)$:

Սկսվել են 13.6 ՏԷՎ Էներգիայով CMS(LHC) Run3 տվյալներում pp-բախումներում այս պրոցեսի ուսումնասիրությունները: 2024թ. սկզբին այս պրոցեսի համար մշակվել և տեղադրվել են նոր օնլայն տրիգերներ 2024թ. տվյալների գրանցման համար:

Կատարողներ՝ Արմեն Թումասյան

2. Շարունակվել են հաղորդակցի կալորիմետրի պայմանների (Էներգետիկ տրամաչափություն, էֆեկտիվություններ, և այլն) թարմացման և ներմուծման աշխատանքները: Այս աշխատանքները ԱԱԳԼ-CMS խմբի սերվիսային պարտականությունների մաս են կազմել:

Կատարողներ՝ Արամայիս Պետրոսյան

3. Շարունակվել են CMS գիտափորձի տվյալների բազայի արդիականացման աշխատանքները, որը ևս գրանցվել է որպես ԱԱԳԼ CMS խմբի պարտավորությունների կատարում:

Կատարողներ՝ Արամ Հայրապետյան

4. FermiLab (ԱՄՆ) CMS խմբի հետ համատեղ իրականացվել է Սուպերսիմետրիկ մոդելներով կանխատեսվող «Երկարակյաց մասնիկների» որոնման աշխատանքը CMS փորձարարական տվյալներում: Ներքին կոլաբորացիոն հոդվածը (CMS AN-2022/152) անցել է նախնական ապրոբացիան, աշխատանքը տպագրությանը պատրաստելու փուլում է:

Կատարողներ՝ Արամ Հայրապետյան

5. FermiLab-ի հետ համատեղ ընթանում են ցածր ուժեղացման հեղեղային դիոդների (Low Gain Avalanche Diodes, LGAD) թեստավորման և սենսորների կարդացող էլեկտրոնիկայի մշակման աշխատանքները: Այս նպատակով խմբի ասպիրանտ Արամ Հայրապետյանը հոկտեմբեր ամսից գործուղման է մեկնել FermiLab: Այս ուղղությամբ վերջին արդյունքները, վերաբերվող AC-LGAD դետեկտորների թեստավորմանը 120 ԳԷՎ Էներգիայով պրոտոնային փջով, ուղարկվել են տպագրության (<https://arxiv.org/pdf/2407.09928>)

Կատարողներ՝ Արամ Հայրապետյան

6. CMS գիտափորձի «Phase2-Upgrade» արդիականացման նախագծի շրջանակներում CMS նոր կալորիմետրական համակարգի (High granularity calorimeter) կոսմիկական մյուոններով թեստավորման համար ՄՀՄԻ, Դուբնա, ՌԴ) կողմից կառուցվել և տեղադրվել է (CERN P5, CMS) փորձարարական սարքավորումը, որի մոդելավորումն ու երկրաչափության օպտիմիզացիան արվել է Ա. Գևորգյանի կողմից: Այժմ գնում են ստացվելիք տվյալների գրանցման և մշակման նախապատրաստական աշխատանքները:

Կատարողներ՝ Արզունիկ Գևորգյան

7. Ընթանում են CMS գիտափորձի «Run3» (2022-23թթ) տվյալներում Հիգգս բոզոնային զույգի ծնման և b-քվարկային զույգերի տրոհման ($HH \rightarrow 4b$) պրոցեսի որոնման աշխատանքները: Կատարվել է 13.6 ՏեՎ էներգիայով pp-բախումների 2022-23թ. տվյալները մշակումը: Պատրաստվել են ներքին կոլաբորացիոն հոդվածները (CMS AN-2023/151, CMS AN-2023/096) որոնք անցել են CMS նախնական ապրոբացիան և գտնվում են ամփոփման փուլում: Ընթանում են ամսագրային հոդվածի պատրաստման աշխատանքները: Սկսվել են ~ 109 Ֆբ-1 ինտեգրալ լուսատվությամբ 2024թ. տվյալների մշակման աշխատանքները:

Կատարողներ՝ Արմեն Թումասյան

8. Իրականացվել են CMS հաղորնային կալորիմետրի տվյալների որակավորման աշխատանքները, որով Ա. Գևորգյանը լրացրել է իր որակավորման աշխատանքի պարտականությունը: Այս թեմայով CMS հաղորնային կալորիմետրի խմբի կողմից տպագրության է ուղարկվել հոդված Ա. Գևորգյանի համահեղինակությամբ: <https://arxiv.org/pdf/2408.16612>

Կատարողներ՝ Արզունիկ Գևորգյան

9. Խմբի նորեկներ Գ. Բաղդասարյանն ու Ա. Զոհրաբյանը հաջողությամբ անցել են ԱԱԳԼ փորձաշրջանը, ծանոթացել են CMS հաշվողական միջավայրին և զբաղվում են CMS 2018թ. տվյալներում երկմյուոնային և երկէլեկտրոնային ելքերով Դրելլ-Յան պրոցեսի ուսումնասիրությամբ: Գ. Բաղդասարյանի համար այս աշխատանքը հանդիսանում է բակալավրի ավարտական աշխատանքի թեմա:

Կատարողներ՝ Գառնիկ Բաղդասարյան, Արտյոմ Զոհրաբյան

10. Իրականացվել են SPD (NICA) գիտափորձում մասնիկների կլաստերային ծնման որոնման ալգորիթմի մշակման, և դրա միջոցով, օգտագործելով մեքենայական ուսուցման ռեգրեսիայի մեթոդը, պարտոն-ինիցիատորի բնութագրերի վերականգնման աշխատանքները: Այս աշխատանքների հիման վրա պատրաստվել են երկու հոդված և ուղարկվել տպագրության:

Կատարողներ՝ Արմեն Թումասյան

11. Հիմնվել է ԱՄԳԼ փորձարարական բաժանմունքի "Կոմպակտ մյուոնային խումբը" 100/10: Կիսահաղորդչային դետեկտորների թեստավորման համար ձեռք է բերվել լազաերային համակարգ: Համակարգչային տեխնիկայով է վերազինվել տվյալների մշակման աշխատասենյակը:

Զեկույցներ գիտաժողովներում

1) Dzmityr 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-](https://cms-mgt-conferences.web.cern.ch/conferences/conf_display.aspx?cid=3595)

[conferences.web.cern.ch/conferences/conf_display.aspx?cid=3595](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>

Հրատարակումներ գիտական ամսագրերում՝ 88

ATLAS-գիտափորձ

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

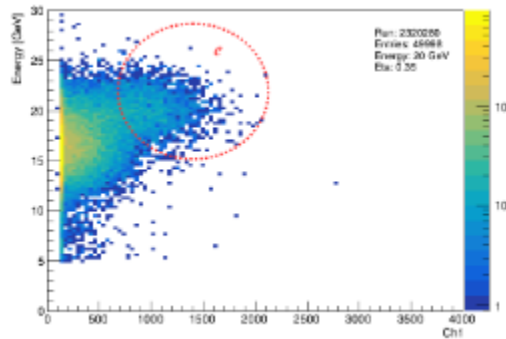
Կատարված աշխատանքները՝

⇒ CERN-ում SPS արագացուցչի թեստային փնջի վրա ATLAS դետեկտորի հաղորնային կալորիմետրի ուսումնասիրությունները

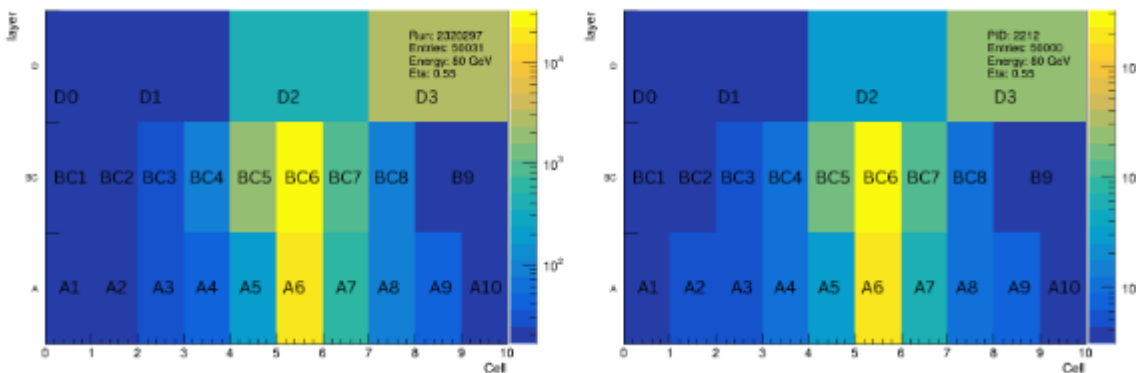
Ուսումնասիրվել է ATLAS-ի Tile կալորիմետրի մոդուլների արձագանքը , դրանք 10 ԳԷՎ-ից մինչև 180 ԳԷՎ էներգիաներով փորձնական հաղորնային փնջերով (պիոններ, պրոտոններ,

կանոններ) ճառագայթելիս: Փորձարկումները միաժամանակ ունենին TileCal-ի արդիականացման նպատակ: Ուսումնասիրությունները կենտրոնացած են “projective eta” կոնֆիգուրացիայի վրա: Կատարվել է մոդուլներում փորձնական փնջի էներգոանջատման տվյալների համեմատություն Geant4-ի վրա հիմնված սիմուլյացիոն ծրագրի կանխատեսումների հետ: Սիմուլյացիոն ծրագիրն օգտագործվում է Մեծ հաղորնային կոլայդերում պրոտոն-պրոտոնային բախումների ժամանակ դետեկտորի արձագանքը գնահատելիս: Ստացված արդյունքները՝ հիմնված փորձարարական և մոդելավորված տվյալների վրա, համատեղելի են չափման անորոշությունների սահմաններում:

Ուսումնասիրվել են թեստային փնջատարում առկա չերենկոլյան դետեկտորներից ստացված տվյալները, և պարզվել է, որ դրանց միջոցով հնարավոր է իրականացնել էլեկտրոնների և հաղորնների բաժանում:

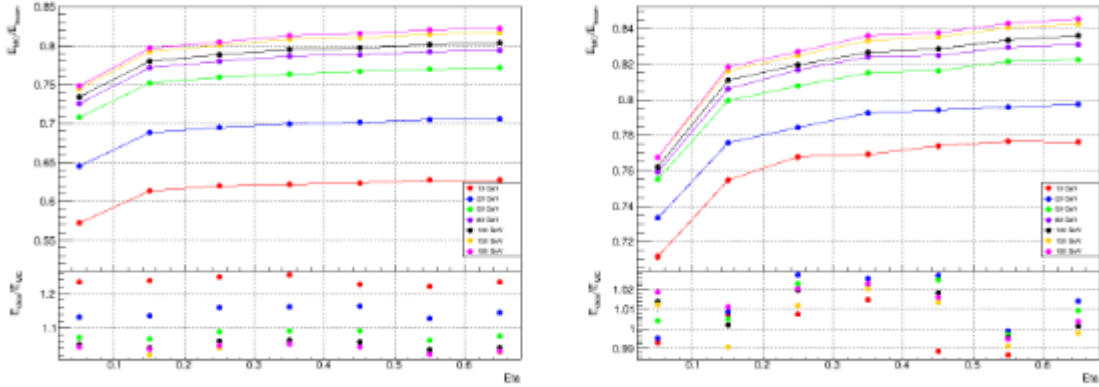


Ստեղծվել է կալորիմետրի բջիջներում կուտակված էներգիայի բաշխման քարտեզ, որը ցույց է տալիս փնջի ուղղվածությունը:



BC65 մոդուլի կալորիմետրի բջիջներում կուտակված էներգիայի քարտեզ: Չախակողմյան հիստոգրամներում ցուցադրված են փորձարարական տվյալների բաշխման արդյունքները, իսկ աջակողմյան հիստոգրամներում՝ մոդելավորման տվյալների արդյունքները:

Էքսպերիմենտալ արդյունքները համեմատվել են Մոնտե-Կառլո (MC) սիմուլյացիայի միջոցով պրոտոնների և պիոնների համար ստացված արդյունքների հետ:



Միջին կուտակված էներգիայի հարաբերակցությունը փնջի էներգիային կախված «pseudo rapidity»-ից մոդելավորված պրոտոնների (ձախ գրաֆիկ) և մոդելավորված պիոնների (աջ գրաֆիկ) դեպքում: Գույները համապատասխանում են փնջերի տարբեր էներգիաներին:

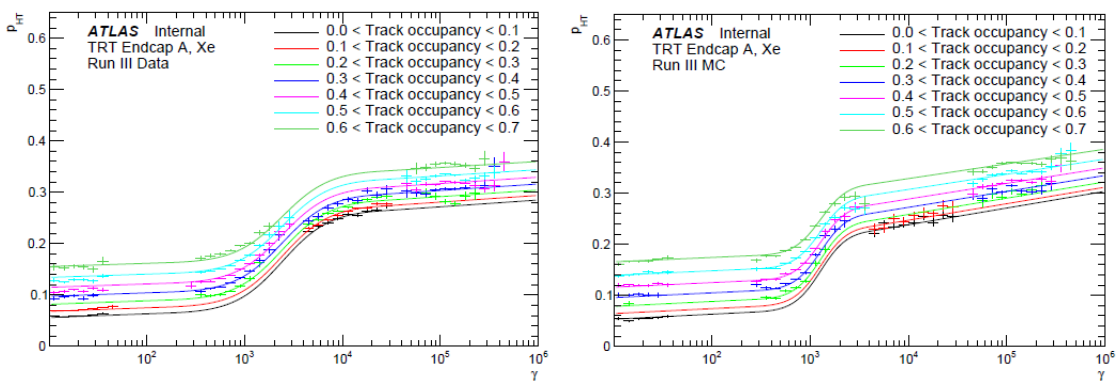
Աշխատանքի մանրամասները կներկայացվեն «Internal Note »-ում:

⇒ **TRT-ում հավանականության վրա հիմնված մասնիկների նույնականացման նոր կարգավորման ավարտ**

Կարգավորումն իրականացվել է, ստացվել են երկու տեսակի չափորոշման հաստատուններ: Առաջին տեսակի չափորոշման հաստատունները պարամետրավորում են բարձր շեմային հավանականության (pHT) կախվածությունը մասնիկի Լորենցի գործոնից և հետագծի զբաղվածությունից:

Դրանք ստացվում են տվյալների անալիտիկ ֆունկցիայով մոտարկումից: Երկրորդ տեսակի չափորոշման հաստատունները հաշվի են առնում pHT-ի կախվածությունը հարվածի մակարդակի փոփոխականներից, ինչպիսիք են հետագիծ-լար հեռավորությունը, ծղոտե շերտը, հարվածի z կամ r դիրքը: Դրանք ստացվում են անմիջապես փորձարարական կետերից՝ համապատասխան կախվածությունները բաժանելով միջին pHT-ի վրա: Կարգավորումն իրականացվում է առանձին տվյալների և MC սիմուլյացիայի համար: Ավելին, Տակառը, Վերջնամաս A-անիվները և Վերջնամաս B-անիվները ունեն տարբեր երկրաչափություններ և, հետևաբար, ընդհանուր առմամբ տարբեր մասնիկների դետեկտորներ են, ուստի կարգավորումն իրականացվում է առանձին այս հատվածների համար: Վերջապես, pHT արժեքները շատ տարբեր են Ar-ով

և Xe-ով լցված ծղոտներում հարվածների համար, ուստի դրանք կարգավորվում են առանձին: Ստացված չափորոշման հաստատունների ընդհանուր քանակը 100 է առաջին տեսակի և 3236՝ երկրորդ տեսակի հաստատունների համար: Նոր կարգավորումը հաշվի է առնում TRT-ի աշխատանքի Run III պայմանները, ինչպիսիք են բարձր կույտավորումը (հետագծի զբաղվածությունը) և նոր գազային երկրաչափությունը: Բացի այդ, նախորդ կարգավորման համեմատ նոր կարգավորման մեջ օգտագործվել են ավելի շատ տեսակի օբյեկտներ: Դա թույլ է տալիս ստանալ ակտիվացման կորի ավելի ճշգրիտ ձև, որը կապված է առաջին տեսակի չափորոշման հաստատունների հետ և ապահովում է ամենամեծ ներդրումը TRT-ում մասնիկների նույնականացման գործում: Նոր չափորոշման հաստատունները վերբեռնվել են ATLAS-ի պայմանների տվյալների բազա և օգտագործվում են Run III տվյալների և սիմուլյացիայի նախապատրաստման մեջ: Որպես օրինակ, 1-ին նկարը ներառում է pHT-ի կախվածությունը Լորենցի գործոնից մինչև և հետո մոտարկումը Վերջնամաս A-ում Xe ծղոտների համար, ներկայացված են ինչպես տվյալների, այնպես էլ MC դեպքերը:

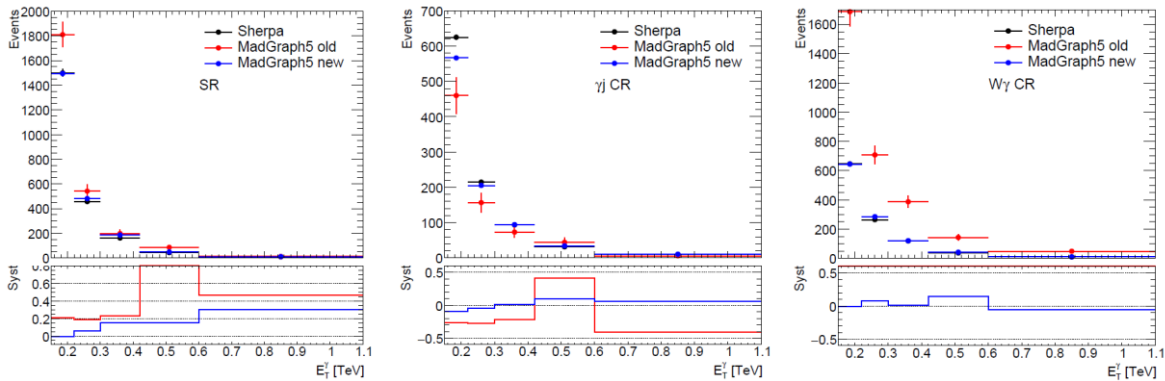


Նկ. 1. Endcap A, Xe չափորոշված միացման կորերը: Տվյալները (ձախից) և MC-ն (աջից):

⇒ **Z(vv)յ անալիզում W(lv)յ հիմնական և այլընտրանքային նմուշների միջև մեծ անհամապատասխանության խնդրի լուծում**

Պրոցեսի մոդելավորման տեսական անորոշությունը գնահատելու համար սովորաբար օգտագործվում են հատուկ այլընտրանքային նմուշներ: Z(vv)յ անալիզում W(lv)յ հիմնական նմուշը ստեղծվում է Sherpa-ում, մինչդեռ այլընտրանքայինը՝ MadGraph5-ում: Պարզվել է, որ այս նմուշների իրադարձությունների ելքերը չափազանց տարբեր են անալիզում օգտագործվող բոլոր փուլային տարածքներում, այնպես որ ազդանշանի ուժգնության գնահատման համար նախատեսված մոտարկումը խախտվում է: Այս խնդրի ուսումնասիրություններից հետո պարզվել է, որ անհամապատասխանությունը գալիս է սխալ W(tv)յ այլընտրանքային նմուշից, որը ներառում է միայն տառու լեպտոնի լեպտոնային տրոհումները և, հետևաբար, վավեր չէ անալիզի համար: Ճիշտ աշխատանքային

ընտրանքներով նոր նմուշներ են պահանջվել: Նոր այլընտրանքային նմուշը լավ համաձայնություն ունի հիմնական նմուշի հետ, ինչը ցույց է տրված 2-րդ նկարում: Դա թույլ է տալիս ճիշտ գնահատել համակարգային անորոշությունը մոտարկման ընթացակարգի համար:



Նկ. 2. Ֆոտոնի լայնակի էներգիայի բաշխումներն են W ($\tau\nu$) ծնման համար էներգիայի երեք տիրույթներում:

⇒ **Z($\nu\nu$) $\gamma\gamma$ լիքում անոմալ քառյակային չափման կապերի (aTGC) ուսումնասիրության նոր կարգավորման անցում և aQGC Run II համակցման համար աշխատանքային տարածքի նախապատրաստում**

Ավարտված և հրապարակված Z($\nu\nu$) $\gamma\gamma$ VBS անալիզում 7 Վիլսոնի գործակիցների սահմանները սահմանվել են մեկ բինային կարգավորման միջոցով: Յուրաքանչյուր գործակցի համար բինը օպտիմալացվել է այնպես, որպեսզի ստացվեն ամենախիստ սահմանները: Այս մոտեցումը անհարմար է սահմանների համակցման ուսումնասիրության համար, որն իրականացվում է ATLAS համագործակցության կողմից 2024 թվականի սկզբից: Այսպիսով, իրականացվել է անցում բազմաբինային կարգավորման, որը հանգեցնում է սահմանների փոքր-ինչ բարելավման և ապահովում է սահմանները համակցելու և դրանց ունիտարությունը ուսումնասիրելու ավելի հարմար միջոց: Համակցման խմբի համար ստեղծվել են հատուկ աշխատանքային տարածքներ, ինչպես նաև տրամադրվել է վիճակագրական մոդելի մասին տեղեկատվություն:

⇒ **Չեզոք եռաչափ զուգավորման (nTGC) ուսումնասիրություններ Z($\nu\nu$) γ վերլուծության մեջ**

Արդյունավետ դաշտի տեսության (EFT) ինը Վիլսոնի գործակիցների և գազաթային ֆունկցիայի մոտեցման (VF) վեց պարամետրերի վրա նախնական սպասվող սահմանները սահմանվել են: Դրանցից հինգ EFT գործակիցներ և երկու VF պարամետրեր նոր են, և դրանց վրա սահմանները երբեք չեն հրապարակվել LHC

փորձերի կողմից: Դրանց ուսումնասիրությունները ներառել են նոր գործակիցների համար ունիվերսալ feynrules ելքային մոդելների ստեղծում, դրանց վավերացում, դրանք ATLAS մոդելների տվյալների բազա վերբեռնում և նմուշների հայտեր: Բացի այդ, իրականացվել է ունիտարության ուսումնասիրություն. բոլոր սահմանները գտնվել են ունիտարացված: Վերջապես, հաշվի են առնվել $W(lv)$ արտադրությունից հնարավոր անոմալ ներդրումները, ինչը հանգեցնում է որոշ սահմանների 5% բարելավման:

⇒ **Phase II արդիականացման նախագծին ներդրում: Պատասխանատվություն՝ LV ծառայությունների հավաքում, AuxBoard-ի նախագծում, ընդունման թեստեր 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 ELMBs 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:

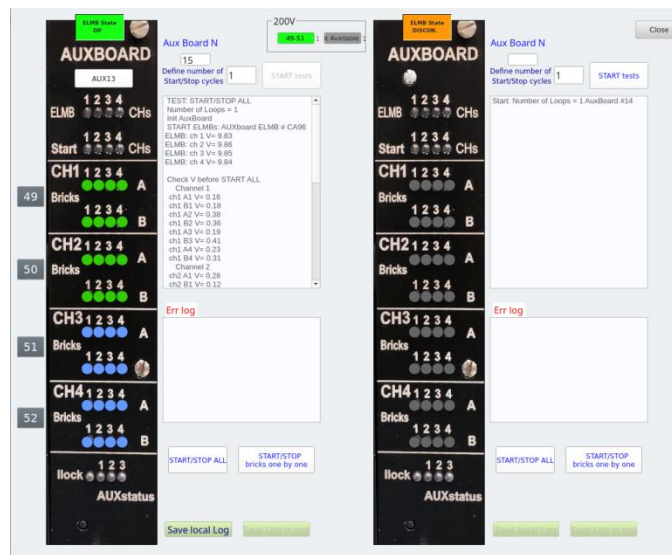
Armenia	LV services assembly, acceptance tests and installation
Czech Republic	Phase-II ELMBs for ELMB motherboards procurement 200 V bulk power supplies LVPS Mechanics
JINR	LV services: new Auxiliary control boards, cables
Slovak Republic	LV services: new Auxiliary control boards, cables
South Africa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

⇒ **LV Համակարգի Հուսալիության Փորձարկում Կրկնվող Ակտիվացման Ցիկլերի Դեպքում**

Այս թեստը գնահատում է LV համակարգի հուսալիությունը LVPS-ին միացված կրկնվող ալիքների ակտիվացման ցիկլերի դեպքում՝ նպատակ ունենալով բացահայտել հնարավոր վնասման ռեժիմները ծանր օգտագործման պայմաններում: Թեստի մեթոդաբանությունը ներառում է.

- **Ցիկլավորման Արձանագրություն.** Սահմանում է սկիզբ/կանգառ ցիկլերի քանակը բոլոր ալիքների համար, որոնք իրականացվում են աղյուս առ աղյուս:

- **Իրական Ժամանակի Մոնիտորինգ.** Ապահովում է իրական ժամանակի հետադարձ կապ թեստի կատարման վերաբերյալ՝ ներառյալ լարման և հոսանքի մոնիտորինգը:
- **Միալների Մշակում.** Իրականացնում է ավտոմատ աղյուսի վերագործարկում վնասման դեպքում (մեկ փորձ):
- **Հաշվետվություն և Գրանցում.** Առանձնացնում է ավտոմատ հաշվետվության ստեղծում և պահպանում՝ սիալների գրանցամատյանի հաղորդագրությունների հստակ տարանջատմամբ:



- ⇒ Ծարունակական ինտեգրում/շարունակական առաքում (CI/CD) և որակի ապահովման համակարգ WinCC OA հավելվածների (applications) և շրջանակների (frameworks) համար
- ⇒ TDAQ համարգչային ադմինիստրացիա՝ 1-ին կետ(Point 1) տարածքում համակարգչային ենթակառուցվածքների անխափան աշխատանքի ապահովում
- ⇒ Աշխատանք նախագծման, շինարարության և մոնտաժման ոլորտում՝ Point 1-ում
- ⇒ Առկա գործիքների աջակցություն և նոր գործիքների ու ալգորիթմների մշակում օֆլայն տվյալների վերականգնման համար: Թեստային փնջային կայանքի և կալորիմետր ենթադետեկտորի դետեկտորում առցանց տվյալների որակի մոնիտորինգի կարգավորում և աջակցություն
- ⇒ Սառեցման համակարգի տվյալների իրական ժամանակի մոնիտորինգ և պատկերում



⇒ **Հերթափոխներ**

- **TileCal, TRT փորձական փնջի**
- **Calo/FWD ATLAS-ի կառավարման սենյակում**
- **TileCal-ի տվյալների որակի վավերացման (Data Quality Validation) հեռավար**
- **TileCal DCS փորձագետի**

Ապագա ծրագրեր. Նշված գործունեությունը կշարունակվի հաջորդ տարի: ATLAS փորձում ներառական լայնական հատույթի ուսումնասիրություն՝ որպես ջեթի շառավղի ֆունկցիա՝ 13 ՏեՎ թթ փոխազդեցությունների Run-2 տվյալներով:

Նոր Պայմանների տվյալների բազան կներդրվի RUN4-ի համար: Սկսվել է ներդրում գործիքների և գրադարանների մշակման մեջ հաջորդ սերնդի Պայմանների տվյալների բազայի համար:

Զեկույցներ գիտաժողովներում

1. TileCal collaboration week (CERN): S. Asatryan, [Projective eta response analysis update](#), February
2. TileCal collaboration week (CERN) : L. Sargsyan, [“Auxiliary control board production status”](#), June
3. TileCal collaboration week (CERN): S. Asatryan, [“Projective eta response analysis update”](#), September
4. TileCal collaboration week (CERN) : L. Sargsyan, [Low Voltage: Aux boards, production status](#), October

5. TRT days (CERN): A. Semushin, [LLH PID tuning for Run 3](#), October

Հրապարակումներ գիտական ամսագրերում՝

1. Aad G. , Harkusha S. et al, [Using pile-up collisions as an abundant source of low-energy hadronic physics processes in ATLAS and an extraction of the jet energy resolution](#), (Jul 15, 2024), JHEP 12 (2024) 032
2. Aad G. , Harkusha S., Semushin A. et al, [Measurement of top-quark pair production in association with charm quarks in proton–proton collisions at s=13 TeV with the ATLAS detector](#), (Sep 17, 2024), Phys.Lett.B 860 (2025)
3. Aad G. , Harkusha S., Semushin A. et al, [Observation of VVZVZ production at s=13s=13 TeV with the ATLAS detector](#), (Dec 19, 2024), e-Print: [2412.15123](#) [hep-ex]
4. Aad G. , Harkusha S., Semushin A. et al, [Search for Higgs boson decays into a pair of pseudoscalar particles in the \$\gamma\gamma\text{had}t\text{had}\gamma\gamma\text{had}t\text{had}\$ final state using pppp collisions at s=13s=13 TeV with the ATLAS detector](#), (Dec 18, 2024), e-Print: [2412.14046](#) [hep-ex]
5. Aad G. , Harkusha S., Semushin A. et al, [Cross-section measurements for the production of a WW-boson in association with high-transverse-momentum jets in pppp collisions at ss= 13 TeV with the ATLAS detector](#), (Dec 16, 2024), e-Print: [2412.11644](#) [hep-ex]

ALICE-գիտափորձը

Խումբը (Սմբատ Գրիգորյան (ղեկավար), Գալուստ Սարգսյան, Վաղիմ Սամսոնով) 2024 թվականին մասնակցել է ALICE համագործակցության բոլոր համաժողովներին (առկա կամ առցանց ձևաչափով), գիտական արդյունքների ու հոդվածների քննարկմանը: Վաղիմ Սամսոնովը 18.11.2024 թ.-ից դարձել է իմբի անդամ որպես ԱՍԳԼ փոխկապակցված ճարտարագետ: Նա Սանկտ Պետերբուրգի Պետական Համալսարանի նախկին ALICE խմբից է և վերջին տարներին աշխատել է CERN-ում ALICE գիտափորձի ITS (Inner Tracking System) դետեկտորի արդիականացման վրա: Հիմա նա կշարունակի այդ աշխատանքը որպես ԱՍԳԼ-ի իմբի անդամ: Սմբատ Գրիգորյանը 2024 թվականին երեք անգամ մեկական ամսով գործուղվել է CERN (ՄՀՄԻ-ի ֆինանսավորմամբ), մասնակցել է ALICE-ի դետեկտորների աշխատանքի հսկողությանը (Shifts) և նոր տվյալների հավաքագրմանը: Կատարվել են նաև հետևյալ աշխատանքներ՝

Սմբատ Գրիգորյանը 2024 թվականին ՄՀՄԻ-ի ALICE խմբի հետ շարունակել է մասնակցել տվյալների մշակման աշխատանքներին կապված K^+, K^- կամ K^0, \bar{K}^0 մեզոնների զույգերի ֆեմպտոսկոպիկ կորելացիաների ֆիզիկայի հետ: Այս ուսումնասիրությունների արդյունքները կհրատարակվեն 2025-ի առաջին կեսին երկու հոդվածներով՝ նվիրված p-Pb և Pb-Pb բախումներին 5.02 TeV էներգիայի համար: Նա նաև շարունակել է զարգացնել 2021 թվականին իր կողմից մշակված և հրատարակված BWTP ֆենոմենոլոգիական մոդելը [Eur.Phys.J.A57\(2021\)](#), որը նկարագրում է LHC-ի pp և Pb-Pb բախումներում չափված զանազան հաղորդների լայնակի իմպուլսի (p_T) սպեկտրները և դրանց կախվածությունը

բախումների կենտրոնականությունից կամ ծնված լիցքավորված մասնիկների բազմակիությունից: Մոդելը զարգացվել է չորս նպատակով: Առաջին նպատակն է՝ նկարագրել LHC-ի Xe-Xe բախումներում ծնված տարբեր հաղորոնների p_T սպեկտրները կախված բախումների կենտրոնականությունից: Երկրորդ նպատակն է՝ նկարագրել Pb-Pb և Xe-Xe բախումներում չափված էլիպտիկ հոսքի մեծությունները v_2 , որոնք բնութագրում են տարբեր հաղորոնների էլքերի ազիմուտային ասիմետրիան՝ կախված նրանց p_T -ից և բախումների կենտրոնականությունից: Այդ v_2 մեծությունները հիմնականում պայմանավորված են բախումներում առաջացող քվարկ-գլյուոնային պլազմայի հիդրոդինամիկական ընդարձակման պրոցեսներով և դրանց ազիմուտային ասիմետրիայով, որոնք ընդգրկված են մոդելում: Երրորդ նպատակն է՝ նկարագրել Pb-Pb և Xe-Xe բախումներում չափված տարօրինակ հաղորոնների հարաբերական էլքերի աճը պիոնների նկատմամբ՝ կապված բախումների կենտրոնականության աճի հետ:

Չորրորդ նպատակն է՝ կիրառել մոդելը ավելի ցածր էներգիաների Au-Au, Cu-Cu և U-U բախումների տվյալները նկարագրելու համար, որոնք ստացվել են RHIC արագացուցիչի վրա: Արդյունքում BWTP մոդելի նոր տարբերակը բարեհաջող նկարագրում է վերոնշյալ փորձարական տվյալները, որ ստացվել են մեծամասամբ ALICE, ինչպես նաև CMS, ATLAS, STAR, PHOBOS և PHENIX գիտափորձերում: Արդյունքները կհրատարակվեն 2025-ի առաջին եռամսյակում:

Հաշվետու տարում գիտական ամսագրերում հրատարակվել են 45 հոդված:

ԱՍԳԼ-COMPASS համագործակցություն

Ղեկավար՝ Բ. Պարսամյան

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

2024 թվականի ընթացքում խմբի աշխատանքները կենտրոնացված էին հետևյալ խնդիրների ուսումնասիրության վրա.

Drell-Yan պրոցեսի տվյալների վերլուծություն

Պիոն-նուկլոն բախումներում երկու լեպտոնների ծնման պրոցեսների լայնակի սպինից կախված ազիմուտային ասիմետրիաների ուսումնասիրում:

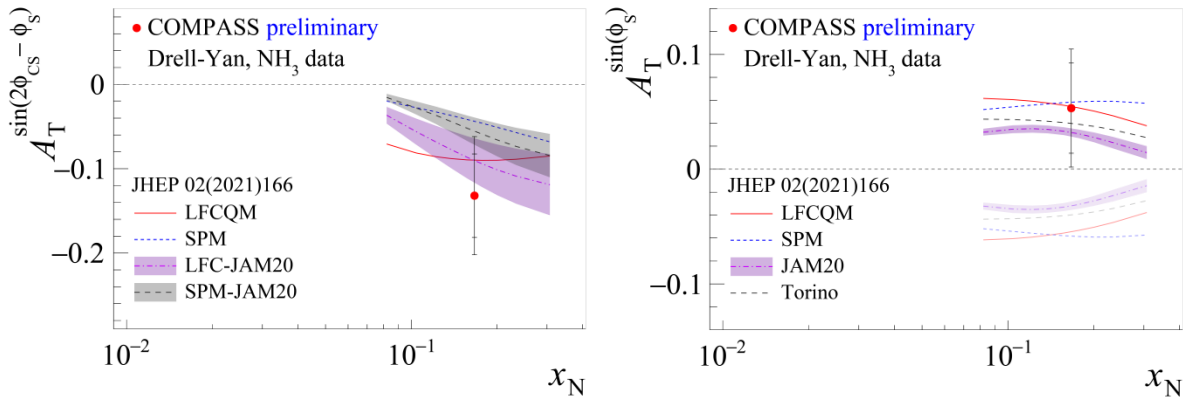
2023 թվականին լայնակի սպինից կախված ասիմետրիաների (TSAs) վերջնական վերլուծությունը մեր հիմնական նպատակներից մեկն էր: Այս վերլուծություններում խումբն ունի առաջատար դերակատարություն: Սպինից անկախ ազիմուտային ասիմետրիաների չափումը Drell-Yan-ի պրոցեսում հանդիսանում է ամենադասական մոտեցումներից մեկը՝ ուսումնասիրելու նուկլեոնի 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 կանալի նախնական արդյունքները (4.3 – 8.5 ԳԷՎ/ c^2 զանգվածի միջակայքի համար) ներկայացվել են կոլաբորացիայի հաստատման 2022 թվականի մարտին: 2023 թվականին վերլուծությունը տարածվել է զանգվածի ավելի լայն տիրույթի համար (4.0 – 9.0 ԳԷՎ/ c^2): Չանգվածի ավելի ցածր արժեքների դեպքում, ֆոնը բաղկացած է ψ' , J/ψ , բաց հմայքով կիսամյուրոնային տրոհման արդյունքներից և կոմբինատորային ֆոնի ներդրումից: Մոնտե-Կարլո հաշվարկների միջոցով ֆոնը գնահատելուց և բոլոր սահմանափակումները կիրառելուց հետո մնում է երկու մյուրոնների մոտ $10^2 \times 10^3$ դեպք 2015 և 2018 թվականների ամբողջ ստատիստիկայի համար:

Չնայած սահմանափակ վիճակագրությանը, ներկայացված արդյունքները հաստատում են Sivers TMD PDF-ների նշանների փոփոխությունը: Չափված Sivers TSA-ն (Նկար 1. ձախ վահանակ) համընկնում է մոդելների վերջին կանխատեսումների հետ [JHEP 02(2021)166], որոնք հաշվի են առնում TMD-ի էվոլյուցիայի էֆեկտները և, հետևաբար, հերքում են Drell-Yan պրոցեսում մեծ Sivers էֆեկտի հնացած ակնկալիքները COMPASS-ի կինեմատիկ տիրույթում:

Լայնակի TSA-ի (Նկար 1. աջ վահանակ) չափված արժեքը ստացվում է զրոյից ցածր ընդհանուր սխալների երկու ստանդարտ շեղումների սահմաններում: Սա համընկնում է մոդելային կանխատեսումների հետ և կարող է մեկնաբանվել որպես պիոնների Boer-Mulders TMD PDF-ների կանխատեսվող նշանի փոփոխության և նուկլոնային լայնակի TMD PDF-ների ունիվերսալության ապացույց: Drell-Yan TSA-ի արդյունքները ստացվել են AANL խմբի կողմից և հրապարակվել են COMPASS համագործակցության կողմից 2024 թվականին Phys.Rev.Lett-ում:



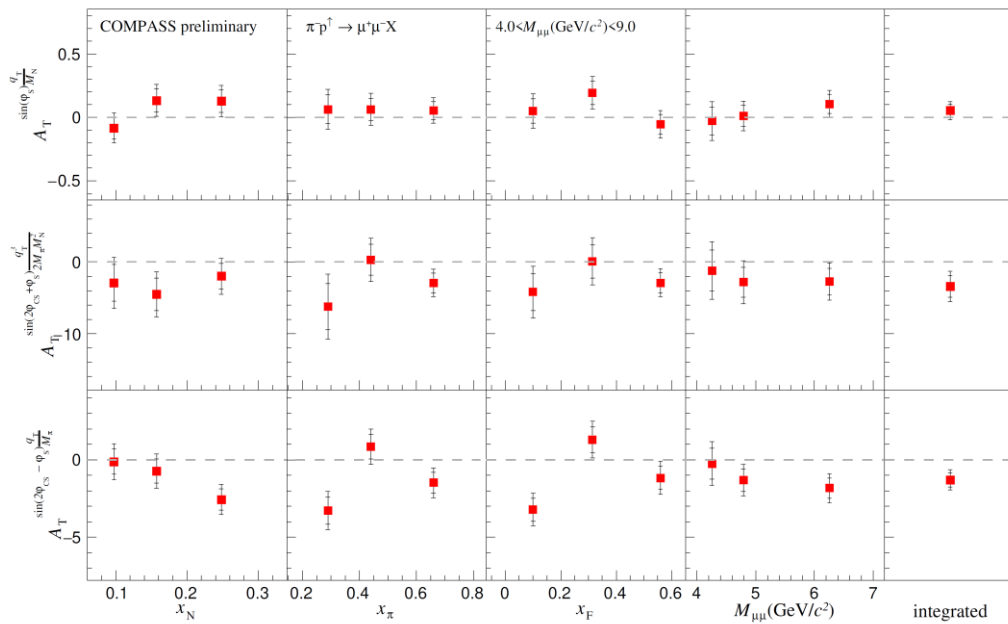
Նկ. 1. Չափս վահանակ. Չափված միջին Sivers լայնակի սպինային ասիմետրիան (TSA) և տեսական կանխատեսումներ տարբեր մոդելներից: Մուգ ստվերային (թեթև ստվերային) կանխատեսումները գնահատվում են (առանց) նշանի փոփոխության վարկածով: Աջ վահանակ. Չափված միջին լայնակի TSA և տեսական կանխատեսումներ տարբեր մոդելներից:

Ղիլեպտոնի լայնակի իմպուլս գ_T-ով կշռված լայնակի-սպինից-կախված ազիմուտային ասիմետրիաները պիոն-նուկլեոնների բախումներում ղիլեպտոնների ծնման դեպքում:

գ_T-ով կշռված Drell-Yan և կիսահնկյուզիվ DIS (SIDIS) TSA-ները ծառայում են որպես TMD PDF-ների մասին տեղեկատվության հասանելիության այլընտրանքային միջոց: Համապատասխան տեսական շրջանակն արդեն սահմանվել է դեռևս 1996 թվականին (տե՛ս Ref. PRD 54 (1996) 1229, PLB 406 (1997) 373) և առաջին անգամ կիրառվել է COMPASS-ի կողմից (տես՝ NPB 940 (2019) 34) առաջին անգամ կիրառվել է COMPASS-ի կողմից (տես՝ NPB 940 (2019) 34)՝ Sivers PDF-ի առաջին լայնակի մոմենտները (kT2 ինտեգրալները) հանելու SIDIS տվյալներից: Մեթոդը, որը բաղկացած է ասիմետրիաների չափումից՝ կշռված է հադրոնների (SIDIS-ում) կամ ղիլեպտոնի (Դրել-Յանում) չափելի լայնակի իմպուլսով, տարածվել է Դրել-յան TSA-ների վրա: Բոլոր երեք LO Drell-Yan գ_T-ով կշռված TSA-ների (wTSAs) ստացված արդյունքները ներկայացված են Նկար 2-ում: Սովորական TSA-ների նման, չափված Sivers և Transversity wTSA-ները հետևում են մոդելների ընդհանուր ակնկալիքներին և նշանի փոփոխության վարկածին: Միավների արտաքին գոտիները համապատասխանում են ընդհանուր անորոշություններին (սիստեմատիկ և ստատիստիկ), մինչդեռ ներքինը ներառում է միայն ստատիստիկ անորոշությունները: Համակարգային անորոշությունները սահմանվել են մի շարք թեստերի միջոցով, ներառյալ՝ այսպես կոչված կեղծ ասիմետրիաների ուսումնասիրությունը (պոտենցիալ ընդունման տատանումների պատճառով առաջացած ազդեցությունները), տվյալների հավաքագրման տարբեր ժամանակահատվածներում ստացված արդյունքների համատեղելիությունը ստուգելը,

Մոնտե-Կառլոյի ուսումնասիրությունները, և այլն: Նոսրացման գործոնների և ապաբևեռացման գործոնների ուղղումները կատարվել են դեպք առ դեպք, ինչը պահանջում էր լրացուցիչ զարգացումներ՝ համեմատած SIDIS-ի շրջանակի հետ, որն օգտագործվում էր NPB 940 (2019) 34 հոման մեջ:

Ներկայումս Sivers-ի և Transversity-ի wTSA-ների արդյունքները համարվում են վերջնական, մինչդեռ pretzelosity-ի դեպքը որոշակի ուշադրություն է պահանջում՝ կապված հնարավոր սխատեմատիկ սխալի հետ:



Նկ. 2. q_T-կշռված Sivers, pretzelosity և transversity ասիմետրիաների կինեմատիկ կախվածությունները, որոնք ստացվել են մասսաների ընդարձակված բարձր տիրույթում:

Դրել-Յանի չբևեռացված կամ բևեռացումից անկախ ազիմուտային ասիմետրիաներ բարձր զանգվածի տիրույթում:

Դրել-Յան կտրվածքում առկա են երեք չբևեռացված ասիմետրիաներ (UA): Ի տարբերություն սպինից կախված ասիմետրիաների, UA-ի վերլուծությունը պահանջում է արքսեպտանսի Մոնտե-Կառլո ուղղումներ և պահանջում է առանձին վերաբերմունք: Այս վերլուծությունը մեծապես կախված է COMPASS-ի վրա զուգահեռ իրականացվող չբևեռացված Drell-Yan կտրվածքի վերլուծության առաջընթացից: Երկու վերլուծություններն էլ օգտագործում են նույն Մոնտե-Կառլո ուղղման շրջանակը: Չնայած տեղադրման և չափման պայմանների Մոնտե-Կառլոյի նկարագրության զգալի առաջընթացին և բարելավումներին, հետագա աշխատանք է պահանջվում հասկանալու

համար կտրվածքի արդյունքներում նկատված ժամանակի տատանումները և Մոնտե-Կառլոյի և փորձարարական տվյալների միջև եղած անհամապատասխանությունները:

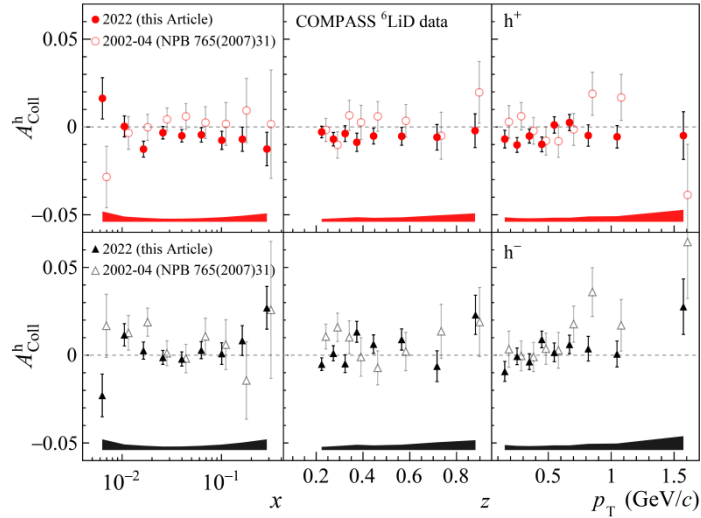
Ընթացքի մեջ են հատուկ ուսումնասիրություններ՝ հետազոտելու համակարգված ազդեցությունները և բարելավելու COMPASS-ի սարքի Մոնտե-Կառլոյի նկարագրությունը: Դիտարկվում է պահպանողական մոտեցում՝ կրճատված կինեմատիկական փուլային տարածության համար անհամաչափությունները լուծելու համար՝ նվազագույնի հասցված համակարգային ազդեցություններով:

Այս բոլոր վերլուծություններում առաջատար դեր է խաղում ԱԱԳԼ-ի խումբը:

2022 SIDIS-ի վերլուծությունը

SIDIS TSA-ների առաջին արդյունքները 2022 թվականի տվյալներից:

COMPASS-ի կողմից իրականացված SIDIS-ի 2022 թվականի չափումները լայնակի բևեռացված դեյտրոնային թիրախով շատ հաջող էին: Նկար 3-ում Քոլլինսի անհամաչափության 2022 թվականի արդյունքները համեմատվում են 2002-2004 թվականների COMPASS դեյտրոնի հին չափումների հետ [NPB 765(2007)31]: Ստացված տվյալները շատ ճշգրիտ են և համաձայն են առաջարկի ժամանակ արված մեր գնահատականների հետ [CERN-SPSC-2017-034]: Ստատիստիկ ճշգրտությունը շատ ավելի բարձր է՝ համեմատած հին տվյալների հետ և բավարար է՝ տարբերելու փոքր էֆեկտները նույնիսկ Bjorken-x-ի 0,1-ից բարձր բիներում՝ COMPASS ֆազային տարածության ծածկույթի եզրին, որտեղ ստատիստիկական համեմատաբար փոքր է: Մասնավորապես, թվում է, թե ոչ զրոյական միտում կա Քոլլինսի սսիմետրիայի մեջ և՛ դրական, և՛ բացասական հաղորդների համար մեծ x-երում: COMPASS-ի նոր տվյալները հատկապես կարևոր դեր կխաղան d-քվարկային լայնակի TMD PDF-ի սահմանափակման գործում և կմնան եզակի SIDIS դեյտրոնի չափումներ հաջորդ տասնամյակների ընթացքում: Դիտարկված միտումները համընկնում են COMPASS պրոտոնի/դեյտրոնի տվյալների վրա կարգավորված մոդելի կանխատեսումների հետ [PRD 87 (2013) 094019]: Sivers TSA-ների արդյունքները կարծես թե ստատիստիկորեն նշանակալի միտումներ չեն ցույց տալիս: Ասիմետրիաները կարծես թե փոքր են և համատեղելի են զրոյի հետ անորոշությունների սահմաններում: Չնայած փոքր ազդեցությանը, այս տվյալները շատ կարևոր են Sivers TMD PDF-ների հետագա սահմանափակման համար: Drell-Yan TSA-ի արդյունքները ստացվել են ԱԱԳԼ խմբի կողմից և հրապարակվել են COMPASS համագործակցության կողմից 2024 թվականին Phys.Rev.Lett-ում: 133 (2024) 10, 101903. ԱԱԳԼ խմբի անդամներն արտոնություն ունեին արդյունքները ներկայացնել գիտական հանրությանը մի քանի խոշոր կոնֆերանսների ժամանակ (DIS, ICHEP, IWHSS-CPHI և այլն):

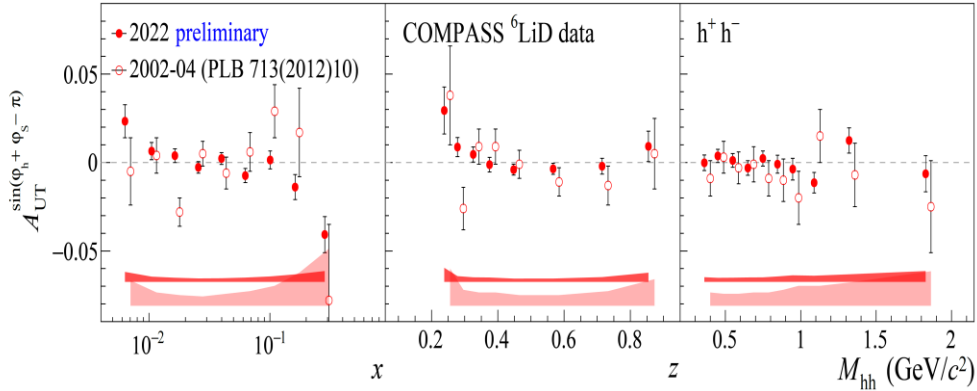


Նկ. 3. Կոլինգ ասիմետրիան: Դեյտրոնի հին 2022-2024 թ, տվյալները համեմատվում են 2022 թ. ստացված արդյունքների հետ:

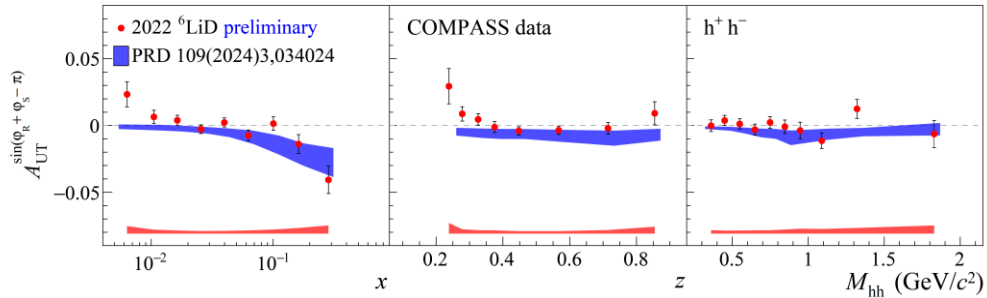
SIDIS dihadron TSA առաջին արդյունքները 2022թ, տվյալներից:

Ալտերնատիվ ճանապարհը Transversity PDF-ին մուտք գործելու տեսանկյունից դիհադրոնի (հակառակ լիցքավորված հադրոնային զույգ, h^+h^-) ծնման SIDIS չափումներ կատարելը, որտեղ երկու հադրոններն էլ ծնվում են ընթացիկ մասնատման շրջանում: Այս դեպքում լայնակի PDF-ը զուգակցվում է նոր քիրալ-կենտ օբյեկտի հետ՝ դիհադրոնի մասնատման ֆունկցիան (DiFF), որը նկարագրում է լայնակի բևեռացված քվարկի մասնատման սպինից կախված մասը չբևեռացված հադրոնների զույգի մեջ: Սա առաջացնում է ասիմետրիա ($\phi_R - \phi_S - \pi$), որտեղ ϕ_R դիհադրոնի ազիմուտալ անկյունն է: Դիհադրոնային SIDIS չափումների վերլուծությունը կարող է իրականացվել կոլինար ֆակտորիզացիայի միջոցով: Մեկ հադրոնային Քոլինսի ասիմետրիայի ներկայիս չափումը ցույց է տալիս փոքր բացասական (դրական) ազդանշանների առկայությունը մեծ մասում դրական (բացասական) հադրոնների համար x : Նույնը վերաբերում է դիհադրոն Քոլինսի անհամաչափություններին, որոնք ներկայացված են Նկար 4-ում:

Նկար 5-ում 2022 թվականի տվյալների նախնական դիհադրոն Քոլինսի ասիմետրիան համեմատվում է PRD 109(2024)3.034034 մոդելի կանխատեսումների հետ:



Նկ. 4. Դիհադրոն Կոլինս սախմետրիա. 2002-04թ. 2022թ. դեյտրոնի տվյալների համեմատությունը:

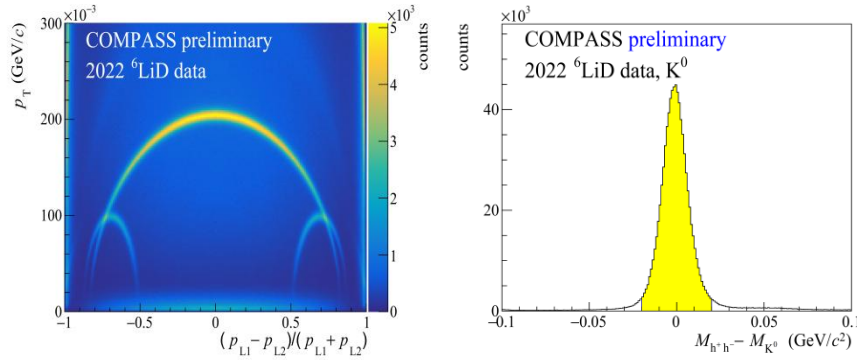


Նկ. 5 Դիհադրոն Կոլինգ սախմետրիան (նախնական) 2022 թ. տվյալներից համեմատժ մոդելի կանխագուշակումների հետ PRD 109(2024)3,034034-ում:

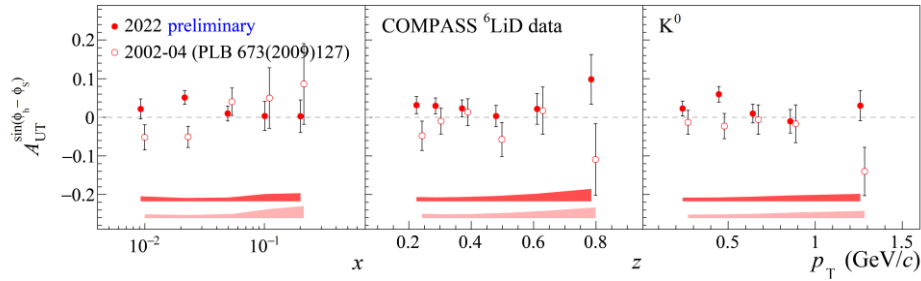
SIDIS K⁰ TSA-ների առաջին արդյունքները 2022 թվականի տվյալներից:

ԱԱԳԼ-ի խումբը սկսել է նույնականացված հադրոնների առաջին վերլուծությունը: Մինչ COMPASS-RICH-ի տվյալները ստուգվում են մասնիկների նույնականացման կայունության և արդյունավետության տեսանկյունից, PID-ով առաջին արդյունքները ստացվել են ԱԱԳԼ-ի խմբի կողմից՝ կենտրոնանալով K⁰ կանալի վրա: Նկար 7-ում ցուցադրված է զանգվածի անփոփոխ բաշխումը ընտրված K⁰ թեկնածուների համար, ինչպես նաև Արմենտերոս-Պոդոլանսկի գծապատկերը՝ հստակ տեսանելի K⁰ աղեղով և երկու Δ հիպերոնային աղեղներով: Պարզվել է, որ ֆոնային աղտոտվածությունը աննշան է K⁰ կանալի համար և հաշվի չի առնվում սախմետրիայի ստացման ժամանակ:

Նկար 8-ում 2022 թվականի տվյալներից Քոլլինսի և Միվերսի սախմետրիաների համար ստացված արդյունքները համեմատվում են 2002-2004 թվականների դեյտրոնի հին նմուշի արդյունքների հետ: Կա ստատիստիկայի հստակ բարելավում, և արդյունքները ընդհանուր առմամբ համատեղելի են թվում: Թե՛ Քոլլինսի, թե՛ Միվերսի K⁰ TSA-ների համար դրական միտում կա:



Նկ. 7 Ինվարիանտ մասսայի բաշխումը K^0 թեկնածուների համար candidates (ձախ նկար) և Armenteros-Podolanski-ու պատկերը (աջ նկար):



Նկ. 8. Նախնական Կոլինս (վերևի նկար) և Սիվերս (ներքևի) 2022թ.-ի K^0 ապիմետրիաները համեմատվում են հին (2002-2004 թթ.) դեյտրոնի արդյունքների հետ:

ԱԱԳԼ-ի խմբի անդամներն արտոնություն ունեցան ներկայացնելու այս արդյունքները IWHSS-CPHI-2024 միջազգային համաժողովում:

ԱԱԳԼ-ի խումբը ակտիվորեն ներգրավված է եղել մի շարք այլ վերլուծությունների և ուսումնասիրությունների մեջ, ինչպիսիք են.

- Սպինի խտության մատրիցային տարրերի (SDMEs) ստացումը, արդյունահանումը և ուսումնասիրումը COMPASS-ում ինկլյուզիվ ϕ -մեզոնների մյուոնաձման պրոցեսում (DVCS-2016 տվյալներ): Մասնակցություն x -ստուգման և SIDIS ֆոնային մասի գնահատման գործում;
- Հոդվածի պատրաստում և ներդրում ինկլյուզիվ π^0 -ի կտրվածքի ուսումնասիրության մեջ;
- Սպասարկման տարբեր առաջադրանքներ, ներառյալ տվյալների կայունության վերլուծությունը 2022 թվականի համար, դետեկտորների ուղվածության հետ կապված ուսումնասիրություններ և այլն;
- Բակուր Պարսամյանը հանդես է գալիս որպես COMPASS համագործակցության համագեկուցող և վերլուծության համակարգող:

Գիտաժողովներ

1. Bakur Parsamyan: Main organizer and 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-CPHI-2024), September 31 – October 4, 2024, Yerevan, Armenia
2. 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)
3. Bakur Parsamyan: Main organizer and chair of the organization committee for the "COMPASS-AMBER software and Monte-Carlo Summer School" – 2024, August 6-9, CERN
4. [DIS 2024 – "The XXXI International Workshop on Deep Inelastic Scattering and Related Subjects"](#) Grenoble, France, April 8-12, 2024
Bakur Parsamyan: "Overview of COMPASS studies of nucleon spin and 3D structure" (invited, overview)
Siranush Asatryan: "New measurement of transverse spin effects in muon-deuteron SIDIS at COMPASS"
5. [SQCD 2024 – "International workshop on "Strong QCD from Hadron Structure Experiments – VI"](#) Nanjing, China, May 14-17, 2024
 - Bakur Parsamyan: "Nucleon spin and TMD studies at COMPASS: selected highlights" (invited, plenary)
6. [Transversity2024 – "7th International Workshop on Transverse Phenomena in Hard Processes"](#) June 3-7, 2024, Trieste, Italy
 - Bakur Parsamyan: "TMD effects in polarized processes - experiment overview" (invited, overview)
7. [ICHEP 2024 – "International Conference on High Energy Physics"](#) July 18-24, 2024, Prague, Czech Republic
 - Bakur Parsamyan: "New measurements of transverse spin effects in (di-)hadron production in muon-deuteron SIDIS at COMPASS"
8. [QCHSC 2024 – "XVIth Quark Confinement and the Hadron Spectrum Conference"](#) August 19-24, 2024, Cairns, Queensland, Australia
 - Bakur Parsamyan: "Longitudinal and transverse hadron PDFs: from COMPASS to AMBER" (invited, overview)
9. [IWHSS-CPHI-2024 – joint "20th International Workshop on Hadron Structure and Spectroscopy" and 5th workshop on "Correlations in Partonic and Hadronic Interactions"](#) September 31 – October 4, 2024, Yerevan, Armenia

- Bakur Parsamyan: “TMD effects in polarized processes: COMPASS selected highlights (plenary, overview)”
 - Siranush Asatryan: “New measurement of transverse spin effects in hadron production in μ -D SIDIS at COMPASS”
 - Artur Hovhannisyan: “COMPASS results for Collins and Sivers asymmetries in K^0 -production from 2022 ‘LiD data”
10. [JLab-22 GeV – “2nd Workshop Science at the Luminosity Frontier: Jefferson Lab at 22 GeV”](#)
December 9-13, 2024, LNF-INFN 2024, Frascati, Italy
- Bakur Parsamyan: “The role of multi-D approach in TMD studies: COMPASS experience” (invited, overview)

Հրատարակված հոդվածների ցանկ

On arXiv

1. “Multiplicities of positive and negative pions, kaons and unidentified hadrons from deep-inelastic scattering of muons off a liquid hydrogen target”,
COMPASS Collaboration, Submitted to PRD, e-Print: 2410.12005 [hep-ex], (Oct 15, 2024).
2. “New measurement of transverse spin effects in (di-)hadron production from muon-deuteron semi-inclusive DIS at COMPASS”,
S. Asatryan for the COMPASS Collaboration, e-Print:2410.07850 [hep-ex], (Oct 10, 2024)
3. “Technical Design Report of the Spin Physics Detector at NICA”
SPD Collaboration. e-Print:2404.08317 [hep-ex], (Apr 12, 2024)

In journals

4. “Strong Interaction Physics at the Luminosity Frontier with 22 GeV Electrons at Jefferson Lab”,
A. Accardi et al., Published in: Eur.Phys.J.A 60 (2024) 9, 173, e-Print:2306.09360 [nucl-ex].
5. "Final COMPASS Results on the Transverse-Spin-Dependent Azimuthal Asymmetries in the Pion-Induced Drell-Yan Process",
COMPASS Collaboration. Published in: Phys.Rev.Lett. 133 (2024) 7, 071902, e-Print: 2312.17379 [hep-ex].
6. "High-Statistics Measurement of Collins and Sivers Asymmetries for Transversely Polarized Deuterons",
COMPASS Collaboration. Published in: Phys.Rev.Lett. 133 (2024) 10, 101903, e-Print: 2401.00309 [hep-ex].

Մասնակցություն DESY-ում կատարված HERMES, H1 և OLYMPUS գիտափորձերին

Ֆիզ-մաթ. գիտ. դոկտոր Հ. Մարուքյան

Հ. Զոհրաբյան

Շարունակվել են DESY-ում (Համբուրգ, Գերմանիա) կատարված HERMES, H1 և OLYMPUS գիտափորձերում կուտակված տվյալների մշակման և արդյունքների տպագրման աշխատանքները: Մասնավորապես, կուսումնասիրվեն փնջի սպիրալությունից կախված դիհադրոնների ասիմետրիաները HERMES գիտափորձում կուտակված տվյալների հիման վրա, և ապագա Էլեկտրոն/Պրոտոն Բոնային կոլայդերում՝ ePIC-ում դրանց չափման իրագործելիությունը:

Հրատարակված հոդվածների ցանկ

1. V. Andreev, M. Aratia, ... , H. Zohrabyan et al., (H1 collaboration), “Measurement of groomed Event shape observables in deep-inelastic electron-proton scattering at HERA”, Eur. Phys. J. C84 (2024) 7, 718.
2. V. Andreev, A. Bagdasaryan, ..., H. Zohrabyan et al., “Measurement of charged particle multiplicity distributions in DIS at HERA and its implication to entanglement entropy of partons”, Eur. Phys. J. C84 (2024) 8, 785.
3. V. Andreev, A. Bagdasaryan, ..., H. Zohrabyan et al., “Observation and differential cross section measurement of neutral current DIS events with an empty hemisphere in the Breit frame”, Eur. Phys. J. C84 (2024) 7, 720.

Խիտոզանի նոր ածանցյալների սինթեզ և ուսումնասիրություն

Քիմիական գիտությունների թեկնածու Վասակ Ղավալյան

Հաշվետու ժամանակահատվածում՝ 2024 թվականին, շարունակել ենք խիտին/խիտոզանային համակարգերի ուսումնասիրությունները: Հեռանկարային ու կարևոր ենք համարել օգտագործել «հանգուցյալ» մեղուները որպես խիտին պարունակող բնական հումք: Հայաստանի Հանրապետության Գեղարքունիքի մարզի Շովասար բնակավայրից մեզ փոխանցված «հանգուցյալ» մեղուների (լատ. *Apis mellifera armeniaca*) հումքն արևի ազդեցության տակ 40-50°C պայմաններում, 50ժամ, նախնական չորացումից հետո (Նկար 1) մանրացվել (50-100մկմ) ապա Սոքսլետի ապարատում

բենզոլի միջավայրում մշակվել (48 ժամ) և չորացվել է (60°C, 72ժամ): Չորացված ու հաստատուն կշռի բերված էլանյութը հաջորդաբար անցել է մշակման հետևյալ փուլերը.

- միներալազրկում (1M HCl, 2.5 h, 85-90 °C);
- պրոտեինազրկում (2M NaOH, 3 h, 95-98 °C);
- գունազրկում՝ ավելի քան տասն անգամ (15% H₂O₂, 44 46°C, 3ժամ);
- լրացուցիչ գունազրկում Սոքալետի ապարատում (C₆H₆:C₂H₅OH, v/v1:1, 72 h):

Ելանյութի միներալազրկման և պրոտեինազրկման արդյունքում ստացված լուծույթներից գոլորշիացման եղանակով համապատասխանաբար առանձնացվել են սև՝ Նկար 2, և դարչնագույն՝ Նկար 3 մեղանինի նմուշներ:

Անջատված և չորացված արդյունք խիտինը (Cn) դեացետիլացվել (12.5M NaOH, NaBH₄, N₂, 2.5 h, 127-130°C) և մշակվել է.

- թորած ջրով մինչ չեզոք միջավայրի ապահովում (pH 7);
- էթանոլով C₂H₅OH (x3);
- ացետոնով CH₃COCH₃ (x3);
- անցել վակուում չորացման (10⁻² Տոր, 48 ժամ):

Անջատված Cn ու սինթեզված խիտոզանը (CS) բնութագրվել են տեսանելի լույսի ինֆրակարմիր տիրույթում կլանման սպեկտրոսկոպիայի օգնությամբ, համապատասխանաբար Նկար 4 և Նկ. 5: CS-ի նմուշի սպեկտրում (Նկար 5) 1585cm⁻¹ մոտ ալիքային թվին համապատասխան բոլորովին նոր կլանումն է թիվս այլ նոր կլանումների, Cn ի ացետամիդային խումբը ամինո խմբով փոխարինելու, այսինքն, CS –ի ներկայության բնութագրական ապացույց է:



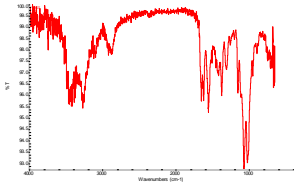
Նկ. 1. «Հանգուցյալ» մեղուններ (լատ. *Apis mellifera armeniaca*):



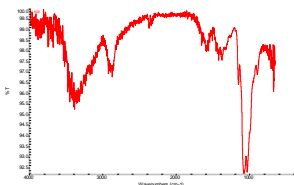
Նկ. 2. Սև մեղանին:



Նկ. 3. Դարչնագույն մելանին:



Նկ. 4. Շո նմուշի կլանման սպեկտրը:



Նկ. 5. CS նմուշի կլանման սպեկտրը:

Հաշվետու ժամանակահատվածում, նախկինում մեր իտալացի համահեղինակների հետ տպագրած հոդվածը [Fontana, R.; Marconi, P.C.R.; Caputo, A.; Gavalyan, V.B. Novel Chitosan-Based Schiff Base Compounds: Chemical Characterization and Antimicrobial Activity. *Molecules* 2022, 27, 2740.

<https://doi.org/10.3390/molecules27092740>] ներառվել ու 2024թ վերատպագրվել է Chitosan, Chitosan Derivatives and Their Applications.

Editor Agnieszka Ewa Wia ւek doi.org/10.3390/books978-3-7258-0253-1 © 2024 by the authors. Articles in this book are Open Access and distributed under the Creative Commons Attribution (CC BY) license. The book as a whole is distributed by MDPI under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution-Non Commercial-No Derivs (CC BY-NC-ND) license. գրքի կազմում:

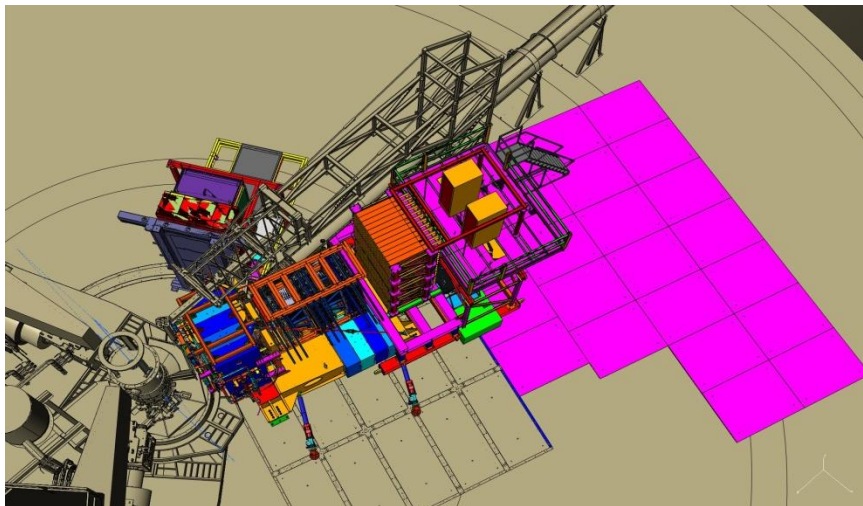
Շարունակվում են CS նոր ածանցյալների սինթեզին նվիրված ու արդեն ստացված արգասիքների բնութագրական տվյալների ամրագրման և ուսումնասիրման աշխատանքները:

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 ԱՄԳԼ-ի համագործակցության սահմաններում, Ջեֆերսոնի լաբորատորիայի չորս փորձարարական սրահներում (A, B, C, D):

Hall-A (փորձարարական սրահ)



Նկ. 1. GEP5 գիտափորձի սարքավորումը:

2024 թ.-ին Ջեֆերսոնի Լաբորատորիա են գործուղվել ԱՄԳԼ-ի երեք աշխատակիցներ, որոնք մասնակցել են էլեկտրամագնիսական կալորիմետրի տեղադրմանը A սրահում, մալուխների միացմանը, “front-end” էլեկտրոնիկայի հավաքման և կարգավորման աշխատանքներին: Կատարվել են նաև էլեկտրոնիկայի բլոկների վերանորոգման աշխատանքներ:

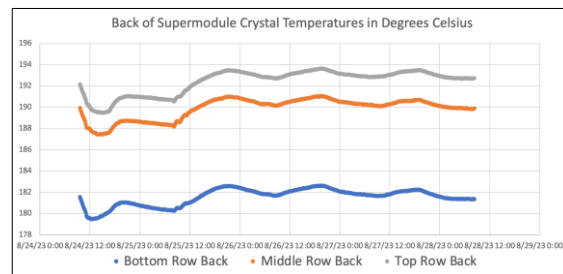
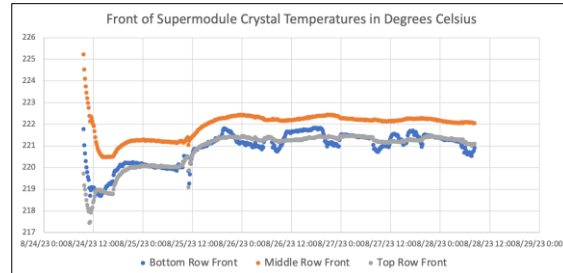
Էլեկտրամագնիսական կալորիմետրը հանդիսանում է GEP5 գիտափորձի հիմնական դետեկտորներից մեկը: Գիտափորձը նվիրված է պրոտոնի էլեկտրամագնիսական ֆորմ-ֆակտորների հարաբերության չափմանը Q^2 -ու 13 և 15 (ԳէՎ/c)² արժեքների դեպքում՝ ետհարվածի բենեոացման չափման եղանակով: Նկար 1-ում պատկերված է GEP5 գիտափորձում օգտագործվող դետեկտորները:

Կալորիմետրում օգտագործվել են 42մմ x 42մմ x 340մմ չափսերի 1656 կապարային ապակիներ: Նկար 2-ում պատկերված է 6 սուպեր-մոդուլների ջերմաստիճանային

փորձարկումը, որի հիման վրա որոշվեց թե ինչպիսի տաքացուցիչներ և սնման աղբյուրներ պետք է օգտագործվեն սարքում:

Prototype 6 super module heat test

- 6 supermodules (SM) in 2x3 stack heated on front and sides with twenty four 50 W @ 50VDC channel strip heaters and six 40W@ 50VDC cartridge heaters
- Temperature controlled via PID in 5 zones.
- Temperature on the front maintained around 220 degC
- Rear temperatures in the 180-193 degC range.
- Crystal clarity maintained even under radiation load

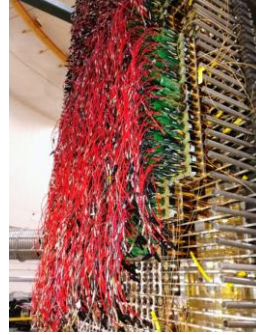
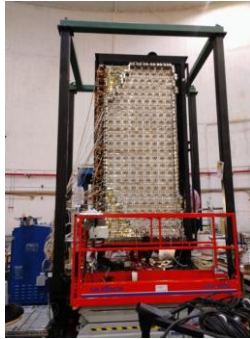


Նկ. 2. Նախատիպային սուպեր-մոդուլների ջերմաստիճանային փորձարկումը:

Նկար 3-ում պատկերված է կալորիմետրը տեղակայված A սրահում, նկարահանված դիմացից և ետևից:

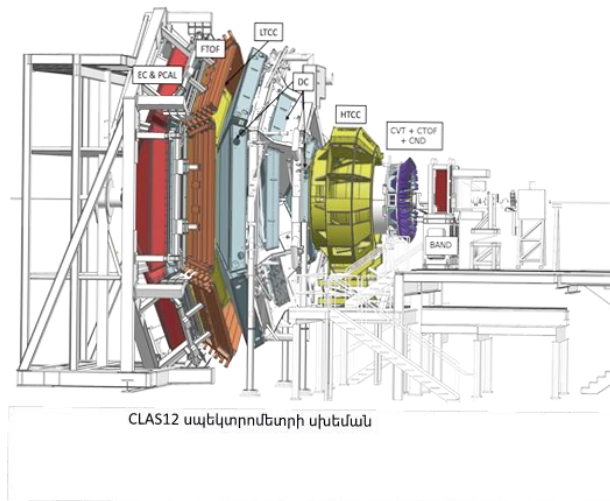
Մասնակցել ենք ԱԱԳԼ-ում կատարվող «Առաջատար հետազոտությունների «21AG-1C085» թեմայի կատարման աշխատանքներին, ինչպես նաև EIC էլեկտրոն-իոնային կոլայդերի համար նախատեսված, 16 բյուրեղներից բաղկացած կալորիմետրի նախատիպի նախագծման և կառուցման աշխատանքներին:

Finl Ecal frame with super module and PMT



Նկ. 3. ECal կալորիմետրը տեղակայված A սրահում:

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 ֆոտոնման ուսումնասիրումը”

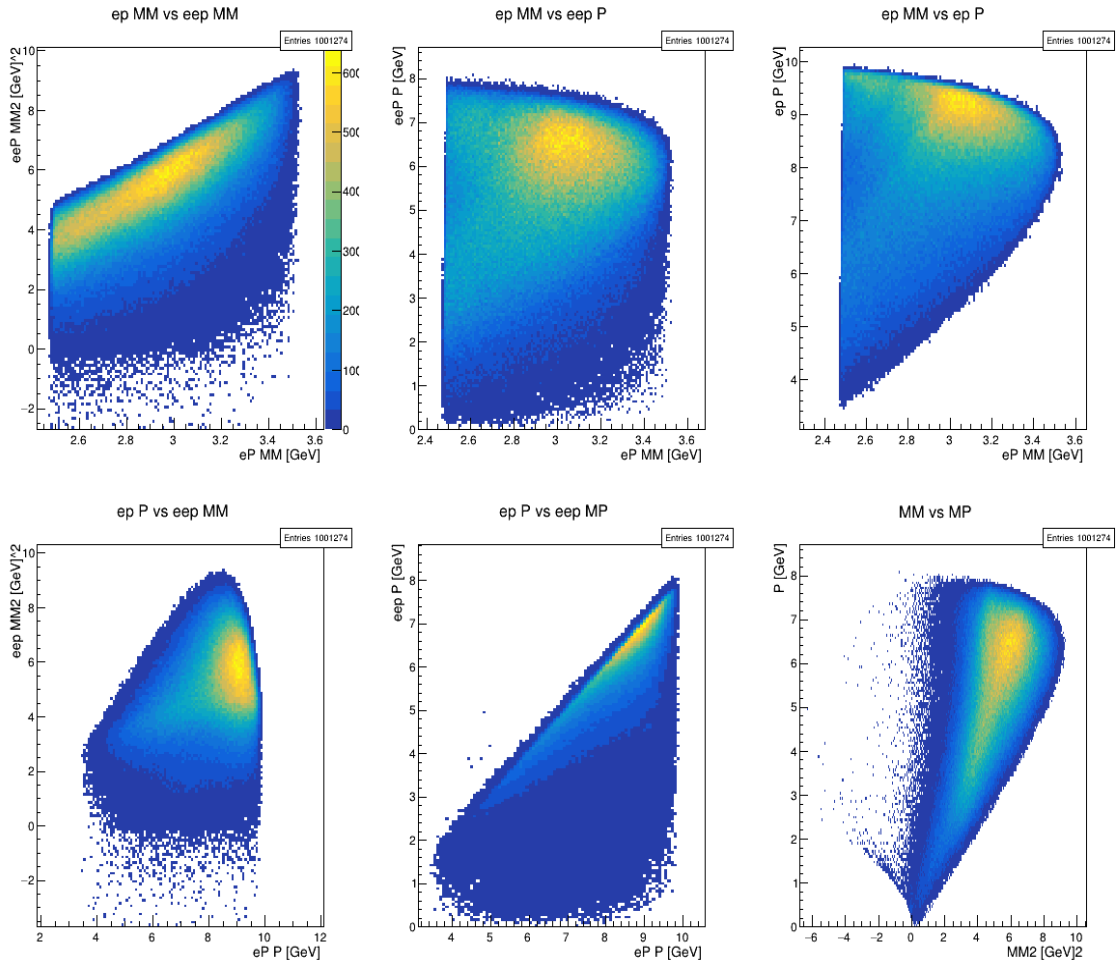
E12-12-001 (RGA) և E12-011-103B (RGB) գիտափորձերը նվիրված են դեյտրոնային և պրոտոնային թիրախների վրա J/ψ մեզոնի շեմին մոտ էքսկլուզիվ ֆոտոծնման ուսումնասիրությանը: Չափումները կատարվել են B սրահի CLAS12 դետեկտորի վրա: Հաշվետու ժամանակահատվածում աշխատանքները շարունակվել են մոդելավորերով E12-12-001 գիտափորձը եւ մշակելով խաղարկված տվյալները: Մշակումների նպատակն է՝ J/ψ մեզոնի շեմին մոտ էքսկլուզիվ ֆոտոծնման ուսումնասիրության միջոցով պրոտոնի գլյուոնային ֆորմ ֆակտորի դուրս բերումը՝ փոխանցված քառաչափ իմպուլսից չափված լայնական կտրվածքի կախվածությունից, և շեմին մոտ ($E_{\gamma, 2\text{եմ}} = 8.2$ ԳԷՎ) լրիվ լայնական կտրվածքի վարքագծից (ծնման եղանակի պարզաբանման նպատակով): Հետազոտության առարկան է պիտակավորված քվադի-ռեալ ֆոտոծնման ռեակցիան՝ $e p \rightarrow e J/\psi$, գրանցելով $1+1-$ J/ψ տրոհման արգասիք լեպտոնային զույգը:

Կատարվել է դեպքերի խաղարկում, որից հետո խաղարկված տվյալները անց են կացվել մոդելավորված CLAS12-ի միջով եւ վերականգնվել: Խաղարկվել է էքսկլուզիվ պիտակավորված ֆոտոծնման ռեակցիան՝

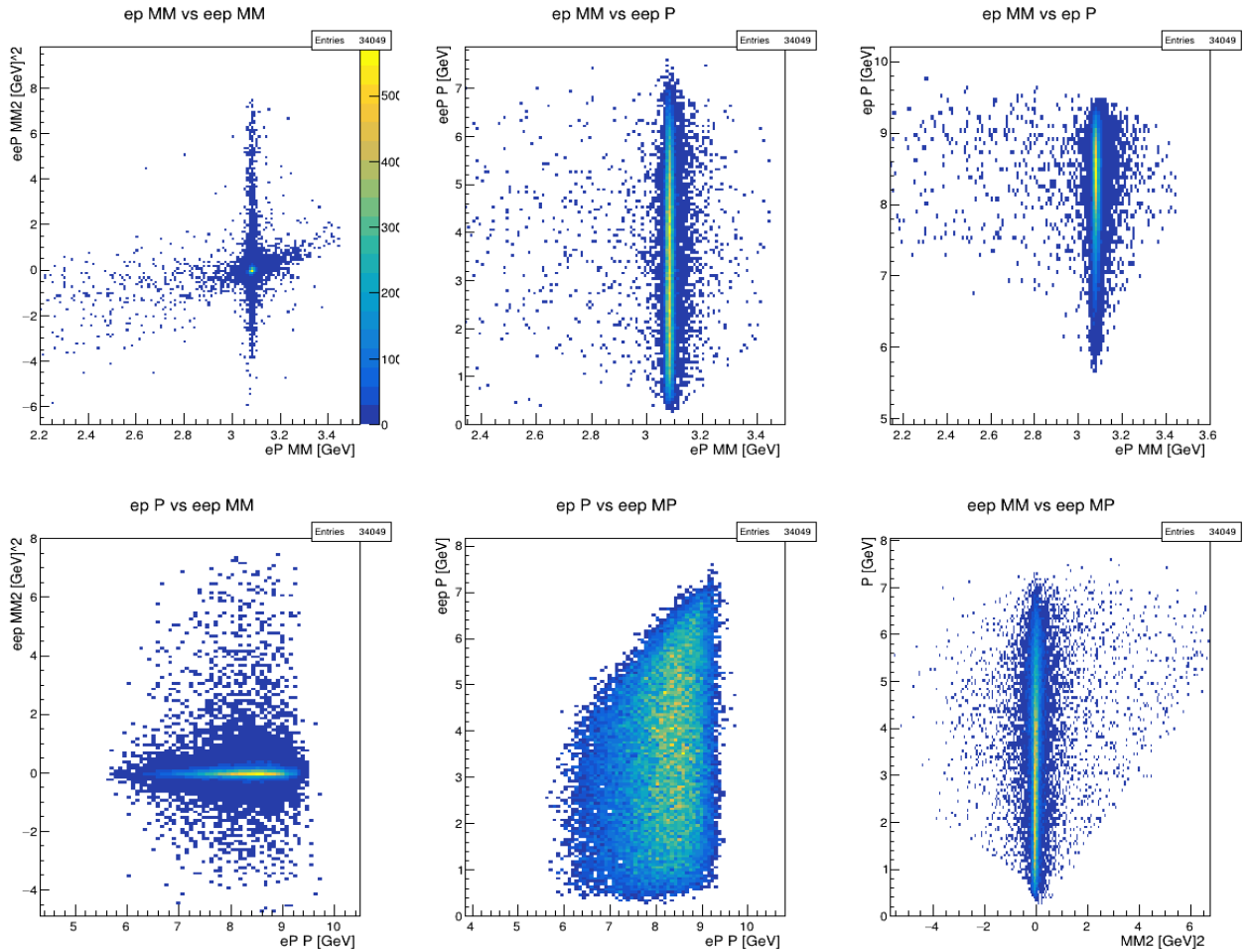
$$e p \rightarrow e' (\gamma p) \rightarrow e' e^+ e^- p' \quad (1)$$

որտեղ p' -ն չգրանցված պրոտոնն է, որի կինեմատիկան վերականգնվում է փոխանցված իմպուլսի հաշվարկներից: Պիտակավորված, ետհարվածի էլեկտրոնը՝ e' -ը գրանցվում է առաջնային «թագեր» գրանցիչում (FT), իսկ լեպտոնային զույգը՝ e^+e^- ը գրանցվում է CLAS12 դետեկտորի ճակատային հատվածում: Նկար 1-ում պատկերված է տարբեր վերջնական վիճակների ($e p$ և $e e p$) իմպուլսային և բացակայող զանգվածների բաշխվածությունները: Նշենք որ վիճակագրությունը մեծացնելու համար I/I' լեպտոնային զույգի գրանցումը այստեղ շրջանցվել է :

Նկար 2-ում էլեկտրոն-պրոտոն և էլեկտրոն-պոզիտրոն-պրոտոն վերջնական վիճակների համեմատությունը կախված իմպուլսից և բացակայող զանգվածից, օգտագործելով համակարգչային մոդելավորումը:



Նկ. 1. Էլեկտրոն-պրոտոն և էլեկտրոն-պոզիտրոն-պրոտոն վերջնական վիճակների համեմատումը կախված իմպուլսից և բացակայող զանգվածից:



Նկ. 2. Էլեկտրոն-պրոտոն և էլեկտրոն-պոզիտրոն-պրոտոն վերջնական վիճակների համեմատումը կախված իմպուլսից և բացակայող զանգվածից ստացված համակարգչային մոդելավորումից:

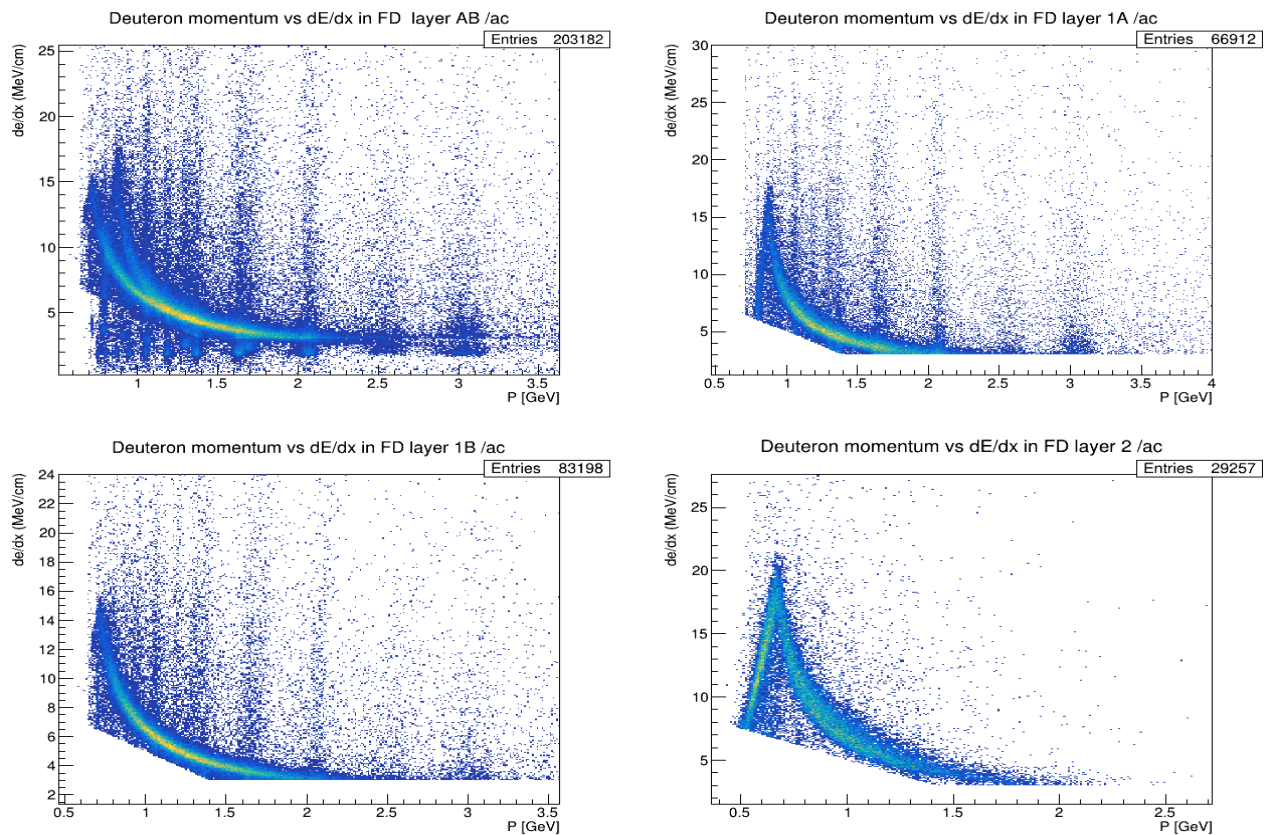
E12-07-104A. «Դեյտրոն թիրախից Պրոտոն-հակապրոտոն կոհերենտ էլեկտրածնում.»

Կատարվում են աշխատանքներ նվիրված այն մեզոնային վիճակների ուսումնասիրմանը, որոնք տրոհվում են $p\bar{p}$ բարիոնային վիճակների: Դիտարկվում է հետևյալ լրիվ էքսկլուզիվ, կոհերենտ ֆոտոնման ռեակցիան. $\gamma d \rightarrow ep\bar{p}d$, որտեղ դեյտրոնի ճշգրիտ նույնականացման համար օգտագործվում է TOF (Time Of Flight), և EC (Electromagnetic Calorimeter) դետեկտորից ստացված էներգետիկ բաշխումները:

Աշխատանքի նպատակն է իրականացված գիտափորձերի շրջանակներում ուսումնասիրել հաղորնային վիճակներ, մասնավորապես այնպիսիք որ տրոհվում են պրոտոն-հակապրոտոն զույգի: Դրա համար դիտարկվում են լրիվ էքսկլուզիվ և կիսա-ինկլուզիվ ցրումները դեյտրոնային թիրախի վրա: Տվյալ պահին աշխատանքի բարդությունը կայանում է նրանում որ դեյտրոնի նույնականացման ճշտությունը դեռ

թույլ չի տալիս այն բավարար էֆեկտիվության գատել պրոտոնից և դրական լիցքավորված պիոնից:

Նկար 3-ում պատկերված են դեյտրոնի էներգետիկ կորուստները TOF դետեկտորի մեջ՝ կախված մասնիկի իմպուլսից: Չախ վերևի նկարը առաջնային երկու շերտերի համար է, ներքևի ձախ նկարը՝ առաջնային շերտի «ճակատային», վերևի աջ նկարը՝ առաջնային «հաջորդող» և ներքևի աջ նկարը՝ «պարուրող» կամ «կից» շերտերի համար է:



Նկ. 3. Դեյտրոնի էներգետիկ կորուստի կախավածությունը իմպուլսից՝ TOF-ի տարբեր շերտերի համար:

Սերվիսային աշխատանքներ

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

- Կատարվել են աշխատանքներ SVT և BMT դետեկտորների վրա: Կատարվել են ազդանշանների հավասարեցման և դետեկտորի էֆեկտիվության գնահատման աշխատանքներ: Պարբերաբար մշակվում և փորձարկվում են ազդանշանների հավասարեցման և որպես հետևանք՝ դետեկտորի էֆեկտիվության գնահատում:

Աշխատանքի նպատակն է՝ օգտագործելով ազդանշանների հավասարեցման և էֆեկտիվության գնահատման մշակված մեթոդները, առավել ճշգրտել և արդյունավետ օգտագործել ստացված փորձարարական տվյալները: Ընթացիկ տարում կատարվել են դետեկտորի էֆեկտիվության գնահատում՝ օգտագործելով JLab-ում մշակված մեթոդը: Նաև ստեղծվել է ծրագրային փաթեթ data timeline-ի համար, որի օգնությամբ արագ գնահատվում է գիտափորձի ամեն աշխատաշրջանի գրանցման էֆեկտիվությունը:

- Մասնակցել ենք հոդոսկոպի կառուցմանը JLab-ում: Հոդոսկոպը օգտագործվելու է կոսմիկական ճառագայթների գրանցման միջոցով դետեկտորների գրանցման ճշտությունը և էֆեկտիվությունը ստուգելու համար: Ներկայումս այն ստուգման փուլում է:

- Մասնակցել ենք էլեկտրամագնիսական կալորիմետրի համար նոր ֆոտոէլետրոնային բազմապատկիչների ստուգման աշխատաքներին JLab-ում: CLAS12-ի կալորիմետրը շահագործվում է 1996 թ.-ից ի վեր: Տարիների ընթացքում լարումների բարձրացմամբ պայամանավորված և սարքավորման ծերացման հետևանքով հարկ էր կատարել անընդհատ հետևողական աշխատանք՝ էֆեկտիվության պահպանման համար, որը բերեց նրան որ գրեթե բոլոր ՖԷԲ-ները հասան իրենց լարման առավելագույն ընդունելի արժեքին: Աշխատանքի նպատակն էր՝ ստուգել նոր ՖԷԲ-ների աշխատանքային կարգավորումները և գրանցման էֆեկտիվությունները տարբեր լարումների համար: Ստուգումները ներառում էին տեսողական և իմպուլսային ինտեգրալի վերլուծություն տարբեր լարումների համար:

- Մասնակցել ենք էլեկտրամագնիսական կալորիմետրի հին ֆոտոէլետրոնային բազմապատկիչների փոխարինմանը նորերով:

- Մասնակցել ենք փորձարարական տվյալներ հավաքման հերթափոխներին:

Hall-C (փորձարարական սրահ)

Գիտափորձեր NPS սպեկտրոմետրով

Թոմաս Ջեֆերսոնի անվան լաբորատորիայի NPS սպեկտրոմետրը նախատեսված է չեզոք մասնիկների գրանցման համար (γ , π^0): Այն բաղկացած է ցածր էներգիայի լիցքավորված ֆոնային մասնիկները բեկող մագնիսից, և 1080 կապարի վոլֆրամատի ($PbWO_4$) բյուրեղներից բաղկացած էլեկտրամագնիսական կալորիմետրից:



Նկ. 1. NPS սպեկտրոմետրի ~25 մտ անկյունային ակսեպտանսով էլեկտրամագնիսական կալորիմետրը (ձախից), և 0.3 Տմ ֆոնային մասիկները բեկող մագնիսը (աջից):

2023 թվականի օգոստոս ամսին NPS սպեկտրոմետրը կոսմիկական մյուոններով մանրակրկիտ ստուգումներից հետո, տեղակայվել էր C փորձարարական սրահում SHMS բազային սպեկտրոմետրի պլատֆորմի վրա:



Նկ. 2. NPS-ը տեղադրված SHMS սպեկտրոմետրի պլատֆորմի վրա (Run Group 1 գիտափորձերի կատարման համար):

Ընդհանուր առմամբ NPS-ի գիտական ծրագիրն ընդգրկում է ավելի քան 10 հաստատված գիտափորձեր: Նրանք բաժանված են երկու խմբերի: Առաջին խմբի (run group 1) գիտափորձերը կատարվեցին 2023/24 թվականներին, մնացածը նախատեսված է 2025-ին և հետագա տարիներին:

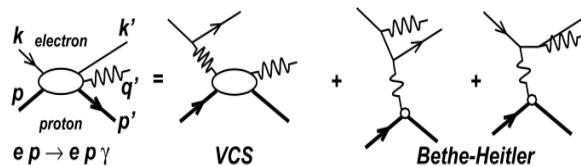
Experiment Number	Title	Beam	Target	Run Group	PAC Days	Rating
E12-13-010	DVCS and exclusive π^0	\vec{e}^-	LH ₂	1	53	A
E12-13-007	SIDIS π^0	\vec{e}^-	LH ₂	1	(26)	A-
E12-06-114 (days moved to Hall C)	Measurements of the electron-helicity dependent cross-sections DVCS	\vec{e}^-	LH ₂	1	35	A
E12-23-014	Measurement of R in SIDIS π^0	\vec{e}^-	LH ₂ , LD ₂	1	7	A-
E12-14-003	Wide-Angle Compton scattering (WACS)	e^-, γ	LH ₂	2		A-
E12-14-005	Wide-Angle Exclusive π^0 photoproduction	e^-, γ	LH ₂	2		B
E12-22-006	DVCS off the neutron with the NPS	\vec{e}^-	LD ₂	1	44	A
E12-17-008	Polarization observables in WACS at high s, t, u	CPS: γ	$N\vec{H}_3$			A-
E12-23-006 (C1)	DVCS using positron beam in Hall C	e^+	LH ₂		77	A-
E12-23-004	Search for nonzero strange proton FF	\vec{e}^-	LH ₂		45	A-

ERR
2019

2023թ օգոստոս - 2024 թ. մայիս ժամանակաշրջանում կատարված ֆիզիկական ծրագիրը ընդգրկում էր 5 հաստատված գիտափորձ, որոնցից երկուսին (π^0 -SIDIS և R-SIDIS) համահեղինակ է ԱԱԳԼ-ի խումբը: Որոշ համառոտ տեղեկություն գիտափորձերից.

- **E12-13-010:** Exclusive Deeply Virtual Compton and Neutral Pion Cross-Section Measurements in Hall C. C. M. Camacho, R. Paremuzyan, T. Horn, C. Hyde, J. Roche co-spokespersons.

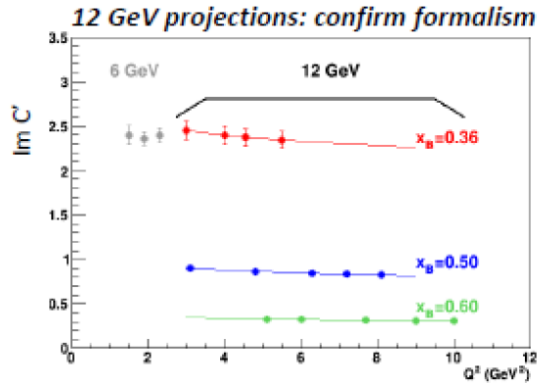
Այս գիտափորձում ճշգրիտ գնահատվելու են DVCS պրոցեսի և չեզոք π^0 մեզոնի ծնման կտրվածքները կինեմատիկ փոփոխականների լայն տիրույթում: Հայտնի է, որ DVCS-ն ուղեկցվում է ինտենսիվ Բետե-Հայտլեր ճառագայթմամբ, որը գործնականում հնարավոր չէ զատել:



$$\sigma = |BH|^2 + Re[DVCS\&BH] + |DVCS|^2$$

Պրոցեսի կտրվածքի կախվածությունը ազիմուտալ անկյունից, էներգիայից և սպինից օգտագործվելու են բաժանելու համար DVCS-ի և DVCS&BH ինտերֆերենցիոն անդամի ներդրումները կտրվածքի բոլոր Ֆուրիե մոմենտներում: Կտրվածքի յուրաքանչյուր բաղադրիչը և նրա Q^2 կախվածությունը չափվել են միմյանցից անկախ:

DVCS-ը փաստորեն իրական ֆոտոնների ծնման $ep \rightarrow epy$ երևույթ է, այն լավ հնարավորություն է ընձեռում ուսումնասիրելու պարտոնների GPD ընդհանրացրած բաշխման ֆունկցիաները, ստանալ տեղեկություն նուկլոնի սպինում քվարկների օրբիտային անկյունային մոմենտի ներդրման վերաբերյալ: GPD-ները մտնում են DVCS-ի կտրվածքի մեջ Կոմպտոնյան CFF ֆորմ-ֆակտորների միջոցով: DVCS-ում նրանց առանձնացնելը պահանջում է կտրվածքի չափումներ փնջի բազմաթիվ էներգիաների համար և առանձնացնել DVCS&BH ինտերֆերենցիայի մասը:



Նկ. 3. E12-13-010 Գիտափորձի կինեմատիկ տիրույթը և չափման ակնկալվող ճշտությունը:

E12-13-010 գիտափորձում միաժամանակ չափվել է նաև π^0 մեզոնի էքսկլուզիվ ծնման կտրվածքը, կատարվելու է նրա երկայնական և լայնական բաղադրիչների բաժանում:

- **E12-13-007:** Measurement of Semi-Inclusive π^0 Production as Validation of Factorization. R. Ent, T. Horn, H. Mkrtchyan, V. Tadevosyan spokespersons.

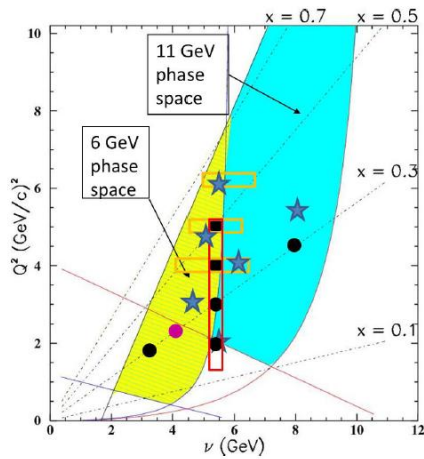
Գիտափորձի նպատակն է չափել պրոտոն և դեյտրոն թիրախներից փոքր անկյան տակ π^0 մեզոնների էլեկտրաձնումը համարյա ինկլյուզիվ (SIDIS) կինեմատիկ տիրույթում: Այն շատ կարևոր տեղեկություն կտա այս երևույթում կտրվածքի (x, z) ֆակտորիզացիայի ապացուցման համար: π^0 մեզոնների SIDIS էլեկտրաձնումը ունի մի շարք առավելություններ լիցքավորված պիոնների համեմատ: Այն մաքուր է դիֆրակցիոն ρ մեզոնների և նուկլոնային ռեզոնանսների ֆոններից: Բարձր Q^2 տիրույթում SIDIS-ի $N(e, e'\pi)X$ կտրվածքը ներկայացվում է որպես

$$\frac{\frac{d\sigma}{d\Omega_e dE_e dz dp_T^2 d\phi}}{\frac{d\sigma}{d\Omega_e dE_e}} = \frac{dN}{dz} b e^{-bp_T^2} \frac{1 + A \cos(\phi) + B \cos(2\phi)}{2\pi},$$

$$\frac{dN}{dz} \sim \sum_q e_q^2 q(x, Q^2) D_{q \rightarrow \pi}(z, Q^2),$$

E12-13-007 նախատեսում է նաև ստուգել երկակիության երևույթը չեզոք պիոնների ծնման պրոցեսում, ենթադրելով որ $\sigma_{\pi^0}(x, z) = [\sigma_{\pi^+}(x, z) + \sigma_{\pi^-}(x, z)]/2$:

Հափումների համար օգտագործվել է LH2 հեղուկ ջրածնային թիրախ: Թիրախի Al պատուհանների ներդրումը գնահատելու համար արվել են լրացուցիչ չափումներ “Al-dummy” թիրախով: Չեզոք պիոնների էլքը չափվել է կինեմատիկ փոփոխականների լայն տիրույթում:



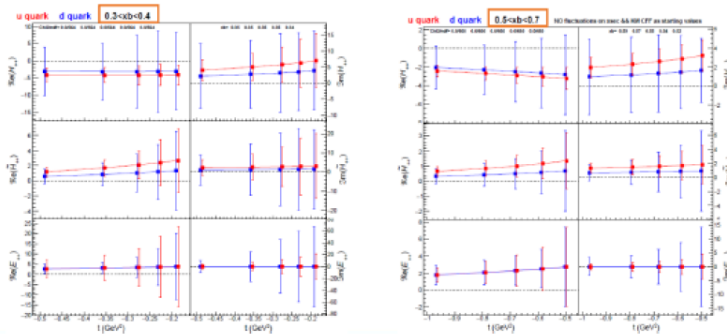
Kinematics	E (GeV)	E' (GeV)	θ_e (deg)	W^2 (GeV ²)	θ_γ (deg)	q_γ (GeV)	x	Q^2 (GeV ²)	z
A	11.0	5.67	10.27	8.88	10.57	5.513	0.20	2.0	0.4–0.8
B	11.0	6.56	11.70	6.21	16.20	4.767	0.36	3.0	0.5–0.8
C	11.0	5.08	15.38	7.99	12.44	6.250	0.36	4.0	0.4–0.8
D	11.0	2.86	24.15	10.66	7.93	8.472	0.36	5.5	0.3–0.8
E	11.0	5.88	15.65	5.68	16.57	5.565	0.50	4.8	0.4–0.8
F	11.0	5.67	17.84	4.88	17.23	5.865	0.60	6.0	0.4–0.8

Նկ. 4. E12-13-007 գիտափորձի նախատեսված չափումների կինեմատիկ տիրույթը:

- **E12-22-006:** Deeply Virtual Compton Scattering off the neutron with the Neutral Particle Spectrometer in Hall C. C. M. Camacho, M. Mazouz, C. Hyde, J. Roche spokespersons

Գիտափորձի նպատակն է՝ օգտագործելով C սրահի HMS մագնիսական սպեկտրոմետրը և 1080 PbWO₄ բյուրեղներից կազմված NPS կալորիմետրը մեծ ճշտությամբ չափել DVCS Խորը-Վիրտուալ Կոմպտոնյան ցրման կտրվածքը LD2 հեղուկ դեյտրոն թիրախի համարյա-ազատ նեյտրոնների համար: Ներկայումս բավականին հարուստ տվյալներ կան DVCS պրոցեսի վերաբերյալ, որոնք կատարվել են պրոտոն թիրախով, ինչը չի կարելի ասել նեյտրոնային թիրախով չափումների համար: Սպինից կախված և սպինից անկախ նեյտրոնային DVCS կտրվածքները մինչ այժմ չափվել են միայն E08-025 փորձի ընթացքում JLab-ի A սրահում, մինչ CEBAF-ի 12 ԳԷՎ փնջի էներգիային անցնելու արդիականացումը:

Վերջերս հրապարակված տեսական աշխատանքները ցույց են տալիս, որ բարձր ճշգրտության նեյտրոն թիրախի համար CFF-ների չափումները շատ կարևոր են CFF Կոմպտոնյան ֆորմ-ֆակտորների և GPD-ների գունային կախվածությունը պարզելու համար: Ինչպես պրոտոնային թիրախի, այնպես էլ այս դեպքում DVCS-ն ուղեկցվում է ինտենսիվ և անբաժանելի BH ճառագայթմամբ, և GPD-ների, CFF-ների վերաբերյալ տեղեկության միակ գործնական աղբյուրը սպինային ասիմետրիաների չափման միջոցով DVCS&BH ինտերֆերենցիոն անդամի առանձնացնելն է: Իրականում չափվում է $D(e, e'\gamma)X = d(e, e'\gamma)d + n(e, e'\gamma)n + p(e, e'\gamma)p$ ռեակցիան, որից նեյտրոնի DVCS-ն որոշելու համար պետք է գնահատել, կամ առանձին չափել DVCS-ը պրոտոն և դեյտրոն թիրախների համար: GPD ֆունկցիաները մտնում են DVCS-ի կտրվածքի մեջ քվարկի իմպուլսային x-բաժնեմասով ինտեգրված CFF Կոմպտոնյան ֆորմ-ֆակտորների միջոցով, որոնք որոշվում են H և E վեկտոր և \tilde{H} և \tilde{E} ակսիալ վեկտոր բաղադրիչներով:



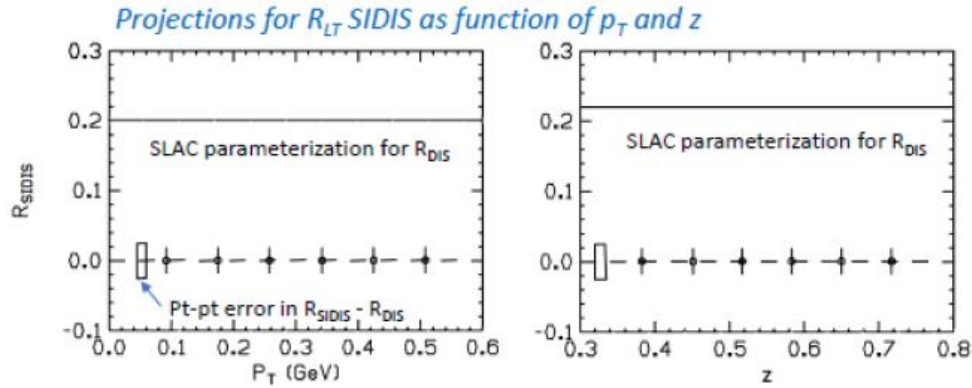
Նկ. 5. E12-22-006 Գիտափորձից ակնկալվող CFF ֆորմ-ֆակտորների չափման ճշտությունը:

- **E12-23-014:** Measurements of the Ratio $R = \sigma_L/\sigma_T$ p/d ratios, P_t dependence, and azimuthal asymmetries in Semi-Inclusive DIS π^0 production from proton and deuteron targets using the NPS in Hall C. Bosted, R. Ent, H. Mkrtchyan, V. Tadevosyan, T. Horn, E. Kinney spokespersons.

Գիտափորձի նպատակն է չափել π^0 մեզոնների SIDIS պրոցեսի կտրվածքի լայնական և երկայնական բաղադրիչների $R = \sigma_L/\sigma_T$, և դեյտրոն-պրոտոն թիրախներից նրանց ծնման հավանականությունների հարաբերությունները կախված x, z և P_t փոփոխականներից: Մինչ այժմ ենթադրվել է, որ այս հարաբերությունները նույնն են ինչ խորը ոչ-առաձգական պրոցեսում, սակայն դա երբևիցե չի ստուգվել: Կտրվածքի ընդհանուր տեսքն է.

$$\frac{d\sigma}{d\Omega_\pi dM_x} = \frac{d\sigma_T}{d\Omega_\pi dM_x} + \epsilon \frac{d\sigma_L}{d\Omega_\pi dM_x} + \epsilon \frac{d\sigma_{TT}}{d\Omega_\pi dM_x} \cos 2\phi_{pq} + \sqrt{2\epsilon(1+\epsilon)} \frac{d\sigma_{LT}}{d\Omega_\pi dM_x} \cos \phi_{pq},$$

Մենք մտադիր ենք ստուգել կտրվածքի կախվածությունը լայնական իմպուլսից, սպինից անկախ $\cos(\phi_{pq})$ և $\cos(2\phi_{pq})$ մոդուլյացիաները, և փնջի սպինից կախված $\cos(\phi_{pq})$ մոդուլյացիաները:

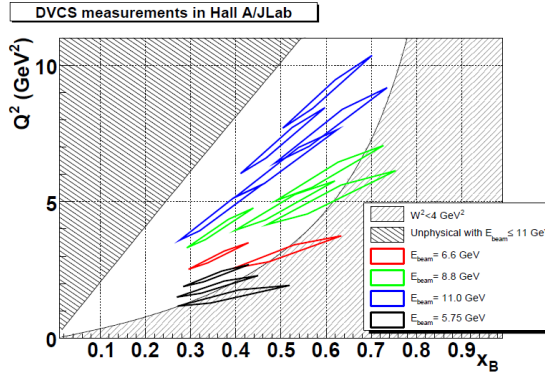
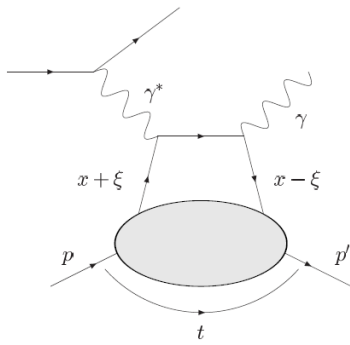


Նկ. 6. R հարաբերության կինեմատիկ տիրույթը և E12-23-014 գիտափորձի ճշտությունը:

E12-06-114: Measurements of the electron-helicity dependent cross-section of deeply virtual Compton scattering. C. Hyde, A. Comsonne, C. M. Camacho, J. Roche spokespersons

Պարտոնների ընդհանրացված բաշխումները (GPDs) ընձեռում են աննախադեպ հնարավորություն նկարագրելու նուկլոնների կառուցվածքը, դրանով իսկ օգնում հասկանալ QCD-ի անցումը պերտուրբատիվ ռեժիմից դեպի ոչ-պերտուրբատիվ: Փորձնականորեն, GPD-ներին կարելի է հասնել կոշտ էքսկյուզիվ պրոցեսներով, երբ կինեմատիկան այնպիսին է, որ ռեակցիան լավ նկարագրվում է միայն գերիշխող թվիստների ներդրումով: Ֆիզիկորեն, դա համապատասխանում է այն սահմանին, երբ վիրտուալ ֆոտոնը ուղղակիորեն փոխազդում է նուկլոնի ներսի մեկ պարտոնի հետ: Սկեյլինգի նախնական նշաններ նկատվել էին դեռևս 6 ԳեՎ էներգիաների տիրույթում ($Q^2 \sim 2$ ԳեՎ²), սակայն շատ կարևոր է ստուգել այն բարձր էներգիաներում (Q^2 -ն մինչև 9 ԳեՎ²):

Գիտափորձի նպատակն է կատարել DVCS պրոցեսի սպինից կախված և սպինից անկախ բացարձակ կտրվածքների Q^2 կախվածության ուսումնասիրություն Բյորկենի x փոփոխականի 0,36 - 0,60 տիրույթի մի քանի արժեքներում, ապահովելով սիստեմատիկ սխալների $\sim 4\%$ մակարդակ: Գիտափորձի կատարման կինեմատիկ տիրույթը բերված է Նկար 7-ում:



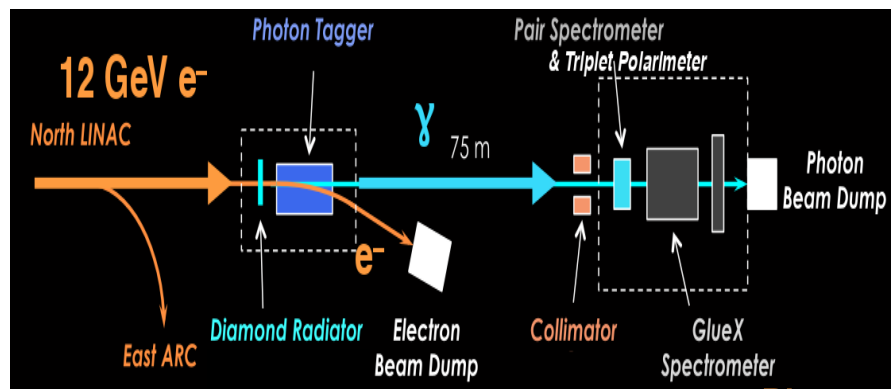
Նկ.7. DVCS-ի դիագրաման և E12-06-114 գիտափորձի կինեմատիկ տիրույթը:

Միաժամանակ չափելով ոչ-բևեռացված և բևեռացված DVCS կտրվածքների Q^2 կախվածությունը, կարելի է որոշել պրոցեսի ամպլիտուդայի իրական և կեղծ բաղադրիչները: Նույն պայմաններում կատարվել են նաև $\vec{e}p \rightarrow ep\pi^0$ պրոցեսի կտրվածքի չափումներ:

ԱԱԳԼ-ի խմբի անդամները (Հ. Մկրտչյան, Ա. Հոդմրցյան) մասնակցել են այս գիտափորձերի տվյալների հավաքմանը և On-Line մշակմանը, կրելով 45 հերթափոխ: Տվյալների հիմնական մշակման աշխատանքները ներկայումս ընթացքի մեջ են:

Hall-D (փորձարարական սրահ)

Hall D is dedicated to the operation of a large-acceptance detector for



2024 թ.-ին Թոմաս Չեֆերսոնի անվան լաբորատորիայի D փորձարարական սրահում ակտիվ մասնակցություն ենք ունեցել FCAL2 էլեկտրամագնիսական կալորիմետրի պատրաստման հետևյալ աշխատանքներին.

- Յուրաքանչյուր մոդուլի վրա օպտիկական մանրաթելերի սոսնձում (1596 հատ)
- Ազդանշանային երկար մալուխների միացում Dark Box միջանկյալ վահանակից FADC-ին (1596)
- Բարձր լարման բաժանիչների կցումը Ֆոտոբազմապատկիչներին (ՖԷԲ) (1596)
- Բարձր լարման բաժանիչներից ելնող 3 (ազդանշանային, բարձր լարման և ցածր լարման) մալուխների միացում Dark Box-ի համապատասխան միջանկյալ վահանակներին (3x1596)
- Յուրաքանչյուր ՖԷԲ-ի ազդանշանի ստուգում Լուսամոնիտորինգային համակարգի (LMS) միջոցով (ինտեգրող գնդիկ + LED-ներ + օպտիկական մանրաթելերի ժապավեն)

Հոդվածների ցանկ

Hall - A

1. “The EMC Effect of Tritium and Helium-3 from the JLab MARATHON Experiment”,
e-Print: 2410.12099, [nucl-ex] Oct 15, 2024;
2. “A Prototype of Electromagnetic Calorimeter Constructed of Lead Tungstate”,
Published in: J.Contemp.Phys. 59 (2024);
3. “Inclusive studies of two- and three-nucleon short-range correlations in ^3H and ^3He ”,
e-Print: 2404.16235 [nucl-ex], Apr 24, 2024 ;
4. “Adiabatic light guide with S-shaped strips”,
Published in: Rev.Sci.Instrum. 95 (2024) 10, 105102;
5. “Novel Measurement of the Neutron Magnetic Form Factor from A=3 Mirror Nuclei”,
Published in: Phys.Rev.Lett. 132 (2024) 16, 162501;

Hall -B

6. “Beam spin asymmetry measurements of deeply virtual π^0 production with CLAS12”,
By: A. Kim; S. Djeh; K. Joo; et al.
Group Author(s): CLAS Collaboration
Published in: Phys.Lett.B 849 (2024) 138459;
7. “Double-pion electroproduction off protons in deuterium: Quasifree cross sections and final-state interactions”,
By: Iu. A. Skorodumina; G. V. Fedotov; R. W. Gothe; et al.
Group Author(s): CLAS Collaboration,
Published in: Phys.Rev.C 109 (2024) 6, 065205;
8. “First Measurement of Deeply Virtual Compton Scattering on the Neutron with Detection of the Active Neutron”
By: A. Hobart; S. Niccolai; M. Cuic; et al.

Group Author(s): CLAS Collaboration

Published in: *Phys.Rev.Lett.* 133 (2024) 21, 211903

9. “Photoproduction of the Σ^+ hyperon using linearly polarized photons with CLAS”,
By: L. Clark; B. McKinnon; D. G. Ireland; et al.
Group Author(s): CLAS Collaboration, (Apr 30, 2024),
e-Print: 2404.19404 [nucl-ex];
10. “Suppression of neutral pion production in deep-inelastic scattering off nuclei with the CLAS detector”,
By: T. Mineeva; W. K. Brooks; A. El Alaoui; et al.
Group Author(s): CLAS Collaboration, (Jun 6, 2024),
e-Print: 2406.04513 [hep-ex];
11. “Dihadron Azimuthal Correlations in Deep-Inelastic Scattering Off Nuclear Targets”,
By: S. J. Paul; S. Moran; M. Arratia; et al.
Group Author(s): CLAS Collaboration, (Jun 20, 2024),
e-Print: 2406.14387 [nucl-ex];
12. “Measurement of the nucleon spin structure functions for $0.01 < Q^2 < 1 \sim \text{GeV}^2$ using CLAS”,
By: A. Deur; S. E. Kuhn; M. Ripani; et al.
Group Author(s): CLAS Collaboration, ..., (Sep 12, 2024),
e-Print: 2409.08365 [nucl-ex]

Hall C

13. “Strong interaction physics at the luminosity frontier with 22 GeV electrons at Jefferson Lab”,
By: A. Accardi, P. Achenbach, D. Adhikari et al., **Published in: *Eur. Phys. J. A* 60 (2024) no.9, 173.**
14. “Evaluation of longitudinal double-spin asymmetry measurements in semi-inclusive deep-Inelastic scattering from the proton for the ECCE detector design”,
By: C. Van Hulse, J.K. Adkins, Y. Akiba et al.; **Published in: *Nucl. Instrum. Meth. A* 1056 (2023), 168563.**
15. “Flavor Dependence of Charged Pion Fragmentation Functions:
By: H. Bhatt, P. Bosted, S. Jia et al.; ***arXiv: 2408.16640 [nucl-ex].***
16. “Pion electroproduction measurements in the nucleon resonance region”,
By: R. Li, N. Sparveris, H. Atac et al., **Published in: *Eur. Phys. J. A* 60 (2024) no. 8, 168.**
17. “A Prototype of Electromagnetic Calorimeter Constructed of Lead Tungstate”,
By: H. Mkrtchyan, H. Marukyan, A. Mkrtchyan, A. Shahinyan, V. Tadevosyan, H. Voskanyan, A. Movsisyan and A. Haghmrtsyan, **Published in: *Eur. J. Contemp. Phys.* 59 (2024) no.1, 11-16.**
18. “New Measurements of the Deuteron to Proton F2 Structure Function Ratio”,
By: D. Biswas, F.A. Gonzalez, W. Henry et al., ***arXiv: 2409.15236 [hep-ex].***
19. “M. Nycz, W. Armstrong, T. Averett et al., Quasielastic Asymmetry in the Threshold Region”,
By: D. Biswas, F.A. Gonzalez, W. Henry et al.; ***arXiv: 2409.16370 [nucl-ex].***
20. “The present and future of QCD”,
By: P. Achenbach, D. Adhikari, A. Afanasev et al.; **Published in: *Nucl. Phys. A* 1047 (2024), 122874.**

Hall D

21. “First Measurement of Near- and Sub-Threshold J/ψ Photoproduction off Nuclei”;
By: J. R. Pybus; L. Ehinger; T. Kolar; et al.,
e-Print: 2409.18463 [nucl-ex];
22. F. Afzal, C. S. Akondi, M. Albrecht, ..., H. Marukyan et al., “An Upper Limit on the Photoproduction Cross Section of the Spin-Exotic $\pi_1(1600)$ ”,
Published in: Phys. Rev. Lett. 133 (2024) 26, 261903.
23. F. Afzal, C. S. Akond, M. Albrecht, ..., H. Marukyan et al., “Measurement of Spin-Density Matrix Elements in $\Delta^{++}(1232)$ photoproduction”,
Group Author(s): GlueX Collaboration ;
e -Print: 2406.12829 nucl-ex]
24. J. R. Pybus, T. Kolar, B. Devkota, ..., H. Marukyan et al., “Search for axion-like particles through nuclear Primakoff production using the GlueX detector”,
Phys.Lett.B 855 (2024) 138790.”

Մասնակցություն EIC համագործակցության աշխատանքներին

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:

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

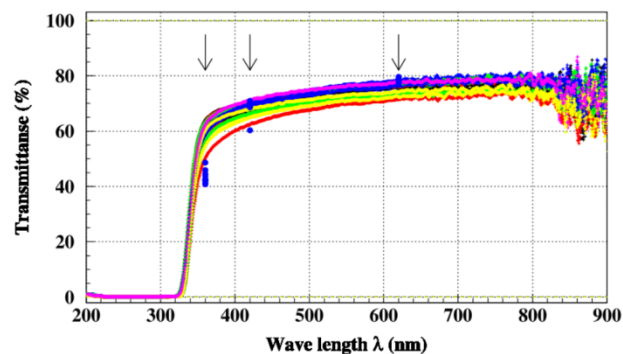
PbWO₄ բյուրեղների բնութագրերի ուսումնասիրում՝ EIC-ի կալորիմետրի նախատիպի կառուցման համար

EIC-ի կալորիմետրի շատ տեխնիկական մշակումներ դեռևս գտնվում են զարգացման փուլում, և պահանջում են լրացուցիչ ուսումնասիրություններ: EIC-ի համագործակցության խմբերը PbWO₄ բյուրեղներից էլեկտրամագնիսական կալորիմետրի (EmCal) մի քանի նախատեսակներ են կառուցել (3×3, 5×5 և 12×12 շարվածքի): Մենք մասնակցել ենք Jlab-ում 3×3 և 5×5 շարվածքի նախատեսակների ուսումնասիրություններին, միաժամանակ ԱԱԳԼ-ում կառուցելով նախատիպի 4×4 տարբերակ:

Նախատիպի կառուցման համար ձեռք են բերվել անհրաժեշտ PbWO₄ բյուրեղները, որոնք նախօրոք ստուգվել են մեր կողմից ընթացիկ տարում: Այս մեթոդիկ աշխատանքը ներառել է.

- Բյուրեղների որակի և չափսերի ստուգում,
- Բյուրեղների օպտիկական թափանցիկության չափումներ,
- Բյուրեղից գրանցված լույսի էլքի չափումներ:

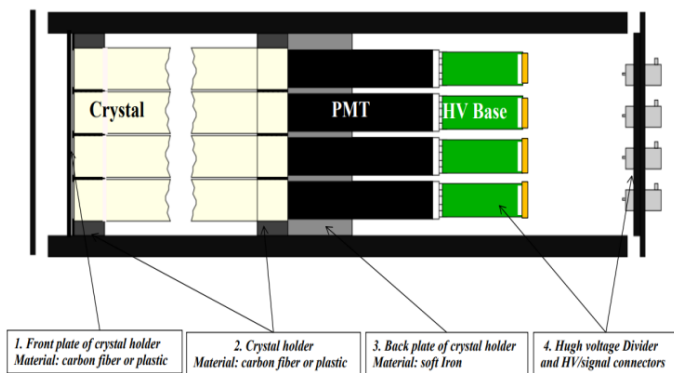
Չափումները կատարվել են օգտվելով ԱԱԳԼ-ի դետեկտորների և մեթոդիկ ուսումնասիրությունների լաբորատոր սենյակի սարքավորումներից: Մասնավորապես, բյուրեղների չափսերը ստուգվել են բարձր ճշգրտության տրամաչափի (ճշգրտությունը 50 մկմ-ից լավ) և Mitutoya Electric թվային բարձրության (ճշգրտությունը 3-5 մկմ) չափիչի միջոցով, մակերեսները գննվել են DeltaPix թվային մանրադիտակով, թափանցելիությունը չափվել է 402 OCEAN-ART (FLAME-S-XR1) օպտիկական սպեկտրոմետրի միջոցով (200-1025 նմ լույսի ալիքի երկարություն): Լույսի էլքը որոշվել է կոսմիկական ճառագայթներով չափումներից, օգտվելով տվյալների հավաքման էլեկտրոնային համակարգից:



PbWO₄ բյուրեղների թափանցելիության չափման արդյունքները: Մլաքներով նշված են արտադրողի (Crytur) կողմից տրամադրված տվյալների ալիքի երկարությունները:

EmCal կալորիմետրի նախատիպի կառուցում և ուսումնասիրություններ

ԱՍԳԼ-ում նախագծվել և կառուցվել է 4x4 շարվածքով, $PbWO_4$ բյուրեղներով կալորիմետրի նախատեսակ: Այն մանրամասն ստուգվում կոսմիկական մյուոններով, հետագայում կստուգվի նաև LUE-75 էլեկտրոնային և C18 ցիկլոտրոնի պրոտոնային փնջերով: Նախքան նախատիպի հավաքումը պատրաստվել են բոլոր մեխանիկական մասերը, չափվել և ընտրվել են $PbWO_4$ 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:

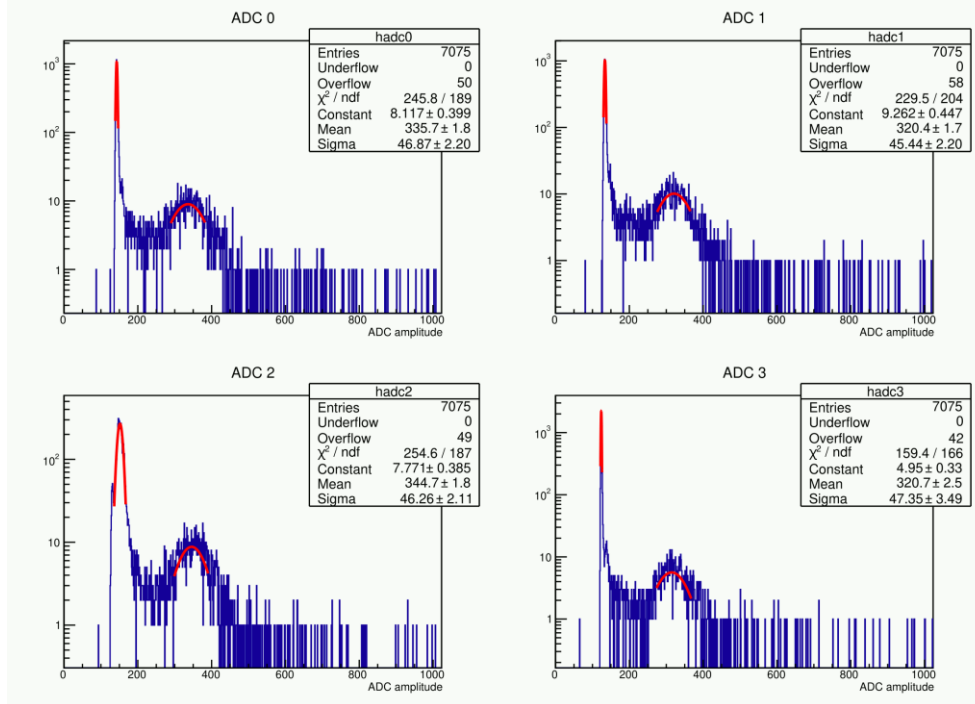
Բյուրեղների կողային մակերեսները փաթաթված են բարձր որակի ESR անդրադարձիչով և սև լույսամեկուսիչ Tedlar թղթով: Երկու ճակատային բաց մակերեսներից մեկը օպտիկական քուլով հաված է R4125 տիպի ֆոտոէլեկտրոնային բազմապատկիչին, իսկ դիմացինը օգտագործվելու է LED-լույսային հսկման համակարգի համար: Բյուրեղները ֆիքսված են 3D տպիչով պատրաստված 2 պլաստիկ ցանցերով՝ մեկը ճակատային, իսկ մյուսը բյուրեղի վերջնամասում: Վերջինիս հաջորդում է 16 անցքով ՖԷԲ-ները կրող երկաթյա մասը: ՖԷԲ-ները պատված են էլեկտրա-մեկուսիչ թղթով և մագնիսական էկրանավորման μ -մետաղյա թիթեղով:

Նախատիպը տեղակայված է լուսամեկուսիչ մետաղյա արկղում: Արկղի ետևի պատին են ամրացված բարձր լարման և ազդանշանային մալուխների 16 միացումները: Դետեկտորը սնուցվում է CAEN SY5577LC տիպի բարձր լարման աղբյուրից:

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 կողի 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 մյոններից տրիգեր ձևավորելու համար օգտագործվել է երկու միանման սցինտիլյացիոն հաշվիչներ՝ տեղակայված դետեկտորից վերև եւ ներքև: Այս հաշվիչների ազդանշաններն, անցնելով 20 mV շեմով “CAEN 16 Channel N843 CFD” մոդուլը, ձևավորում են 40 ns տևողության NIM ստանդարտի ազդանշաններ, որոնք հաջորդ “N455 Logic Unit” համընկման մոդուլում առաջացնում են 120 ns լայնության դարպաս (Gate)՝ QDC լիցք-թվային փոխարկիչի համար:



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

Մասնակցություն գիտաժողովներին

Խմբի անդամները մասնակցել են C սրահի, SIDIS համագործակցության ամեն շաբաթյա, NPS և CPS համագործակցությունների երկշաբաթյա ժողովներին, JLab-ի նոր գիտափորձերի առաջարկների քննարկման PAC51 նիստերին, ամենամյա JLUG, Hall A/C

շաբաթական ժողովներին, Jlab at 24 GeV energy, JLab with positron beam համաժողովներին, EIC-ի ընդհանուր և նրա կալորիմետրիայի խմբի աշխատանքներին և շաբաթական գիտաժողովներին, ինչպես նաև EIC Calorimetry, EIC Detector-1, EIC software պարբերական ժողովներին:

Ռեալ և վիրտուալ ֆոտոններով միջուկների ճեղքումը և ֆրագմենտացիա

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

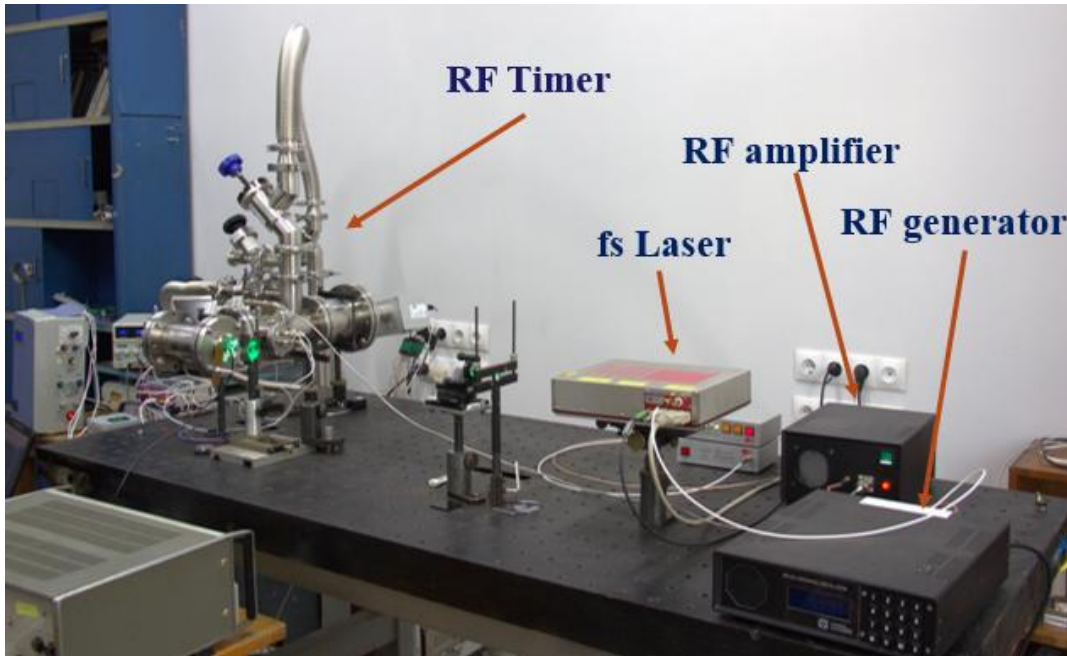
Կատարողներ՝ Ա. Մարգարյան, Հ. Վարդանյան, Ս. Աբրահամյան, Հ. Էլբակյան, Ռ. Այվազյան, Գ Սուդյան, Հ. Ռոստոմյան, Ա. Սաֆարյան, Հ. Գևորգյան, Ա.Կակոյան

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 հնրավորություններ», 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. Պայմանագրային (թեմատիկ) Ֆինանսավորման 2021թ. մրցույթի դրամաշնորհ, ծածկագիր՝ 21T-2J133, վերնագիր՝ «Պիկովայրկյանային ճշտություններով նանոկառուցվածքների քվանտային վիճակների կյանքի տևողությունների սենսոր», ղեկավար՝ Վանիկ Կակոյան, կատարողներ՝ Ամուր Մարգարյան, Մամվել Մայիլյան, Արսեն Ղալումյան և Աննա Սաֆարյան, ֆինանսական ծավալներ՝ 22,500.0 հազար ՀՀ դրամ, կատարման ժամկետ՝ 01.10.2022թ. - 01.10.2024թ.:
3. 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.:

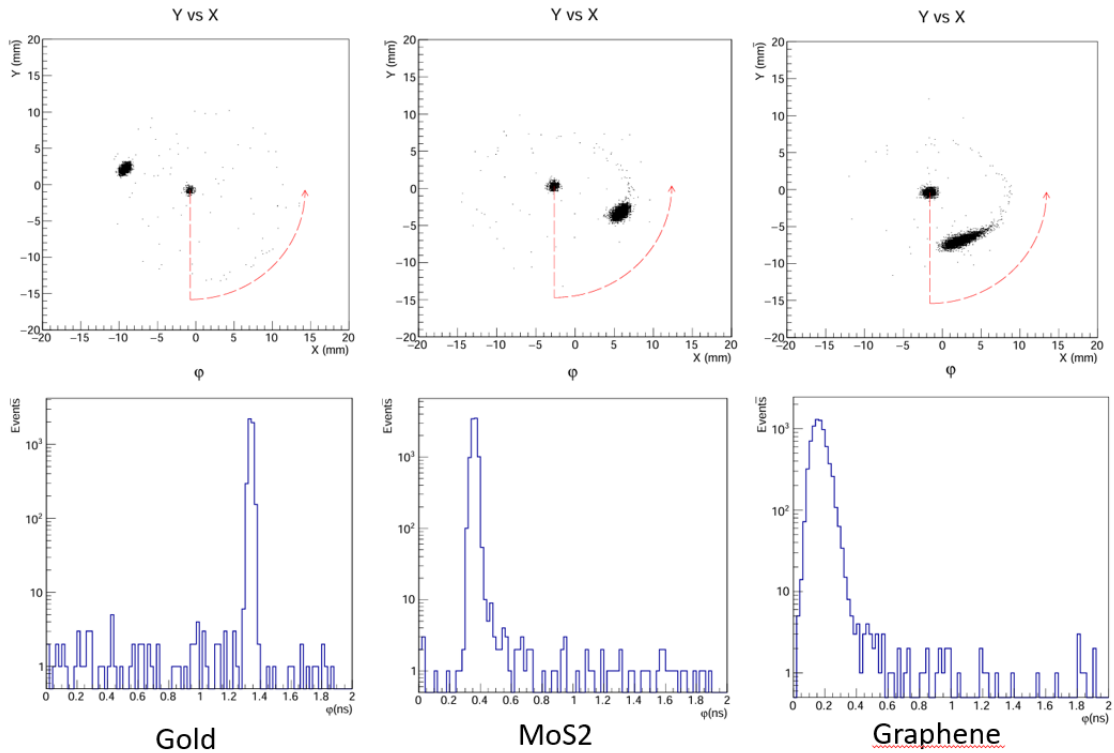
Շարունակվել են ՌՀ թայմերի տեսական և փորձարարական ուսումնասիրությունները: Հիմնական փորձարարական ուսումնասիրությունները կատարվում են լաբորատորիայում, NKT Origami ֆեմտովայրկյանային լազերի հետ սինխրոնիզացված

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 ազդեցությունը դետեկտորի ժամանակային լուծողունակության վրա:



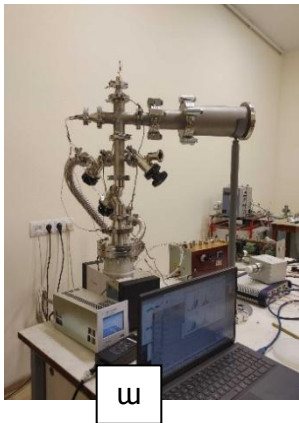
Նկ. 1. Ֆեմտովայրկյանային լազերի հետ սինխրոնիզացված հատուկ ստեղծված ժամանակաչափ համակարգի ընդհանուր պատկերը

Մասնավորապես, ուսումնասիրվել են տարբեր տեսակի նանոկառուցվածքների ֆոտոէմիսսիայի ժամանակային հատկությունները, ցույց է տրվել, որ որոշ երկչափ (2-D) նյութերի համար, մասնավորապես գրաֆենի, նկատվում է մինչև նանովայրկյաններ տևող ֆոտոէմիսսիայի ուշացում: Նկար 2-ում բերված են փուլային և ժամանակակային բաշխումներ 3 նյութերի համար՝ ձախից աջ. ոսկու բարակ շերտ, մոլիբդենի դիսուլֆիդ (MoS₂), գրաֆեն: Հստակ երևում է, որ ոսկու համար ֆոտոէմիսսիան, չափման ճշտությամբ, ակնթարթային է, մինչդեռ MoS₂-ի և գրաֆենի համար կան ուշացող դեպքեր, ինչը կարելի է մեկնաբանել որպես տաք կրիչների կյանքի տևողության բաշխումներ:

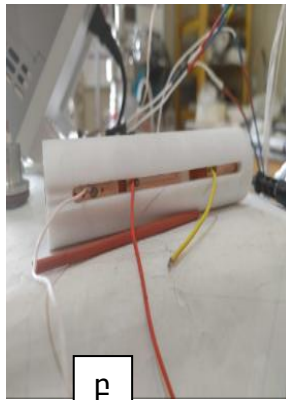


Նկ. 2. Տարբեր նյութերի համար ֆոտոէմիսիայի չափված ժամանակային բաշխումներ

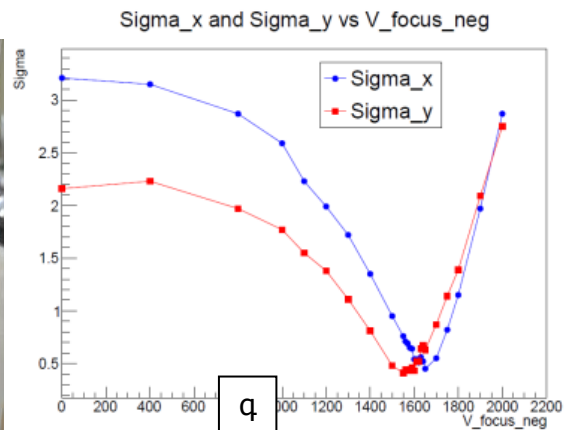
Միննույն ժամանակ կառուցվել է առանձին համակարգ (Նկար 2), որի միջոցով կատարվում են դետեկտորի ներքին կոմպոնենտների ուսումնասիրություն և կատարելագործում: Մասնավորապես, ուսումնասիրվում է սեփական մշակված ֆոկուսացման համակարգը (Նկար 3), որը թույլ կտա բարձրացնել երկրորդական էլեկտրոնների գրանցման էֆեկտիվությունը:



ա



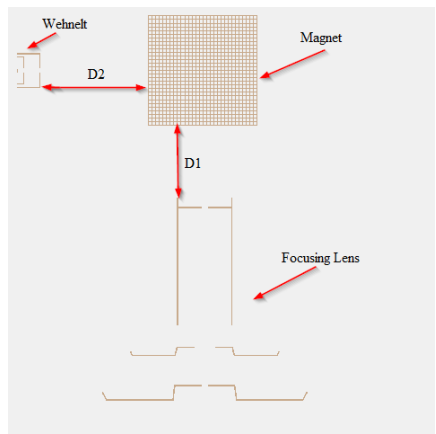
բ



գ

Նկ. 3. ա) նոր փորձարարական սարքավորում՝ ՌՀ թայմերի առանձին կոմպոնենտերը ուսումնասիրելու համար, բ) սեփական էլեկտրաստատիկ ուսպնյակի նմուշ, գ) այդ նմուշի չափված ֆոկուսացման ցուցանիշներ:

Կատարվել են դետեկտորի մանրամասն հաշվարկներ, օգտագործելով SIMION 8 փաթեթը: Դետեկտորի սխեմատիկ նկարը՝ նշված հիմնական էլեմենտներով, պատկերված է Նկար 4-ում: Խնդիր է դրվել օպտիմիզացնել համակարգը, գտնելով դրա հիմնական պարամետրերի, ինչպիսիք են ֆոկուսացման ճշտությունը և երկրորդական էլեկտրոնների գրանցման էֆեկտիվությունը, կախվածությունը դետեկտորի երկրաչափական պարամետրերից: Նկարում Wehnelt՝ 3 էլեկտրոդից բաղկացած



Նկ. 4. Դետեկտորի սխեմատիկ պատկերը, ներբեռնված SIMION -ից

երկրորդական էլեկտրոնների արագացման էլեմենտն է, որի նկատմամբ $D2$ հեռավորության վրա տեղադրված է հաստատուն մագնիս (Magnet): Արագացված էլեկտրոնները, թեքվելով մագնիսական դաշտում 90° աստիճանով, ֆոկուսացվում են մագնիսից $D1$ հեռավորության վրա տեղադրված էլեկտրաստատիկ ուսպնյակով (Focusing Lens):

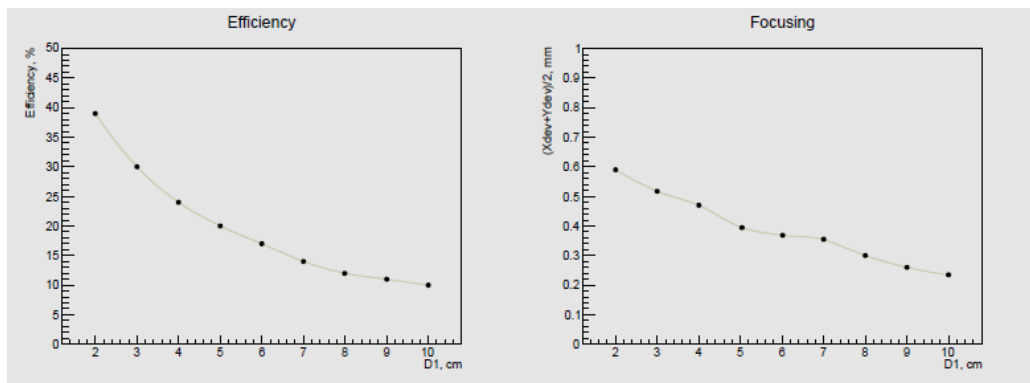
Նկար 5-ում և Նկար 6-ում բերված են հաշվարկված էլեկտրոնների գրանցման էֆեկտիվության և ֆոկուսացման կախվածությունները $D1$ և $D2$ հեռավորություններից որոշ դեպքերի համար:

Ինչպես երևում է հաշվարկներից, հեռացնելով ուսպնյակը, կարելի է ստանալ ավելի ճշգրիտ ֆոկուսացում, սակայն միևնույն ժամանակ, ընկնում է էլեկտրոնների գրանցման էֆեկտիվությունը: Այսպիսով, կախված դրված խնդրից, կարելի է նախընտրություն տալ ֆոկուսացմանը կամ էֆեկտիվությանը, ընտրելով

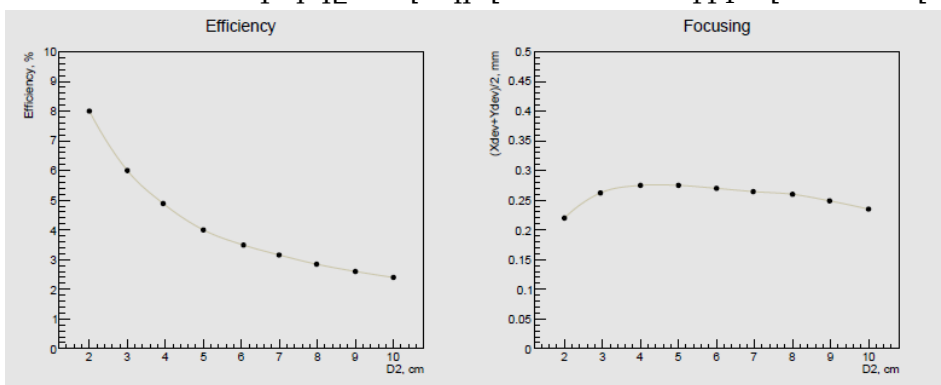
համապատասխան D1 հեռավորությունը: Մյուս կողմից, Wehnelt համակարգի տեղադրման հեռավորությունը քիչ է ազդում ֆոկուսացման վրա, մինչդեռ էֆեկտիվությունը իջնում է այն հեռացնելիս:

Կատարվել են հաշվարկներ նոր ուսպնյակի համար, որը կաշխատի առանց կոլիմացիայի և թույլ կտա ստանալ ավելի մեծ էֆեկտիվություն: Մասնավորապես, մանրամասն ուսումնասիրվել է երեք գլաներից բաղկացած էյնզել տեսակի ուսպնյակը: Այս պահին, հաշվարկների արդյունքները համեմատվում են փորձարարական տվյալների հետ՝ ստացված նշված հատուկ կառուցված թեստային համակարգի վրա:

Կատարվել են մեծ չափսով ֆոտոկաթոդի աշխատանքի մոդելավորումներ, ընտրվել է կաթոդի սֆերիկ ձև գլանաձև էկրանով (Նկար 6 ձախ): Այն բախկացած է 5սմ չափսի ֆոտոկաթոդից, դրանից 2 մմ հեռավորության վրա տեղադրված կոնցենտրիկ



Նկ. 5. Էֆեկտիվություն և ֆոկուսացում կախված D1 հեռավորությունից: Wehnelt համակարգը տեղադրված է D2=1սմ ֆիքսված հեռավորության վրա:



Նկ. 6. Էֆեկտիվություն և ֆոկուսացում կախված D2 հեռավորությունից: Ուսպնյակը տեղադրված է D10=1սմ ֆիքսված հեռավորության վրա:

Էլեկտրոնների համար թափանցիկ էլեկտրոդից և գլանաձև էկրանից: Ֆոտոէլեկտրոնները արագանում են նշված 2 մմ տարածության վրա մինչև 2.5 կԷՎ և կենտրոնանում 5 սմ հեռավորության վրա գտնվող քրոսովերում: Այս տարբերակի համար սպասվող ժամակային դիսպերսիան կազմում է մոտ 5 պվ, իսկ դինոդի վրա ֆոկուսացված փնջի չափը՝ մոտ 0.4մմ, ինչը լիովին բավարարում է դրված խնդիրները իրականացնելու համար (Նկար 6 աջ):

Ծանր ապակուց կաթոդի հիմքը պատրաստման փուլում է:

Կատարելագործվել են տվյալների մշակման ծրագրերը, թույլ տալով սքանավորված էլեկտրոնների չափված դիրքից Գրաֆիկական Օգտագործողի Ինտերֆեյսի (GUI) միջոցով, ստանալ անհրաժեշտ ժամանակային ինֆորմացիան:

Խմբի անդամները մասնակցել են հետևյալ գիտաժողովներին.

1. S. Zhamkochyan, “RF Timer Based Picosecond Precision Heavy Ion Detector”, International Symposium on Nuclear Science (ISNS-24), Sofia, Bulgaria, զեկույց
2. S. Abrahamyan, “RF timer based time-of-flight spectrometer for the measurement of the absolute energy of alpha particles”, International Symposium on Nuclear Science (ISNS-24), Sofia, Bulgaria, զեկույց
3. S. Zhamkochyan, “AANL-DONES: Collaboration Possibilities”, DONES Users workshop, Zagreb, Croatia, զեկույց
4. S. Zhamkochyan, “Time Resolved Photoemission Spectrometer”, 12th International Symposium Optics & its Applications (OPTICS-12), Yerevan, Armenia, զեկույց

2024թ հոդվածներ.

S. Zhamkochyan et al., “Advanced picosecond precision Radio Frequency Timer”, JINST 19 C02014 (2024)

Գիտաժողովների մասնակցություն (Գևորգյան Հայկ)

1. Hayk L. Gevorgyan* and N. V. Vitanov, “Deterministic Generation of Arbitrary Ultrasmall Excitation of Quantum Systems by Composite Pulse Sequences” (regular talk).

2. Hayk L. Gevorgyan* and N. V. Vitanov, “Narrowband and Passband Composite Rotational Quantum Gates” (poster)

1) NanoPQIQO (Nanomaterials, Photonics, Quantum Information, Quantum Optics), within the H2020 NanoQIQO project (Grant Agreement ID: 952335), May 13 – 17, 2024, Yerevan, Armenia

3. Anahit H. Shamamian*, Lekdar A. Gevorgyan, and Hayk L. Gevorgyan, “Gain coefficient of stimulated radiation in a system of two undulators” (poster)

<https://agenda.infn.it/event/39892/abstracts/29484/>

4. Hayk L. Gevorgyan*, Koryun L. Gevorgyan, Anahit H. Shamamian, and Lekdar A. Gevorgyan, “Line shape of soft photon radiation generated at zero angle in an undulator with a dispersive medium” (poster)

<https://agenda.infn.it/event/39892/abstracts/29489/>

5. Hayk L. Gevorgyan* and Lekdar A. Gevorgyan, “Coherent radiation of modulated positron bunch formed in crystalline undulator” (poster)

<https://agenda.infn.it/event/39892/abstracts/29497/>

2) The 10th International Conference “Charged & Neutral Particles Channeling Phenomena”, Sep 8 – Sep 13, 2024, Riccione, Italy

6. Hayk Gevorgyan*, “Ultrabroadband, ultranarrowband and ultrapassband composite polarisation half-wave plates, ultrabroadband composite polarisation pi-rotators and on the quantum-classical analogy” (poster)

<https://indico.cern.ch/event/1400449/attachments/2867200/5177631/OPTICS-2024-Program.pdf>

3) The 12th International Symposium “Optics & its applications” (OPTICS-12), Oct 15 – Oct 19, 2024, Yerevan, Armenia

4) The Evolution of complexity and statistical physics, Yerevan, Armenia, July 1 – July 4, 2024

Գիտական աշխատանք ուսանողների հետ

Արմեն Եպիսկոպոսյան, ԵՊՀ, բակալավր 3-րդ կուրս

Քրիստինե Երկնափեշյան, ՀՊՏՀ, բակալավր 4-րդ կուրս

Տպագրված աշխատանքներ

1. Ultrahigh-fidelity composite quantum phase gates

HL Gevorgyan, NV Vitanov

Physical Review A 109 (5), 052625

Անստիպ աշխատանքներ arxiv-ում

2. Ultrabroadband, ultranarrowband and ultrapassband composite polarisation half-wave plates, ultrabroadband composite polarisation pi-rotators and on the quantum-classical analogy HL

Gevorgyan arXiv preprint arXiv:2406.11055 (submitted to Optics Express, under the review process).

3. Narrowband and passband composite rotational quantum gates,

HL Gevorgyan arXiv preprint arXiv:2412.00939 (submitted to Physical Review A).

4. Line shape of soft photon radiation generated at zero angle in an undulator with a dispersive medium, HL Gevorgyan, KL Gevorgyan, AH Shamamian, LA Gevorgian,

arXiv preprint arXiv:2412.10462 (will be submitted to NIM A till 10th Jan 2025).

5. Coherent radiation of modulated positron bunch formed in crystalline undulator

HL Gevorgyan, LA Gevorgian, arXiv preprint arXiv:2412.10205 (will be submitted to NIM A till 10th Jan 2025).

6. Dielectric permittivity of electron plasma with laser beat waves, AH Shamamian, LA Gevorgian, HL Gevorgyan, arXiv preprint arXiv:2407.08791 (will be submitted to Physics of Plasmas)

7. Gain coefficient of stimulated radiation in a system of two undulators, AH Shamamian, HL Gevorgyan, LA Gevorgian, AShamamianHGevorgyanLGevorgian_Channeling_2024.pdf

(will be submitted to NIM A till 10th Jan 2025).

8. Arbitrary polarization retarders and polarization controllers, constructed from sequences of half-wave and quarter-wave plates, HL Gevorgyan, AA Rangelov (will be submitted for publication)

9. Chapter 11: Introduction to Quantum Imaging, Quantum Image Processing and Quantum Control In the Book: Advances in Image Processing, Reliability, and Artificial Intelligence

Hayk L. Gevorgyan and Prashant Johri (must be revised, will be published in Elsevier)

Լազերային համակարգերի խումբ

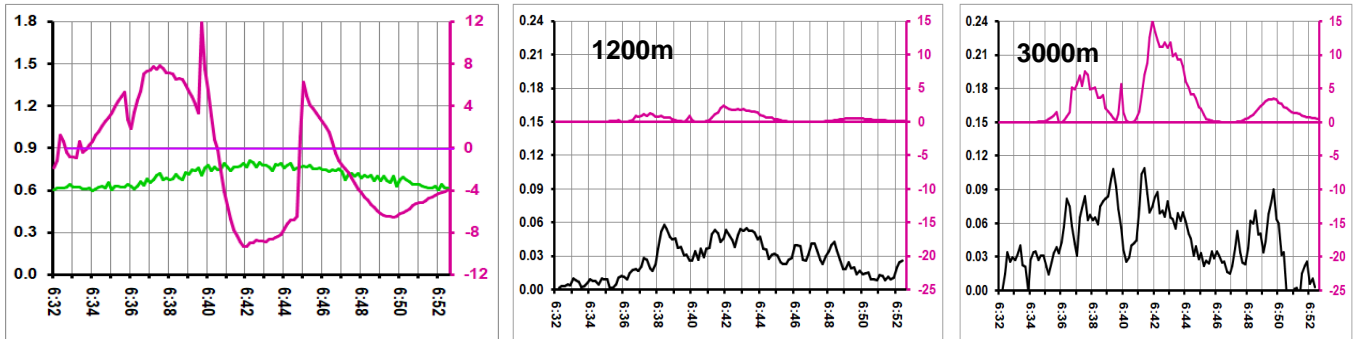
ղեկավար՝ Ա. Ղալումյան, կատարող՝ Վ. Ղազարյան

Լազերային համակարգերի խմբի կողմից 2024 թ.-ի ընթացքում կատարվել են հետևյալ աշխատանքները.

Շարունակվել են ԼԻԴԱԸ համակարգի միջոցով նախկինում կատարած չափումների տվյալների թվային մշակման աշխատանքները, ինչպես նաև համապատասխան տվյալների մշակման մեթոդների զարգացման աշխատանքները:

Էլեկտրական դաշտի լարվածության չափումը կատարվել է էլեկտրական դաշտում լազերային ճառագայթի գծային բևեռացման փոփոխության հետազոտման մեթոդով (Կեռ էֆֆեկտ):

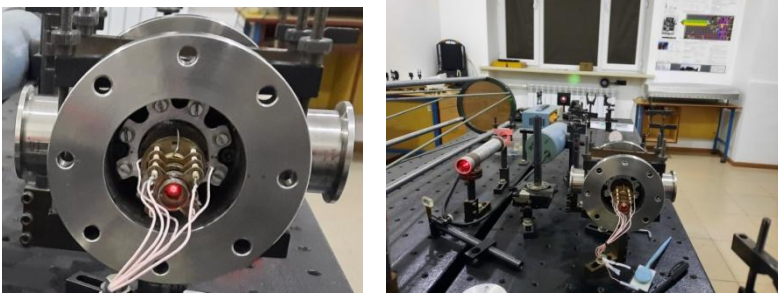
Առաջին նկարում բերված են չափման ժամանակահատվածում ամպ-Երկիր էլեկտրական դաշտի (-10կՎ/մ - +8կՎ/մ) և լազերային ճառագայթի էներգիայի փոփոխության կորերը:



Հաջորդ երկու նկարներում բերված են տարբեր հեռավորությունների համար կատարված և վերամշակված չափումների արդյունքները: Վերևի կորերը համապատասխանում են սպասվելիք արդյունքներին, իսկ ներքևի կորերը՝ չափման արդյունքներին:

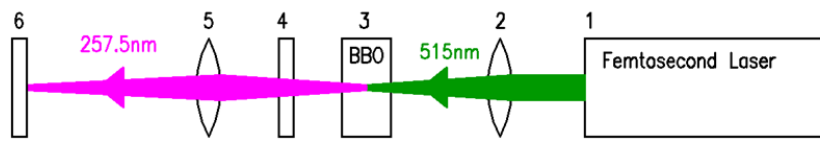
Աշխատանքները կատարվել են ԱՍԳԼ - CTA(DES) Cherenkov Telescope Array CTA(DES) համագործակցության շրջանակներում:

Շարունակվել են աշխատանքները International Science and Technology Center (ISTC) AM-2803 ծրագրի սահմաններում: Հավաքվել և համալրվել է լազերային լաբորատոր սարքավորում, որի միջոցով համալրվել է էլեկտրոնային փնջի ֆոկուսացնող համակարգը:

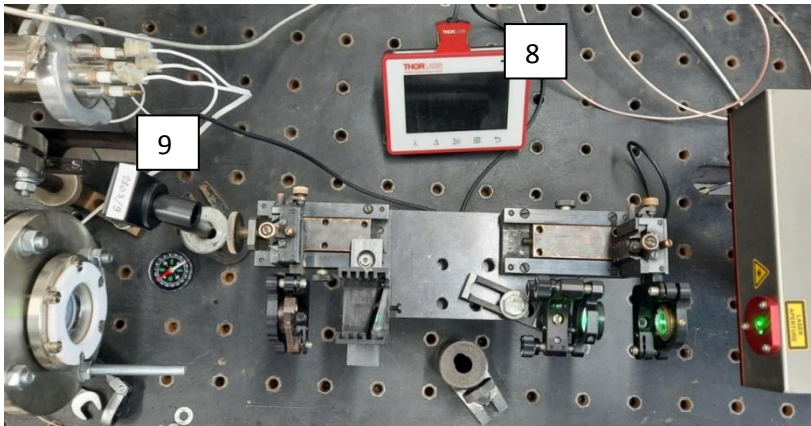


Հավաքվել և համալրվել է լազերային/օպտիկական համակարգը տարբեր ֆոտոկաթոդներից ֆեմտովայրկյանային էլեկտրոնային փնջեր ստանալու համար: Այն բաղկացած է լազերից 1, որը գեներացնում է ֆեմտովայրկյանային 166Ֆվ տևողության, 515նմ ալիքի երկարության օպտիկական իմպուլսներ 40ԳՀց կրկնման հաճախությամբ:

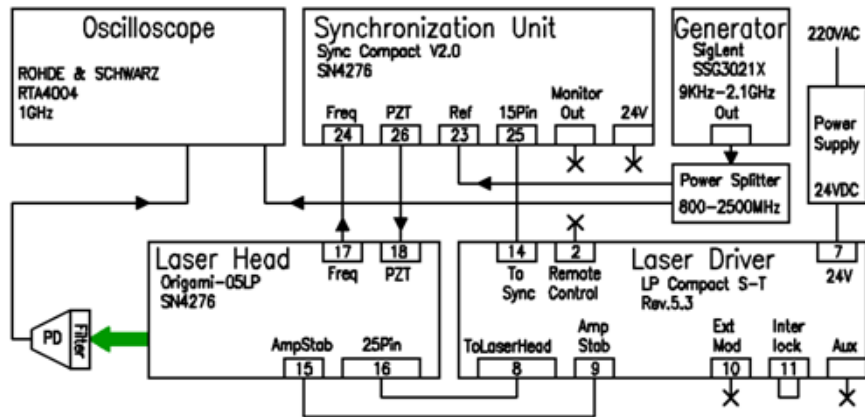
Ճառագայթի ալիքի երկարությունը BBO ոչ գծային բյուրեղի 3 միջոցով փոխակերպվում է 515նմ-ից 257.5նմ-ի և ֆոկուսացվում ֆոտոկաթոդի վրա:



Լազերային/օպտիկական համակարգը (բերված է ներքևում) համալրվել է լազերային ճառագայթի հզորության չափիչ սարքով 8 և 9.



Փորձեր են կատարվել լազերային իմպուլսների և ընդհանուր համակարգի բարձր ռադիո-հաճախության հետ սինխրոնիզացնելու ուղղությամբ ըստ լազերի շահագործման ձեռնարկի, բացասական արդյունքով (տես ներքևի նկարը):



Բացասական արդյունքը, լազերը մշակողների պնդմամբ, համապատասխան գներատոր չունենալն է: Ամեն դեպքում գտնվեց սինխրոնիզացնելու այլընտրանքային մեթոդ, որի շնորհիվ շարունակվում են աշխատանքները:

Աշխատանքները մասամբ աջակցվել են հետևյալ կազմակերպությունների և գիտական ծրագրերի կողմից International Science and Technology Center (ISTC) in the framework of scientific project AM-2390, the Science Committee of the Republic of Armenia (Grants: 21T-2J133, 20TTCG-1C011,18Ap_2b05 and 21APP-2B012), the ARPA Institute, the ANSEF (Grant hepex-4954), the UK Science and Technology Facilities Council (Grants: ST/V00106X/1, ST/S00467X/1), the JSPS KAKENHI (Grants: 18H05459, 17H01121).

Աշխատանքները շարունակվում են AM-2803 ծրագրի աջակցությամբ:

2024 թ. տպագրված աշխատանքները

1. S. Zhamkochyan, V., Kakoyan, S. Abrahamyan, H. Elbakyan, G. Ayvazyan, R. Ayvazyan, A.Ghalumyan, A. Kakoyan, S. Mayilyan, A. Papyan - "Advanced picosecond precision Radio Frequency Timer". Journal of Instrumentation, 2024, 19 (02), C02014. DOI: 10.1088/1748-0221/19/02/C02014
2. CTA Consortium, including A. Ghalumyan. "Prospects for a survey of the galactic plane with the Cherenkov Telescope Array". Journal of Cosmology and Astroparticle Physics 2024(10). DOI: 10.1088/1475-7516/2024/10/081
3. CTA Consortium, including A. Ghalumyan. "Prospects for γ -ray observations of the Perseus galaxy cluster with the Cherenkov Telescope Array". Journal of Cosmology and Astroparticle Physics. 2024(10). DOI: 10.1088/1475-7516/2024/10/004
4. CTA Consortium, including A. Ghalumyan. "Dark matter line searches with the Cherenkov Telescope Array" Journal of Cosmology and Astroparticle Physics 2024(07). DOI: 10.1088/1475-7516/2024/07/047.

Գիտաժողովներ

1. S. Zhamkochyn et al. – “RF Timer Based Picosecond Precision Heavy Ion Detector”, International Symposium on Nuclear Science (SNS-24) Բոստոն, 9-13 սեպտեմբեր, 2024
2. V. Kakoyan, A. Aprahamyan, Simon Zhamkochyan et al. - Time Resolved Photoemission Spectromete”, 12th International Symposium “Optics & its applications”. (OPTICS-12) Armenia, 15-19 October, 2024
3. International Symposium on Nuclear Science (SNS-24) - S. Abrahamyan et al. - RF timer based time-of-flight spectrometer for the measurement of the absolute energy of alpha particles, Բոստոն, 9-13 սեպտեմբեր, 2024.
4. A. Margaryan, A. Aprahamian, V. Kakoyan et al -Time Resolved Photoemission Spectrometer, XVI International Symposium on Self-propagating High-temperature Synthesis (SHS-2024). Armenia, 9-13 September, 2024

Նանկատուցվածքների և նանոնյութերի ուսումնասիրություններ

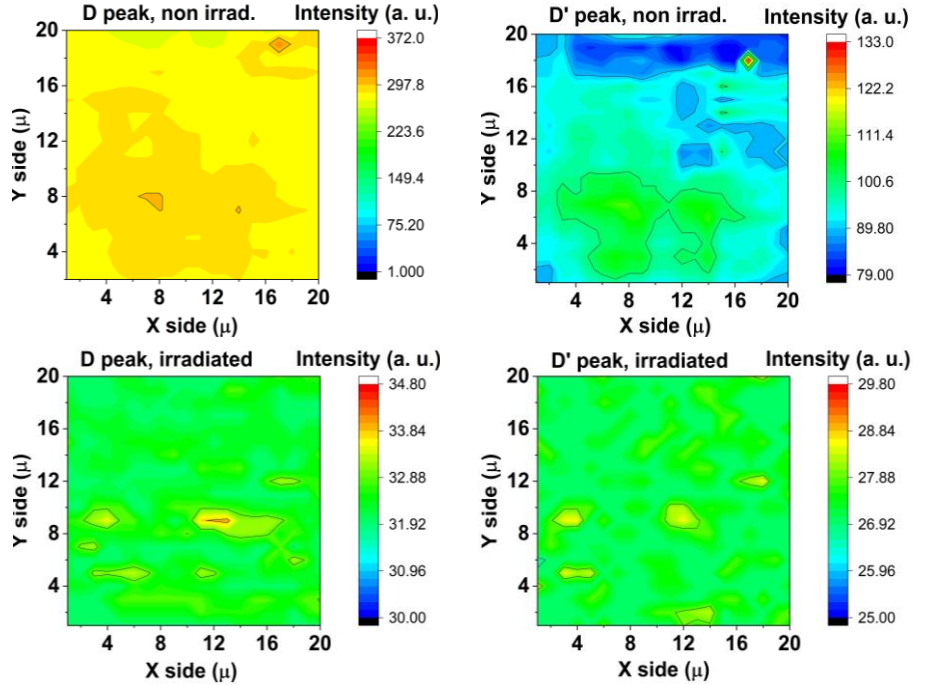
Ղեկավար՝ ֆիզ.մաթ.գիտ.թեկնածու Ն. Մարգարյան

Հաշվետու ժամանակահատվածում իրականացվել են մեծածավալ հետազոտություններ, որոնք միտված են եղել շերտերի տարբեր քանակներով գրաֆենային թաղանթների սիթեզին ու իոնական հեղուկներով լեգիրացմանը, սինթեզված թաղանթների բազմակողմանի հետազոտությանն և վերջիններիս հիմքով ջերմային ճառագայթման քողարկման համար նախատեսված թաղանթների պատրաստմանը: Մասնավորապես իրականացվել են բազմաշերտ գրաֆենի սիթեզման աշխատանքներ հեղուկ փուլային շերտազատման և պլազմային հարստացմամբ քիմիական գազափուլային նստեցման մեթոդներով: Հեղուկ փուլային շերտազատման եղանակով ստացված թաղանթները սինթեզվել են ացետոնի և իմիդազոլիումի տարբեր աղերի հիմքով իոնական հեղուկների միջավայրերում: Հետազոտվել է հեղուկ փուլային շերտազատման ընթացքում առաջացող կավիտացիոն ալիքների ներգործությունը միջավայրում առկա մոլեկուլների և ֆունկցիոնալ խմբերի վրա, ինչպես նաև վերջիններիս ներգործությունը բուն շերտազատման պրոցեսի վրա: Բացահայտվել է, որ շերտազատմանը զուգահեռ տարբեր մոլեկուլներ, ֆունկցիոնալ խմբեր ու իոններ ներթափանցում են բազմաշերտ գրաֆենի միջշերտային տարածություն և առաջ բերում ֆիզիկական և/կամ քիմիական լեգիրացվածություն: Այս երևույթը պայմանավորված է ուլտրաձայնային ալիքների ներգործությամբ, որոնք շերտազատման միջավայրում առաջացնում են ճնշման պարբերականորեն փոփոխվող գրադիենտ: Նկատվել է, որ կախված իոնական հեղուկի ընտրությունից, կարելի է ստանալ ինչպես n-տեսակի

հաղորդականության հանգեցնող լեգիրացում, այնպես էլ, p-տիպի հաղորդականության հանգեցնող լեգիրացվածություն: Նկատվել է, որ վերը շարադրված երևույթով պայմանավորված տեղի է ունենում գրաֆենի շերտերի կարևորագույն բնութագրերից Ֆերմիի մակարդակի տեղաշարժեր: Մասնավորապես, n-տեսակի լեգիրացման դեպքում Ֆերմիի մակարդակը բարձրանում է դեպի հաղորդականության գոտի: Այդ դեպքում այդ մակարդակի հեռավորությունը զրոյական մակարդակից լինում է EF: Այդ դեպքում 2 EF և ավելի փոքր էներգիայով միջգոտիական անցումները արգելափակվում են, քանի որ ըստ Պաուլիի սկզբունքի միևնույն վիճակում կարող են գտնվել առավելագույնը երկու էլեկտրոններ՝ այն էլ հակուղղված սպիններով: Արդյունքում 2 EF էներգիայից փոքր էներգիայով ֆոտոնները չեն կլանվում գրաֆենի շերտերի կողմից: Հետևաբար կառավարելով լեգիրացումը հնարավոր է եղել կառավարել գրաֆենի շերտերի օպտիկական հատկությունները: p-տիպի լեգիրացվածության դեպքում Ֆերմիի մակարդակն իջնում է վալենտականության գոտի: Արդյունքում վալենտականության գոտում բացարձակ արժեքով |EF|-ից փոքր էներգիայով վիճակները էլեկտրոններով զբաղեցված չեն, ինչի արդյունքում էլ այդ վիճակներից դեպի հաղորդականության գոտի անցումները արգելված են: Հետևաբար 2|EF|-ից փոքր էներգիայով ֆոտոնները դարձյալ չեն կլանվում: Մյուս կողմից էլ, համաձայն Կիրիոֆի օրենքի, կանման գործակիցը և ճառագայթաունակությունն իրար հավասար են: Հետևաբար վերը նկարագրված երևույթի արդյունքում հնարավոր է լինում կառավարել գրաֆենային շերտերից ենթակարմիր տիրույթի ճառագայթումը:

Պատրաստված բոլոր նմուշներն համալիր կերպով հետազոտվել են և հետազոտվում են: Մասնավորապես իրականացվել են հետազոտություններ Ֆուրյե ձևափոխմամբ ենթակարմիր սպեկտրոսկոպով (FTIR), ռամանյան մանրադիրակ սպեկտրոմետրով (Նկ. 1-ում այդ հետազոտություններից ընդամենը մի օրինակ է), ատոմաուժային և էլեկտրոնային մանրադիտակներով, միջուկամագնիսական ռեզոնանսի սարքավորմամբ և զետա պոտենցիալի սարքավորմամբ: Էլեկտրոնային մանրադիտակով հետազոտությունները իրականացվել են նաև EDXS մեթոդով, ինչը թույլ է տվել պատկերել գրաֆենին լեգիրացնող ատոմների տարածական բաշխվածությունը և տոկոսը: Ռամանյան հետազոտությունների դեպքում նույնպես կիրառվել է պատկերագրում, ինչը թույլ է տվել դիտարկել գրաֆենի շերտերի այն հատվածները, որտեղ լեգիրացման արդյունքում կա պիկերի շեղում: Բանն այն է, որ այդ շեղումները ուղիղ կապ ունեն Ֆերմիի մակարդակի տեղաշարժերի հետ: Հետևաբար հնարավոր է եղել առավել խորացված կերպով իրականացնել գրաֆենի օպտիկական հատկությունների վրա լեգիրացման ներգործության վերլուծություն:

Հաջորդիվ կատարվել է սինթեզված գրաֆենային թաղանթների Վոլտ-Ամպերային բնութագրերի վրա լեզիրացման հետազոտություններ և այդ հետազոտությունների միջոցով Ֆերմիի մակարդակի տեղաշարժի վերլուծություն: Հետազոտված նմուշները ենթարկվել են պրոտոնային փնջով ճառագայթահարման: Նմուշների պրոտոնային ճառագայթումը իրականացվել է ցիկլոտրոնից դուրս հանված ճառագայթային խողովակով



Նկ. 1. Գրաֆենային շերտերի լեզիրացմամբ հարուցված դեֆեկտներին առնչվող ռամանյան քարտեզագրում՝ ճառագայթահարումից առաջ և հետո:

(C18 ցիկլոտրոն Ա. Ի. Ալիխանյանի անվան ազգային գիտական լաբորատորիայում, արտադրված է Բելգիա, IBA-ի կողմից): Ճառագայթային խողովակում ապահովված էր վակուում: Օգտագործվում է հատուկ թիրախային մոդուլ, որտեղ թիրախն ամրացվում էր օդաձնշական սեղմիչներ: Թիրախը, որում տեղադրված էր գրաֆենը փոսիկով սկավառակ էր, որը հովացվում էր առջևի մասում գտնվող հելիումի հոսքի միջոցով (հելիումը միայն դիպչում էր գրաֆենի մակերեսին) և ջրի հոսքով՝ հակառակ կողմից: Ջուրը դիպչում է միայն թիրախի պատյանին, ոչ թե գրաֆենին): Սա թույլ է տալիս վերահսկել թիրախային ջերմաստիճանը, որը չի գերազանցում 25 °C: 1×10^{15} պրոտոն/սմ² դոզան ստացվել է 500 վրկ-ում: Նմուշին հասնող ճառագայթի էներգիան եղել է 15,5 ՄէՎ: Այս էներգիան թույլ էր տալիս պրոտոններին անխոչնդոտ կերպով անցնել գրաֆենի և ենթաշերտի միջով: Ինչը պայմանավորված է վերջիններում արգելակման հզորությունների փոքր արժեքներով (6,5 կՎ/մկմ գրաֆենի համար և 17,47 կՎ/մկմ՝ պղնձե փայլաթիթեղների համար): Գրաֆենի թաղանթի և պղնձե փայլաթիթեղի նվազագույն արգելակման հզորությունը, որոնցից յուրաքանչյուրը համապատասխանաբար մոտավորապես 2 նմ և 25 մկմ հաստությամբ, կապահովի էներգիայի աննշան կորուստներ և արհամարելի փոքր ջերմային ազդեցություն: Կանգնեցնող հզորությունները հաշվարկվել են SRIM ծրագրի միջոցով: Այս ծրագրային փաթեթի

կիրառմամբ կատարվել են մեծածավալ հետազոտություններ, որոնք թույլ են տվել մշակել նմուշների ճառագայթահարման գիտափորձերի օպտիմալ պարամետրերը և վերլուծել ստացված արդյունքները: Այս արդյունքների վերաբերյալ տպագրվել է մեկ հոդված (N. Margaryan et al, 15.5 MeV proton irradiation treatment of liquid phase exfoliated graphene. *Diamond and Related Materials*, V 146, 111224 (2024)) և ևս մեկը ընդունվել է տպագրության (Hovhannes Badalyan et al, *Graphene Under Proton Irradiation: Structural and Infrared Spectral Alterations*, *Journal of Physics: conference series*):

Մեր բացահայտումները ուրվագծում են պարզ մեթոդով այնպիսի գրաֆենի թաղանթների պատրաստում, որոնք բնութագրվում են ճնշված ինֆրակարմիր կլանմամբ և թափանցելությամբ, ինչպես նաև ուժեղացված անդրադարձմամբ: Այս երևույթը առաջանում է կլանված մոլեկուլների և ֆունկցիոնալ խմբերի առկայությունից, որոնք առաջ են բերում Պաուլիի արգելափակում: Պրոտոնի ճառագայթումը 15,5 ՄեՎ-ում, 1×10^{15} պրոտոն/սմ² դոզայով, արդյունավետորեն հեռացնում է գրաֆենի շերտերից ներծծված և ներծծված մոլեկուլները՝ պահպանելով ամբողջականությունը: Ճառագայթման գործընթացը հաջողությամբ վերացնում է Պաուլիի արգելափակման էֆեկտը: Կարելի է եզրակացնել, որ հեղուկ փուլային շերտազատման արդյունքում ստացված գրաֆենի շերտերը չեն վնասվի տիեզերքում օգտագործելիս և նույնիսկ կարող են ենթարկվել դեֆեկտներից մաքրման՝ ենթադրելով դրանց հնարավոր համապատասխանությունը տիեզերական կիրառությունների համար:

Իրականացվել է հատուկ սխեմայի նախագծում, մշակում և վերլուծություն, որը ստեղծվել է ազդանշանի կառավարման համար: Որոշում է կայացվել կառավարել ազդանշանը ATmega կամ Attiny կառավարիչով (չիպով) կառավարվող PID կարգավորիչով:

Կիրառվել է Arduino հարթակը, որը հիմնված է ապարատային և ծրագրային ապահովման վրա:

Կողի մշակման համար ընտրվել է ATmega328P միկրոկառավարիչով Arduino Nano հարթակը, որը ունի 14 թվային և 8 անալոգային մուտքի/ելքի կապիչներ (պիներ) կան նաև PWM ելքեր:

Որոշում է կայացվել կառավարել ազդանշանը PID կարգավորիչով: PID հապավումը նշանակում է համամասնական, ինտեգրալ և ածանցյալ, որոնք վերահսկիչի երեք հիմնական բաղադրիչներն են: Համամասնական (P) բաղադրիչը արտադրում է ելք, որը համաչափ է ընթացիկ սխալի արժեքին: Ինտեգրալային (I) բաղադրիչը կենտրոնանում է անցյալի սխալների կուտակման վրա, իսկ ածանցյալ բաղադրիչը (D) կանխատեսում է ապագա սխալները՝ հիմնվելով սխալի փոփոխության արագության վրա.

$$U(t) = K_p e(t) + K_i \int_0^t e(\tau) d\tau + K_d \frac{de(t)}{dt}$$

$e(t)$ –ն երկու ջերմաչափների ազդանշանների տարբերությունն է,

K_p, K_i, K_d – գործակիցներ:

Գործակիցների ընտրման համար ստեղծվել է սխեմա, ըստ որի կարելի է փոխել պարամետրերը առանց ծրագրային միջամտության:

```

#include "GyverPID.h"
GyverPID regulator(0.1, 0.05, 0.01, 10); // P, I, D, dt

void setup() {
  regulator.setDirection(NORMAL);
  regulator.setLimits(0, 255);
  regulator.setpoint = 50;

  regulator.Kp = 5.2;
  regulator.Ki += 0.5;
  regulator.Kd = 0;
}

void loop() {
  int temp;
  regulator.input = temp;
  analogWrite(3, regulator.getResultTimer()); // отправляем на мосфет
}

```

Նկ. 2. «C++»-ով կոդի ներկայացում:

```

int computePID(
  float input, float setpoint,
  float kp, float ki, float kd, float dt,
  int minOut, int maxOut)
{
  float err = setpoint - input;
  static float integral = 0, prevErr = 0;
  integral = constrain(integral + (float)err * dt * ki, minOut, maxOut);
  float D = (err - prevErr) / dt;
  prevErr = err;
  return constrain(err * kp + integral + D * kd, minOut, maxOut);
}

```

Նկ. 3. Arduino-ի կոդի ներկայացում:

Կախված փոփոխական ռեգիստրների միացման պինների համարներից, կոդի մեջ կարելի է փոփոխություններ կատարել, որը կթույլատրի ամեն ցիկլում թարմացնել գործակիցների արժեքները, կախված փոփոխական ռեգիստրների ազդանշանների արժեքից: Գործակիցների արժեքները ընտրելուց հետո կարելի է նույն սխեման ստեղծել ավելի փոքր և էժան չիպի համար, առանց փոփոխական ռեգիստրների:

Զուգահեռաբար սկսվել են նաև PID կարգավորիչի կիրառմամբ խնդրի լուծմանը միտված աշխատանքներ: Դա թույլ կտա գտնել խնդրի ամենաօպտիմալ լուծումը:

Մյուս կողմից էլ իրականացվել են մեծածավալ հետազոտություններ, որոնք միտված են հետազոտելու կլանող մակերևույթների մակերևույթային տեղաբանության (տոպոլոգիայի) ներգործությունը կլանման և անդրադարձման վրա: Այս ուղղությամբ ստացված արդյունքները ուղարկվել են տպագրության (Physical Review A, V.Gareyan, N.Margaryan, Zh.Gevorkian, Nanoroughness induced anti-reflection and haze effects in opaque systems).

Այսպիսով հետազոտվել են իոնական հեղուկներով լեգիրացման և մակերևույթային տեղաբանության ներգործությունը գրաֆենի և այլ նյութերի օպտիկական հատկություններ վրա: Ստացվել են գրաֆենի գոտիական կառուցվածքի վրա իոնական հեղուկների ներգործությանն առնչվող արդիական, կարևոր

արդյունքներ, որոնք իրենցից ներկայացնում են գիտական նորույթներ: Ստացվել են նաև գրաֆենի վոլտ ամպերային բնութագրերի փոփոխմանն առնչվող նորորարական արդյունքներ: Գրվել են գրաֆենի շերտերի հատկությունները կառավարող միկրոկարգավորիչի (միկրոկոնտրոլերի) կոդեր և փորձարկվել լաբորատոր պայմաններում:

5. Բանավոր զեկույցներ միջազգային գիտաժողովներում:

- a. Optics and Its Applications (OPTICS 2012), October 15-19, 2024, Yerevan, Armenia:
- b. 28th International Conference on Raman Spectroscopy – ICORS 2024
- c. July 28 – August 2, 2024 – Rome, Italy
- d. I2DMSUMMIT 2024, November 25-28, 2024, Abu-Dhabi, UAE.
- e. III International Scientific School-Conference on Acoustophysics named after Academician A.R. Mkrtchyan (ISSCA'24) 24/06/2024 - 28/06/2024 Yerevan, Armenia.
- f. Astrofest 2024, Jermuk, Armenia.

6. Հոդվածների ցանկ

- 1) N. Margaryan et al., “15.5 MeV proton irradiation treatment of liquid phase exfoliated graphene”, *Diamond and Related Materials*, V 146, 111224 (2024).
- 2) A. A. Danghyan et al., “Determination of energy band gap of α -LiIO₃ doped with L-Arginine and L-Nitroarginine amino acids using diffuse reflectance spectroscopy”, *Journal of Instrumentation*, 19, C05003 (2024).
- 3) E. Aleksanyan et al., “Superior Stability of CsPbBr₃ Films under High-Energy Proton Irradiation” *Journal of Physical Chemistry*, 2024, 128(40), 16854–16860.
- 4) V. Gareyan, N. Margaryan, and Zh. Gevorkian, “Nanoroughness-induced antireflection and haze effects in opaque systems”, *Phys. Rev. A* - Accepted 27 November, 2024, (<https://journals.aps.org/pr/a/accepted/3d070Ya3I5110d89506f8f406c688e68c36bc1f01>)

Ցածր էներգիաների միջուկային ֆիզիկա

Ղեկավար՝ ֆիզ.մաթ. գիտ. թեկնածու Ռոզա Ավետիսյան

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

Հաշվետու տարում խումբն իրականացրել է հետազոտություններ ինչպես բազային, այնպես էլ դրամաշնորհային ծրագրերի շրջանակներում: Կատարվել են

ուսումնասիրություններ մի շարք կիրառական և ֆունդամենտալ տեսանկյունից հետաքրքրություն ներկայացնող ռադիոակտիվ իզոտոպների համար:

ԱԱԳԼ-ի ԼՈւԷ-75՝ էլեկտրոնային և Ցիկլոն C18՝ պրոտոնային արագացուցիչների վրա կատարվող ցածր էներգիաների միջուկային ֆիզիկայի գիտափորձերի մշակման համար ստեղծված նոր սարքավորումներով հագեցած լաբորատորիայում չափված արդյունքների անալիզը խմբի կարևորագույն և առաջնային աշխատանքն է: Վերջին երեք տարիների ընթացքում այստեղ ուսումնասիրվել են աստղաֆիզիկական խնդիրներ, հետազոտվել են մի շարք թերագնաստիկ իզոտոպների ստացման և արտադրության հնարավորություններ, ինչպես նաև իրականացվել են մեթոդական աշխատանքներ: Որպես լաբորատորիայի մեկնարկային հետազոտություն, ուսումնասիրվել է տերբիումի (Tb) թերագնաստիկ իզոտոպները, որոնք ստացվել են բնական գադոլինիումի (^{nat}Gd) թիրախի պրոտոնային ճառագայթումից: Այժմ խումբն աշխատում է մի նախագծի վրա, որը ՀՀ ԲԿԳԿ-ի կողմից հայտարարված խմբերի ամրապնդման դրամաշնորհի մրցույթում ճանաչվել է հաղթող: Թեմայի նպատակն է ուսումնասիրել LUE-75 գծային էլեկտրոնային արագացուցիչ ֆոտոնային փնջի վրա ^{159}Gd և ^{153}Gd բժշկական նուկլիդների ստացման հնարավորությունները՝ որպես թիրախ օգտագործելով բնական գադոլինիումը (^{nat}Gd): ^{153}Gd իր մագնիսական հատկությունների շնորհիվ օգտագործվում է մագնիսական ռեզոնանսային պատկերման (MRI) ներերակային ռադիոկոնտրաստային նյութերում: Ուսումնասիրության ընթացքում օգտագործվել է GEANT4 ծրագրային փաթեթը՝ փնջի ֆոտոնային սպեկտրը մոդելավորելու նպատակով: TALYS 1.96 և EMPIRE 3.2 միջուկային կոդերը կիրառվել են ռեակցիաների կտրվածքների տեսական հաշվարկները կատարելու համար: Հետազոտությունները կատարվելու են LUE-75 արագացուցիչ արգելակային փնջի վրա՝ ֆոտոնների 20 ՄԷՎ, 40 ՄԷՎ, 60 ՄԷՎ և 70 ՄԷՎ առավելագույն էներգիաների դեպքում: Ճառագայթումը նախատեսված է իրականացնել դրամաշնորհի երկրորդ տարում: Բնական գադոլինիումի թիրախները ճառագայթվելու են 1 ժամ 1 մկԱ հոսանքով: Ճառագայթված թիրախների ակտիվության սպեկտրոսկոպիկ չափումը կկատարվի CANBERRA գերմանիում դետեկտորի միջոցով, որը համալրված է Digital Signal Analyzer (DSA-LX) ժամանակակից գամմա-սպեկտրոմետրով: Չափման տվյալները կմշակվեն են GENIE 2000 ծրագրով, իսկ արդյունքները կհամեմատվեն մեր կողմից կատարված տեսական հաշվարկների և այլ փորձարարական տվյալների հետ: Բնական գադոլինիումը բաղկացած է 7 կայուն իզոտոպներից՝ ^{152}Gd (0.20%), ^{154}Gd (2.18%), ^{155}Gd (14.80%), ^{156}Gd (20.47%), ^{157}Gd (15.65%), ^{158}Gd (24.84%), ^{160}Gd (21.86%):

Աղյուսակ 1-ում բերված են ^{159}Gd և ^{153}Gd առաջացման ռեակցիաները և նրանց շեմերը, նուկլիդների սպեկտրոմետրիկ բնութագրերը, ինչպես նաև մոնիտոր ռեակցիաների տվյալները, որոնք վերցված են NUDAT 3 տվյալների բազայից:

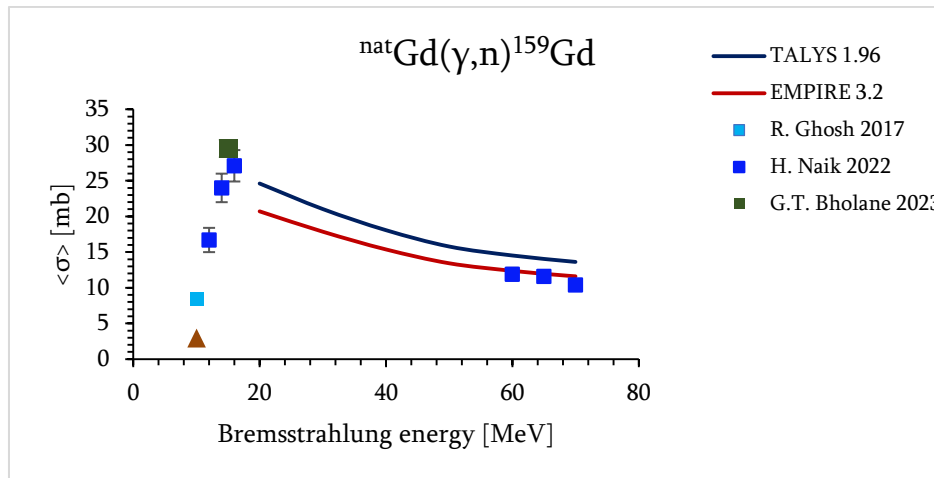
Աղյուսակ 1. Ուսումնասիրվող նուկլիդների բնութագրերը

Իզոտոպ	Ռեակցիա	Ռեակցիայի շեմ [MeV]	Կիսատրոհման պարբերություն $T_{1/2}$	Տրոհման ուղի	γ -զժի 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	12.7
					656	10.4
^{64}Cu	$^{65}\text{Cu}(\gamma, n)$	9.911	12.7 ժ		511	35.2
						1345.77

Աղյուսակ 1-ից ակնհայտ է, որ ^{159}Gd -ն առաջանում է միայն $^{160}\text{Gd}(\gamma, n)$ ռեակցիայի միջոցով:

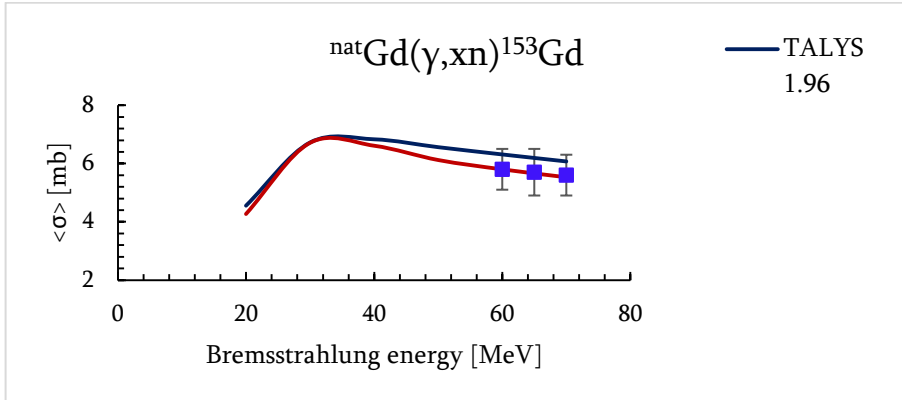
Նկար 1-ում բերված են $^{nat}\text{Gd}(\gamma, n)^{159}\text{Gd}$ ռեակցիայի համար TALYS 1.96 և EMPIRE 3.2 կոդերի վրա հիմնված հոսքով պայմանավորված միջին հավասարակշռված ընդլայնական կտրվածքների տեսական հաշվարկների համեմատությունն այլ հեղինակների տվյալների հետ (H.Naik, 2022; G.T.Bholane, 2023; R.Ghosh, 2017): Ինչպես երևում է, «H. Naik, 2022» աշխատանքի արդյունքները համընկնում են EMPIRE 3.2 կոդի վրա հիմնված տեսական հաշվարկների հետ:

Նկար 1-ից ակնհայտ է, որ 20-60 ՄեՎ էներգետիկ տիրույթում փորձարարական տվյալները բացակայում են: Մեր գիտափորձի արդյունքները կլրացնեն այդ պակասը:



Նկ. 1. $^{nat}\text{Gd}(\gamma,n)^{159}\text{Gd}$ ռեակցիայի միջին հավասարակշռված ընդլայնական կտրվածքները TALYS 1.96 և EMPIRE 3.2 տեսական հաշվարկների արդյունքների հետ

Նկար 2-ում բերված են $^{nat}\text{Gd}(\gamma,n)^{153}\text{Gd}$ ռեակցիայի միջին հավասարակշռված ընդլայնական կտրվածքները TALYS 1.96 և EMPIRE 3.2 տեսական հաշվարկների արդյունքները «H. Naik, 2022» աշխատանքի տվյալների հետ համատեղ:



Նկ. 2. $^{nat}\text{Gd}(\gamma, xn)^{153}\text{Gd}$ ռեակցիայի միջին հավասարակշռված ընդլայնական կտրվածքները TALYS 1.96 և EMPIRE 3.2 տեսական հաշվարկների արդյունքների հետ

Ինչպես երևում է Նկար 2-ից, EMPIRE 3.2 տեսական կողով ստացված արդյունքն առավել լավ է նկարագրում «H. Naik, 2022» հեղինակի աշխատանքի արդյունքները:

Բժշկության նպատակով ^{153}Gd նուկլիդի արտադրության օպտիմալացման համար հաշվարկվել է բնական գադոլինիումի յուրաքանչյուր իզոտոպի ներդրումը վերջնական արդյունքի վրա: Ստացված տվյալները անփոփոխված են Աղյուսակ 2-ում:

Աղյուսակ 2. Վերջնական նուկլիդների նորմավորված ելքերը՝ կախված ռեակցիայի կանալից

Միջուկ	Ռեակցիա	Նորմավորված ելք (%)				
		20 ՄԷՎ	40 ՄԷՎ	60 ՄԷՎ	70 ՄԷՎ	
^{159}Gd	$^{160}\text{Gd}(\gamma, n)$	100	100	100	100	
^{153}Gd	$^{154}\text{Gd}(\gamma, n)$	63.36	29.1	23.65	23.5	
	$^{155}\text{Gd}(\gamma, 2n)$	36.64	63.7	59.75	58.28	
	$^{156}\text{Gd}(\gamma, 3n)$		7	11.10	11.42	
	$^{157}\text{Gd}(\gamma, 4n)$		0.1	3.68	4.06	
	$^{158}\text{Gd}(\gamma, 5n)$			$3.06 \cdot 10^{-5}$	1.82	2.52
	$^{160}\text{Gd}(\gamma, 7n)$				0.008	0.23

Աղյուսակ 2-ից երևում է, որ ^{153}Gd առաջացման մեջ առավել ներդրում ունի $^{155}\text{Gd}(\gamma,2n)$ ռեակցիան՝ էլեկտրոնների 40 ՄէՎ և 60 ՄէՎ էներգիաների դեպքում: Արգելակային փնջի 20 ՄէՎ էներգիայի դեպքում ^{153}Gd առաջացման մեջ զգալի է $^{154}\text{Gd}(\gamma,n)$ ռեակցիայի ներդրումը: Բժշկության մեջ կիրառելու նպատակով ^{153}Gd արտադրելիս նպատակահարմար է օգտագործել հարստացված ^{154}Gd , որպեսզի զերծ մնալ ուղեկցող նուկլիդներից:

Գիտափորձը նախատեսվում է 2025թ.-ին, որի արդյունքները կտպագրվեն միջազգային պարբերականներում և կներկայացվեն գիտաժողովներում:

Խմբի անդամները հանդես են եկել մի շարք սեմինարներով և ներկայացրել են իրենց կատարած աշխատանքները, մասնակցել են միջազգային և տեղական գիտաժողովների: Խումբը համագործակցում է տեղական և միջազգային գիտական խմբերի հետ:

Կատարված հետազոտությունների և ստացված արդյունքների հիման վրա 2024թ.-ի ընթացքում խմբի ջանքերով լույս է տեսել 5 աշխատանք.

- [1] R.V. Avetisyan, A.G. Barseghyan, Yu.A. Gharibyan, A.V. Gyurjinyan, H.A. Mkrtchyan, A.Yu. Petrosyan, I.A. Kerobyan. “Measurement of flux-weighted average cross-section in the photo-neutron reactions of Nb at the bremsstrahlung end-point energies of 20 MeV and 67 MeV”, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms, Vol. 557, 2024.
- [2] R.V. Avetisyan, A.G. Barseghyan, Yu.A. Gharibyan, A.V. Gyurjinyan, H.A. Mkrtchyan, A.Yu. Petrosyan, I.A. Kerobyan. “Evaluation of $^{180\text{m}}\text{Ta}$ formation cross-sections in photoneutron reactions”, Nuclear Physics A, Vol. 1046, 2024
- [3] M. Krmar, N. Jovančević, Ž. Medić, D. Maletić, Yu. Teterev, S. Mitrofanov, K.D. Timoshenko, S.I. Alexeev, H. Marukyan, I. Kerobyan, R. Avetisyan, R. Dallakyan, A. Hakobyan, L. Vahradyan, H. Mkrtchyan, A. Petrosyan, H. Torosyan. “Production of $^{117\text{m}}\text{Sn}$ and $^{119\text{m}}\text{Sn}$ by photonuclear reactions on natural antimony”, Applied Radiation and Isotopes, Vol. 208, 2024.
- [4] R.V. Avetisyan, A.G. Barseghyan, Yu.H. Gharibyan, A.V. Gyurjinyan, I.A. Kerobyan, H.A. Mkrtchyan, A.Yu. Petrosyan. “Investigation of Production Possibility of Medical Isotope ^{155}Tb on Cyclotron C18/18”, Journal of Contemporary Physics (Armenian Academy of Sciences), Vol. 59, 2024.
- [5] 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 – ընդունված է տպագրության:

Օգտագործված գրականություն

1. Koning, S. Hilaire, S. Goriely, “TALYS-1.96/2.0.Simulation of nuclear reactions ” December 30, 2021.
https://tendl.web.psi.ch/tendl_2021/talys.html
2. 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 12, 2013.
<http://www.nndc.bnl.gov/empire/main.html>
3. GEANT4: A Simulation Toolkit. <https://geant4.web.cern.ch/>. Accessed March 5, 2019.
4. GENIE-2000 Basic Spectroscopy S500
<https://genie-2000-basic-spectroscopy-s500.software.informer.com>
5. H. Naik et al. “Photo-neutron cross-section of natGd in the bremsstrahlung end-point energies of 12–16 MeV and 60–70 MeV” Eur. Phys. J. A (2022) 58:92.
<https://doi.org/10.1140/epja/s10050-022-00736-4>
6. R. Ghosh et al. “Measurement of photo-neutron cross-sections of Gd and Ce using bremsstrahlung with an end-point energy of 10 MeV” J Radioanal Nucl Chem (2017) 314:1983–1990.
<https://doi.org/10.1007/s10967-017-5535-0>
7. G. T. Bholane et al. “Average photonuclear cross section measurements for the 141Pr, 160Gd and 162Er isotopes and compared with Geant4 simulations”. Eur. Phys. J. A (2023) 59:127.
<https://doi.org/10.1140/epja/s10050-023-01042-3>

Հազվադեպ միջուկային ռեակցիաների և միջուկային աստղաֆիզիկական հետազոտություններ

Ղեկավար՝ Տիգրան Քոթանջյան

Կատարողներ՝ Հ. Գուլբանյան, Լևոն Պողոսյան, Ս. Ամիրխանյան, Ա. Ալեքսանյան, Օ. Պողոսովա, Ա. Սարգսյան

Խմբի կողմից կատարված ուսումնասիրությունները.

- 1) Արեգակնային և գալակտիկական տիեզերական ճառագայթները (որոնց գերակշիռ մասը կազմում են մինչև 100 ՄԷՎ էներգիայով պրոտոնները) որոշակի դերակատարություն ունեն երկնաքարերի, տիեզերական փոշու, Արեգակի և մոլորակների մակերևույթի քիմիական և իզոտոպային պարունակության ձևավորման պրոցեսում, որի

նկարագրության համար անհրաժեշտ բաղադրիչներից մեկը պրոտոն-միջուկային անատաձգական փոխազդեցությունների կտրվածքներն են (տե՛ս հղումները [1]-ում): Ասվածը վերաբերում է նաև ակտինիդային միջուկներին, մասնավորապես, (p, xn) տիպի ռեակցիաներին ^{232}Th and ^{238}U միջուկների վրա, որոնց վերաբերյալ փորձարարական տվյալները սկզբնական էներգիայի մինչև մի քանի տասնյակ ՄեՎ տիրույթում կամ աղքատիկ են, կամ էլ հաճախ՝ հակասական:

Մեր կողմից փորձ է արվել մասամբ լրացնելու տվյալների այդ բացը՝ օգտագործելով C-18 ցիկլոտրոնի պրոտոնային փունջը: Պրոտոններով ճառագայթված թորիումի և ուրանի թիրախների գամմա-սպեկտրաչափական վերլուծության արդյունքում չափվել է պրոտոն-թորիում և պրոտոն-ուրան միջուկային փոխազդեցությունների մի շարք ռեակցիաների կտրվածքների կախումը պրոտոնի էներգիայից՝ $E_p < 18$ ՄեՎ տիրույթում: Ընդհանուր առմամբ չափվել են 21 կտրվածքներ, որոնք վերաբերում են հետևյալ հինգ ռեակցիաներին՝ $^{232}\text{Th}(p,n)^{232}\text{Pa}$, $^{232}\text{Th}(p,3n)^{230}\text{Pa}$, $^{238}\text{U}(p,n)^{238}\text{Np}$, $^{238}\text{U}(p,3n)^{236\text{m}}\text{Np}$, $^{238}\text{U}(p,np)^{237}\text{U}$ (տե՛ս Աղյուսակներ 1 և 2, որոնցում ներկայացված տվյալները հրատարակվել են [1] հոդվածում):

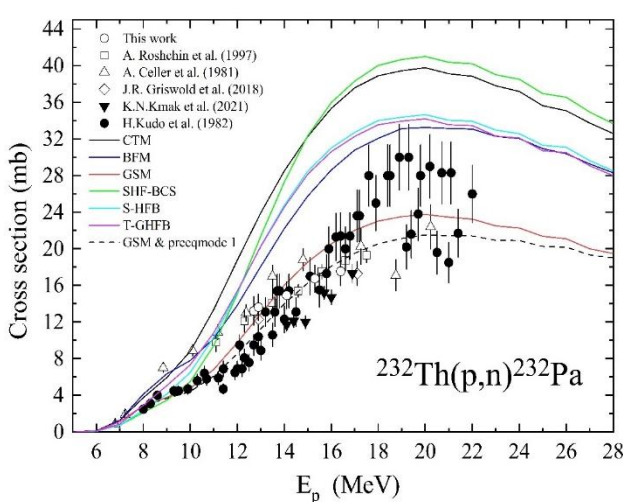
Աղյուսակ 1. Պրոտոն-թորիում փոխազդեցության ռեակցիաների կտրվածքների կախումը պրոտոնի էներգիայից:

Թորիումի ենթաթիրախ	E_p (ՄեՎ)	$\sigma_n(\text{մք})$ $^{232}\text{Th}(p,n)^{232}\text{Pa}$	$\sigma_{3n}(\text{մք})$ $^{232}\text{Th}(p,3n)^{230}\text{Pa}$
1	16.4±0.08	17.54± 1.53	98.7±6.0
2	15.3±0.12	16.74± 1.48	22.2±1.4
3	14.1±0.13	14.92± 1.48	1.57±0.15
4	12.9±0.16	13.62± 1.45	-
5	12.7±0.18	13.22± 1.56	-

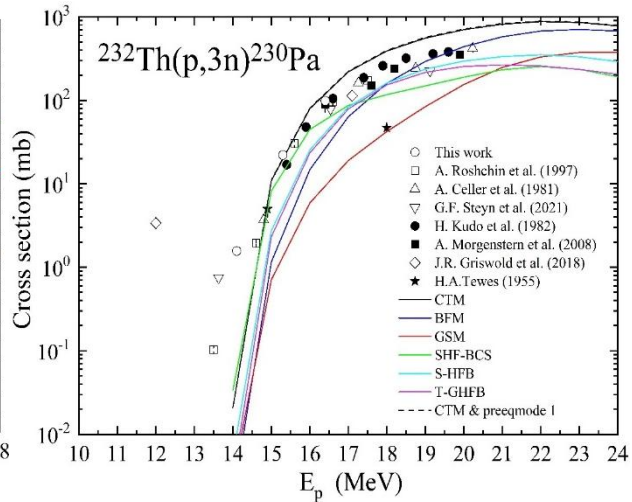
Աղյուսակ 2. Պրոտոն-ուրան փոխազդեցության ռեակցիաների կտրվածքների կախումը պրոտոնի էներգիայից:

Ուրանի էնթալպիա	E_p (ՄէՎ)	σ_n (մբ) $^{238}\text{U}(p,n)^{238}\text{Np}$	σ_{3n} (մբ) $^{238}\text{U}(p,3n)^{236m}\text{Np}$	σ_{np} (մբ) $^{238}\text{U}(p,np)^{237}\text{U}$
1	17.0 ± 0.36	12.89 ± 1.11	69.22 ± 5.06	39.90 ± 2.94
2	15.8 ± 0.10	12.50 ± 0.93	27.17 ± 1.99	21.84 ± 1.61
3	14.7 ± 0.14	11.90 ± 0.87	8.99 ± 0.21	11.67 ± 1.36
4	13.5 ± 0.27	9.86 ± 0.87	-	5.36 ± 0.44
5	12.0 ± 0.21	7.44 ± 0.71	-	1.20 ± 0.19

Նկարներ 1 - 5 –ում մեր տվյալները համեմատվում են այլ աշխատանքների (տե՛ս նկարներում նշված հղումները [1] հոդվածում) արդյունքների հետ: Ինչպես հետևում է 1 - 4 նկարներից, (p,n) և (p,3n) վերաբերյալ մեր տվյալները սխալի սահմաններում ընդհանուր առմամբ համադրելի են $E_p = 12 - 17$ ՄէՎ տիրույթում նախկինում հրատարակված արդյունքների հետ և ապահովում են տվյալների որոշակի ճշգրտում՝ նկատի առնելով գոյություն ունեցող տվյալներում առկա տարաձայնությունները:

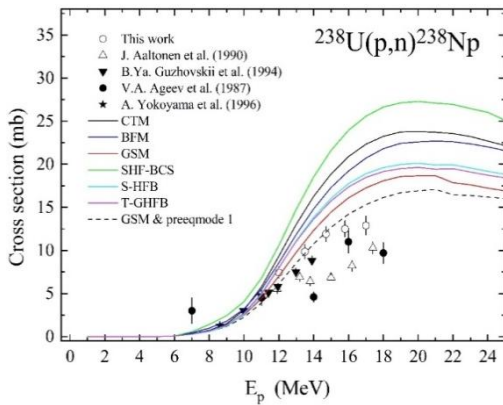


Նկ. 1. $^{232}\text{Th}(p,n)^{232}\text{Pa}$ ռեակցիայի կտրվածքի կախվածությունը E_p -ից:

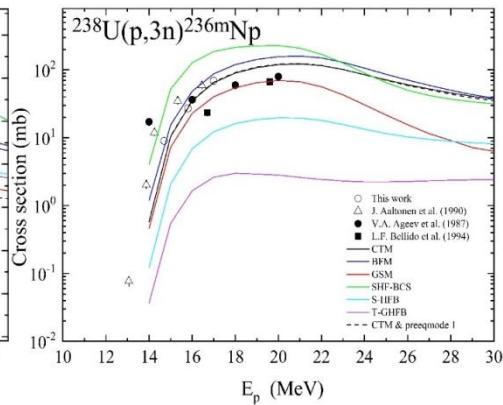


Նկ. 2. $^{232}\text{Th}(p,3n)^{230}\text{Pa}$ ռեակցիայի կտրվածքի կախվածությունը E_p -ից:

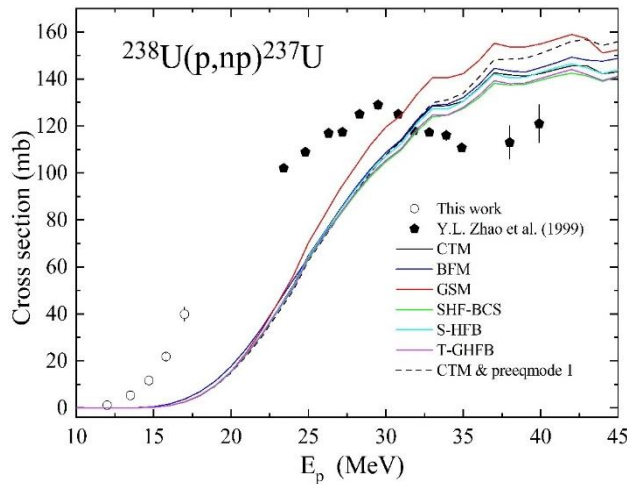
Նշված էներգետիկական տիրույթում $^{238}\text{U}(p,np)^{237}\text{U}$ ռեակցիայի կտրվածքի կախվածությունը E_p -ից սույն թեմայի շրջանակներում չափվել է առաջին անգամ (Նկար 5): Աստղաֆիզիկական հետաքրքրությունից գատ, սույն թեմայում ստացված ճշգրտված տվյալները կարող են կիրառվել նաև այլ բնագավառներում: Մասնավորապես, $^{232}\text{Th}(p,3n)^{230}\text{Pa}$ ռեակցիայի վերաբերյալ փորձարարական տվյալները կարող են կիրառություն գտնել ճառագայթային բժշկության մեջ, քանի որ ^{230}Pa դուստր-միջուկի բետա-տրոհումից առաջացած ^{230}U ռադիոիզոտոպը՝ իր α -տրոհումների շղթայով հանդերձ, հանդիսանում է α -մասնիկների էֆեկտիվ աղբյուր՝ ուռուցքների խիստ տեղայնացված ճառագայթման համար:



Նկ. 3. $^{238}\text{U}(p,n)^{238}\text{Np}$ ռեակցիայի կտրվածքի կախվածությունը E_p -ից:



Նկ. 4. $^{238}\text{U}(p,3n)^{236m}\text{Np}$ ռեակցիայի կտրվածքի կախվածությունը E_p -ից:



Նկ. 5. $^{238}\text{U}(p,np)^{237}\text{U}$ ռեակցիայի կտրվածքի կախվածությունը E_p -ից:

Նկարներ 1-5-ում բերված տվյալները համեմատվում են հիմնարար և կիրառական հետազոտությունների տարբեր բնագավառներում լայնորեն կիրառվող TALYS1.96 մոդելի [2] կանխագուշակումների հետ՝ նպատակ հետապնդելով բացահայտելու մոդելի հիմնական բաղադրիչների այն տարբերակները, որոնք ապահովում են տվյալների մեծ մասի առնվազն որակական նկարագրություն: Դիտարկվել են մոդելի հետևյալ հինգ հիմնական բաղադրիչները՝ ա) Ֆոտոնի ուժգնության ֆունկցիան, բ) Օպտիկական մոդելի պոտենցիալը, գ) Միջուկի բաժանման պատնեշը, դ) Միջուկային մակարդակների խտությունը, և ե) Նախահավասարակշռման մեխանիզմը: Դրանցից յուրաքանչյուրը մոդելում ներկայացված է մի քանի (մինչև ինը) տարբերակներով: Սույն թեմայում հաշվարկները կատարվել են այդ տարբերակների՝ գրեթե երկու հարյուրի հասնող կոմբինացիաների համար: Ցույց է տրվել, որ հետազոտվող ռեակցիաների դեպքում մոդելի կանխագուշակումները պակաս զգայուն են Ֆոտոնի ուժգնության ֆունկցիայի, Օպտիկական մոդելի պոտենցիալի և Միջուկի բաժանման պատնեշի տարբերակների ընտրության նկատմամբ: Առավել զգայնություն դրսևորվում է Միջուկային մակարդակների խտության տարբերակների ընտրության նկատմամբ, ինչպես երևում է Նկարներ 1 - 5 -ում բերված հոծ կորերից, որոնք մատնանշված են տարբերակներին համապատասխանող հապավումներով (օրինակ՝ CTM, BFM, GSM և այլն, որոնց բացատրությունները բերված են [2]-ում): Մոդելի կանխագուշակումները բավականին զգայուն են նաև մեկ այլ բաղադրիչի՝ Նախահավասարակշռման մեխանիզմի տարբերակների ընտրության նկատմամբ: Նկարներում պունկտիրային կորով պատկերված են մոդելի նշված երկու բաղադրիչների համեմատաբար օպտիմալ տարբերակներին համապատասխանող կանխագուշակումները, որոնք $E_p = 12 - 17$ ՄէՎ տիրույթում ապահովում են տվյալների մեծ մասի առնվազն որակական նկարագրություն (օրինակ, Նկար 1-ում պատկերված պունկտիրային կորի համար՝ CTM&preeqmode 1 տարբերակները, Նկար 2-ում պատկերված պունկտիրային կորի համար՝ GSM&preeqmode 1 տարբերակները, և այլն, որտեղ preeqmode 1-ով նշանակված է Նախահավասարակշռման մեխանիզմի ընտրված օպտիմալ տարբերակը): Ընդգծենք, որ մոդելի կանխագուշակումները խիստ հակասում են $^{238}\text{U}(p,np)$ ^{237}U ռեակցիայի վերաբերյալ փորձարարական տվյալներին (Նկար 5): Ընդհանուր առմամբ, կարելի է եզրահանգել, որ մոդելը կարիք ունի որոշակի ճշգրտումների:

- 2) Բազմաննետրոն կոռելացված համակարգերի (կապված կամ ռեզոնանսային վիճակների) որոնումը վերջին տասնամյակներում շարունակում է մնալ միջուկային ֆիզիկայի հրատապ խնդիրներից մեկը: Նման վիճակների հայտնաբերումը կարող է էականորեն զարգացնել արդի պատկերացումները միջուկային ուժերի հատկությունների, ատոմական միջուկների կառուցվածքի, տիեզերական նուկլեոսինթեզի և նետրոնային

աստղերի ձևավորման մեխանիզմների վերաբերյալ: Հասկապես վերջին տարիների մի շարք գիտափորձերում ստացվել են վկայություններ ինչպես քառանեյտրոն կապված վիճակների (տետրանեյտրոնի), այնպես էլ քառանեյտրոն ռեզոնանսային վիճակների գոյության վերաբերյալ: Նմանատիպ գիտափորձեր ներկայումս շարունակվում են աշխարհի մի շարք արագացուցչային կենտրոններում: Մեր կողմից փորձ է արվել ստանալու վկայություններ ֆոտոմիջուկային ռեակցիաներում կոռելացված քառանեյտրոն համակարգի առաքման վերաբերյալ: ԱՍԳԼ-ի գծային էլեկտրոնային արագացուցչի վրա $\hat{E}_e = 29.5$ և 30 ՄեՎ միջին էներգիաների ($\sigma_e \approx 0.7$ ՄեՎ գաուսյան լայնության սփռվածությամբ) դեպքում առաջին անգամ շեմամերձ էներգիաների տիրույթում հետազոտվել է արգելակային ճառագայթման ֆոտոններով հարուցված $^{209}\text{Bi}(\gamma, 4n)^{205}\text{Bi}$ ռեակցիան (շեմային էներգիան՝ $E_{\gamma}^{\text{th}} = 29.5$ ՄեՎ): Չափվել է այդ պրոցեսի՝ ֆոտոնների սպեկտրով միջինացված կտրվածքը՝ $\hat{E}_e = 29.5$ ՄեՎ-ի դեպքում $\langle \sigma \rangle = (3.42 \pm 0.44)$ մբ, իսկ $\hat{E}_e = 30$ ՄեՎ-ի դեպքում՝ $\langle \sigma \rangle = (4.46 \pm 0.49)$ մբ [3, 4]. վերջիններս ավելի քան մեկ կարգով գերազանցում են TALYS1.96 մոդելի շրջանակներում կանխատեսած արժեքը: Նման տարաձայնությունը կարող է պայմանավորված լինել այն բանով, որ մոդելում նախատեսված չէ կոռելացված (ռեզոնանսային կամ կապված) նեյտրոնային համակարգերի առաջացման հնարավորությունը, ինչի վերաբերյալ վերջերս ստացվել են մի շարք փորձարարական վկայություններ (տե՛ս հղումները [3] հոդվածում): Ըստ երևույթին, մեր կողմից դիտարկված քառանեյտրոն համակարգի առաջացումը $^{209}\text{Bi}(\gamma, 4n)^{205}\text{Bi}$ ռեակցիայում կարող է հանդիսանալ որպես անուղղակի վկայություն այդ համակարգի կոռելացված բնույթի վերաբերյալ:

- 3) Ճառագայթային բժշկության համար մեծ հետաքրքրություն ներկայացնող ռադիոիզոտոպների շարքին է պատկանում ^{197}Hg իզոտոպի իզոմերային զույգը՝ ^{197m}Hg մետաստաբիլ և ^{197g}Hg հիմնական վիճակները, որոնց կիսատրոհման պարբերություններն են, համապատասխանաբար, $T_{1/2} = 23.82$ ժամ և $T_{1/2} = 64.14$ ժամ: Այս զույգի առավելություններից մեկն այն է, որ այն միաժամանակ կարող է օգտագործվել թե՛ ախտորոշման համար՝ միաֆոտոնային առաքման համակարգչային շերտագրման (*Single Photon Emission Computed Tomography*, SPECT) մեթոդով, թե՛ ճառագայթային թերապիայի նպատակով՝ շնորհիվ այն բանի, որ երկու վիճակների տրոհումներն էլ ուղեկցվում են մեծ քանակությամբ Օժե-էլեկտրոնների առաքումով (19 Օժե-էլեկտրոններ ^{197m}Hg –ի դեպքում և 23՝ ^{197g}Hg – ի դեպքում): Մյուս առավելությունն այն է, երկու իզոտոպներն էլ օժտված են նույն կենսաքիմիական հատկություններով [5, 6]: Մոդիկի նշված ռադիոիզոտոպների ստացման ամենաէֆեկտիվ եղանակը ցածր էներգիաների պրոտոններով հարուցված $^{197}\text{Au}(p, n)^{197m}\text{Hg}$ և $^{197}\text{Au}(p, n)^{197g}\text{Hg}$ ռեակցիաներն են: Ներկայումս $^{197}\text{Au}(p, n)^{197m}\text{Hg}$ ռեակցիայի կտրվածքի վերաբերյալ փորձարարական

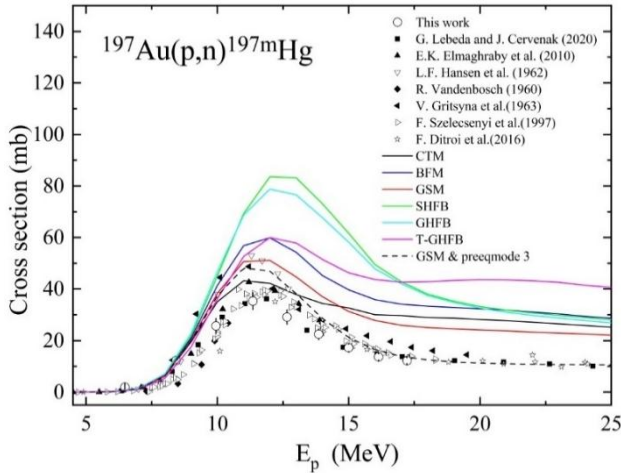
տվյալներ կան մինչև $E_p = 40$ ՄԷՎ էներգիաների տիրույթում, իսկ $^{197}\text{Au}(p,n)^{197\text{g}}\text{Hg}$ ռեակցիայի կտրվածքի վերաբերյալ՝ մինչև $E_p = 28$ ՄԷՎ էներգիաների տիրույթում (տե՛ս հղումները [7, 8] աշխատանքներում): $^{197}\text{Au}(p,n)^{197\text{m}}\text{Hg}$ ռեակցիայի վերաբերյալ առկա տվյալների մեծ մասը համադրելի են, մինչդեռ $^{197}\text{Au}(p,n)^{197\text{g}}\text{Hg}$ ռեակցիայի դեպքում առկա են նշանակալի տարաձայնություններ: Մեր կողմից փորձ է արվել մասամբ լրացնելու տվյալների այդ բացը: C-18 ցիկլոտրոնի վրա իրականացված գիտափորձում չափվել են $^{197}\text{Au}(p,n)^{197\text{m}}\text{Hg}$ և $^{197}\text{Au}(p,n)^{197\text{g}}\text{Hg}$ ռեակցիաների կտրվածքները (համապատասխանաբար, σ_1 և σ_2), ինչպես նաև կտրվածքների $R = \sigma_1/\sigma_2$ հարաբերությունը՝ $E_p < 18$ ՄԷՎ տիրույթում պրոտոնների փնջի ինը տարբեր էներգիաների դեպքում: Գիտափորձում կիրառվել է թիրախների ակտիվացման մեթոդը: Թիրախների համակարգը բաղկացած է հաջորդականորեն շարված պղնձի և ոսկու բարակ թիթեղներից: Պղնձի թիրախներն օգտագործվել են որոշելու համար թիրախային համակարգով անցնող պրոտոնների փնջի հոսանքը՝ հիմք ընդունելով $^{65}\text{Cu}(p,n)^{65}\text{Zn}$ մոնիտորային ռեակցիայի հայտնի կտրվածքը: Գիտափորձի արդյունքները ներկայացված են Աղյուսակ 3-ում և, առկա տվյալների հետ համեմատությամբ՝ Նկարներ 6-8 –ում:

Աղյուսակ 3: σ_1 և σ_2 կտրվածքների և σ_1/σ_2 հարաբերության կախվածությունը E_p -ից:

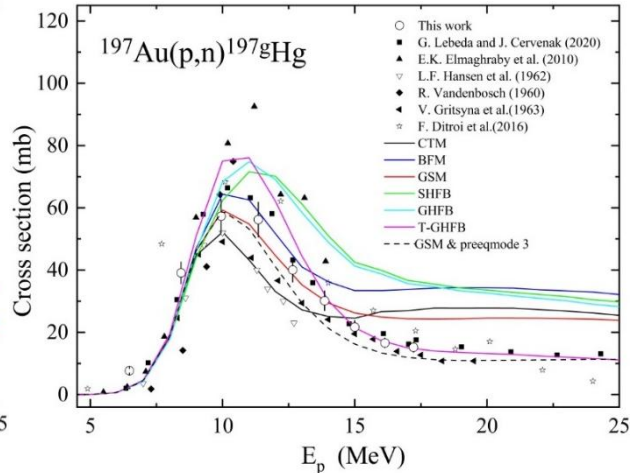
E_p (ՄԷՎ)	σ_1 (մբ)	σ_2 (մբ)	σ_1/σ_2
17.22±0.30	12.22±1.10	15.16±1.57	0.806±0.036
16.14±0.32	13.69±1.23	16.61±1.54	0.824±0.021
15.00±0.34	17.20±1.43	21.68±2.05	0.793±0.034
13.86±0.38	22.47±2.02	30.12±3.14	0.746±0.029
12.65±0.44	29.15±2.81	40.05±3.91	0.728±0.025
11.35±0.52	35.32±3.34	56.23±5.55	0.628±0.022
9.95±0.60	25.70±2.89	57.31±5.31	0.448±0.015
8.43±0.67	12.33±1.08	39.09±3.48	0.315±0.009
6.48±0.75	1.92±0.17	7.66±0.71	0.251±0.009

Ինչպես հետևում է Նկար 6-ից, $^{197}\text{Au}(p,n)^{197\text{m}}\text{Hg}$ ռեակցիայի վերաբերյալ մեր տվյալները (որոնք պատկերված են սպիտակ շրջաններով) համադրելի են առկա տվյալների մեծամասնության հետ, հատկապես՝ Lebeda et al. [8] և Elmaghraby et al. [9] աշխատանքների արդյունքների հետ: Ինչ վերաբերում է $^{197}\text{Au}(p,n)^{197\text{g}}\text{Hg}$ ռեակցիայի

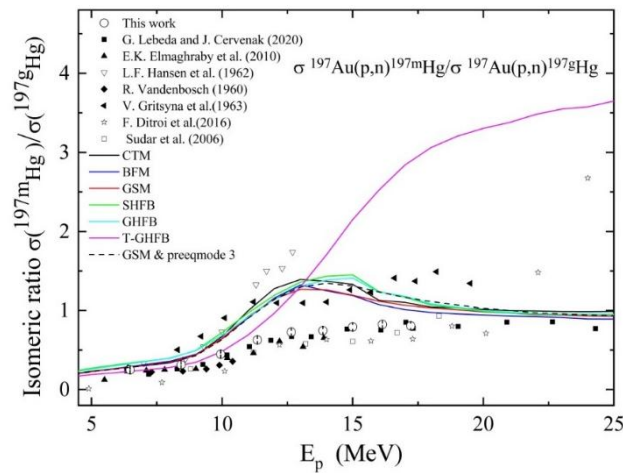
կտրվածքին (Նկար 7) և σ_1/σ_2 իզոմերային հարաբերությանը (Նկար 8), տարբեր գիտափորձերի արդյունքներում առկա են էական տարաձայնություններ: Մեր տվյալներն առավել համադրելի են Lebeda et al. [8] աշխատանքի արդյունքների հետ:



Նկ. 6. $^{197}\text{Au}(p,n)^{197m}\text{Hg}$ ռեակցիայի կտրվածքը:



Նկ. 7. $^{197}\text{Au}(p,n)^{197g}\text{Hg}$ ռեակցիայի կտրվածքը:



Նկ. 8. σ_1/σ_2 իզոմերային հարաբերության կախվածությունը E_p -ից:

Նկարներ 6-8-ում բերված տվյալները համեմատվում են հիմնարար և կիրառական հետազոտությունների տարբեր բնագավառներում լայնորեն կիրառվող TALYS1.96 մոդելի [2] կանխագուշակումների հետ՝ նպատակ հետապնդելով բացահայտելու մոդելի հիմնական բաղադրիչների այն տարբերակները, որոնք ապահովում են տվյալների մեծ

մասի առնվազն որակական նկարագրություն: Դիտարկվել են մոդելի հետևյալ չորս հիմնական բաղադրիչները (տես մանրամասները [2]-ում)՝ Ֆոտոնի ուժգնության ֆունկցիան, Օպտիկական մոդելի պոտենցիալը, Միջուկային մակարդակների խտությունը և Նախահավասարակշռման մեխանիզմը, որոնցից յուրաքանչյուրը մոդելում ներկայացված է մի քանի (մինչև ինը) տարբերակներով: Սույն թեմայում հաշվարկները կատարվել են այդ տարբերակների՝ հարյուրից ավելի կոմբինացիաների համար: Հաշվարկների արդյունքում նշված յուրաքանչյուր բաղադրիչի համար ընտրվել է այն օպտիմալ տարբերակը (օպցիան), որն ապահովում է փորձարարական տվյալների համեմատաբար ընդունելի նկարագրություն: Օպտիմալ տարբերակների ընտրությունը կատարվել է հետևյալ հաջորդականությամբ՝

ա) ընտրվում է Ֆոտոնի ուժգնության ֆունկցիայի օպտիմալ տարբերակը.

բ) ընտրվում է Օպտիկական մոդելի պոտենցիալի օպտիմալ տարբերակը.

գ) Միջուկային մակարդակների խտության տարբերակներից (որոնց համապատասխանող մոդելային կանխագուշակումները Նկարներ 6-8 –ում պատկերված են հոժ գծերով) ընտրվում է օպտիմալ տարբերակը, որը Նկարներ 6-8 –ում ներկայացված է GSM հապավումով.

դ) վերջապես, ընտրվում է Նախահավասարակշռման մեխանիզմի օպտիմալ տարբերակը, որին համապատասխանող մոդելային կանխագուշակումը Նկարներ 6-8 –ում պատկերված է պունկտիրային գծով և ներկայացված է GSM & preeqmode 3 հապավումով (տես հապավումների բացատրությունները [2]-ում):

Պունկտիրային գծերով պատկերված կանխագուշակումները որակապես նկարագրում են փորձարարական տվյալների մեծ մասը, սակայն որոշ չափով գերազանահատում են $^{197}\text{Au}(p,n)^{197m}\text{Hg}$ ռեակցիայի կտրվածքը (Նկար 6) և թերազնահատում՝ $^{197}\text{Au}(p,n)^{197g}\text{Hg}$ ռեակցիայի կտրվածքը (Նկար 7): Ընդհանուր առմամբ, կարելի է եզրահանգել, որ մոդելը կարիք ունի որոշակի ճշգրտումների: Ստացված արդյունքներն հրատարակվել են Eur. Phys. J. Plus ամսագրում [10]:

- 4) Ֆոտոմիջուկային ռեակցիաների կտրվածքների իմացությունն անհրաժեշտ է հիմնարար և կիրառական հետազոտությունների տարբեր բնագավառներում: Առկա փորձարարական տվյալները, հատկապես ֆոտոճեղքման բազմամասնիկային ռեակցիաների վերաբերյալ, բավականին սուղ են: Մասնավորապես, մանգանի միջուկներից սկանդիումի ռադիոիզոտոպների ֆոտոառաջացման ռեակցիաների վերաբերյալ տվյալներ գոյություն ունեն միայն արգելակման ֆոտոնների սահմանային $E_{\gamma}^{\max} = 2 - 5$ ԳԷՎ էներգիաների դեպքում [11]: Մեր կողմից առաջին անգամ միջանկյալ և ցածր էներգիաների տիրույթում ($E_{\gamma}^{\max} = 40, 55$ և 70 ՄԷՎ) չափվել են $^{55}\text{Mn}(\gamma, X)^{46}\text{Sc}$, $^{55}\text{Mn}(\gamma, X)^{47}\text{Sc}$, $^{55}\text{Mn}(\gamma, X)^{48}\text{Sc}$ ինկլյուզիվ ռեակցիաների՝ արգելակման ֆոտոնների սպեկտրով

միջինացման կտրվածքները: Վերջիններս համեմատվել են լայն կիրառություններ ունեցող TALYS1.96 և FLUKA մոդելների կանխագուշակումների հետ: Ստացված փորձարարական տվյալները ներկայացված են Աղյուսակ 4-ում:

Ինչպես կարելի է նկատել, FLUKA մոդելի կանխատեսումները $^{55}\text{Mn}(\gamma, X)^{46}\text{Sc}$ և $^{55}\text{Mn}(\gamma, X)^{48}\text{Sc}$ ռեակցիաների համար համատեղելի են փորձարարական արժեքների հետ, սակայն $^{55}\text{Mn}(\gamma, X)^{47}\text{Sc}$ ռեակցիայի համար FLUKA մոդելի կանխատեսումներում նկատվում է σ_w կշռավորված կտրվածքի արժեքի զգալի թերազնահատում (2,5-4 անգամ) փորձական տվյալների համեմատ:

Ինչ վերաբերում է TALYS1.96 մոդելին, ապա դրա կանխատեսումները մեծապես կախված են մոդելի հիմնական բաղադրիչների զանազան տարբերակների ընտրությունից, ինչպիսիք են՝

- ա) ֆոտոնների ուժգնության ֆունկցիա (PSF),
- բ) Միջուկային մակարդակների խտություն (NLD),
- գ) Օպտիկական մոդելի պոտենցիալ (OMP),
- դ) Նախահավասարակշռման մեխանիզմ (PEM),

Մոդելի բաղադրիչներից յուրաքանչյուրը ներկայացված է մի քանի (մինչև ինը) տարբերակներով:

Որոշվել են TALYS1.96 մոդելում ընդգրկված այն օպտիմալ տարբերակները, որոնք առնվազն որակապես նկարագրում են Աղյուսակ 4-ում ներկայացված σ_w կտրվածքների փորձարարական արժեքները:

Աղյուսակ 4. Y^{exp} , σ_w և $\langle\sigma\rangle$ արժեքները $^{55}\text{Mn}(\gamma, X)^{46}\text{Sc}$, $^{55}\text{Mn}(\gamma, X)^{47}\text{Sc}$, $^{55}\text{Mn}(\gamma, X)^{48}\text{Sc}$ ռեակցիաների համար և համեմատությունները FLUKA և TALYS1.96 մոդելների կանխատեսումների հետ:

E_c , ՄէՎ	$^{55}\text{Mn}(\gamma, X)^{46}\text{Sc}$		$^{55}\text{Mn}(\gamma, X)^{47}\text{Sc}$			$^{55}\text{Mn}(\gamma, X)^{48}\text{Sc}$
	55	70	40	55	70	70
Y^{exp}, μ^l	391±75	1498±140	88±23	547±18	1024±13	218±16
$\sigma_w, \mu b$ (<i>էքսպերիմենտ</i>)	0.0421 ±0.0088	0.385 ±0.047	0.0122 ±0.0033	0.0587 ±0.0051	0.261 ±0.021	0.0560 ±0.0060
$\sigma_w, \mu b$ (FLUKA)	0.0463	0.502	0.00301	0.0226	0.111	0.0505
$\sigma_w, \mu b$ (TALYS)	0.0355	0.409	0.00548	0.0623	0.282	0.0582

$\langle\sigma\rangle, \mu b$ <i>Exp. at</i> <i>Eth (FLUKA)</i>	5.38±1.06	7.69±0.95	2.40±0.66	3.46±0.30	3.04±0.25	1.68±0.18
$\langle\sigma\rangle, \mu b$ <i>(FLUKA)</i>	5.94	10.14	0.59	1.34	1.30	1.53
$\langle\sigma\rangle, \mu b$ <i>Exp. at</i> <i>Eth (TALYS)</i>	11.16±2.19	11.67±1.43	6.84±1,85	5.17±0,45	4.11±0,33	3.01±0.33
$\langle\sigma\rangle, \mu b$ <i>(TALYS)</i>	9.39	12.39	3.07	5.49	4.44	3.13

Նշում՝ Աղյուսակ 4-ում ներկայացված են միայն Y^{exp} -ի վիճակագրական սխալները: Փորձարկվել են մոդելների տարբերակների մոտ հարյուր հիսուն համակցություններ: Մոդելի յուրաքանչյուր բաղադրիչի և յուրաքանչյուր ռեակցիայի օպտիմալ տարբերակների ցանկը ներկայացված է Աղյուսակ 5-ում (տարբերակների անվանումները և նկարագրությունը կարելի է գտնել [2]-ում):

Աղյուսակ 5. TALYS1.96 մոդելի օպտիմալ տարբերակներ համապատասխան ռեակցիաների համար:

	$^{55}\text{Mn}(\gamma, X)^{46}\text{Sc}$		$^{55}\text{Mn}(\gamma, X)^{47}\text{Sc}$			$^{55}\text{Mn}(\gamma, X)^{48}\text{Sc}$
$\hat{E}_e, \text{M}\text{eV}$	55	70	40	55	70	70
Բաղադրիչ	Տարբերակներ		Տարբերակներ			Տարբերակներ
PSF	PSF7	PSF7	PSF7	PSF7	PSF7	PSF7
NLD	SHFB	SHFB	BFM	BFM	BFM	T-GHFB
OMP	JLM	JLM	JLM	JLM	JLM	Dispersive
PEM	Preeqmode 3	Preeqmode 3	Preeqmod3	Preeqmode 3	Preeqmode 3	Preeqmode 2

Ստացված արդյունքներն ուղարկվել են հրատարակման Q1 վարկանիշով ամսագիր [12]:

Օգտագործված գրականության ցանկ

- [1] T.V. Kotanjyan et al., “Cross sections of proton-induced neutron emission reactions on thorium and uranium at energies below 18 MeV”, Phys. Rev. C 109, 065802 (2024)
- [2] A. Koning, S. Hilaire, and S. Goriely, Eur. Phys. J. A 59, 131 (2023)
- [3] A.Y. Aleksanyan et al., “Searching for tetraneutron in bismuth nucleus photodisintegration reaction”, Journal of Contemporary Physics (Armenian Academy of Sciences), Vol. 58, No. 1, pp. 6-13 (2023)
- [4] T.V. Kotanjyan et al., “Searching for the Photonuclear Reaction $209\text{Bi}(\gamma,4n)205\text{Bi}$ at Near -threshold Energies”, submitted to Phys. Rev. C (2024), submit number “CV10883”, at the negotiation stage with reviewer.
- [5] R. Freudenberg, R. Apolle, M. Walther, H. Hartmann, J. Kotzerke, Eur. J. Nucl. Med. Mol. Imaging 5, 15 (2018).
- [6] I.M.F. Gilpin, M. Ullrich, T. Wunsche, K. Zarschler, O. Lebeda, J. Pietzsch, H.-J. Pietzsch, and M. Walther, ChemMedChem 16, 2645 (2021).
- [7] USA National Nuclear Data Center database. <https://www-nds.iaea.org/exfor/>
- [8] O. Lebeda, J. Červenak, Nucl. Inst. Methods in Phys. Res. B 478, 85 (2020).
- [9] E.K. Elmaghraby, K.F. Hassan, H. Omara, Z.A. Saleh, Appl. Radiat. Isot. 68, 1694 (2010).
- [10] T.V. Kotanjyan et al., “Cross sections of $^{197}\text{Au}(p,n)^{197g}\text{Hg}$ and $^{197}\text{Au}(p,n)^{197m}\text{Hg}$ reactions at energies below 18 MeV” Eur. Phys. J. Plus 139, 990 (2024)
- [11] A.S. Danagulyan, N.A. Demekhina and G.A. Vartapetyan, Nuclear Physics A285 (1977) 482.
- [12] T.V. Kotanjyan et al., “Photodisintegration of Manganese with Formation of Scandium Radioisotopes at Maximum Bremsstrahlung Photons Energy of 40, 55 and 70 MeV”, submitted to European Physical Journal A. Manuscript ID is “EPJA-108091”

Խմբի կողմից 21SCG-1C018 ծածկագրով նախագծի շրջանակում ՄԿՇ-75 արագացուցիչի վրա կատարված ֆոտոմիջուկային ռեակցիաներում բազմանեյտրոնային կոռելացված համակարգերի որոնման հետազոտությունների [1] արդյունքները, համաձայն [2] հոդվածի հիմնական հեղինակի (T. Faestermann) ծանուցման, ընդգրկվելու են նրա կողմից նախապատրաստվող ամփոփիչ հոդվածում:

- [1] T.V. Kotanjyan, A.Y. Aleksanyan, A.O. Kechechyan, S. M. Amirkhanyan, H. R. Gulkanyan, V. S. Pogosov, and L.A. Poghosyan, J. Contemp. Phys. 58, 6 (2023).
- [2] T. Faestermann, A. Bergmaier, R. Gernhäuser, D. Kolla, and M. Mahgoub, Phys. Lett. B 824, 136799 (2022).

Մասնակցություն առկա և հեռավար միջոցառումներին՝

1. «Ամենամյա ամփոփիչ գիտաժողով 2024», նպաստակը՝ 21SCG-1C018 ծածկագրով դրամաշնորհի ամփոփիչ հաշվետվություն, 7-15 դեկտեմբեր, 2024, բանավոր զեկուցում:

Հրատարակված և հրատարակման ընդունված հոդվածների ցանկ

1. A. Y. Aleksanyan, et al. . Comparison of Gamma Activation Analysis and Instrumental Neutron Activation Analysis of Geological Samples. Journal of Contemporary Physics (Armenian Academy of Sciences), 58 (4), pages 326-332 (2024)
2. T. V. Kotanjyan, et al. . Cross sections of proton-induced neutron emission reactions on thorium and uranium at energies below 18 MeV. Physical Review C, 109 (6), 065802 (2024)
3. T. V. Kotanjyan, et al., “Cross sections of $^{197}\text{Au}(p,n)^{197g}\text{Hg}$ and $^{197}\text{Au}(p,n)^{197m}\text{Hg}$ reactions at energies below 18 MeV” Eur. Phys. J. Plus 139, 990 (2024)

Նախապատրաստվել և առաքվել են հրատարակման հետևյալ հոդվածները՝

1. T.V. Kotanjyan et al., “Searching for the Photonuclear Reaction $^{209}\text{Bi}(\gamma,4n)^{205}\text{Bi}$ at Near-threshold Energies” submitted to Phys. Rev. C (2024), submit number “CV10883”, at the negotiation stage with reviewer.
2. T.V. Kotanjyan et al., “Photodisintegration of Manganese with Formation of Scandium Radioisotopes at Maximum Bremsstrahlung Photons Energy of 40, 55 and 70 MeV”, submitted to European Physical Journal A. Manuscript ID is “EPJA-108091”

Չերենկովյան դիտակների օգնությամբ աստղաֆիզիկական աղբյուրների ուսումնասիրումը (HESS և CTA)

Ղեկավար՝ ֆիզ.մաթ.գիտ. թեկնածու Վ. Սահակյան
Կատարող՝ Գ. Պապյան, Մ. Ժամկոչյան

Հաշվետու տարում խումբը շարունակել է հետազոտությունները շատ բարձր էներգիաների (ՇԲԷ, մի քանի տասնյակ ԳԷՎ-ից մինչև մի քանի հարյուր ՏԷՎ) γ -ճառագայթների աստղաֆիզիկայի բնագավառում: Մասնավորապես, խումբը մասնակցել է H.E.S.S. (High Energy Stereoscopic System) համագործակցության գիտական ծրագրի իրականացմանը, շարունակել է ուսումնասիրությունները մթնոլորտային հեղեղների չերենկովյան պատկերների «մաքրման» նոր եղանակների մշակման ուղղությամբ՝ օգտագործելով Cherenkov Telescope Array (CTA) ծրագրի Large-Sized Telescope (LST1,

տրամագիծը՝ 23 մ, տեղակայման բարձրությունը՝ 2200 մ) պատկերային մթնոլորտային չեբենկովյան դիտակի համար մոդելավորված բանկը, Ա մոտարկման (Approximation A) շրջանակներում մշակել է էլեկտրամագնիսական հեղեղների երկայնական զարգացման նկարագրությունը մոտարկող նոր մեթոդ:

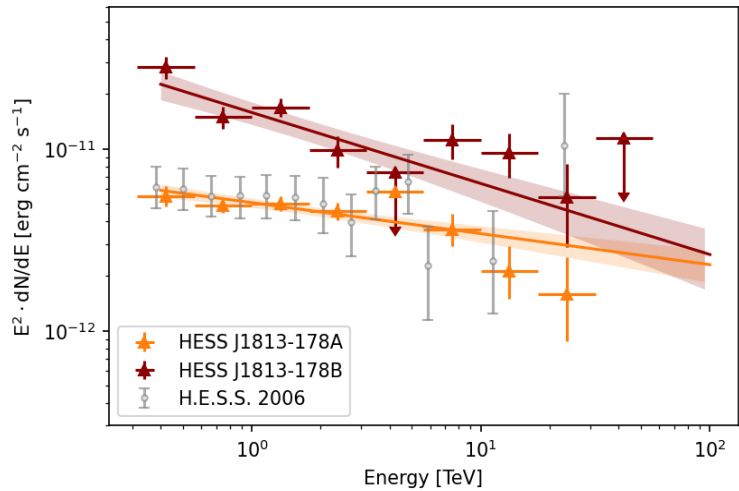
2024 թ. ընթացքում H.E.S.S. համագործակցության կողմից շարունակվել են տարբեր դասերի պատկանող աստղաֆիզիկական աղբյուրներ ուսումնասիրությանն են, հրապարակվել են մի շարք արդյունքներ, որոնց թվին են պատկանում, մասնավորապես, հետևյալները.

- Հետազոտվել է ՇԲԷ գամմա-ճառագայթների HESS J1813–178-ը աղբյուրը, որը տարածականորեն համընկնում է PSR J1813–1749 պուլսարի հետ [1]: HESS J1813–178 աղբյուրը հայտնագործվել է H.E.S.S. համագործակցության կողմից, գտնվում է Գալակտիկական հարթության վրա, ունի $(0.050 \pm 0.004)^\circ 1\sigma$ շառավղով չափեր և հաստատվել է այլ գիտափորձերով: Վերջերս, Fermi LAT դիտակի տվյալների վերլուծությունը ցույց է տվել բարձր էներգիաների ճառագայթման տարածական տիրույթ պուլսարի մոտակայքում: Ելնելով դրանից, վերանայվել է HESS J1813–178 տարածաշրջանը՝ օգտվելով վերլուծության բարելավված մեթոդներից և ընդլայնված տվյալների բազայից: Վերլուծության մեջ օգտագործված փորձարարական տվյալները գրանցվել են 2004-2010թթ.՝ որպես երկնքի տվյալ մասի տարբեր աղբյուրների դիտումների մի մաս և CT1-5 դիտակով գրանցված տվյալները չեն օգտագործվել: Բացի դրանից ընտրվել են այն դեպքերը, որոնք գրանցվել են առնվազն երեք դիտակների օգնությամբ և որոնց գրանցման ժամանակ դիտակներն ուղղված են եղել HESS J1813–178-ի դիրքից՝ $RA = 273.40^\circ$ և $Dec = -17.84^\circ$, ոչ ավել քան 2° հեռավորության վրա: Դեպքերի էներգետիկ շեմը կազմել է 0.4 ՏեՎ: Տվյալների վերլուծության ժամանակ որպես ճառագայթման աղբյուրի տարածական մոդել օգտագործվել են 2-չափանի Գաուսյան բաշխումները՝ սիմետրիկ կամ երկարաձգված, իսկ որպես սպեկտրի մոդել՝ աստիճանային (power-law, PL)՝ $dN/dE = N_o \cdot (E/E_o)^{-\Gamma}$ ֆունկցիան (N_o -ն հոսքի նորմավորման գործակիցն է, Γ -ն սպեկտրային ինդեքսը, E_o -ն ռեֆերենսային էներգիան, ինչն այս դեպքում 1 ՏեՎ է): Որպես այլընտրաքային մոդելներ քննարկվել են նաև $dN/dE = N_o \cdot (E/E_o)^{-\Gamma - \beta \ln E/E_o}$ և $dN/dE = N_o \cdot (E/E_o)^{-\Gamma} e^{-\lambda E}$ ֆունկցիաները: Ցույց է տրվել, որ կոմպակտ ճառագայթման տիրույթը՝ HESS J1813–178A-ն, կենտրոնադրված է $RA = (273.400 \pm 0.004_{stat} \pm 0.001_{sys})^\circ$ և $Dec = (-17.831 \pm 0.004_{stat} \pm 0.001_{sys})^\circ$ դիրքում և տարածականորեն համընկնում է PSR J1813–1749 պուլսարի հետ: Ազդանշանն առանձնացվել է 38σ հուսալիությամբ, իսկ սպեկտրը նկարագրվում է աստիճանային ֆունկցիայով: Այս դեպքում N_o (at 1 TeV) = $(3.16 \pm 0.18_{stat} \pm 0.24_{sys}) \cdot 10^{-12}$ սմ⁻²վրկ⁻¹ՏեՎ⁻¹,

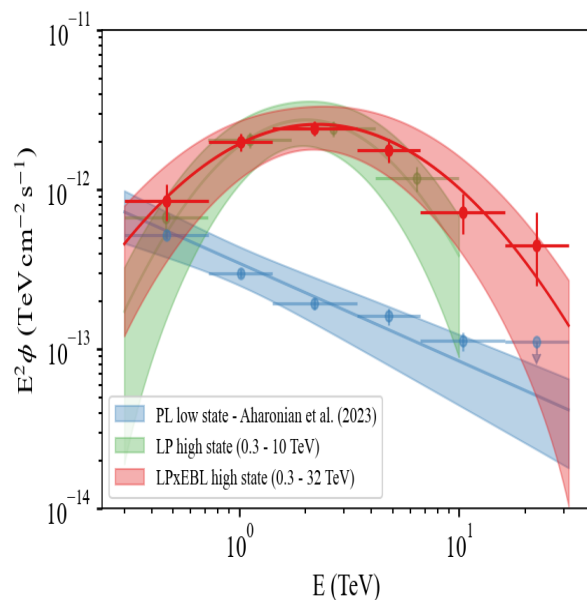
$\Gamma = 2.17 \pm 0.05_{stat} \pm 0.03_{sys}$ և սիմետրիկ Գաուսյան ֆունկցիայի համար $\sigma = (0.056 \pm 0.003_{stat} \pm 0.001_{sys})^\circ$: Բացի կոմպակտ ճառագայթման տիրույթից, գրանցվել է նաև երկրորդ՝ տարածական ճառագայթման տիրույթ՝ HESS J1813–178B, որի համար N_0 (at 1 ՏէՎ) = $(9.89 \pm 1.40_{stat} \pm 1.23_{sys}) \cdot 10^{-12} \text{ սմ}^{-2} \text{ վրկ}^{-1} \text{ ՏէՎ}^{-1}$, $\Gamma = 2.36 \pm 0.09_{stat} \pm 0.05_{sys}$, երկարաձգված Գաուսյան մոդելի կենտրոնն ունի $RA = (273.61 \pm 0.06_{stat} \pm 0.07_{sys})^\circ$ և $Dec = (-17.39 \pm 0.07_{stat} \pm 0.08_{sys})^\circ$ կոորդինատներ, էլիպսի մեծ առանցքը կազմում է $\sigma_M = (0.72 \pm 0.08_{stat} \pm 0.09_{sys})^\circ$, իսկ էքսցենտրիսիտետը՝ $e = (0.80 \pm 0.06_{stat} \pm 0.04_{sys})^\circ$:

Տարածական երկարաձգված ճառագայթման տիրույթի առկայությունը հաստատվում է նաև Fermi-LAT դիտակի տվյալների մշակումով: Կոմպակտ HESS J1813–178A և տարածական HESS J1813–178B տիրույթների սպեկտրները և էներգիայի սպեկտրային բաշխումը բերված է Նկար 1-ում: Տարածական ճառագայթման կոմպոնենտի առաջացման մեխանիզմը հակադարձ Կոմպտոնյան ցրումն է էլեկտրոններից և պոզիտրոններից, որոնք դուրս են եկել պուլսարի սահմաններից և ձևավորել հալո պուլսարային քամու միգամածության (PWN) շուրջ:

- Ուսումնասիրվել է M87 (Messier 87) ռադիոգալակտիկայի ՇԲԷ գամմա-ճառագայթման սպեկտրը գամմա-ճառագայթների բարձր ակտիվության վիճակների ժամանակ[2]: M87-ը ՇԲԷ գամմա-ճառագայթների փոփոխական աղբյուր է՝ մինչ այժմ գրանցված երեք հիմնական ՏէՎ էներգիաների բռնկումներով՝ 2005, 2006 և 2010 թթ.: Այդ արագ բռնկումների (~1 օր) հավանական ծագումը կապված է կա՛մ M87-ի միջուկի,



Նկ. 1. H.E.S.S.-ի գամմա-ճառագայթման սպեկտրները և էներգիայի սպեկտրային բաշխումը HESS J1813–178A-ից և տարածական (extended) HESS J1813–178B-ից:



Նկ. 2. M87-ի էներգիայի սպեկտրային բաշխումն ըստ H.E.S.S.-ի տվյալների: Գունավոր շերտերը ցույց են տալիս 1 σ անորոշության միջակայքերը:

կա՛մ շիրթային շատ կոմպակտ շրջանների հետ: M87-ից 100 ՔէՎ-ից բարձր էներգիա ունեցող գամմա ճառագայթների բռնկումների բացատրության համար քննարկվել են մի շարք մեխանիզմներ՝ լեպտոնային, մագնիտոսֆերային, ֆոտո-հաղորնային և այլ մոդելներ: Ստոխաստիկ արագացումը, օրինակ, կարող է հանգեցնել էլեկտրոնների կոր սպեկտրների առաջացմանը, որն էլ իր հերթին հանգեցնում է գամմա ճառագայթների կոր սպեկտրի ձևավորմանը: Գամմա ճառագայթների սպեկտրի առանձնահատկությունները կարող են հիմք հանդիսանալ որոշելու մասնիկների արագացման մեխանիզմը և վայրը, ինչպես նաև ռեյաստիվիստական մասնիկի տեսակը: M87-ի ուսումնասիրությունն իրականացվել է աղբյուրի բարձր ակտիվության վիճակների ժամանակ՝ օգտագործելով 20.2 ժ. դիտարկումների տվյալները, որոնք գրանցվել են 2004-2020 թթ. ընթացքում: Համաձայնեցված տվյալների բազա ձևավորելու նպատակով օգտագործվել են CT1-4 դիտակներով գրանցված տվյալները, քանի որ CT1-5-ը շահագործման է հանձնվել 2012 թ. և չի օգտագործվել դիտումների ողջ ժամանակահատվածում: Գամմա-ճառագայթների նման դեպքերն ընտրվել են M87-ի միջուկի դիրքի՝ $RA = 187.7059^\circ$ և $Dec = 12.3911^\circ$ (J2000) շուրջ $\leq 0.11^\circ$ շառավղով կոնի մեջ, իսկ ֆոնը գնահատվել է M87-ից 0.15° նվազագույն անկյունային տարանջատմամբ տիրույթի համար: Աղբյուրի գամմա-ճառագայթների $\phi(E)$, դիֆերենցիալ էներգետիկ սպեկտրի կախվածությունն E էներգիայից, նկարագրելու համար օգտագործվել են աստիճանային (power-law, PL) և լոգ-պարաբոլիկ (log-parabola, LP) ֆունկցիաները՝ ներառելով արտագալակտիկական ֆոնային լույսի (ԱՖԼ, extra-galactic background light, EBL) բաղադրիչը. $PL \times EBL$ ՝ $\phi(E) = \phi_0 \cdot (E/E_0)^{-\Gamma} e^{-\alpha_{norm} \tau(E,z)}$ և $LP \times EBL$ ՝ $\phi(E) = \phi_0 \cdot (E/E_0)^{-\Gamma - \beta \ln(E/E_0)} e^{-\alpha_{norm} \tau(E,z)}$: Այդ ֆունկցիաներում նորմավորման գործակիցը՝ ϕ_0 և սպեկտրալ ինդեքսը՝ Γ ազատ պարամետրեր են, E_0 -ն «դեկոլերյացիոն» էներգիան է, β -ն՝ կորության գործակիցը, $\tau(E,z)$ -ն՝ ԱՖԼ օպտիկական խորությունը (կախված էներգիայից և կարմիր շեղումից) և α_{norm} ՝ ԱՖԼ նորմավորումը: Վերլուծության արդյունքում գամմա-ճառագայթման դեպքերի ավելցուկը կազմել է 390 ± 28 , իսկ ակնկալվող ֆոնայիններինը՝ 376 ± 5 , ինչն ապահովում է ազդանշանի առանձնացման հուսալիության 16.9σ արժեք, իսկ 10 ՏէՎ-ից բարձր էներգիաների դեպքում այդ գնահատականները կազմում են համապատասխանաբար 15 ± 4 , 2.3 ± 0.4 , և 6.0σ : 0.3-10 ՏէՎ էներգետիկ տիրույթում, երբ $\tau < 0.2$ և ԱՖԼ կլանումը փոքր է, LPxEBL մոդելը գերադասելի է PLxEBL-ից՝ հուսալիության 3.5σ արժեքով: Էներգիայի ամբողջ տիրույթի՝ 0.3 ՏէՎ–32 ՏէՎ համար նույնպես նախընտրելի է LPxEBL մոդելը՝ 4.4σ , 4.2σ և 3.6σ հուսալիությամբ՝ ԱՖԼ ժամանակակից գնահատականների երեք տարբեր մոտեցումների դեպքում (էներգետիկ երկու ինտերվալն էլ ներկայացված են Նկար 2-ում): 0.3 ՏէՎ-ից բարձր էներգիայի ինտեգրված հոսքը LPxEBL մոդելի դեպքում կազմում է $(5.1 \pm 0.5) \cdot 10^{-12} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$: Կորությունը

նկարագրվում է $\Gamma = 1.8 \pm 0.08$ սպեկտրալ ինդեքսով և $\beta = 0.27 \pm 0.08$ կորության գործակցով:

2024թ. իրականացվել են նաև հետևյալ աշխատանքները.

- Ուսումնասիրվել են պատկերների «մաքրման» նոր մեթոդներ՝ $E \leq 100\text{GeV}$ էներգետիկ տիրույթում գամմա հեղեղների առանձնացման արդյունավետ եղանակ մշակելու նպատակով: Մեթոդների մշակման ժամանակ օգտագործվել է CTA LST1 դիտակի համար ստեղծված Մոնտե-Կարլո բանկը: Մոնտե-Կարլո փաթեթն ընդգրկում է ինչպես մթնոլորտային հեղեղի զարգացումը նկարագրող MOCCA (MONte-Carlo CAscades program by A.M.Hillas) ու դիտակի օպտիկական արձագանքի Ray Tracing ծրագրերը, այնպես էլ գիշերային երկնքի ֆոնի մոդելավորման և պատկերների պարամետրերի հաշվարկման ծրագիրը: Բանկը ստեղծվել է գամմա-քվանտներից և տիեզերական ճառագայթների մաս կազմող պրոտոններից ու էլեկտրոններից առաջացած մթնոլորտային հեղեղների համար: Հետազոտվում են չերենկովյան պատկերների «մաքրման» ու նոր պարամետրերի մշակման հնարավորությունները:

- Մշակվել է էլեկտրամագնիսական հեղեղների երկայնական զարգացման նկարագրությունը մոտարկող նոր մեթոդ Ա մոտարկման (Approximation A) դեպքում:

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:

Հրապարակված աշխատանքների ցանկ

- Բազային ֆինանսավորման շրջանակներում՝

1. F. Aharonian, F. Ait Benkhali, J. Aschersleben,...V. Sahakian,...et al (H.E.S.S. Collaboration), “Unveiling extended gamma-ray emission around HESS J1813-178.” *Astronomy & Astrophysics*, 686, A149 (2024).

2. F. Aharonian, F. Ait Benkhali, J. Aschersleben,...V. Sahakian,...et al (H.E.S.S. Collaboration), “Curvature in the very-high energy gamma-ray spectrum of M 87.” *Astronomy & Astrophysics*, 685, A96 (2024).

3. F. Aharonian, F. Ait Benkhali, J. Aschersleben,...V. Sahakian,...et al (H.E.S.S. Collaboration), “Very-high-energy γ -Ray Emission from Young Massive Star Clusters in the Large Magellanic Cloud.” *Astrophysical Journal Letters*, 970 L21 (2024).

4. F. Aharonian, F. Ait Benkhali, J. Aschersleben,...V. Sahakian,...et al (H.E.S.S. Collaboration), “TeV flaring activity of the AGN PKS 0625–354 in November 2018.” *Astronomy & Astrophysics*, 683, A70 (2024).

• Թեմատիկ ֆինանսավորման շրջանակներում`

5. F. Aharonian, F. Ait Benkhali, J. Aschersleben,...V. Sahakian,...et al (H.E.S.S. Collaboration), “Acceleration and transport of relativistic electrons in the jets of the microquasar SS 433.” *Science*, 383, 402-406 (2024).

6. F. Aharonian, F. Ait Benkhali, J. Aschersleben,...V. Sahakian,...et al (H.E.S.S. Collaboration), “Spectrum and extension of the inverse-Compton emission of the Crab Nebula from a combined Fermi-LAT and H.E.S.S. analysis.” *Astronomy & Astrophysics*, 686, A308 (2024).

7. S. N. Santiesteban , S. Li, D. Abrams, ...A. Shahinyan, ... et al (Jefferson Lab Hall A Collaboration), “Novel Measurement of the Neutron Magnetic Form Factor from A = 3 Mirror Nuclei.” *Physical Review Letters* 132, 162501 (2024).