

Տարեկան հաշվետվություն 2023 թ.

Ա.Ի. ԱԼԻԽԱՆՅԱՆԻ ԱՆՎԱՆ ԱԶԳԱՅԻՆ ԳԻՏԱԿԱՆ
ԼԱԲՈՐԱՏՈՐԻԱ
(ԵՐԿԱՆԻ ՖԻԶԻԿԱՅԻ ԻՆՍՏԻՏՈՒՏ)
ՀԻՄՆԱԴՐԱՄ

Հ. ՎԱՐԴԱՊԵՏՅԱՆԻ ԱՆՎԱՆ
ՓՈՐՁԱՐԱՐԱԿԱՆ ՖԻԶԻԿԱՅԻ ԲԱԺԱՆՄՈՒՆՔ

ՓՖԲ-ի վարիչ՝ Ֆիզմաթ գիտությունների դոկտոր Հ. Մարուքյան

Փորձարարական Ֆիզիկայի Բաժանմունքի 2023 թ. ընթացիկ հաշվետվություն

Հաշվետվություն 2023 թ.-ին LINAC-75 գծային արագացուցիչում կատարված աշխատանքների վերաբերյալ

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

2023 թ. LINAC-75 էլեկտրոնային գծային արագացուցիչում կատարվել են վերանորոգման-վերականգնողական պրոֆիլակտիկ աշխատանքներ ներառյալ՝ ռեգլամենտով պարտադիր նախատեսված:

Շնորհիվ կատարված աշխատանքների 2023 թվականին բարեհաջող իրականացվել են գիտափորձեր LINAC-75-ի փնջերի կիրառմամբ: Փնջերի պարամետրերը՝ էներգիան և հոսանքը եղել են ըստ փորձերի պայմանների պահանջի՝ էներգիան – 20-70 ՄԷՎ, հոսանքը – 0,3-1,1 մկԱ, սեանսների տևողությունը – 1-3 ժամ:

Փորձերի ժամանակ փնջի պարամետրերի վերահսկումը հաստատեց գծային արագացուցչի հուսալի աշխատանքը: Սեանսները կատարվել են հետևյալ ամիսներին:

Սպառող, փորձի պատասխանատուները	Էներգիա, ՄԷՎ
Ապրիլ	
ՓՖԲ, 100/7 խումբ՝ Լ. Պողոսյան	70, 21
Միջուկային Հետազոտությունների Միացյալ Ինստիտուտ (ՄՀՄԻ) Ֆյուրովի անվան Միջուկային Ռեակցիաների (ՄՌԼ) Լաբորատորիա՝ Ս. Վ Միտրոֆանով	40, 50, 60
Օգոստոս	
ՓՖԲ, 100/7 խումբ՝ Լ. Պողոսյան	40
ՓՖԲ, 100/7 խումբ՝ Ն. Մարգարյան	22
Դեկտեմբեր	

ՓՖԲ, 100/7 խումբ՝ Լ. Պողոսյան	29,5
Կիրառական ֆիզիկայի հետազոտությունների բաժին՝ Է. Ալեքսանյան	22

2023 թ. ապրիլին կազմակերպվել էր ՄՀՄԻ-ի (Դուբնա, ՌԴ) գիտաշխատողների այց ԱԱԳԼ նպատակ ունենալով շարունակել ուսումնասիրել ՄՀՄԻ-ի և Նովի Սադ քաղաքի Համալսարանի պատվիրակության հետ դեռևս 2022 թ. վերջին սկսած համատեղ աշխատանքների հնարավորությունը և իրականացնել է LINAC-75-ի 40, 50 և 60 ՄԷՎ էլեկտրոնային փնջերով համատեղ գիտափորձ:

ՓՖԲ-ի և Իզոտոպների բաժնի HPeG-ի դետեկտորների միջոցով կատարվել է միջուկային թիրախների ֆոտոնային ճառագայթման սպեկտրամետրիկ անալիզ:

ՄՀՄԻ-ի և Նովի Սադ Համալսարանի հետ կատարված համատեղ գիտափորձի արդյունքների մի մասը տպագրվել է, իսկ մյուս մասն ընդունվել է տպագրության:

2023 թ. տպագրված հոդվածները.

1. M. Krmar, N. Jovančević, D. Maletić, Ž. Medić, D. Knežević, M. Savić, Yu. Teterev, S. Mitrofanov, K. D. Timoshenko, S. I. Alexeev, H. Marukyan, I. Kerobyan, R. Avetisyan, L. Poghosyan, R. Dallakyan, A. Hakobyan, L. Vahradyan, H. Mkrtchyan, A. Petrosyan, “Search for the evidence of 209Bi ($\gamma, p5n$) 203Pb reaction in 60 MeV bremsstrahlung beams”, Eur. Phys. J. A 59 (2023), 170.
2. L. Vahradyan, “On modernization of the LUE-75 linear electron accelerator of the AANL (YerPHI)”, J. Contemp. Phys. (Armenian Academy of Sciences), 2023, Vol. 58, No 4.
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, L. Poghosyan, R. Dallakyan, A. Hakobyan, L. Vahradyan, H. Mkrtchyan, A. Petrosyan, Hrach Torosyan, “Production of ^{117m}Sn and ^{119m}Sn by photonuclear reactions on natural antimony”, Applied Radiation and Isotopes, Manuscript Number: ARI-D-23-01025.

Հետազոտություններ CERN միջազգային կենտրոնում (LHC)

CMS-գիտափորձ

ԱԱԳԼ-«CMS» խումբ

Ղեկավար՝ Ա. Թումասյան

Կարարողներ Ա. Պետրոսյան, Ա. Գևորգյան և Ա. Հայրապետյան

1. 13 ՏեՎ 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 ուղարկվել են տպագրության (JHEP):

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

Կատարողներ՝ Արմեն Թումասյան

2. Կատարվել են հաղորդային կալորիմետրի պայմանների (էներգետիկ տրամաչափություն, էֆեկտիվություններ, և այլն) թարմացման և ներմուծման աշխատանքները: Այս աշխատանքները մաս են կազմել ԱՍԳԼ-CMS խմբի սերվիսային պարտականությունների:

Կատարողներ՝ Արամայիս Պետրոսյան

3. Իրականացվել է CMS գիտափորձի տվյալների բազայի արդիականացման աշխատանքները, որը ևս գրանցվել է որպես ԱՍԳԼ CMS խմբի պարտավորությունների կատարում: Սա հանդիսանում է ասպիրանտ Արամ Հայրապետյանի որակավորման աշխատանքը, որով նա 2023թ. դարձավ CMS համահեղինակ:

Կատարողներ՝ Արամ Հայրապետյան

4. FermiLab (ԱՄՆ) CMS խմբի հետ համատեղ իրականացվում է Սուպերսիմետրիկ մոդելներով կանխատեսվող «Երկարակյաց մասնիկների» որոնման աշխատանքը CMS փորձարարական տվյալներում:

Կատարողներ՝ Արամ Հայրապետյան

5. FermiLab-ի հետ համատեղ ընթանում են ցածր ուժեղացման հեղեղային դիոդների (Low Gain Avalanche Diodes, LGAD) տեստավորման և սենսորների կարդացող էլեկտրոնիկայի մշակման աշխատանքները: Այս նպատակով խմբի ասպիրանտ Արամ Հայրապետյանը օգոստոս ամսից մեկնել է FermiLab գործուղման:

Կատարողներ՝ Արամ Հայրապետյան

6. CMS գիտափորձի «Phase2-Upgrade» արդիականացման նախագծի շրջանակներում շարունակվել է CMS նոր կալորիմետրական համակարգի (High granularity calorimeter) կոսմիկական մյուոններով տեստավորման համար կառուցվող (ՄՀՄԻ, Դուբնա, ՌԴ) փորձարարական սարքավորման մոդելավորման աշխատանքները: Մշակվել է համակարգի վերջնական դիզայնը: Այս պահին համակարգը CERN-ում է, ավարտվում են կոնստրուկտորական աշխատանքները:

Կատարողներ՝ Արզունիկ Գևորգյան

7. Սկսվել են CMS գիտափորձի «Run3» (2022-24թթ) տվյալներում VBF Hbb պրոցեսի մշակման աշխատանքները:

Կատարողներ՝ Արմեն Թումասյան

8. Ընթանում են CMS գիտափորձի «Run3» (2022-24թթ) տվյալներում Հիգգս բոզոնային զույգի ծնման և b-քվարկային զույգերի տրոհման ($HH \rightarrow 4b$) պրոցեսի որոնման աշխատանքները: Կատարվել է 13.6 ՏԷՎ էներգիայով pp-բախումների 2022թ. տվյալները մշակումը: Այս պրոցեսի ուսումնասիրությունը ԱՍԳԼ CMS խմբի հետաքրքրության հիմնական առարկաներից է Run3 և HL-LHC ժամանակաատվածի համար:

Կատարողներ՝ Արմեն Թումասյան

Հրապարակումներ գիտական ամսագրերում՝ 72

Մասնակցություն գիտաժողովներում

1) A. Tumasyan, “Study of Higgs boson decay to bottom quark pairs with CMS experiment at LHC”, CHEP-Yerevan-2023, September 11-14, 2023, <http://chep-2023-yerevan.yerphi.am/>

2) A. Gevorgyan et. al., “CMS HGCal cosmic test stand”, CHEP-Yerevan-2023, September 11-14, 2023, <http://chep-2023-yerevan.yerphi.am/>

3) A. Tumasyan, et. al., “Cluster particle production @ SPD experiment”, CHEP-Yerevan-2023, September 11-14, 2023, <http://chep-2023-yerevan.yerphi.am/>

4) A. Hayrapetyan, “Search for hadronic LLP decays in the muon system using the B-parking dataset”, CMS Exotica Workshop 2023, 30 November 2023, Centro Congressi Sapienza (Rome), <https://indico.cern.ch/event/1319442/timetable/?view=standard>

Կազմակերպած գիտական և կրթական միջոցառումներ

- Խմբի անդամների մասնակցությամբ կազմակերպվել է միջազգային գիտաժողով “CHEP-Yerevan-2023”, <http://chep-2023-yerevan.yerphi.am/> :
- Խմբի անդամների մասնակցությամբ կազմակերպվել է ծավալուն վերապատրաստման ծրագիր ուսանողների համար բարձր էներգիաների ֆիզիկայի վերաբերյալ՝ “Training program in High Energy Physics January-April 2023, Yerevan State University, Faculty of Physics”:

ATLAS-գիտափորձ

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

Կատարված աշխատանքները՝

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

Նպատակները

1. Դետեկտորների/էլեկտրոնիկայի արդիականացում;
2. Տվյալների գրանցման կայուն վերարտադրություն:

Պատասխանատվություններ

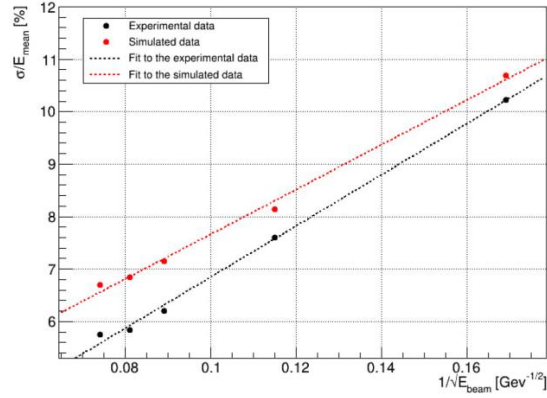
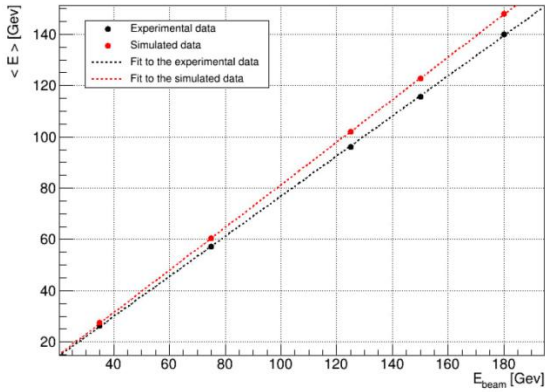
1. Ֆիզիկայի տվյալների վերլուծություն;
2. Ցածր լարումների մատակարարման սարքերի հավաքում և տեղադրում;
3. Հերթափոխեր :

Ուսանողի որակավորման առաջադրանք - 1

Առաջադրանքը վերաբերում է ATLAS դետեկտորի TileCal հաղորնային կալորիմետրի մոդուլների բնութագրերի ուսումնասիրությանը SPS-ի H8 փնջատարի վրա հաղորնների (պիոններ, պրոտոններ, կաոններ) փնջերով, որոնց էներգիաները 10 ԳԷՎ-ից մինչև 180 ԳԷՎ կարող են փոփոխվել: Այս ուսումնասիրությունները կատարվում են TileCal-ի արդիականացման նպատակով: Ուսումնասիրությունները կենտրոնացած են “projective eta” կոնֆիգուրացիայի վրա:

Ստացված արդյունքները

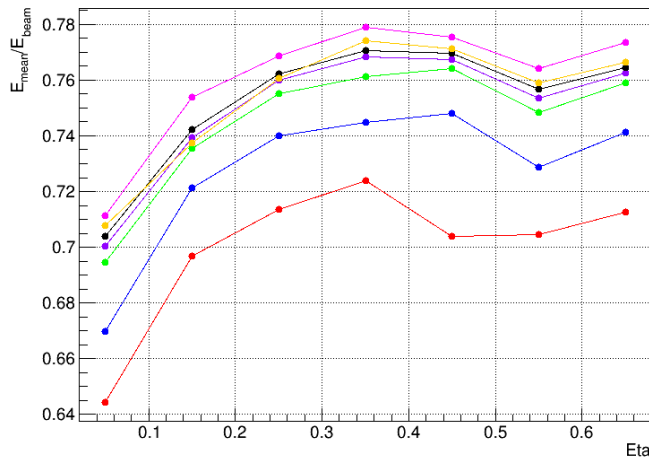
Սկզբնական շրջանում առաջադրանքն իրականացնելու համար օգտագործվել են 2022 թվի հավաքագրված տվյալները: Հաշվարկվել են կալորիմետրի մոդուլների արձագանքը և գնահատվել են էներգետիկ լուծողունակությունը և էքսպերիմենտալ և մոդելավորված տվյալներով:



Նկ. 1. Մոդուլում մասնիկի կորցրած էներգիային կախված փնջի էներգիայից :

Նկ. 2. Լուծողունակության էներգետիկ կախումը:

Հետազայում, ամռանը, CERN-ում շարունակվել են հաղորնային փնջերով փորձնական տվյալների հավաքագրման աշխատանքները, որի ժամանակ ստացված տվյալներն են հիմա օգտագործվում մշակումը շարունակելու համար: Հետագոտվել են մասնիկի կորցրած և սկզբնական էներգիաների հարաբերության կախվածությանը Eta (pseudorapidity) –ից:



Նկ. 3. Մոդուլում մասնիկի կորցրած էներգիայի և փնջի էներգիայի հարաբերության կախումը Eta–ից:

Ուսանողի որակավորման առաջադրանք - 2

Թարմացվել է հավանականության վրա հիմնված մասնիկների նույնականացման (LLH PID) կարգավորումը անցումային ճառագայթման հետազոտում (TRT): LLH PID-ն ի սկզբանե մշակվել է Run 2-ի սկզբում և կարգավորվել է հաշվարկներով և տվյալների

ցածր ստատիստիկայով: Առաջնային խնդիրն է եղել համեմատել LLH PID-ի արձագանքը էլեկտրոնների և մյուոնների համար 2-րդ և 3-րդ փուլերում տվյալների և մոդելավորման միջոցով՝ օգտագործելով Z-բոզոնի տրոհման հնարավոր տարբեր ընտրությունը: Այնուհետև պետք է ստանալ բարձր շեմի (HT) հարվածներ առաջացնելու հավանականություններ կախված մասնիկների իմպուլսից, ակտիվ գազից, դետեկտորի շրջանից և կուտակման/զբաղվածությունից և համեմատել PID գործիքում ներկայումս օգտագործվող թյունինգի հետ: Անհրաժեշտության դեպքում ճշգրտման նորացված հաստատունները կթարմացվեն Athena տվյալների բազայում:

ATLAS տվյալների վերլուծություն

- $Z(\nu\bar{\nu})\gamma$ ինկլյուզիվ վերլուծության nTGC (neutral triple gauge coupling) մեկնաբանությունը;
 - $Z(\nu\bar{\nu})\gamma j j$ անլիզից ամբողջ Run II-ին aQGC-ի (anomalous quartic gauge couplings) կոմբինացիայի ներդրումը;
- Ներկայումս ուսումնասիրված են վեց օպերատորներ:

UFO (ունիվերսալ feynrules output) մոդելը, որը պարունակում է բոլոր վեց օպերատորները, ստեղծվել և վերբեռնվել է ATLAS տվյալների բազայի հիման վրա: UFO-ի նախկին մոդելները չէին պարունակում բոլոր օպերատորները և թույլ չէին տալիս անմիջապես առաջացնել ինտերֆերենցիա երկու օպերատորների միջև: Պահանջվեցին EFT տարալուծված նմուշներ: Նախնական արդյունքները ներկայացված են ստորև: Բոլոր սահմանները ամենախիստն են:

Coef.	$Z\gamma$ -only EFT	$Z\gamma + W\gamma$ EFT	Published limits
C_{G+}/Λ^4	$[-6.24; 6.27] \times 10^{-3}$	$[-5.57; 5.57] \times 10^{-3}$	-
C_{G-}/Λ^4	$[-0.338; 0.352]$	$[-0.338; 0.352]$	-
$C_{\tilde{B}W}/\Lambda^4$	$[-0.372; 0.378]$	$[-0.324; 0.325]$	$[-1.3; 1.3]$
C_{BW}/Λ^4	$[-0.698; 0.674]$	$[-0.609; 0.597]$	$[-0.74; 0.74]$
C_{BB}/Λ^4	$[-0.279; 0.275]$	$[-0.279; 0.275]$	$[-0.28; 0.27]$
C_{WW}/Λ^4	$[-1.40; 1.37]$	$[-1.40; 1.37]$	$[-2.7; 2.7]$

Անումալ զուգավորումների ֆենոմենոլոգիական ուսումնասիրություններ

Կատարվել են

- Նոր զգայուն փոփոխականների որոնում;
- Որոնվել են զգայունությունը բարձրացնելու այլ ուղիներ;
- Սահմանների վերաիմաստավորում:

Աշխատանքը ներկայացվել է ԱԱԳԼ ՓՖԲ-ի սեմինարին, 15/11/2023 թ.:

Դիմային (Front-end) էլեկտրոնիկայի մշակում, զարգացում: Ցածր լարման համակարգ

Ցածր լարման համակարգը բաղկացած է երեք գլխավոր մասից՝ 200վ հաստատուն հոսանքի էներգիայի աղբյուրից, ցածր լարման էներգիայի աղբյուրներից և օժանդակ աղբյուրից: Ցածր լարման էներգիայի աղբյուրները՝ (LVPS) հանդիսանում են համակարգի երկրորդ աստիճանը, բաղկացած են կառավարման համակարգից և ութ անհատական մասերից, որոնցից յուրաքանչյուրը փոփոխում է 200վ հաստատուն հոսանքը 10վ –ի: AuxBoard-ն ապահովում է Tri-State ազդանշաններ, DC/DC 200/10V աղյուսները կառավարելու համար, ինչպես նաև սնուցում է դետեկտորի ներդրված ELMB - ին (Embedded Local Monitor):

Իրականացվել են հետևյալ աշխատանքները.

- Փոփոխվել է էլեկտրական միացման դիագրամը, ավելացվել է DCS լարման հսկողություն Tri-State Lines-ում: Նոր տարբերակն - AuxBoard3_v3.6;
- Կատարվել է AuxBoard3 տոպոլոգիայի մշակում, նախաարտադրական նախատիպերի պատրաստման համար;
- Ճակատային վահանակ (FP) արտադրություն (Երևան) (առաքվել է 80 հատ):



CERN-ի աջակցություն Արդյունաբերական վերահսկողության հավելվածների և շրջանակների համար

- JCOP-ի և UNICOS-ի ավտոմատ կառուցման և փորձարկման ենթակառուցվածքի գործիքների շարունակական սպասարկում և կատարելագործում;
- JCOP-ի և UNICOS-ի փաստաթղթեր. ավտոմատ թողարկում և տեղակայում համացանցում և պահեստներում (repositories);
- CERN WINCC OA բաշխում WinCC OA 3.16-ի թողարկումները Windows-ի և Linux-ի համար՝ P030, P031, P032, P033, P034;
- Աշխատանքներն ընթացքի մեջ են նոր WINCC OA 3.19-ի համար.
 - կառուցման սցենարների հարմարեցում;
 - կառուցման պատկերների ստեղծում;
 - Որակի ապահովման (Quality Assurance) թ
 - տեստերի հարմարեցում նոր թողարկման համար;

- Հերթափոխեր:

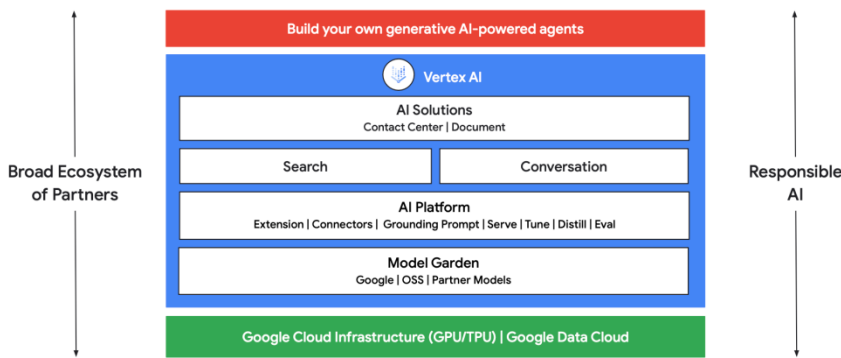
ATLAS Distributed Computing Rucio տվյալների կառավարման համակարգ

Տվյալների կառավարման համակարգի արդյունավետության բարձրացում ուսումնասիրելով, առաջարկելով և իրականացնելով ամպային բնօրինակ մոտեցում: Ավտոմատացված տեղակայում ամենօրյա և շաբաթական ներմուծումների և հաշվետվությունների համար օգտագործելով GitLab CI

Արհեստական բանականություն

Ծրագրի առաջարկի մշակում. առաջարկվող լուծում հիմնված AI-ի վրա, որը

կենտրոնանում է հերթափոխին օգնելու համար և հնարավորություն է տալիս փորձագետներին օգտագործել չաթբոտը պատմական խնդիրների լուծման



տվյալներին արագ մուտք գործելու համար բարձրացնելով նրանց արձագանքման հնարավորությունները և բարելավելու ընդհանուր գործառնական արդյունավետությունը: Մշակել AI-ով աշխատող գեներատիվ AI գործակալ, որն օգտագործում է Google BART մոդելի գիտելիքներն ու հնարավորությունները հաճախորդների սովորական և կրկնվող հարցումները լուծելու համար:

Աշխատանքներ ATLAS գիտափորձի տեխնիկական համակարգում

TDAQ համարգչային ադմինիստրացիա՝ Point 1-ի տարածքում համակարգչային ենթակառուցվածքների անխափան աշխատանքի ապահովում.

- Մոնիթորինգ և սպասարկում SLIMOS-ին (անվտանգության ոլորտում հերթափոխի ավագ պատասխանատու) պատկանող բոլոր համակարգիչների ապարատային և ծրագրային ապահովություն, բոլոր հարկավոր պատչերի տեղադրում;
- ATLAS Կառավարման սենյակի (Control Room) Համակարգչային համակարգերում ավտորիզացիայի հետ կապված խնդիրների լուծում;
- Անվտանգության վերաբերյալ որոշակի տեղեկատվություն հեռարձակող Մեդիա-հեռարձակիչ սերվերի տեղադրում, կոնֆիգուրացիա և սպասարկում;

- Point 1-ի տարածքում անվտանգության համակարգի համար նախատեսված տեսահսկման համակարգերի տեղադրում և սպասարկում;
- Point 1-տարածքում անվտանգության համար կարևոր մի շարք համակարգերի հսկողություն, սպասարկում և անսարքությունների շտկում;
- ATLAS այցելուների կենտրոնի տեխնիկական ապահովագրում;
- ATLAS վիրտուալ այցելուների կենտրոնի ապարատային սարքավորումների, ենթակառուցվածքների սպասարկում և անսարքությունների շտկում;
- ATLAS Slimos պահեստային վթարային կենտրոնի շարունակական և անխափան գործունեության համար ապարատային սարքավորումների և ենթակառուցվածքների տեղադրում, կոնֆիգուրացիա և հետագա սպասարկում:

Մեխանիկական, տեխնիկական համագործակցություն

Բոլոր մեխանիկական կոնսոլիդացման աշխատանքների մասնակցություն դետեկտորի փակման և սպասարկման ժամանակ.

- Դետեկտորների տեղադրման համար նախատեսված գործիքների պատրաստում և ձևափոխում՝ մուտքի հարթակներ, բեռնաթափման և բեռի կրման գործիքներ (բարձրացող աշխատանքային հարթակներ);
- ATLAS, ALICE, LHCb փորձարկումների համար Sniffers-ների սպասարկում (պայթուցիկ գազի հայտնաբերում, հրդեհների հայտնաբերում, թթվածնային դետեկտորներ);
- Հիդրոմետրի տեղադրման համար հիդրավլիկ գծերի նոր խողովակաշարերի տեղադրում (խողովակներ, յուղի սնուցման համակարգ և այլն);
- Մյուռնային պատերի տեղադրման համար դեկի փոփոխություն;
- ATLAS դետեկտորի A կողմում BIS մյուռնային խցիկների տեղադրման նախապատրաստական աշխատանքներ;
- Մյուռնային խցիկների տրանսպորտային շասսիի պատրաստում, հավաքում, ամրության փորձարկում;
- Տեղադրման տեխնիկայի մշակում և կոնֆլիկտային գոտիների ձևափոխում;
- Հին BIS խցիկների ապամոնտաժում և դրանց փոխարինում նորերով;
- Նոր SW դետեկտորների վրա, մյուռնային խցիկների հավաքման աշխատանքների ավարտ և նախապատրաստում տեղափոխման համար;
- Հին SW-ների ապամոնտաժում և տեղափոխում պահեստային տարածք;
- Դետեկտորի մասերի տեղափոխում և փորձարարական տարածքի փակում;



- Մետաղական կոնստրուկցիաների պատրաստում և հավաքում՝ տորոիդ մագնիսների վակուումային համակարգերի աշխատանքային հասանելիության համար:

Նախապատրաստական աշխատանքներ դետեկտորի տարեկան սպասարկման համար՝

- Դետեկտորի մասերի (BW, EBT, SW, EBT) տեղաշարժ տեխնիկական սպասարկման համար;
- Անձնակազմի մուտքի համար կառույցների տեղադրում;
- Փորձարարական տարածքի նախապատրաստում տեխնիկական սպասարկման ավարտին;
- Ներքին ATLAS դետեկտորի մակետի պատրաստում ու հավաքում՝ փոխարինման գաղափարը փորձարկելու համար (LS3);
- LS3-ի ընթացքում հին սերնդի 128 BIS մյուռնային խցիկները նորերով, փոխարինելու համար կառույցների պատրաստում և հավաքում;
- BIS խցիկների տեղադրման աշխատանքների օպտիմիզացում;
- Նախապատրաստում հետագա տեխնիկական սպասարկմանը:

Գիտաժողովներ

1. Tile Calorimeter Collaboration Week, INFN-Pisa Սարգսյան Լ. - Low Voltage: Auxilliary board current status, 10/10/2023.
2. Tile Calorimeter Collaboration Week, CERN, Ասատրյան Ս. - Hadron study updates, 14/07/2023.
3. Ռուբակովի անվան տարրական մասնիկների ֆիզիկայի և տիեզերագիտության դպրոց. Մեմուշին Ա. - `Использование составного аномального сигнала для постановки пределов на коэффициенты Вильсона аномальных трехбозонных вершин на основе процесса рождения $Z(\nu\nu)\gamma$, 02/07/2023.
4. Ա. Մեմուշին, , Anomalous triple and quartic gauge couplings in the electroweak theory, ԱԱԳԼ ՓՖԲ-ի սեմինար:

2023 թ-ի հրատարակումների ցուցակ

1. Aad G. , Sargsyan L. et al, Operation and performance of the ATLAS Tile calorimeter in LHC Run 2, 2023, Prepared for submission
2. Aad G. , Akhperjanyan G., Yandyan A. et al, The ATLAS Experiment at the CERN Large Hadron Collider: A Description of the Detector Configuration for Run 3, arXiv:2305.16623
3. S. Asatryan, CERN Summer student Programme 2023, տևողությունը՝ 2 ամիս:

ALICE- գիտափորձ

Խումբը (Սմբատ Գրիգորյան (ղեկավար), Գալուստ Սարգսյան) 2022 թվականին մասնակցել է ALICE համագործակցության բոլոր համաժողովներին (ներկա կամ առցանց ձևաչափով), գիտական արդյունքների ու հոդվածների քննարկմանը: Սմբատ Գրիգորյանը 2023 թվականի գարնանը և աշնանը մեկական ամսով գործուղվել է CERN (ՄՀՄԻ-ի ֆինանսավորմամբ), մասնակցել է ALICE-ի դետեկտորների աշխատանքի հսկողությանը (Shifts) և նոր տվյալների հավաքագրմանը: Կատարվել են հետևյալ աշխատանքները:

- 1. Սմբատ Գրիգորյանը** 2023 թվականին ՄՀՄԻ-ի ALICE խմբի հետ մասնակցել է տվյալների մշակման աշխատանքներին կապված K^+ , K^- մեզոնների զույգերի կորելացիաների հետ: Այս ուսումնասիրությունների արդյունքներով կիրատարակվեն երկու հոդվածներ: Մեկը նվիրված p -Pb, իսկ մյուսը 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 երեք նպատակով: Առաջին նպատակն է՝ նկարագրել LHC-ի Xe-Xe բախումներում ծնված տարբեր հաղորդների 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 հաղորդների 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՝ կիրառել մոդելը ավելի ցածր էներգիաների Au-Au 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 և PHENIX գիտափորձերում: Արդյունքները շուտով կիրատարակվեն:
- 2. Հաշվետու տարում** գիտական ամսագրերում հրատարակվել են 56 հոդվածներ:

ԱՍԳԼ-COMPASS համագործակցություն

Ղեկավար՝ Բ. Պարսամյան

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

2023 թվականի ընթացքում խմբի աշխատանքները կենտրոնացված էին հետևյալ խնդիրների ուսումնասիրության վրա:

Drell-Yan պրոցեսի 2018 թ. տվյալների վերլուծություն

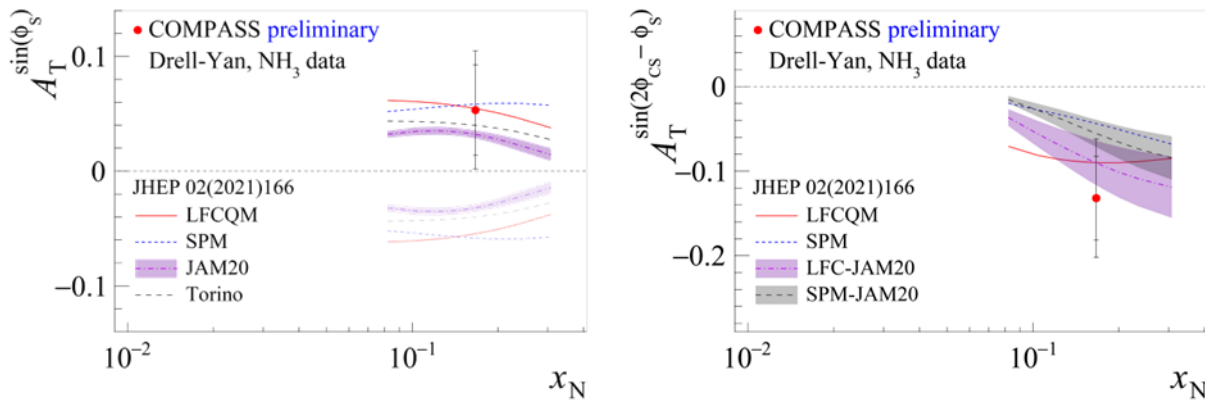
Պիոն-նուկլոն բախումներում երկու լեպտոնների ծնման պրոցեսների լայնակի սպինից կախված ազիմուտային ասիմետրիաների ուսումնասիրում: 2023 թվականին լայնակի սպինից կախված ասիմետրիաների (TSAs) վերջնական վերլուծությունը մեր հիմնական նպատակներից մեկն էր: Այս վերլուծություններում խումբն ունի առաջատար դերակատարություն: 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 ԳեՎ/վրկ. իմպուլսով π մեզոնների փունջը, որը ընկնում է լայնակի բևեռացված պրոտոնային (NH3) թիրախի վրա: Drell-Yan կանալի նախնական արդյունքները (4.3 – 8.5 ԳեՎ/c² զանգվածի միջակայքի համար) ներկայացվել են կոլաբորացիայի հաստատման 2022 թվականի մարտին: 2023 թվականին վերլուծությունը տարածվել է զանգվածի ավելի լայն տիրույթի համար (4.0 – 9.0 ԳեՎ/c²): Չանգվածի ավելի ցածր արժեքների դեպքում, ֆոնը բաղկացած է ψ' , J/ψ , բաց հմայքով կիսամյուտոնային տրոհման արդյունքներից և կոմբինատորային ֆոնի ներդրումից: Մոնտե-Կարլո հաշվարկների միջոցով ֆոնը գնահատելուց և բոլոր սահմանապակումները կիրառելուց հետո գրանցվում է երկու մյուտոնների մոտ $10^2 \times 10^3$ դեպք 2015 և 2018 թվականների ամբողջ ստատիստիկայի համար:

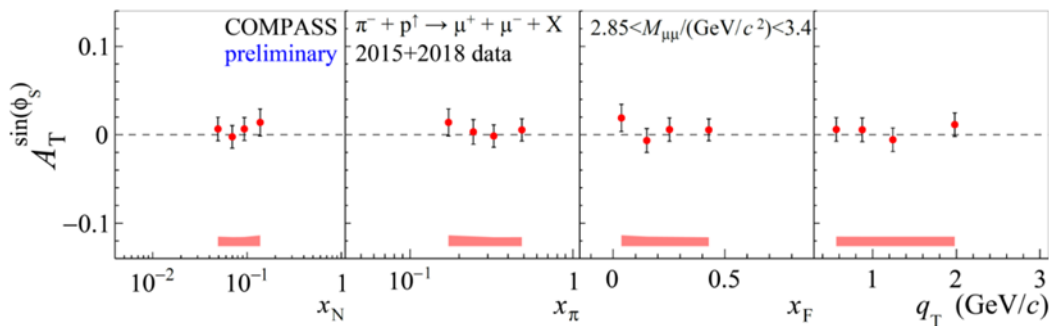
Չնայած սահմանափակ վիճակագրությանը, ներկայացված արդյունքները հաստատում են Sivers TMD PDF-ների նշանների փոփոխությունը: Չափված Sivers TSA-ն (Նկար 1. ձախ վահանակ) համընկնում է մոդելների վերջին կանխագուշակումների հետ [JHEP 02(2021)166], որոնք հաշվի են առնում TMD-ի էվոլյուցիայի էֆեկտները և, հետևաբար, հերքում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

Լայնակի TSA-ի (Նկար 1. աջ վահանակ) չափված արժեքը ստացվում է գրոյից 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:

Թարմացված արդյունքները ներառվել են հոդվածի նախագծում, որը ներկայումս շրջանառվում է Համագործակցության մեջ: Հոդվածը նախատեսվում է ներկայացնել PRL ամսագրին 2023 թվականի դեկտեմբերի վերջին:



Նկ. 1. Չափ վահանակ. Չափված միջին Sivers TSA և տեսական կանխագուշակումներ տարբեր մոդելներից: Մուգ ստվերային (թեթև ստվերային) կանխագուշակումները գնահատվում են (առանց) նշանի փոփոխության վարկածով: Աջ վահանակ. Չափված միջին լայնակի TSA և տեսական կանխագուշակումներ տարբեր մոդելներից:



Նկ. 2. J/ψ -ի պիկի զանգվածի ($2,85 - 3,4$ GeV/c^2) միջակայքում ստացված Sivers ասիմետրիայի կինեմատիկ կախվածությունը:

J/ψ պիկի շուրջ ($2,85 - 3,4$ GeV/c^2) նեղ զանգվածային միջակայքի համար TSA-ների արդյունքները հրապարակվել են 2023 թվականին: 2015 և 2018 թվականների նոր վերաարտադրված տվյալների ընտրանքից ստացված J/ψ -ների TSA-ները համընկնում են

գրոյի հետ: Սա համընկնում է որոշ տեսական նկատառումների հետ ենթադրելով, որ COMPASS-ի կինեմատիկ տիրույթում գերակշռում է J/ψ-երի առաջացման գլյուոն-գլյուոնային միաձուլման մեխանիզմը: J/ψ-ի ընտրված զանգվածային միջակայքի համար նոսրացման գործակիցը հաշվարկվել է NRQCD մոդելի հիման վրա և հաշվի է առնվել ասիմետրիայի գնահատման ժամանակ: Նկար 2-ում ցուցադրված են Sivers TSA-ի արդյունքները J/ψ զանգվածի միջակայքում:

Drell-Yan չբևեռացված կամ բևեռացումից անկախ ասիմետրիաները զանգվածի բարձր տիրույթում: Երեք չբևեռացված ասիմետրիաներ (UA) առկա են Drell-Yan-ի կտրվածքում: Ի տարբերություն սպինից կախված ասիմետրիաների, UA-ի վերլուծությունը պահանջում է արքեպտանսի ուղղումներ Մոնտե-Կարլո հաշվարկների հիման վրա և քննարկվում է առանձին: Այս վերլուծությունը մեծապես կախված է COMPASS-ում զուգահեռ իրականացված չբևեռացված Drell-Yan կտրվածքի վերլուծության առաջընթացից: Երկու վերլուծություններն էլ օգտագործում են Մոնտե-Կարլո-ուղղման նույն շրջանակը: Չնայած տեղադրման և չափման պայմանների Մոնտե-Կարլո նկարագրության զգալի առաջընթացին և բարելավումներին, ավելի շատ աշխատանք է պահանջվում հասկանալու համար կտրվածքների արդյունքներում նկատված ժամանակային տատանումները և Մոնտե-Կարլո և փորձարարական տվյալների միջև եղած անհամապատասխանությունները:

Ընթացքի մեջ են հատուկ ուսումնասիրությունները գնահատելու համար սիստեմատիկ սխալները և բարելավելու COMPASS դետեկտորի Մոնտե-Կարլոյի նկարագրությունը:

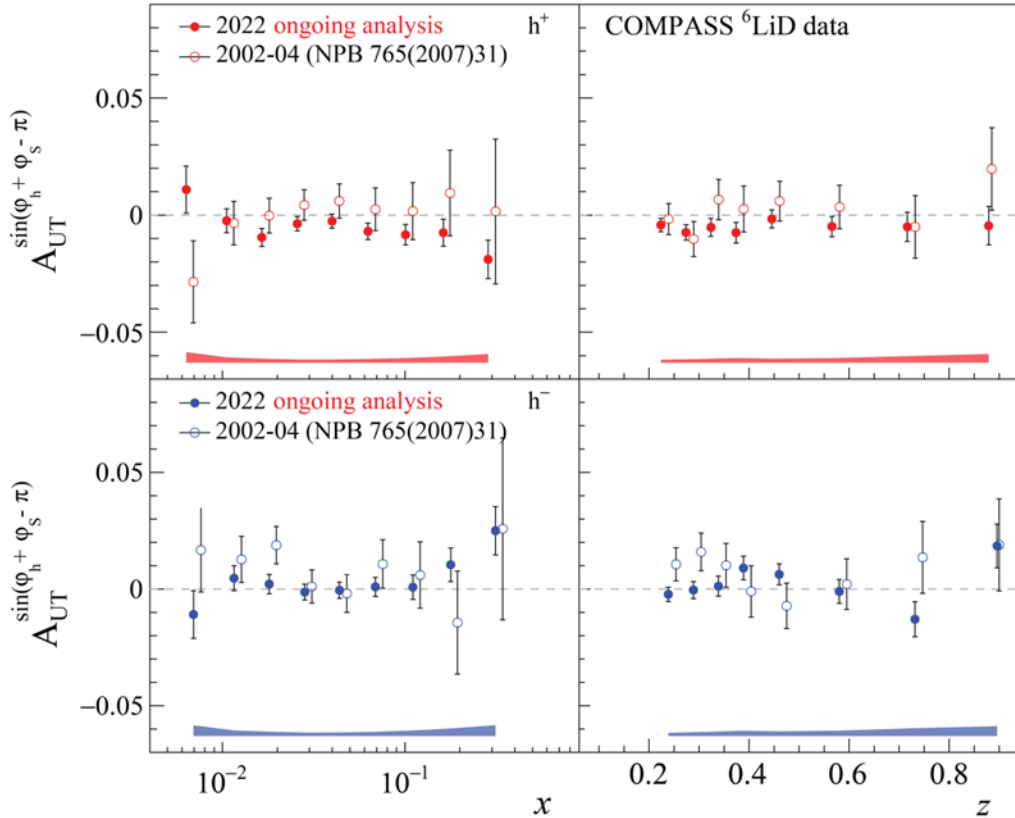
Նմանատիպ ուսումնասիրություն է իրականացվում J/ψ զանգվածի տիրույթում չբևեռացված ազիմուտային ասիմետրիաների համար: Առանձնահատուկ հետաքրքրություն է ներկայացնում, այսպես կոչված, λ բևեռային անկյան ասիմետրիայի չափումը Collins-Soper համակարգում: Այս դիտարկելի մեծությունը կարող է օգտագործվել J/ψ առաջացման և բևեռացման փոխանցման մեխանիզմներն ուսումնասիրելու համար, ինչը անհրաժեշտ ներդրում է COMPASS J/ψ TSA-ի արդյունքների մեկնաբանման համար:

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

2022 թվականի կիսաինկլյուզիվ (SIDIS) տվյալների վերլուծությունը

Կիսաինկլյուզիվ TSA-ների առաջին արդյունքները ստացվել են 2022 թվականի տվյալներն օգտագործելիս: Մինչև 2023 թվականի հունիսի վերջը 2022 թվականի ամբողջական ընտրանքը մշակվել և վերլուծվել է: Առաջին արդյունքները ստացվել են

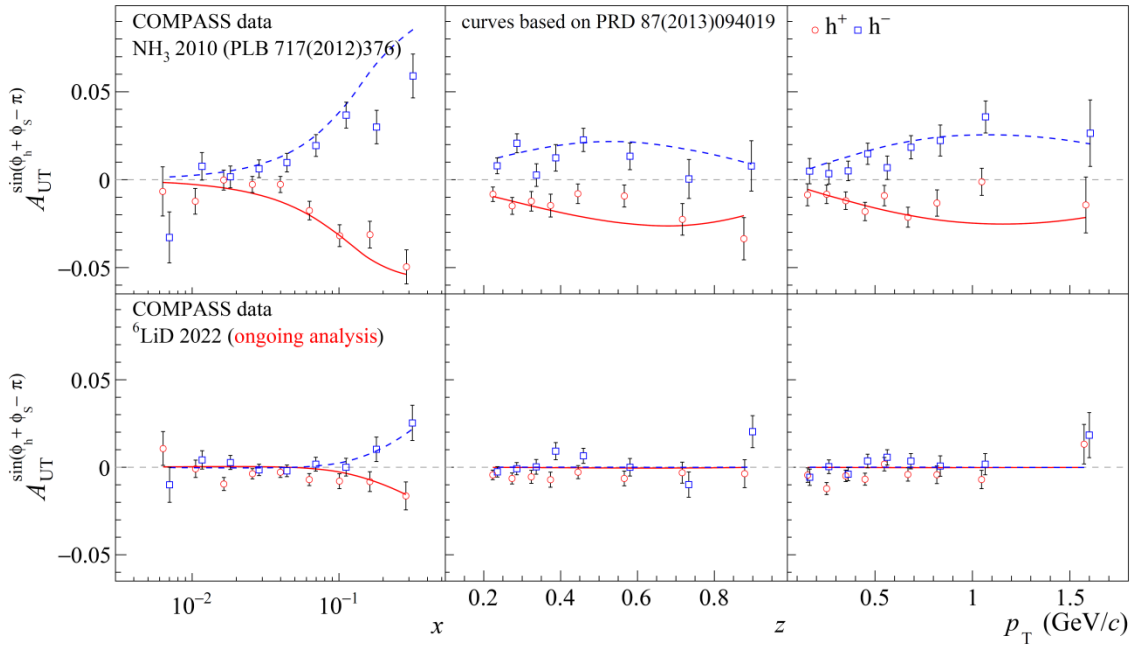
բոլոր ութ SIDIS TSA-ների և ամենակարևորը Collins և Sivers ասիմետրիաների համար: Նկար 3-ում 2022 թվականի Collins ասիմետրիաների արդյունքները համեմատվում են COMPASS-ի հին 2002-2004 թվականների դեյտրոնի վրա իրականացված չափումների հետ [NPB 765(2007)31]:



Նկ. 3. Collins ասիմետրիան. 2022-2004 թվականների տվյալների հին արդյունքները դեյտրոնի վրա համեմատվում են 2022 թվականի տվյալներից ստացված նոր արդյունքների հետ:

Վիճակագրական ճշգրտությունը շատ ավելի բարձր է համեմատած հին տվյալների հետ և բավարար է տարբերակելու փոքր էֆեկտները նույնիսկ Bjorken-x-ի 0,1-ից բարձր բններում՝ COMPASS փուլային տարածության ծածկույթի ծայրամասում, որտեղ դեպքերի թիվը համեմատաբար փոքր է: Մասնավորապես, կարծես թե ոչ գրոյական միտում կա ինչպես դրական, այնպես էլ բացասական հաղորդների համար մեծ x-ում Collins ասիմետրիայի համար: COMPASS-ի նոր տվյալները հատկապես կարևոր դեր կխաղան d-քվարկի transversality TMD PDF-ի սահմանափակման գործում և կմնան եզակի SIDIS դեյտրոնի չափումներում հաջորդ տասնամյակների ընթացքում: Դիտարկված միտումները համընկնում են մոդելի կանխագուշակումների հետ՝ COMPASS պրոտոնի/դեյտրոնի տվյալների հիման վրա [PRD 87 (2013) 094019], ինչպես

ցույց է տրված Նկար 4-ում: Sivers TSA-ների արդյունքները կարծես թե նշանակալի միտումներ չունեն սխալների սահմաններում: Ախմետրիաները կարծես թե փոքր են և համեմատելի են զրոյի հետ: Չնայած էֆեկտի փոքրությանը, այս տվյալները շատ կարևոր են Sivers TMD PDF-ների հետագա սահմանափակման համար:



Նկ. 4. Collins ախմետրիան. պրոտոն 2010 և դեյտրոն 2022 արդյունքները համեմատվում են մոդելի կանխատեսումների հետ հիմնված [PRD 87 (2013) 094019] վրա:

Ընտրված գործունեություն

ԱԱԳԼ խումբն ակտիվորեն մասնակցել է մի շարք այլ վերլուծությունների և ուսումնասիրությունների:

- Սպին Խտության Մատրիցական Էլեմենտների ուսումնասիրումը և չափումը ρ^0 -մեզոնի էկսկլյուզիվ մյուոնաառաջացման ռեակցիայում COMPASS-ում (DVCS-2012 տվյալներ): Մասնակցություն դեպքերի ստուգման և SIDIS ֆոնի մասի գնահատման գործում: Հոդվածն ընդունվել է տպագրության 2023 թվականի մայիսին (EPJC (2023) 83 924):
- 2010 թվականի երկու հաղթողների տվյալների վերլուծություն և Collins-ի և Sivers-ի ախմետրիաների ուսումնասիրություն SIDIS-ում ծնված ρ^0 -մեզոնների համար (Տրիեստ-Տորինո): Մասնակցություն վերլուծության բոլոր փուլերին, ներառյալ դեպքերի ընտրությանը, ախմետրիայի ստացմանը և տարբեր կինեմատիկական բիներում ֆոնային մասի որոշմանը: Համապատասխան հոդվածը վերջերս լույս է տեսել՝ Phys.Lett.B 843 (2023) 137950:

- Collins and Sivers ասիմետրիաները պիոնների և կաոնների զույգերում, որոնք առաջանում են մյուոն-պրոտոն և մյուոն-դեյտրոն կիսաինկլյուզիվ ոչառաձգական ցրումներում: Համապատասխան հոդվածը հրատարակվել է 2023 թվականին (PLB 845 (2023) 138155):

Գիտաժողովներ

1. Bakur Parsamyan: Main organizer and chair of the organization committee for a series of “COMPASS Analysis Phase” mini-workshops at CERN (five mini-workshops in 2023).
2. IAC member for the DPSIN-2023 and IWHSS-2023 workshops.
3. Co-chair of the organization committee for the “CPHI-IWHSS-2024” workshop, September 31 – October 4, 2024, Yerevan, Armenia.
4. International Spin Symposium (SPIN-2023), Durham, NC, USA, September 24-29, 2023 Bakur Parsamyan - “COMPASS spin physics programme” (invited, plenary).
5. STRONG 2020-workshop: Fixed target experiments at LHC, Centre Paul Langevin, Aussois, France, January 5-7, 2023. Bakur Parsamyan Spin physics overview at COMPASS (invited).
6. “JLAB 22 – Science at the Luminosity Frontier: Jefferson Lab at 22 GeV Workshop”, JLab, USA, 23 to 25 January, 2023, B. Parsamyan: - The relevance of multidimensional binning in SIDIS (invited).
7. 151st Meeting of the SPSC, 14-15, November, CERN. “Status and plans of the COMPASS Experiment”
Speaker: Bakur Parsamyan (invited, plenary)

Հրատարակված հոդվածների ցանկ

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

Մասնակցություն DESY-ում կատարված HERMES, 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:

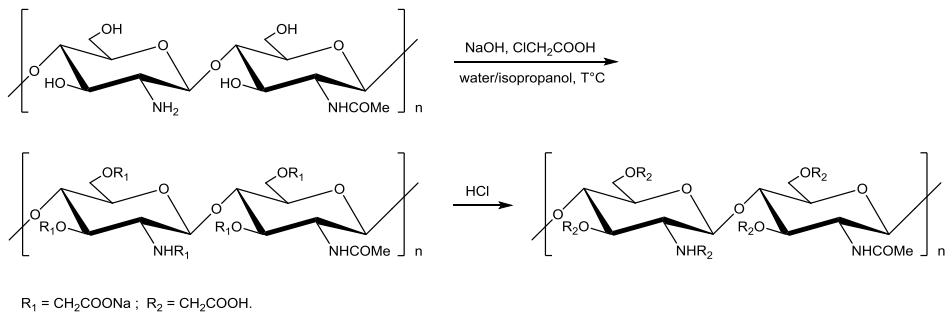
Հրատարակված հոդվածների ցանկ

1. V. Andreev, M. Aratia, ... , H. Zohrabyan et al. (H1 collaboration), “ Unbinned deep learning jet substructure measurement in high Q^2 ep collisions at HERA”, Phys. Lett. B 844 (2023) 138101.

Խիտոզանի նոր ածանցյալների սինթեզ և ուսումնասիրություն
 Քիմական գիտությունների թեկնածու Վասակ Ղավայան

Հաշվետու ժամանակահատվածում՝ 2023 թվականին, շարունակվել է խիտոզանի **ԽԶ-(ԽԶ-CS)** հիման վրա նոր Շիֆֆի հիմքերի (**ԽՇՀ-CSSB**) սինթեզը և սինթեզված համակարգերի ուսումնասիրությունները:

Նպատակ ունենալով սինթեզել, բնութագրել և ուսումնասիրել բոլորովին նոր և ջրալույծ օքսիկարբօքսիմեթիլ խիտոզանային Շիֆֆի հիմքեր (**O-CM-CSSB**) համաձայն ստորև բերված ռեակցիայի ուրվագծի:

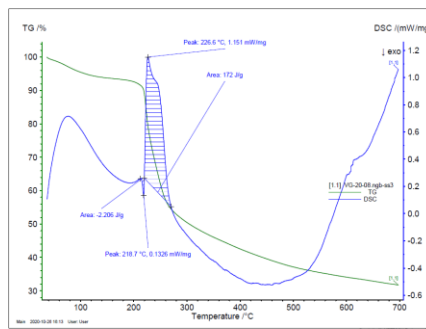


Սինթեզել և ուսումնասիրել ենք նաև ջրալույծ օքսիկարբօքսիմեթիլ խիտոզա **O-ԿՄԽԶ (O-ԿՄԽԶ / O-CM-CS)**, որպես ելանյութ ևս օգտագործելով մեր կողմից սինթեզված **ԽԶ**:

Սինթեզված արգասիքները բնութագրվել են.

- թերմոգրավիմետրիկ անալիզի՝ թերմոգրավիմետրիա-դիֆերենցիալ սկանավորվող կալորիմետրիա (TG-DSC);
- մոլեկուլյար սպեկտրոսկոպիայի՝ տեսանելի լույսի ինֆրակարմիր տիրույթում (FTIR-ATR) մեթոդներով:

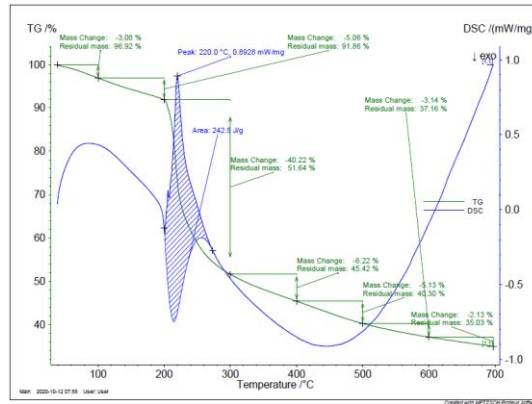
Նկար1-ում և նկար 2-ում բերված են օքսիկարբօքսիմեթիլ խիտոզանի (Օ-ԿՄԽՁ) և 4-(2-քլորոէթիլ) բենզալդեհիդի ու խիտոզանի փոխազդեցությամբ սինթեզված օքսիկարբօքսիմեթիլ խիտոզանային Շիֆֆի հիմքի (Օ-CM-CSSB -Cl-H) նմուշների, համապատասխանաբար թերմոգրավիմետրիկ անալիզի արդյունքները: Ցույց է տրված, որ մինչև կշռի ինտենսիվ կորստի սկիզբը մոտ 200°C, առաջին նմուշը կորցնում է էլային կշռի 8, իսկ երկրորդը 6 %: Կշռի կորստի հետագա ընթացքը երկու նմուշների համար նմանատիպ է (TG կորեր): Մինչդեռ ջերմային պրոցեսները նկարագրող կորերն իրարից տարբերվում են էականորեն (DSC կորեր): Այդ տարբերությունն արտահայտվում է Նկար 1-ում Օ-ԿՄԽՁ բնութագրող կորի վրա ջերմության անջատվող էկզո-պրոցեսի բացակայությամբ (DSC կորեր):



Նկ. 1. Օքսիկարբօքսիմեթիլ խիտոզան Օ-ԿՄԽՁ նմուշի թերմոգրավիմետրիկ անալիզի (TG-DSC) տվյալները:

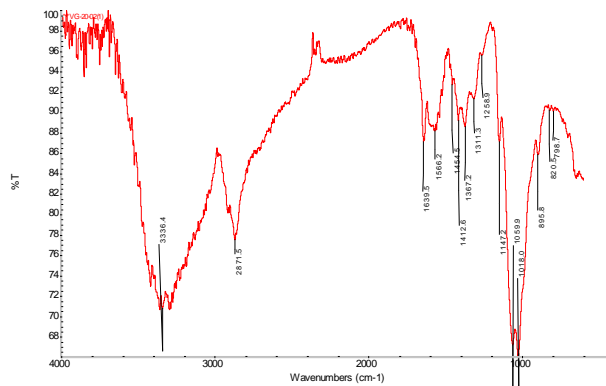
Էկզո-պրոցեսը ցայտուն արտահայտված է նկար 2-ում, ջերմության անջատմամբ ուղեկցվող պրոցեսներին բնորոշ ընթացքով: Նշենք, որ էկզո-պրոցեսն սկսվում է մոտ 200°C: Այսինքն, Օ-CM-CSSB-Cl-H նմուշի թերմիկ վարքի հիմնական տարբերությունը նախորդ Օ-ԿՄԽՁ նմուշի թերմիկ վարքի համեմատությամբ, հստակ արտահայտված և նոր էկզո-պրոցեսի ներկայությունն է:

Տվյալ՝ մոտ 200°C, ջերմաստիճանային տիրույթը բնորոշ է մասնավորապես օրգանական թթուների և նրանց տարբեր բաղադրության աղերի թերմիկ քայքայմանը և ուղեկցվող էկզո-պրոցեսների արձանագրմանը:

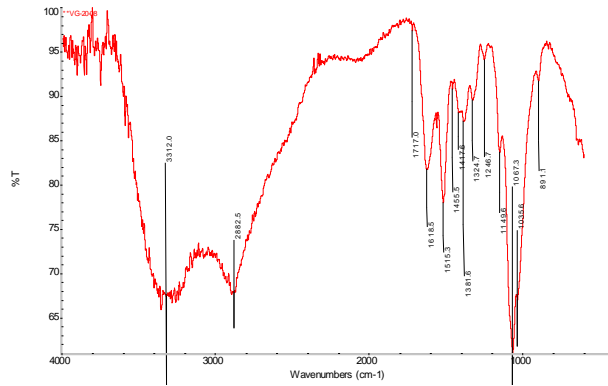


Նկ. 2. Օքսիկարբոքսիմեթիլ խիտոզանային Շիֆֆի հիմքի (O-CM-CSSB -Cl-H) նմուշի թերմոգրավիմետրիկ անալիզի (TG-DSC) տվյալները:

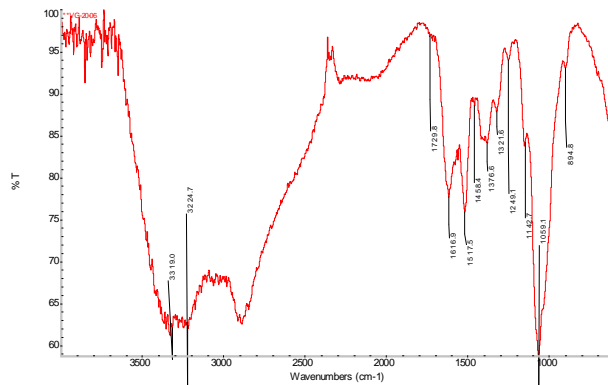
Մուլեկուլյար սպեկտրոսկոպիայի՝ տեսանելի լույսի ինֆրակարմիր տիրույթում (FTIR-ATR) նմուշների կլանման սպեկտրները բերված են նկ. 3, 4 և 5 տեսքով: Նկար 3-ում 4-(2-քլորոէթիլ) բենզալդեհիդի ու խիտոզանի փոխազդեցությամբ սինթեզված Շիֆֆի հիմքի (**ԽՇՀ-CSSB- Cl**) նմուշի կլանման սպեկտրն է, որում արձանագվում է Շիֆֆի հիմքերին բնորոշ կլանում մոտ 1640 սմ⁻¹ տիրույթում: Մինչդեռ O-ԿՄԽԶ և O-CM-CSSB -Cl-H նմուշների սպեկտրներում (համապատասխանաբար նկար 4 և նկար.5) բացակայում է 1640 սմ⁻¹ տիրույթում կլանումը և ի հայտ է գալիս թույլ ինտենսիվությամբ կարբոքսիլային խմբերին բնորոշ նոր կլանում մոտ 1720 սմ⁻¹ տիրույթում,



Նկ. 3. 4-(2-քլորոէթիլ) բենզալդեհիդի և խիտոզանի հիման վրա սինթեզված Շիֆֆի հիմքի նմուշի կլանման սպեկտրը:



Նկ. 4. Խիտոզանի օքսիկարբոքսիմերիլացված նմուշի կլանման սպեկտրը:



Նկ. 5. 4-(2-քլորոէթիլ) բենզալդեհիդի և խիտոզանի հիման վրա սինթեզված Շիֆֆի հիմքի օքսիկարբոքսիմերիլացված (CSSB-CM-Cl-H) նմուշի կլանման սպեկտրը:

Լրիվ ներքին անդրադարձման Ֆուրիե ձևափոխմամբ (FTIR ATR) կլանման սպեկտրները գրանցվել են FTIR Microscope LUMOS (Bruker, Billerica, MA, USA) spectrometer-ի օգտագործմամբ, 600-4000 սմ⁻¹ ալիքային թվերի տիրույթում: Թերմոգրավիմետրիկ անալիզն իրականացվել է STA 449 F3 JUPITER from Netzsch (Selb, Germany) սարքի օգնությամբ, հեղիումի հոսքի պայմաններում (հեղիումի հոսքի արագությունը 20 մլ/վրկ), ջերմաստիճանային տիրույթը սենյակայինից մինչև 700 °C/10 °C/րոպե արագությամբ, նմուշի ելային կշիռը 10 մգ:

Հետազոտությունները շարունակվում են նպատակ ունենալով սինթեզել ուսումնասիրությունների համար անհրաժեշտ քանակությունների նմուշներ և նոր բաղադրությամբ խիտոզանային ջրալույծ ածանցյալներ:

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)

ԱՄՆ-ի Ջեֆերսոնի անվան Լաբորատորիայի փորձարարական Ա դահլիճում հաստատված ծրագրերից է “Supper BigBite Spectrometer”, (SBS) սպեկտրոմետրի նախագծումը և կառուցումը: 2021 թ. ավարտվեց սպեկտրոմետրի կառուցման աշխատանքները և տեղադրվեց Ա դահլիճում: SBS-ի ծրագրի վրա ընդունված գիտափորձերից որոշները բերված են ներքևում:

GEP5 - Մեծ արեսպտանսում պրոտոնի ֆոն ֆակտորի հարաբերության չափումները 13 և 15 (ԳէՎ/c)² համար օգտագործելով ետհարվածի բևեռացման մեթոդը:

GMN -Նեյտրոնի մագնիսական ֆոն ֆակտորի ճշգրիտ չափումը մինչև $Q2 = 18.0$ (ԳէՎ/c)²:

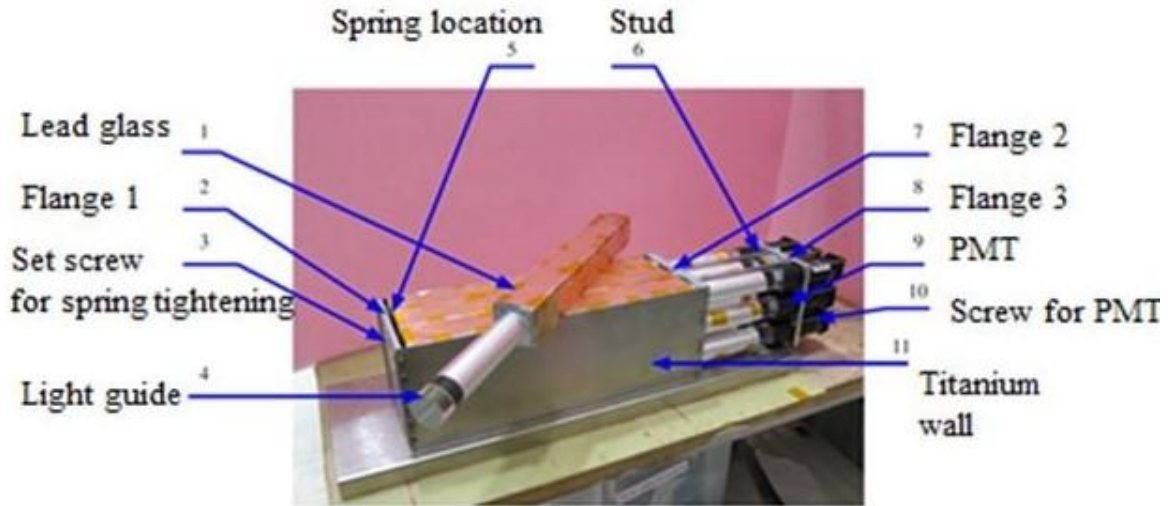
GEN2 - Նեյտրոնի էլեկտրա մագնիսական ֆոն ֆակտորի G_{nE}/G_{nM} հարաբերության չափումը բարձր Q2-ու համար.

GMN գիտափորձը ավարտվել է և հիմա կատարվում է ստացված արդյունքների մշակում:

Այս պահին կատարվում է GEN2 գիտափորձը, որը կավարտվի 2024 թվականին: Հաջորդ գիտափորձը GEP5-ն է, որը պլանավորված է 2024 թվականի աշնանը: GEP5 գիտափորձի հիմնական դետեկտորներից մեկն է էլեկտրամագնիսական կալորիմետրը, որը կառուցվելու է 1656 34 x 34 x 340 մմ³ կապարային ապակիներից, և ունենալու է մոդուլային կառուցվածք: Յուրաքանչյուր մոդուլ բաղկացած է լինելու 9 կապարային ապակուց: Սուպերմոդուլների ընդհանուր քանակը 184-ն է:

Ինչպես հայտնի է, կապարային ապակին ճառագայթումից դեղնում է և կորցնում է թափանցելիությունը, իսկ դա բերում է կալորիմետրի լուծողականության վատացմանը: Կապարային ապակու թափանցելիության վերականգնման մի քանի մեթոդ գոյություն ունի: Մեկը՝ ճառագայթել ուլտրամանուշակագույն լույսով, որի ընթացքում պետք է գիտափորձը կանգնեցնել մի քանի օր: Գոյություն ունի նաև կապարային ապակին վառարանում մինչև 220° տաքացնելու և 1 ժամ պահելու եղանակը: Ելնելով

նկարագրված մեթոդներից, որոշվեց ամբողջությամբ տաքացնել և տաք պահել կալորիմետրը գիտափորձի ընդացքում: Տաքացումը կատարվում է հատուկ ընտրված տաքացուցիչների միջոցով: Նկարում բերված է 9 կապարային ապակուց հավաքված մոդուլը: Նշված աշխատանքներ կատարելու համար Ջեֆերսոն Լաբորատորիայի Ա դահլիճ են գործուղվել ԱՄԳԼ-ի ՓՏԲ-ի մի շարք աշխատակիցներ:

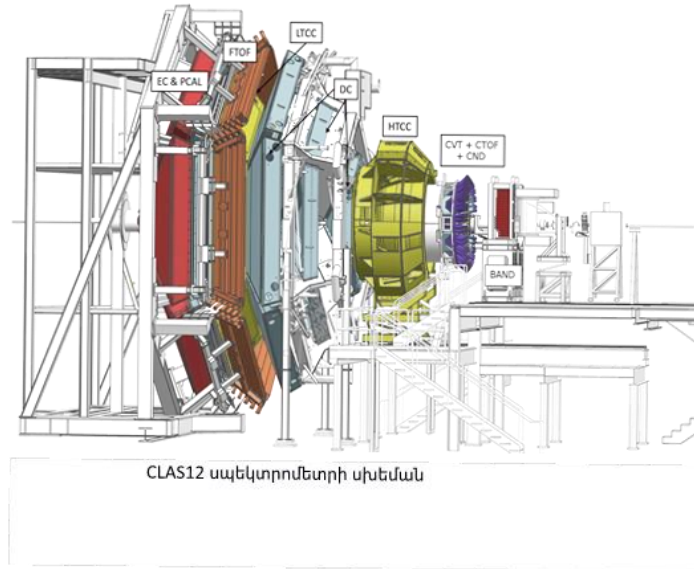


Կառուցված Սուպերմոդուլը:

Գործունեություն AANL-JLAB համագործակցությունից դուրս

Ա. Շահինյանի ղեկավարությամբ 2023 թվականին շարունակվել են «Շրջակա միջավայրում և հանքարդյունաբերությունում ծանր մետաղների քանակական որոշման նոր տեխնոլոգիա» անունով կիրառական նշանակության թեմայի աշխատանքները, որոնք ավարտվել են 2023 թվականի Սեպտեմբերի 30-ին: Ասացված արդյուքներն ուղարկվել են տպագրության ՀՀ Գիտությունների Ազգային Ակադեմիայի ֆիզիկա ամսագրում: Ա. Շահինյանը մասնակցում է նաև Վ. Սահակյանի “առաջատար հետազոտությունների” թեմայով կատարվող աշխատանքներին, ինչպես նաև մասնակցում է Էլեկտրոն-Իոնային Կոլլադերի (EIC) աշխատանքներին:

Hall-B (փորձարարական սրահ)



Ֆիզիկական ծրագիր.

Շարունակվել է RGA և RGB փորձերի տվյալների վերլուծությունը E12-12-001, E12-12-001A, E12-11-103B, E12-07-104A նախագծերի վերաբերյալ:

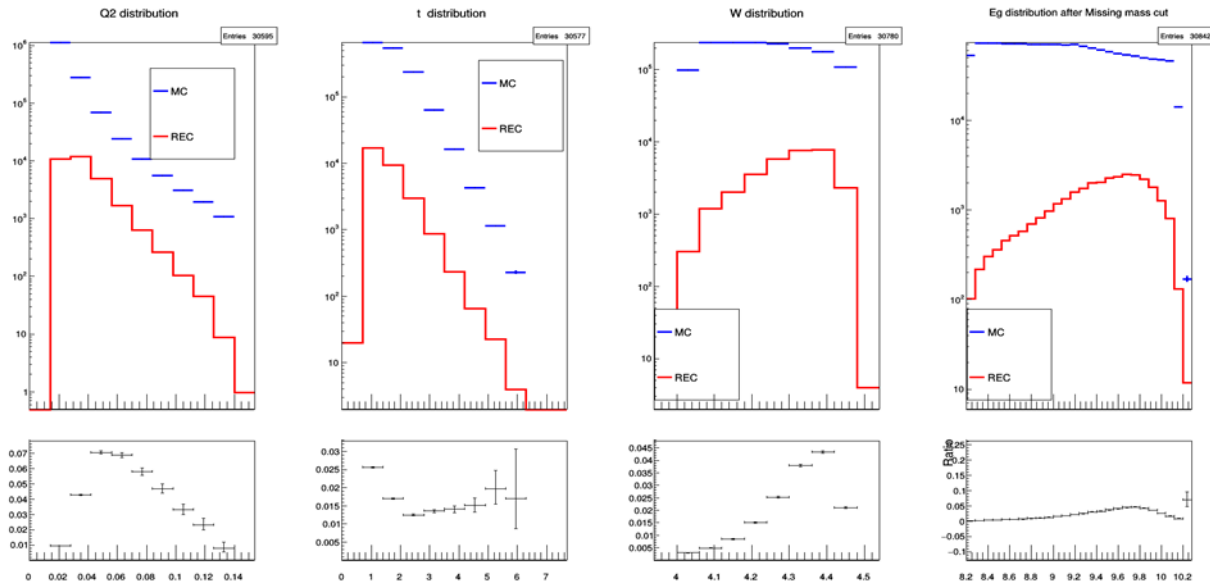
1. E12-12-001, E12-12-001A “CLAS12 դետեկտորի վրա J/ψ մեզոնի շեմին մոտ ֆոտոծնման ուսումնասիրումը”

ԱԱԳԼ-Նlab համագործակցության խումբը կատարում է E12-12-001 (RGA) և E12-011-103B (RGB) փորձարարական տվյալների մշակում՝ պրոտոնային և դեյտրոնային թիրախների վրա J/ψ-մեզոնի շեմին մոտ էքսկլուզիվ ֆոտոծնման ուսումնասիրություն: Ընթացիկ տարում կատարվել է ուսումնասիրություններ CLAS12 դետեկտորի տվյալների հիման վրա J/ψ մեզոնի ֆոտոծնման թեմայի շրջանակներում: Աշխատանքները շարունակվել են E12-12-001 գիտափորձի համար գեներացված տվյալների հիման վրա: Մշակումների նպատակը J/ψ-մեզոնի շեմին մոտ էքսկլուզիվ ֆոտոծնման ուսումնասիրության միջոցով պրոտոնի գլյուոնային ֆորմ ֆակտորի դուրս բերումն է՝ չափելով լայնական կտրվածքի կախվածությունը փոխանցված քառաչափ իմպուլսից, և շեմին մոտ ($E_{\text{center}} = 8.2$ ԳէՎ) լրիվ լայնական կտրվածքի վարքագծից (ծնման եղանակի պարզաբանման նպատակով): Հետազոտության առարկա՝ պիտակավորված քվարկոնեալ ֆոտոծնման, $\gamma p \rightarrow \gamma J/\psi(l+l)$, որտեղ $l+l$ լեպտոնային զույգը J/ψ-ի տրոհման արդյունքն է:

Կատարվել է դեպքերի գեներացում, որից հետո գեներացված տվյալները անցել են CLAS12 վիրտուալ սարքավորման միջով, որպես դեպքերի վերակառուցում: Այս քայլում դիտարկվել են էքսկլուզիվ պիտակավորված ֆոտոծման ռեակցիաները՝

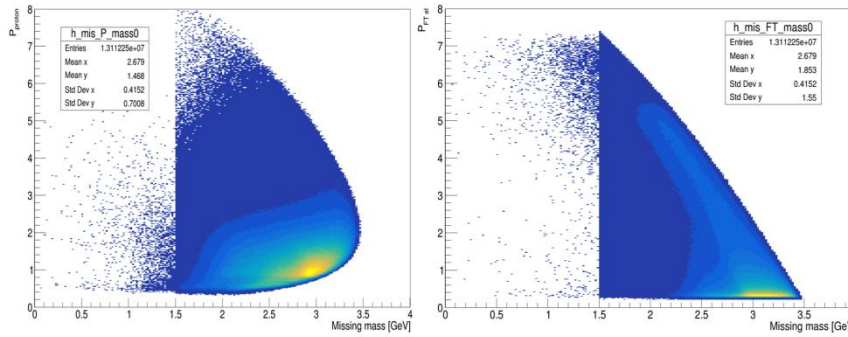
$$ep \rightarrow e'(\gamma p) \rightarrow e' e^+ e^- p' \quad (1)$$

որտեղ p' -ն հանդիսանում է չգրանցված պրոտոնը, որի կինեմատիկան վերականգնվում է փոխանցված իմպուլսի հաշվարկներից: Պիտակավորված, ետհարվածի էլեկտրոնը e' -ը գրանցվում է առաջնային տագերում (FT), իսկ լեպտոնային զույգը՝ e^+e^- -ը գրանցվում է CLAS12 դետեկտորի ճակատային հատվածում: Նկար 1-ում պատկերված է գեներացված



Նկ. 1. Գեներացված և վերակառուցված Q^2 , $-t$, W , բաշխվածությունները և հարաբերություններ:

և վերակառուցված տվյալների հիման վրա Q^2 , $-t$, W , E_γ մեծությունների բաշխումները և, համապատասխանաբար նրանց հարաբերությունները: Ինչպես նաև հետազոտվում են պիտակավորված ֆոտոծման այլ ռեակցիաներ, ինչպիսին են վերջնական վիճակում ցրված էլեկտրոնի և ետհարվածի գրանցումը առանց 1^+ լեպտոնային զույգի: Նկար 2-ում պատկերված է պրոտոնի և ցրված էլեկտրոնի իմպուլսի բաշխվածությունները՝ կախված բացակայող զանգվածից:



Նկ. 2. Պրոտոնի (ձախ) և ցրված էլեկտրոնի (աջ) իմպուլսի բաշխվածությունները՝ կախված բացակայող զանգվածից:

2. E12-07-104A. «Ղեյտրոն թիրախից վեկտոր մեզոնների կոհերենս ծնում»

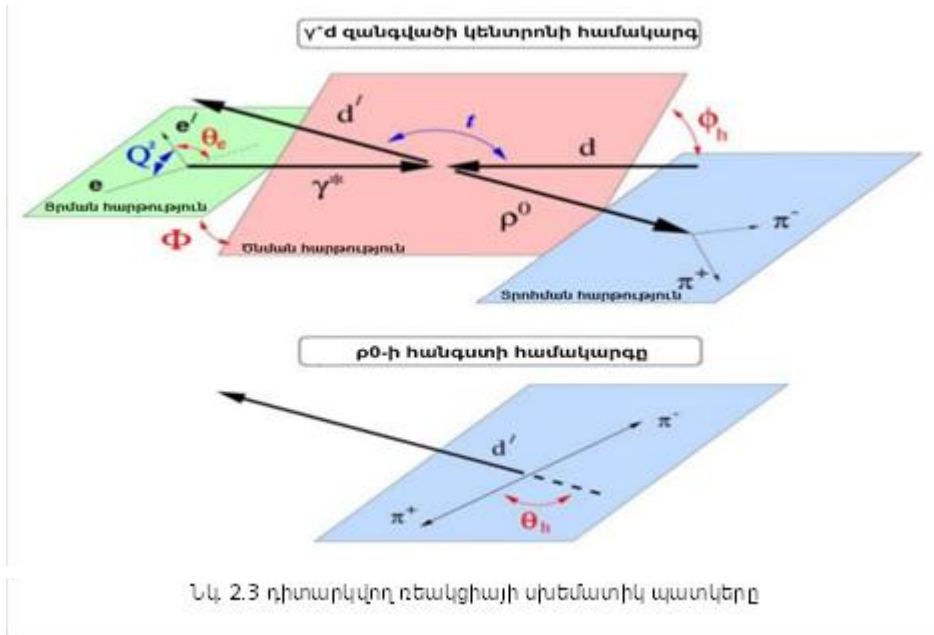
Շարունակվում է փորձի տվյալների վերլուծությունը, որը հիմնված է ղեյտրոն թիրախից վեկտոր մեզոնների կոհերենս ծնման կոշտ էքսկյուզիվ ռեակցիաների ուսումնասիրության վրա: Նպատակը գունային թափանցիկության (Color Transparency, CT) ուսումնասիրությունն է: Այս երևույթի ուսումնասիրությունը կարևոր է կոշտ ռեակցիաների դինամիկան հասկանալու համար: Չնայած որ ուժեղ փոխազդեցության հիմնարար սկզբունքները հասկանալի են (քվարկների և գլյուոնների միջև քվանտային քրոմոդինամիկայով նկարագրվող գունային փոխազդեցությունը), դրանք նկարագրող մաթեմատիկական առնչությունները բավականին բարդ են, այդ պատճառով շատ դեպքերում հստակ հաշվարկները՝ հիմնված առաջնային սկզբունքների վրա (դեռևս) հնարավոր չեն: Տեսության ամենախոցելի մասը միջանկյալ էներգիաների տիրույթում է, որտեղ դեռ չկա ՔՔԴ-ի հավասարումների լուծման համապատասխան մաթեմատիկական մեթոդ, բայց կան հաղորդային պրոցեսները նկարագրելու համար զանազան ֆենոմենոլոգիական մոդելներ, որոնց կրիտիկական ստուգման համար անհրաժեշտ է ուսումնասիրել և կիրառել փորձարարական արդյունքներ՝ համապատասխան կինեմատիկ շրջակայքում: CLAS դետեկտորի լայն ակսեպտանսը և բազմամասնիկ վերջնական վիճակներ գրանցելու ունակությունը հնարավորություն կտա միաժամանակ չափել ρ -, ω - և ϕ -մեզոնների էլեկտրաձնումը լայն կինեմատիկական տիրույթում՝ $1 < Q^2 < 4,5$ (GeV/c)², $0,1 < x < 0,5$ և $0,1 < -t < 1$ (GeV/c)²: Գունային թափանցիկությունը՝ CT-ն ՔՔԴ-ի հիմնարար կանխատեսումներից է: Այն հետևանք է ենթադրության, որ էլեկտրոնի ցրումը հաղորդի վրա մեծ Q^2 -ների դեպքում պահանջում է կապ՝ վիրտուալ ֆոտոնի և տարածական փոքր ֆլուկտուացիաներով չգունավորված հաղորդի միջև: Այս ֆլուկտուացիան կոչվում է փոքր չափսերի կոնֆիգուրացիա՝ SSC (Small Size Configuration): Փոքր վիրտուալ կոնֆիգուրացիան ունի փոքր զունավոր

պատիկ մոմենտներ, որոնցով պայմանավորված է այս հաղորնի թույլ փոխազդեցությունները միջուկի ներսում: Այս ոչ մեծ կոնֆիգուրացիան ժամանակին համընթաց պետք է աճի, որպեսզի հասնի իր ասիմպտոտիկ ֆիզիկական չափին: Այսպիսով, հաղորնի տարածմանը զուգընթաց մեծանում է նրա փոխազդեցությունը միջուկային միջավայրի հետ: Սա պետք է բերի վերջնական վիճակում միջուկի հետ ավելի թույլ փոխազդեցության, քան եթե ֆոտոնը կլանվեր վերջնական ասիմպտոտիկ չափի հաղորնով: Ակնկալվում է, որ CT-ին հասնելը կախված կլինի փոխանցված Q^2 իմպուլսից (թե որքան է սեղմված կոնֆիգուրացիան), ν էներգիայից (որքան ժամանակ են կոնֆիգուրացիաները տարածվում մինչև հաղորն ընդլայնվելը) և առաջացած հաղորնից (փոքր կոնֆիգուրացիաների գերակշռումը հաղորնում): Չափումներ են հարկավոր տարբեր կինեմատիկական տիրույթներում և տարբեր հաղորնային կանալներում՝ տարբեր ներդրումները գատելու և քանակական մակարդակով SSC ռեժիմին մոտենալը հասկանալու համար:

Չեզոք մեզոնի (օրինակ ρ^0 մեզոնի) կոհերենտ էլեկտրաձեռնումը չափելը կարող է լինել այս խնդիրը լուծելու լավագույն միջոցը, քանի որ վիրտուալ ֆոտոնի կողմից չեզոք մեզոնի սկզբնական առաջացումը պետք է տեղի ունենա մի կետում:

Աշխատանքն իրականացվել է փորձարարական E12-07-104A (Run Group B) տվյալների հիման վրա: 10.6 ԳԷՎ էներգիայով էլեկտրոնների փունջը ցրվում է հեղուկ ջրածնի թիրախի վրա: Հետազոտվել է հետևյալ ռեակցիան.

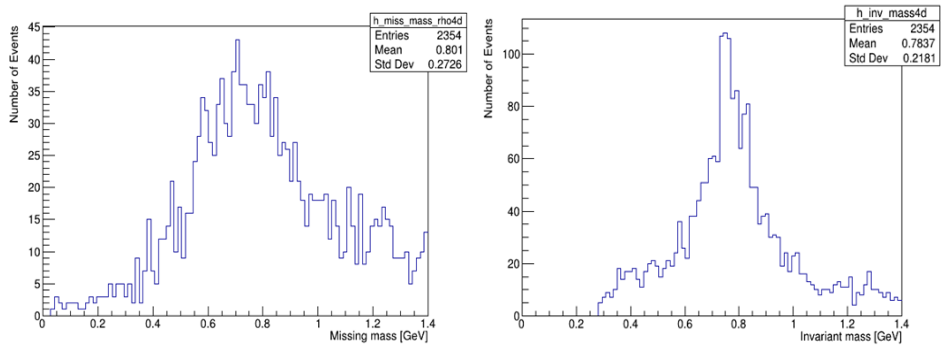
$$e + d \rightarrow e' + V(\rho^0 \rightarrow \pi^+ \pi^-) + d' \tag{2.1}$$



Նկ. 2.3 դիտարկվող ռեակցիայի սխեմատիկ պատկերը

Այստեղ e և d -ն համապատասխանաբար ընկնող էլեկտրոնն է և թիրախի դեյտրոնը, e' ու d' -ը ցրված էլեկտրոնը և հետհարվածի դեյտրոնը, իսկ $\pi^+\pi^-$ զույգը հանդիսանում են ρ^0 մեզոնի տրոհման արգասիքը: Անհրաժեշտ դեպքերի ընտրության համար կիրառվել է պակասող զանգվածի (նկար 2.4ա) և ինվարիանտ զանգվածի (նկար 2.4բ) տեխնիկան:

Միջուկային արձագանքի հայտնաբերումը համընկած ձևավորված վերջնական հաղորնային վիճակի հետ, կոշտ էքսկյուզիվ ռեակցիաների տարածա-ժամանակային պատկերի ուսումնասիրության կարևոր տարրն է, որը պահանջում է մանրագնին ֆիզիկական վերլուծություն՝ ուսումնասիրության համար: Անհրաժեշտ տվյալների հավաքմանը զուգահեռ ցույց է տրված ed բացակայող զանգվածը, որի գազաթնակետը համընկնում է ρ^0 մեզոնի զանգվածի հետ:



ա) պակասող զանգվածը:

բ) $\pi^+\pi^-$ զույգի ինվարիանտ զանգվածը:

Նկ. 2.4. Ցույց է տրված ed բացակայող զանգվածը, որի գազաթնակետը համընկնում է ρ^0 մեզոնի զանգվածի հետ:

Հաշվետու ժամանակահատվածում այս թեմայով արվել են հետևյալ քայլերը.

1. Իրականացվել է ընտրման հետևողական վերլուծություն այն տվյալների, որոնցում վերջնական վիճակում հայտնաբերվել են վեկտորական մեզոնի տրոհման արգասիկներ ($\pi^+\pi^-$), e' ցրված էլեկտրոն և d' ետհարվածի դեյտրոն:
2. Հետազոտվող ռեակցիայի Մոնտե Կարլո խաղարկումներից ստացվել է ակսեպտանսի գործակիցը, որը թույլ տվեց որոշել հետազոտման ֆիզիկական (կինեմատիկ) տիրույթը:

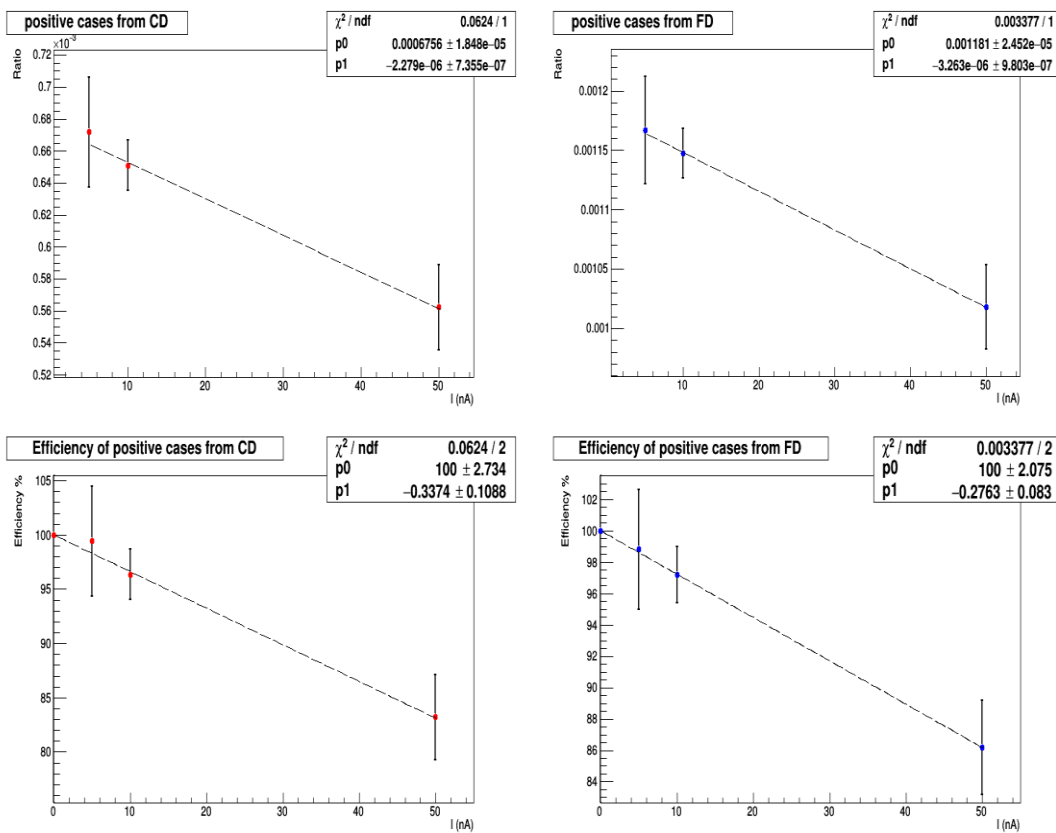
2023 թվականին տվյալ հետազոտման արդյուքների հիման վրա ԵՊՀ-ում տեղի է ունեցել դիպլոմային աշխատաքնի պաշտպանություն՝ մագիստրոսի կոչման շնորման համար:

Մերվիսային աշխատանքներ

ԱԱԳԼ-Պlab համագործակցության խումբը կատարում է նաև սերվիսային աշխատանքներ, մասնավորապես SVT և BMT դետեկտորների վրա հավասարեցման և էֆեկտիվության գնահատման աշխատանքներ: Աշխատանքի նպատակն է՝ օգտագործելով հավասարեցման և էֆեկտիվության մշակված մեթոդները, առավել ճշգրտել և արդյունավետ օգտագործել ստացված փորձարարական տվյալները:

Ընթացիկ տարում կատարվել են դետեկտորի էֆեկտիվության գնահատում օգտագործելով Պlab-ում մշակված մեթոդը: Մեթոդի հիմքում ընկած է լիցքավորված մասնիկների քանակական հարաբերությունը էլեկտրոնների քանակի վրա: Ստացված հարաբերությունները գնահատվում են տարբեր սահմանափակումների և հոսանքի ուժերի համար: Հարաբերության բաշխվածությունից ածանցվում է էֆեկտիվության բաշխվածությունը տարբեր հոսանքի ուժերի համար, այդպիսով գնահատվում է դետեկտորի գրանցման և հավասարեցման էֆեկտիվությունները: Հաջորդ քայլը հաղիսացավ SVT դետեկտորի էֆեկտիվության գնահատումը սեկտորներում:

Աշխատանքները կատարվում են E12-12-001 (RGA) և E12-011-103B (RGB) փորձարարական տվյալների վրա: Ներկայումս ստացված գնահատականները մոտենում են ակնկալվածներին: Նկար 3-ում պատկերված են ընթացիկ արդյունքները:



Նկ. 3. Էֆեկտիվությունը. Չախ մասում (վերևում RGB և ներքևում RGA դեպքերի համար) բացասական լիցքավորված մասնիկների համար, իսկ աջ մասում (վերևում RGB և ներքևում RGA դեպքերի համար) դրական լիցքավորված մասնիկների համար:

Hall-C (փորձարարական սրահ)

2023 թվականին ԱԱԳԼ-ի խումբը, ինչպես նախորդ տարիներին, մասնակցել է Թոմաս Ջեֆերսոնի անվան լաբորատորիայի հետ համատեղ կատարվող գիտական ծրագրերին: Խումբը կարևոր ներդրումներ է ունեցել հետևյալ աշխատանքներում.

ա) Չեզոք մասնիկների սպեկտրոմետրի նախագծի հետ կապված աշխատանքներ

Ջեֆերսոնի լաբորատորիայի NPS սպեկտրոմետրը նախատեսված է չեզոք մասնիկների գրանցման համար (γ , π^0): Այն բաղկացած է բեկող մագնիսից՝ ցածր էներգետիկ լիցքավորված ֆոնային մասիկներից ազատվելու համար, և 1080 կապարի վոլֆրամատի ($PbWO_4$) բյուրեղներից բաղկացած էլեկտրամագնիսական կալորիմետրից: Ներկայումս NPS-ի ֆիզիկական ծրագիրը ընդգրկում է 6 հաստատված գիտափորձ, որոնցից մեկին (π^0 -SIDIS) համահեղինակ է ԱԱԳԼ-ի խումբը: NPS-ի մտահղացման հեղինակներից են ԱԱԳԼ-ի Երևան խմբի անդամները, որոնք գործուն մասնակցություն են ունեցել ինչպես սպեկտրոմետրի նախագծման և կառուցման աշխատանքներին, այնպես էլ ֆիզիկական ծրագրի մշակմանը:

Ընթացիկ տարում փորձարկվել է մագնիսը, քարտեզագրվել է նրա դաշտը: Տեղակայվել են կալորիմետրի Ֆոտո-Էլեկտրոնային Բազմապատկիչները (ՖԷԲ) և բարձր լարման բաժանիչները, հավաքվել են էլեկտրոնիկայի և բարձր լարման սնուցման համակարգերը, անց են կացվել սնուցման և ազդանշանային մալուխները: Կալորիմետրը ստուգվել է լաբորատոր պայմաններում: Խումբը ամասնակցել է կալորիմետրի նախապատրաստական աշխատանքներին, բարձր լարման սնուցման մալուխների խմբավորմանը:

Օգոստոս ամսին սպեկտրոմետրը տեղակայվել է C փորձարարական սրահում, SHMS բազային սպեկտրոմետրի պլատֆորմի վրա: Էլեկտրոնային փնջի տակ տեստային չափումներից հետո սկսվել է NPS-ի հիմնական ֆիզիկական ծրագրի կատարումը: Առաջին կատարվելիք գիտափորձերն են.

- E12-13-010: Էքսկյուզիվ խորը-վիրտուալ Կոմպտոնյան ցրման և չեզոք պիոնի ծնման կտրվածքների չափում;
- E12-13-007: Ֆակտորիզացիայի հաստատման նպատակով π^0 -ի կիսա-ինկլյուզիվ ծնման կտրվածքի չափում;
- E12-22-006: Խորը վիրտուալ Կոմպտոնյան ցրում նեյտրոնից:

ԱԱԳԼ-ի խմբից անդամը մասնակցել է գիտափորձերի տվյալների հավաքմանը և նախնական մշակմանը այս տարի::

բ) HMS սպեկտրոմետրի աերոգելային դետեկտորի հետ կապված աշխատանքներ

HMS-ի չերենկոյվյան աերոգելային դետեկտորը կառուցվել է ԱԱԳԼ-ի խմբի անմիջական մասնակցությամբ: Այն բաղկացած է երկու մասից. աերոգելային խցից, որը պարունակում է չերենկոյվյան ռադիատորի նյութը, և դիֆուզիոն խցից, որը նայվում է չերենկոյվյան լույսի գրանցիչներով: Կան 2 աերոգելային խցեր, որոնք համապատասխանաբար պարունակում են $n = 1.015$ եւ 1.030 բեկման ցուցչով, ~ 10 սմ հաստությամբ աերոգելային նյութ: Կախված ընթացիկ փորձի պահանջից, դիֆուզիոն խցին կցվում է մեկը կամ մյուսը: Որպես լույսի գրանցիչ օգտագործվել են XP4572 տիպի, 130 մմ տրամաչափի 16 ՖԵԲ-եր, կցված դիֆուզիոն խցի աջ և ձախ կողերին: Դետեկտորի պատերը ներքուստ պատված են եղել բարձր անդրադարձման գործակցով Millipore տիպի թղթով, որը ծառայել է որպես դիֆուզ անդրադարձիչ: Դետեկտորի մեծ լայնական կտրվածքը՝ ~ 1.5 մ², թույլ է տալիս փակել սպեկտրոմետրի ամբողջ երկրաչափական ակսեստանսը:

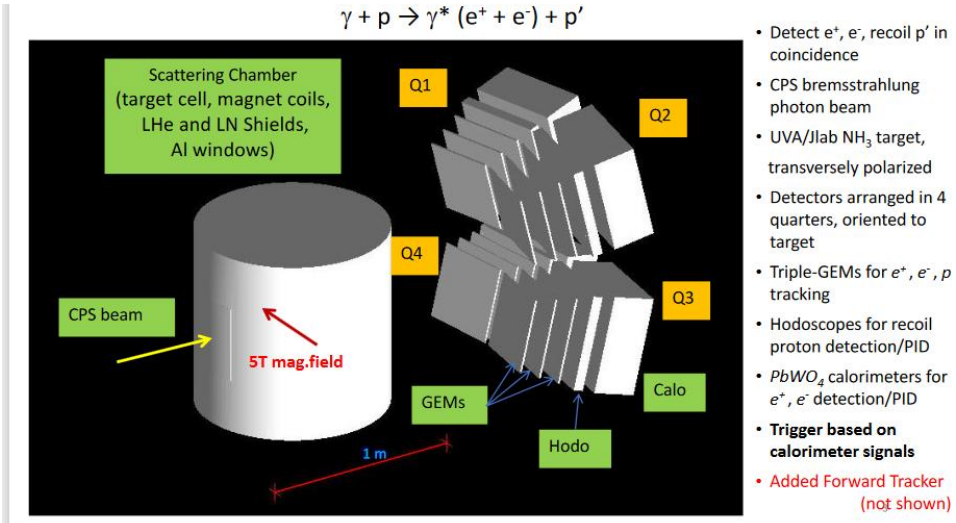
Վերջին գիտափորձերում դետեկտորի օգտագործման ընթացքում նկատվել էր նրա ազդանշանի որոշ անկում: Այդ պատճառով, օգտվելով շահագործման տևական դադարից, խումբը, ձեռնամուխ եղավ նրա հետազոտմանը: Զննումով պարզվեց, որ կողի պատերին կից անդրադարձիչը, ինչպես նաև աերոգելի վերին շերտերը դեղին են երանգավորված: Ավելին, ՖԵԲ-ների ազդանշանը զգալորեն աղմկոտ է դարձել, ենթադրաբար հելիումի գազով «թունավորվելու» պատճառով:

Այս տարի դետեկտորը լավացնելու փորձ կատարվեց: Փոխվեց դիֆուզիոն խցի անդրադարձիչը ավելի էֆեկտիվ, VM2000 տիպի թաղանթով: Նորացվեցին աերոգելի վերին 2 շերտը գումարային ~ 2 սմ հաստությամբ: Փչացած բոլոր ՖԵԲ-երը փոխարինվեցին նույն տրամաչափի, ET9823 տիպի նոր ՖԵԲ-ներով: Կոսմիկական ճառագայթներով դետեկտորի ստուգումը ցույց տվեց որոշակի լավացում, բայց ոչ այն աստիճանի, որ այն օգտագործվի արագացուցչային գիտափորձում: Ուղիներ են մշակվել դետեկտորը բավարար մակարդակի հասցնելու համար:

գ) Ժամանականման Կոմպտոնյան ցրման (TCS) նախագծի հետ կապված աշխատանքներ

Ժամանականման Կոմպտոնյան ցրման (TCS) գիտափորձի նախագիծը միտված է ընդհանրացված պարտոնային բաշխումների (GPD) ուսումնասիրմանը, մասնավորապես՝ GPD E ֆունկցիայի հետազոտմանը, որը առնչվում է նուկլոնում պարտոնների շարժման անկյունային մոմենտին: Նախագիծը ներկայացվել է Jlab-ի հետազոտական ծրագրերի կոմիտեին (PAC 50) 2022 թվականին և առկախվել ի նկատի առնելով պահանջվող հավելյալ նախապատրաստական հետազոտությունների ծավալը:

Չլուծված խնդիրներից մեկը գրանցվող մասնիկների (էլեկտրոն-պոզիտրոնային զույգ, ետհարվածի պրոտոն) հետազոծերի և սկզբնական ուղղությունների վերականգնումն է, որը գիտափորձի կանխատեսվող բարձր ֆոնային պայմաններում զգալի դժվարություն է ներկայացնում: Կալորիմետրի և տրեկային դետեկտորների ֆոնային ազդանշաններից պետք է զատել իրական մասնիկները և վերականգնել նրանց հետազոծերը մագնիսական դաշտում, ընդհուպ մինչև թիրախը: Մեր մոդելային հաշվարկները, իրական մասնիկների ազդանշանների ընտրության պարզ ալգորիթմի կիրառումով ցույց են տալիս որ վերականգնման էֆեկտիվությունը 30%-ից չի գերազանցում: Խնդրի լուծման հնարավոր ուղիներն են. իրականին մոտեցնել տրեկային դետեկտորների ազդանշանների մոդելավորումը, ավելացնել տրեկային դետեկտորների շերտերի քանակը (ներկայումս դրանք 3-ն են), կիրառել իրական մասնիկների ընտրման ավելի բարդ եղանակներ:



Առաջարկվող TCS գիտափորձի սարքավորման սխեմատիկ պատկերը:

դ) 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, հաղորնային զանգվածի ծագումը, ճշգրիտ էլեկտրա-թույլ փոխազդեցությունը և ստանդարտ մոդելից դուրս ֆիզիկան:

ԱԱԳԼ-ն EIC-ի ֆիզիկական ծրագրին և նրա էլեկտրամագնիսական կալորիմետրի նախագծման և կառուցման աշխատանքներին միացել է 2020 թվականին: Տեղում աշխատանքները հիմնականում կատարվում են ԱԱԳԼ-ի դետեկտորների և մեթոդիկ ուսումնասիրությունների լաբորատոր սենյակում: Ընթացիկ տարում սենյակը 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

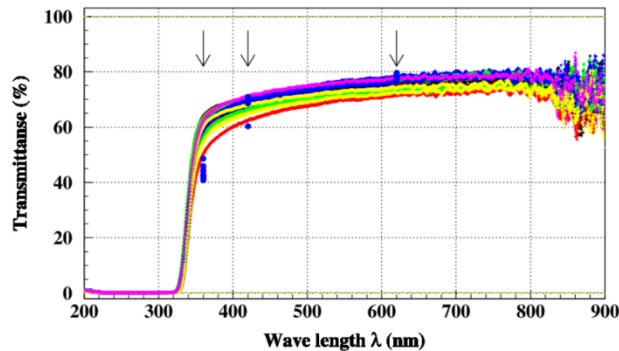
EIC-ի էլեկտրամագնիսական կալորիմետրի շատ տեխնիկական մշակումներ դեռևս գտնվում են զարգացման փուլում և պահանջում են լրացուցիչ ուսումնասիրություններ: EIC-ի համագործակցության խմբերը PbWO₄ բյուրեղներից էլեկտրամագնիսական կալորիմետրի (EmCal) մի քանի նախատիպեր են կառուցել (3×3, 5×5 և 12×12 շարվածքի): Մենք մասնակցել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

Նախատիպի կառուցման համար ձեռք են բերվել անհրաժեշտ 20 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 Mituiota 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

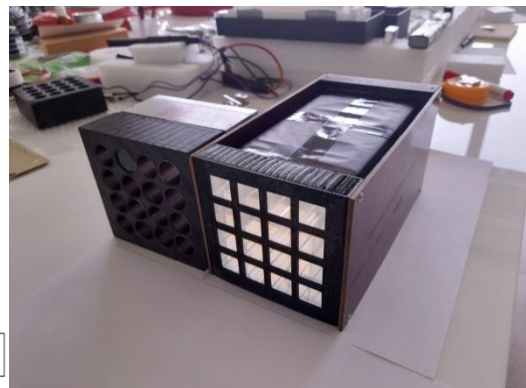
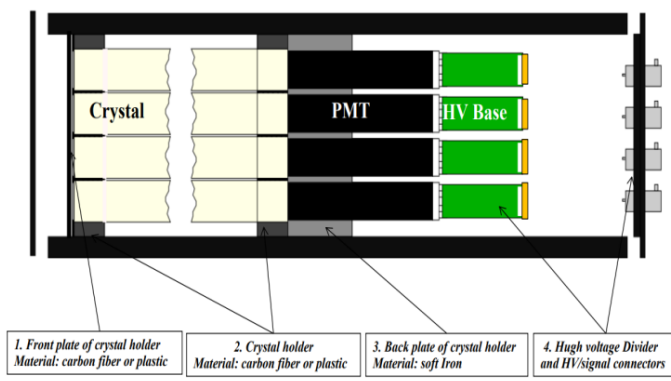
ճառագայթներով չափումներից, օգտվելով տվյալների հավաքման էլեկտրոնային համակարգից:



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

EmCal կալորիմետրի նախատիպի կառուցում և ուսումնասիրություններ

ԱԱԳԼ-ում նախագծվել և կառուցվել է 4x4 շարվածքով, PbWO₄ բյուրեղներով կալորիմետրի նախատիպ: Այն մանրամասն ստուգվում է կոսմիկական մյուոններով, հետագայում կստուգվի նաև LUE-75 էլեկտրոնային և C18/18 ցիկլոտրոնի պրոտոնային փնջերով: Նախքան նախատիպի հավաքումը պատրաստվել են բոլոր մեխանիկական մասերը, չափվել և ընտրվել են PbWO₄ բյուրեղները, ստուգվել են ՖԷԲ-երը և նրանց բարձր լարման բաժանիչները: Նախապատրաստվել են ազդանշանային և բարձր լարման մալուխները, էլեկտրոնիկան և DAQ համակարգը:



Կալորիմետրի նախատիպի սխեմատիկ պատկերը և որոշ մասերը:

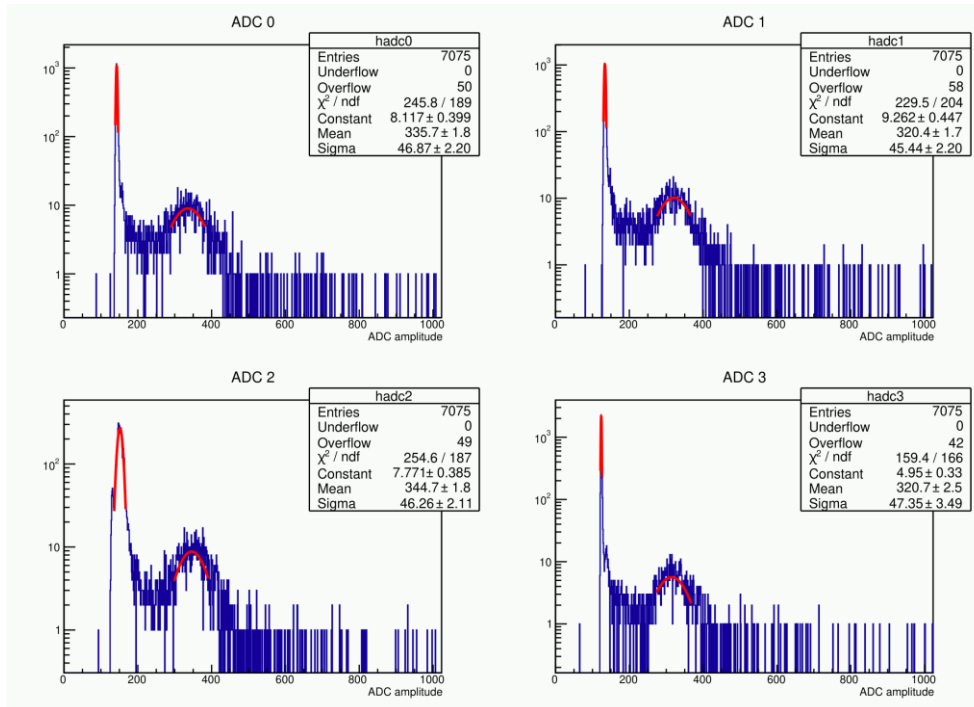
Բյուրեղների կողային մակերեսները փաթաթված են բարձր որակի ESR անդրադարձիչով և սև լույսամեկուսիչ Tedlar թղթով: Երկու ճակատային բաց մակերեսներից մեկը օպտիկական քսուկով հպված է R4125 տիպի ֆոտո-

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



Կոսմիկական ճառագայթներով նախատիպի ստուգման ընթացքում ստացված ՖԷԲ-երի ազդանշանի բաշխումներ:

Մասնակցություն գիտաժողովներին

Խմբի անդամները մասնակցել են C սրահի, SIDIS համագործակցության ամենշաբաթյա, 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 ժողովներին, ինչպես նաև EIC Calorimetry, EIC Detector-1, EIC software պարբերական ժողովներին:

Hall-D (փորձարարական սրահ)

1. Հաշվետու ժամանակաշրջանում (2023թ.) ԱԱԳԼ-Jlab կոլաբորացիայի անդամները մասնակցել են Դ-փորձարարական սրահում կատարվող GlueX գիտափորձի աշխատանքներին, մասնավորապես.

- Առաջնային կալորիմետրի (FCAL2) ազդանշանային, բարձր և ցածր լարման մալուխների պատրաստման, համարանշան և մասամբ կալորիմետրից մինչև էլեկտրոնիկա անցկացմանը;

- ֆոտոբազմապատկչային խողովակների և դրանց բարձր բաժանարարների տեստավորմանը;
 - 1600 հատ PbWO4 բյուրեղային մոդուլների պատրաստմանը;
 - FCAL2-ի բոլոր մոդուլները շրջանակի մեջ հավաքմանը;
 - LMS-ի (Լույսաին մշտադիտարկման համակարգ) նախագծմանը և հավաքմանը:
2. Մասնակցել են 20 հեռավար հերթափոխների (shifts):
3. Խմբի անդամներն ակտիվորեն մասնակցել են Դ փորձարարական սրահի եռամսյակային կոլաբորացիոն հեռավար գիտաժողովներին, ինչպես նաև “Production and analysis” ամենշաբաթյա և երկշաբաթյա “Bi-weekly” ժողովներին:

Հրատարակումներ

Hall – A

1. e-Print 2304.13770 [nucl-ex].
 ‘‘A novel measurement of the neutron magnetic form factor from A=3 mirror nuclei’’.
 Group Author(s):Jefferson Lab Hall A Collaboration.
2. e-Print: 2301. 08768 [nucl-ex].
 ‘‘A new direct detection electron scattering experiment to search for the X17 particle ’’.

Hall – B

1. C. W. Kim, N. Zachariou, M. Bashkanov et al., CLAS Collaboration, "Measurement of the helicity asymmetry E for the $\gamma p \rightarrow p\pi^0$ reaction in the resonance region", Eur. Phys. J. A 59 (2023) 217.
2. S. Diehl, N. Trotta, K. Joo et al., CLAS Collaboration, "First Measurement of Hard Exclusive $\pi^- \Delta^+$ + Electroproduction Beam-Spin Asymmetries off the Proton", Phys. Rev. Lett. 131 (2023) 2, 021901.
3. P.H. Adrian, N.A. Baltzell, M. Battaglieri et al., HPS Collaboration, "Searching for prompt and long-lived dark photons in electroproduced e^+e^- pairs with the heavy photon search experiment at JLab", Phys.Rev.D 108 (2023) 1, 012015.
4. G. Christiaens, M. Defurne, D. Sokhan et al., CLAS Collaboration, "First CLAS12 Measurement of Deeply Virtual Compton Scattering Beam-Spin Asymmetries in the Extended Valence Region", Phys. Rev. Lett. 130 (2023) 21, 211902.
5. S. Diehl, A. Kim, K. Joo, et al., CLAS Collaboration, "A multidimensional study of the structure function ratio from hard exclusive π^+ electro-production off protons in the GPD regime", Phys. Lett. B 839 (2023) 137761.

6. T. Chetry, L. El Fassi, W.K. Brooks et al., CLAS Collaboration, "First Measurement of Electroproduction off Nuclei in the Current and Target Fragmentation Regions", Phys. Rev. Lett. 130 (2023) 14, 142301.
7. I. Korover, A. W. Denniston, A. Kiral et al., CLAS Collaboration, "Observation of large missing-momentum cross-section scaling and the onset of correlated-pair dominance in nuclei", Phys. Rev. C 107 (2023) 6 L061301.
8. H. Avakian, T.B. Hayward, A. Kotzinian et al., CLAS Collaboration, "Observation of Correlations between Spin and Transverse Momenta in Back-to-Back Dihadron Production at CLAS12", Phys. Rev. Lett. 130 (2023) 2, 022501.
9. Y. Tian, R. W. Gothe, V. I. Mokeev et al., CLAS Collaboration, "Exclusive electroproduction off the neutron in deuterium in the resonance region", Phys. Rev. C 107 1 015201.
10. S. J. Paul, A. Peck, M. Arratia et al., CLAS Collaboration, "Alignment of the CLAS12 central hybrid tracker with a Kalman Filter", Nucl. Inst. & Meth.1049(2023), 168032/11.

Hall – C

1. V.D. Burkert, L. Elouadrhiri, A. Afanasev, J. Arrington, M. Contalbrigo et al., "Precision studies of QCD in the low energy domain of the EIC", e-Print: 2211.15746 [nucl-ex].
2. P. Achenbach, D. Adhikari, A. Afanasev, F. Afzal, C.A. Aidala et al., "The Present and Future of QCD", e-Print: 2303.02579 [hep-ph].
3. R. Abir, I. Akushevich, T. Altinoluk, D. P. Anderle, F. P. Aslan et al., "The case for an EIC Theory Alliance: Theoretical Challenges of the EIC", e-Print: 2305.14572 [hep-ph].
4. A. Accardi, P. Achenbach, D. Adhikari, A. Afanasev, C.S. Akondiet al., "Strong Interaction Physics at the Luminosity Frontier with 22 GeV Electrons at Jefferson Lab", e-Print: 2306.09360 [nucl-ex].
5. V.D. Burkert, L. Elouadrhiri, A. Afanasev, J. Arrington, M. Contalbrigo et al., "Precision studies of QCD in the low energy domain of the EIC", Prog. Part. Nucl. Phys. 131 (2023), 104032.
6. A. Karkiet al., "First Measurement of the EMC effect in B^{10} and B^{11} ", Phys. Rev. C 108 (2023) 3, 035201.
7. D. Bhetuwal et al., Constraints on the onset of color transparency from quasielastic $12C(e,e'p)$ up to $Q^2=14.2(\text{GeV}/c)^2$, Phys.Rev.C 108 (2023) 2, 025203.

Hall – D

1. S. Adhikari, F. Afzal, C. S. Akondi et al., "Measurement of Spin-Density Matrix Elements in $\rho(770)$ Production with a Linearly Polarized Photon Beam at $E_\gamma = 8.2 - 8.8\text{GeV}$ ", Phys.Rev.C 108 (2023) 5, 055204.

2. S. Adhikari, F. Afzal, C. S. Akondi et al., “Measurement of the J/ψ photoproduction cross section over the full near-threshold kinematic region”, Phys.Rev.C 108 (2023) 2, 025201.

EIC

1. C. Van Hulse, J.K. Adkins, Y. Akiba, A. Albataineh, M. Amaryan et al., “Evaluation of longitudinal double-spin asymmetry measurements in semi-inclusive deep-inelastic scattering from the proton for the ECCE detector design”, Nucl. Instrum. Meth.A 1056 (2023), 168563.
2. F. Bock, N. Schmidt, P.K. Wang, N. Santiesteban, T. Horn et al., “Design and simulated performance of calorimetry systems for the ECCE detector at the electron ion collider”, Nucl.Instrum.Meth.A 1055 (2023), 16846.
3. C. Fanelli, Z. Papandreou, K. Suresh, J.K. Adkins, Y. Akiba et al., “AI-assisted optimization of the ECCE tracking system at the Electron Ion Collider”, Nucl. Instrum. Meth. A 1047 (2023) 167748.
4. J.C. Bernauer, C.T. Dean, C. Fanelli, J. Huang, K. Kauder et al., “Scientific computing plan for the ECCE detector at the Electron Ion Collider”, Nucl. Instrum. Meth.A 1047 (2023), 167859.
5. R. Seidl, A. Vladimirov, D. Pitonyak, A. Prokudin, J.K. Adkins et al., “ECCE sensitivity studies for single hadron transverse single spin asymmetry measurements”, Nucl. Instrum. Meth. A 1049 (2023), 168017.
6. X. Li, J.K. Adkins, Y. Akiba, A. Albataineh, M. Amaryan et al., “Exclusive J/Ψ Detection and Physics with ECCE”, Nucl. Instrum. Meth. A 1048 (2023), 167956.
7. J.-L. Zhang, S. Mantry, J.K. Adkins, Y. Akiba, A. Albataineh et al., “Search for $e\rightarrow\tau$ charged lepton flavor violation at the EIC with the ECCE detector”, Nucl. Instrum. Meth.A 1053 (2023), 168276.
8. A. Bylinkin, C.T. Dean, S. Fegan, D. Gangadharan, K. Gates et al., “Detector requirements and simulation results for the EIC exclusive, diffractive and tagging physics program using the ECCE detector concept”, Nucl.Instrum.Meth.A 1052 (2023), 168238.
9. R. Seidl, A. Vladimirov, J.K. Adkins, Y. Akiba, A. Albataineh et al., “ECCE unpolarized TMD measurements”, Nucl.Instrum.Meth.A 1055 (2023), 168458.

Ռեալ և վիրտուալ ֆոտոններով միջուկների ճեղքում և ֆրագմենտացիա

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

Կատարողներ՝ Ա. Մարգարյան, Հ. Վարդանյան, Ս. Արբահամյան, Վ. Խաչատրյան, Հ. Էլբակյան, Ռ. Այվազյան, Ա. Կակոյան, Պ. Խաչատրյան, Հ. Ռոստոմյան, Ա. Սաֆարյան

Խմբի աշխատակիցները մասնակցել են հետևյալ նախագծերի սահմաններում իրականացվող աշխատանքներին՝

1. Գիտական Խմբերի Կամ լաբորատորիաների Ամրապնդմանն Աջակցության 2020թ. մրցույթի դրամաշնորհ, ծածկագիր՝ 20TTCG-1C011, վերնագիր՝ «Պիկովայրկյանային լուծողականությամբ երկրորդական էլեկտրոնների դետեկտոր Λ հիպերմիջուկների հետազոտությունների համար», ղեկավար՝ Սիմոն Ժամկոչյան, կատարողներ՝ Ֆմգթ Ամուր Մարգարյան, Ֆմգթ Վանիկ Կակոյան, Ֆմգթ Սերգեյ Աբրահամյան, Հասմիկ Ռոստոմյան, ֆինանսական ծավալներ՝ 57,000.0 հազար ՀՀ դրամ, կատարման ժամկետ՝ 01.10.2020թ. - 01.10.2023թ.:
2. Կիրառական Արդյունքի Ձեռքբերմանն ուղղված 2021թ. մրցույթի դրամաշնորհ, ծածկագիր՝ 21APP-2B012, վերնագիր՝ «ԿԷՎ էներգիաներով էլեկտրոնների գերբարձր հաճախությունների պարույրաձև սկանավորող համակարգ», ղեկավար՝ Հայկ Էլբալկյան, կատարողներ՝ Այվազյան Ռոբերտ, Բարդախյան Վարդան, Սաֆարյան Աննա, Սուդյան Գագիկ, Զոհրաբյան Համլետ, ֆինանսական ծավալներ՝ 30,100.0 հազար ՀՀ դրամ, կատարման ժամկետ՝ 04,10,2021թ - 04,10,2023թ.:
3. Պայմանագրային (թեմատիկ) Ֆինանսավորման 2021թ. մրցույթի դրամաշնորհ, ծածկագիր՝ 21T-2J133, վերնագիր՝ «Պիկովայրկյանային ճշտություններով նանոկառուցվածքների քվանտային վիճակների կյանքի տևողությունների սենսոր», ղեկավար՝ Վանիկ Կակոյան, կատարողներ՝ Ամուր Մարգարյան, Արտաշես Պապյան, Արսեն Ղալումյան և Աննա Սաֆարյան, ֆինանսական ծավալներ՝ 22,500.0 հազար ՀՀ դրամ, կատարման ժամկետ՝ 01.10.2022թ. - 01.10.2024թ.:
4. Պայմանագրային (թեմատիկ) Ֆինանսավորման 2021թ. մրցույթի դրամաշնորհ, ծածկագիր՝ 21T-1C164, վերնագիր՝ «Ծանր միջուկների ինքնական և հարկադրական բաժանման հազվագյուտ պրոցեսներ», ղեկավար՝ Անահիտ Բալաբեկյան (ԵՊՀ), կատարողներ՝ 100-3 խմբից Խաչատրյան Պատրիկ:
5. 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, Վաչե Գալստյան, Մարտին Պինամյան, ֆինանսական ծավալներ՝ 176,000.0 հազար ՀՀ դրամ, կատարման ժամկետ՝ 01.11.2023թ. - 01.11.2028թ.:

Շարունակվել են ՌՀ թայմերի նախատիպի տեսական և փորձարարական ուսումնասիրությունները: Կառուցվել է հիպերմիջուկների կյանքի սևողության չափումների համար մշակված ծանր իոնների դետեկտոր, որի փորձարումները շարունակվում են:

Շարունակվել են ուսումնասիրությունները 500 ՄՀգ-ից բարձր ՌՀ հաճախականությունների տիրույթում, ցույց է տրվել, որ համակարգը կարող է ապահովել էլեկտրոնների սքանավորում մինչև 1700 ՄՀգ: Կատարվել են ֆոկուսացման ոսպնյակի և ընդհանուր համակարգի օպտիմիզացմանը ուղղված Մոնտե-Կառլո հաշվարկներ: Կառուցվել է նանոկառուցվածքների ուսումնասիրությունների համար նախատեսված նոր դետեկտոր, նանոկառուցվածքների ուսումնասիրությունները ակտիվ փուլում են:

Աշխատանքների արդյունքները ներկայացվել են հետևյալ գիտաժողովներին.

1. IPRD23 (16th Topical Seminar on Innovative Particle and Radiation Detectors), Siena, Italy, ներկայացվել է Ս. Ժամկոչյանի կողմից:
2. QUEST2023 (“International conference on Quantum Engineered Sensing and Information Technology (QUEST2023), 2023, Paris, France”). ներկայացվել է Ա. Մարգարյանի կողմից:
3. ARIS (“4th International Conference on Advances in Radioactive Isotope Science”), ներկայացրել է Ա. Ապրահամյանի կողմից:

Մշակված սարքավորումը արտոնագրվել է Հայաստանում (“RF Timer for single electrons and photons”, H01J 25/00), գործընթաց է սկսվել ԱՄՆ արտոնագիր ստանալու ուղղությամբ:

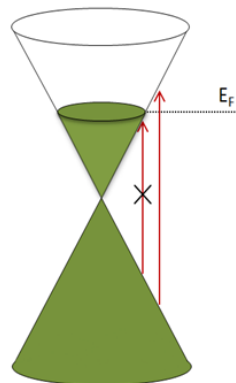
Նանոկառուցվածքների և նանոնյութերի ուսումնասիրություններ

Ղեկավար՝ ֆիզ.մաթ.գիտ.թեկնաժու Ն. Մարգարյան
Կատարողներ՝ Ն. Գասպարյան, Ա. Արշակյան

Հաշվետու ժամանակահատվածում խումբը կատարել է լեզիրացման միջոցով գրաֆենի օպտիկական և էլեկտրոնային հատկությունների մոդուլացիային վերաբերող հետազոտություններ:

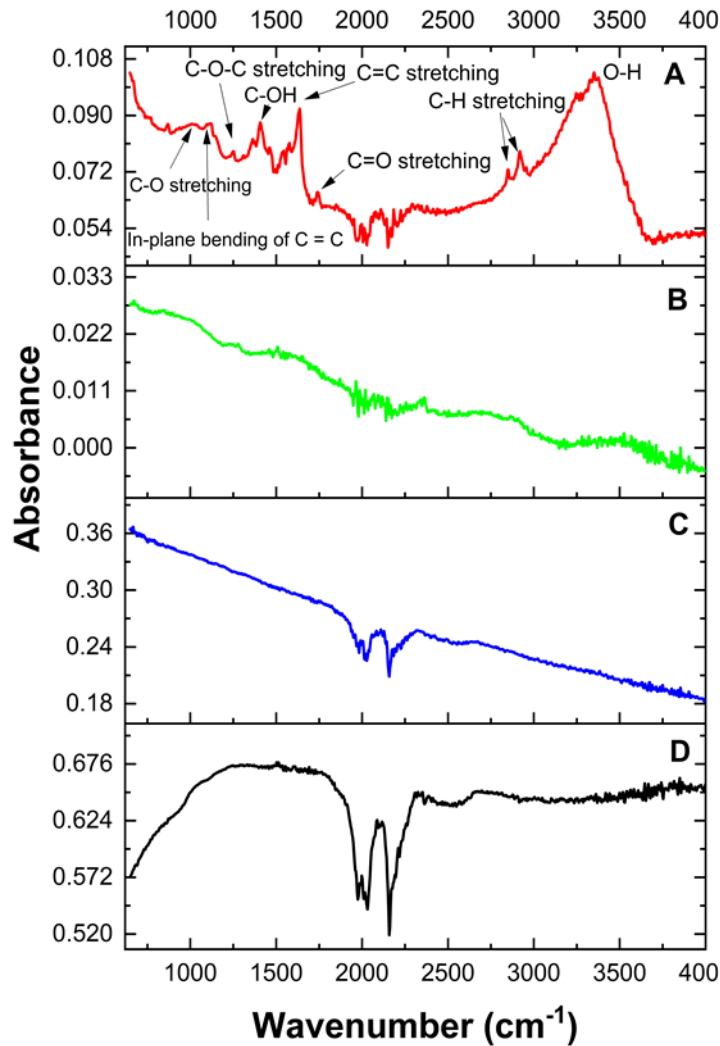
Լեզիրացման շնորհիվ հնարավոր է լինում բարձրացնել Ֆերմիի մակարդակի դիրքը գրաֆենի գոտիական կառուցվածքում, ինչի արդյունքում հաղորդականության

գոտում առաջ են գալիս զբաղեցված վիճակներ: Այլ կերպ ասած ավելանում է հաղորդականության էլեկտրոնների քանակը, ուստի, էականաորեն բարելավվում է թաղանթի հաղորդականությունը, և Վոլտ Ամպերային Բնութագիրն (ՎԱԲ) ունենում է գծային տեսք: Սակայն 18 ՄԷՎ էներգիայով պրոտոնային փնջով ճառագայթման դեպքում նկատվել է, որ լեգիրացվածությունն ապահովող քիմիական կապերը քանդվել են և ՎԱԲ-ը կրկին ընդունել է իր նախնական ոչ գծային տեսքը: Խումբը հանգել է եզրակացության, որ հաղորդականության գոտում զբաղեցված վիճակների առկայությունը հանգեցնում է գրաֆենի գոտիական կառուցվածքում Ֆերմիի մակարդակի տեղաշարժի և օպտիկական հատկությունների փոփոխության: Բանը նրանում է որ ըստ Պաուլիի արգելակման սկզբունքի միևնույն վիճակում կարող են գտնվել առավելագույնը երկու էլեկտրոններ, այն էլ հակադիր սպիններով: Եվ երբ հաղորդականության գոտում առաջանում են զբաղեցված վիճակներ, ապա վալենտականության գոտուց դեպի այդ վիճակներ էլեկտրոնային անցումները արգելափակվում են (Նկար 1):



Նկ. 1. Պաուլիի արգելակման էֆֆեկտը գրաֆենի գոտիական կառուցվածքում:

Այս երևույթը Պաուլիի արգելակման էֆեկտն է, որի արդյունքում ճնշվում է օպտիկական կլանումը ինֆրակարմիր տիրույթում: Մյուս կողմից էլ, հաղորդականության գոտում էլեկտրոնների առկայությունը նպաստում է ներգոտիական անցումների ուժեղացմանը, որը հանգեցնում է անդրադարձման ուժեղացմանը: Այսպիսով նվազում են կլանումն ու թափանցելիությունը և ուժեղանում է անդրադարձումը: Դա երևում է, երբ չափվում է կերակրի աղի բյուրեղի ինֆրակարմիր թափանցելիությունը այն լեգիրացված գրաֆենի շերտով պատելուց առաջ և հետո (Նկար 2):



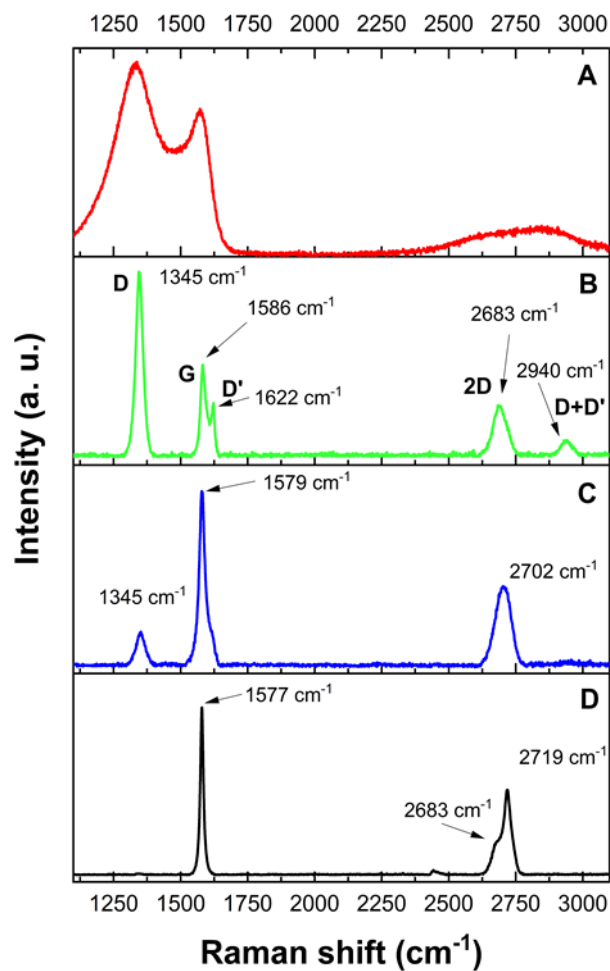
Ս. 2. Գրաֆենի օքսիդի (A), լեգիրացված գրաֆենի (B), լեգիրացումից հետո 18 ՄԷՎ պրոտոններով ճառագայթված գրաֆենի շերտերի (C) և որպես ելանյութ օգտագործված գրաֆիտի (D) FTIR սպեկտրերը:

Ինչպես երևում է Նկար 2-ից աղի բյուրեղը գրեթե 100 %-ով թափանցիկ է չափված ինֆրակարմիր տիրույթում: Մինչդեռ գրաֆենի նստեցումից հետո այն դառնում է գրեթե անթափանց: Հասկանալի է, որ գրաֆենի շերտերը լեգիրացնող բացասական իոններն ու ֆունկցիոնալ խմբերը արագացված պրոտոնային փնջի միջոցով հեռացնելուց հետո վերականգնվում է օպտիկական կլանումը ինֆրակարմիր տիրույթում: Համոզված լինելու համար, որ այս երևույթի իսկության մեջ լեգիրացման գործընթացում չեն օքսիդանում, համեմատվել են օքսիդացած (Նկար 2A), լեգիրացված (Նկար 2B) և լեգիրացումից հետո

պրոտոններով ճառագայթահարված (Նկար 2C) նմուշների ինֆրակարմիր սպեկտրները; Այդ սպեկտրները համեմատվել են նաև որպես ելանյութ օգտագործված գրաֆիտի փոշու հետ (Նկար 2D): Սպեկտրները չափվել են 400-400 սմ⁻¹ (2.5 մկմ-25 մկմ) տիրույթում: Ինչպես երևում է այդ սպեկտրներից, լեգիրացված նմուշը չի պարունակում օքսիդացած նմուշին բնորոշ C-O-C, C-OH, C=C և O-H կապերը: Ավելին, լեգիրացված նմուշի դեպքում ինֆրակարմիր կլանումը 3%-ից էլ քիչ է: Մինչդեռ պրոտոններով ճառագայթելուց հետո այն հասնում է մինչև 36%-ի: Հատաքրքրքական է նաև այն, որ 400-1000 սմ⁻¹ տիրույթում գրաֆենային շերտերի և ելանյութային գրաֆիտի վարքը էականորեն տարբեր են: Մասնավորապես գրաֆենի մոտ ալիքային թվի (ֆոտոնի էներգիայի) մեծացմանը զուգահեռ կլանումը թուլանում է: Դա բացատրվում է դիրակի ֆերմիոններով պայմանավորված կլանման հանգամանքով: Գրաֆիտի դեպքում դա այդպես չէ, քանի որ գրաֆենից գրաֆիտի անցնելիս գոտիական կառուցվածքը էականորեն փոխվում է:

Ռամանյան սպեկտրները ընդունված է համարել յուրաքանչյուր ածխածնային նանոկառուցվածքի մատնահետքը: Հետևաբար նկարագրված երևույթները առավել խորը հասկանալու նպատակով այդ նույն նմուշների համար կիրառվել է նաև Ռամանյան սպեկտրոսկոպիա (Նկար 3): Նկար 3A-ում ներկայացված է օքսիդացած նմուշի ռամանյան սպեկտրը, որում դեֆեկտների մակարդակը բնութագրող D և ռամանյան ցրումը նկարագրող G պիկերը լայն են ու գրեթե միացած իրար: 2D պիկը շատ թույլ ինտենսիվություն ունի և նույնպես լայն է սովորականի նկատմամբ: Մա պայմանավորված է գրաֆենի բյուրեղական ցանցի ֆոնոնների վրա C- O-C, C-OH, C=C և O-H կապերով պայմանավորված ինֆրակարմիր ակտիվության ներգործությամբ: Այսպիսի սպեկտրները տիպիկ են օքսիդացած գրաֆենի համար: Ընդ որում դեֆեկտների պիկը բավականին ինտենսիվ է: Այս պիկը նաև ամենաինտենսիվն է լեգիրացված նմուշի Ռամանյան սպեկտրում (Նկար 3B): Սպեկտրը բավականին հարուստ է: Ինտենսիվ D պիկը գտնվում է 1345 cm⁻¹ ալիքային թվի վրա, ռամանյան ցրման G պիկը գտնվում է 1586 cm⁻¹-ի վրա: Լեգիրացնող խառնորդների առկայությունը մատնանշող D' պիկը նույնպես ինտենսիվ է և գտնվում 1622 սմ⁻¹ ալիքային թվի վրա: Այդ պիկերի ինտենսիվությունները հարաբերվում են հետևյալ կերպ՝ 2.1, 0.28: Իր հերթին, 2D պիկը, որը բնութագրում է sp² հիբրիդիզացիայի մակարդակը, գտնվում է 2683 սմ⁻¹ ալիքային թվի վրա: Այս պիկի տեսքն ու տեղը մատնանշում են իրարից անկախ դասավորված շերտերի առկայությունը: 2D և G պիկերի ինտենսիվությունների հարաբերությունը 0.6 է: Մյուս կողմից էլ D+D' կոմբինացիոն պիկը բավականին ինտենսիվ է (0.17) և գտնվում է 2940 cm⁻¹-ում: Այս բոլոր հատկությունները բնութագրական են լեգիրացված գրաֆենին: Իսկ պրոտոնային ճառագայթումից հետո լեգիրացվածության մասին հայտնող D' և D+D' պիկերը էլ չկան, իսկ դեֆեկտների բնութագրական D պիկի ինտենսիվությունը

Էականորեն պակասել է: Բացահայտվել է, որ լեզիրացված գրաֆենային շերտերի ռամանյան սպեկտրներում G պիկը էլանյութային գրաֆիտի և ճառագայթումից հետո ստացված արդյունքի համեմատությամբ շեղված է դեպի բարձր էներգիաների տիրույթ ($1583 > 1579 > 1577$ սմ⁻¹): Այսպիսի շեղումը բացատրվում է լեզիրացման արդյունքում ֆերմիի մակարդակի փոփոխությամբ: Նկար 3-ում ներկայացված ռամանյան սպեկտրոսկոպիայի արդյունքները լիովին համահունչ են Նկար 2-ում ներկայացված FTIR սպեկտրոսկոպիայի արդյունքների հետ: Այս երկու արդյունքների համեմատությունը հաստատում է գրաֆենային շերտերի ինֆրակարմիր տիրույթի օպտիկական հատկությունների վրա լեզիրացման ներգործության մասին վերը շարադրված դատողությունները:



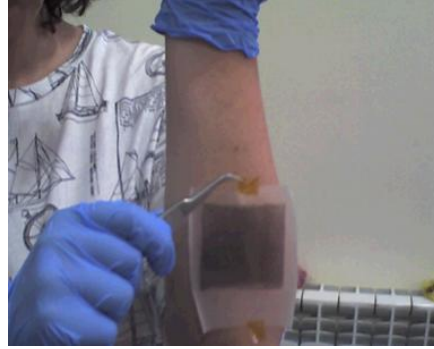
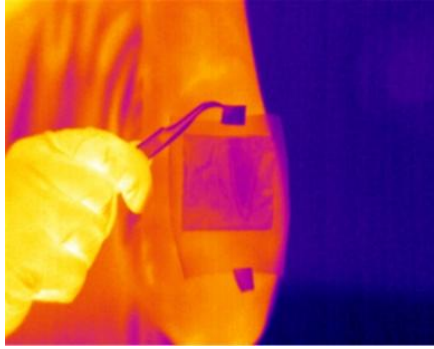
Նկ. 3. Գրաֆենի օքսիդի (A), լեզիրացված գրաֆենի (B), լեզիրացումից հետո 18 ՄԷՎ պրոտոններով ճառագայթված գրաֆենի շերտերի (C) և որպես էլանյութ օգտագործված գրաֆիտի (D) ռամանյան սպեկտրերը:

Իրականացվել են նաև մեծածավալ ջերմատեսիլային հետազոտություններ: Խումբը նախ համոզվել է, որ գիտափորձերում կիրառվող պոլիէթիլենի (ծակոտկեն և ոչ ծակոտկեն) թաղանթները և չլեզիրացված գրաֆենի շերտերը թափանցիկ են ջերմատեսիլային սարքերի համար (Նկար 4 և Նկար 5): Ընդ որում ստացվել է, որ նույնիսկ շերտերի քանակը մի քանի տասնյակի հասցնելուց հետո, գրաֆենային թաղանթը մնում է թափանցիկ ջերմատեսիլի համար: Այս ջերմատեսիլի համար թափանցիկ թաղանթերի կիրառմամբ պատրաստվել են գրաֆենային հիմքով շերտավոր կառուցվածքներ, որոնց ջերմատեսիլային (ինֆրակարմիր) թափանցելիությունը հնարավոր է կառավարել լարման կիրառմամբ (Նկար 6): Նկար 6-ի առաջին պատկերում ստացված շերտավոր թաղանթն է լարումը անջատած վիճակում: Երկրորդ պատկերում նույն կառուցվածքն է լարումը միացրած, իսկ երրորդ պատկերում գիտափորձի իրական նկարը:

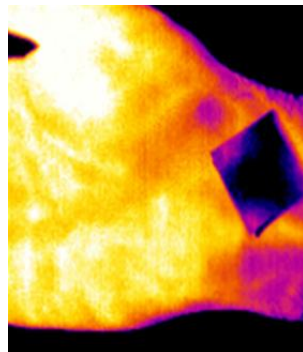
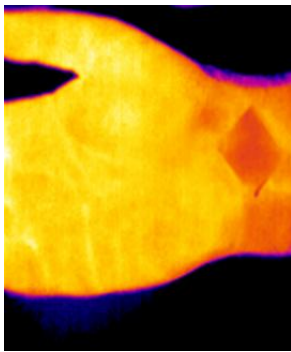
Նման արդյունքի հնարավոր է եղել հասնել գրաֆենային շերտերի կառավարելի էլեկտրաստատիկ լեզիրացման շնորհիվ: Տվյալ դեպքում օգտագործվել է 1-butyl-3-methylimidazolium chloride իոնական հեղուկը, որի միջոցով կատարվել է լեզիրացում Cl⁻ իոններով: Cl⁻ իոններով լեզիրացվածության արդյունքում փոխվում է նաև գրաֆենի վոլտ-ամպերային բնութագրերը (Նկար 7): Մասնավորապես, Նկար 8-ում ներկայացված են էլեկտրաստատիկ լեզիրացման նպատակով հոսանքի աղբյուրին միացված գրաֆենային թաղանթի վոլտ-ամպերային բնութագիրը՝ բանալին բաց (կարմիր կոր) և բանալին փակ (մանուշակագույն կոր) ռեժիմներում: Երբ բանալին փակ է, գրաֆենի և հարթակի միջև կիրառված է լարում, ինչը հանգեցնում է էլեկտրաստատիկ լեզիրացման: Լեզիրացման արդյունքում գրաֆենային շերտերի հաղորդականության գոտում շատանում են ազատ էլեկտրոնները, ինչ արդյունքում մեծանում է հաղորդականությունը: Հաղորդականության մեծացման շնորհիվ միննույն լարման դեպքում ունենում ենք ավելի մեծ էլեկտրական հոսանք, և վոլտ-ամպերային բնութագրի թեքությունը մեծանում է:



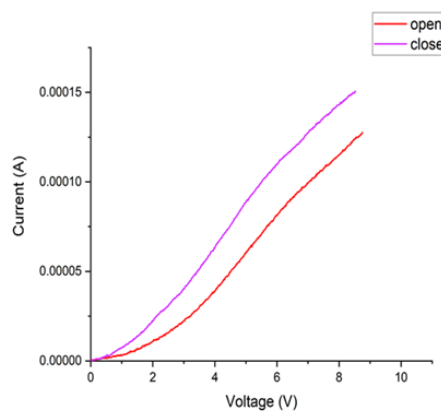
Նկ. 4. ԻԿ թափանցիկ ծակոտկեն պոլիէթիլենի ջերմատեսիլային և իրական պատկերները:



Նկ. 5. Չլեգիրացված բազմաշերտ CVD գրաֆենի ջերմատեսիլային և իրական պատկերները:



Նկ. 6 Իոնային հեղուկով լցված ծակոտկեն պոլիէթիլենի վրա նստեցված գրաֆենային թաղանթներից ջերմային ճառագայթների անցումը բազմաշերտ գրաֆենի թաղանթներով մինչև էլեկտրաստատիկ լեգիրացումը, լեգիրացումից հետո և գիտափորձի իրական նկարը:

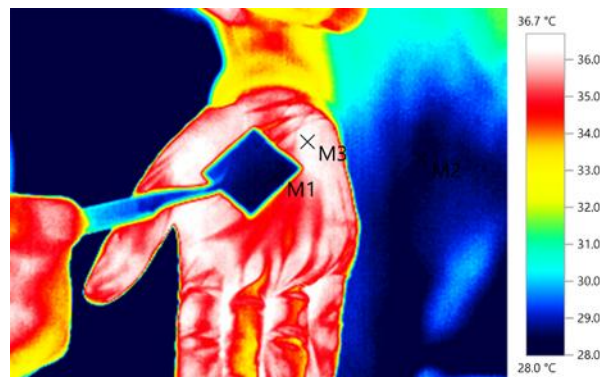


Նկ. 7. Գրաֆենային շերտի վոլտ-ամպերային բնութագծերը Cl-ի իոններով լեգիրացումից առաջ (կարմիր կոր, երբ բանալին բաց է) և հետո (մանուշակագույն կոր, երբ բանալին փակ է):

No	Temp. [°C]	Remark
M1	28.4	Նմուշի վրա
M2	28.4	Միջավայրում
M3	36.3	Նմուշի տակ գտնվող տաք մարմնի (այս դեպքում՝ ձեռքի) վրա

Աղյուսակ 1. Ջերմաստիճանային չափումներ նմուշի վրա, միջավայրում և նմուշի տակ գտնվող տաք մարմնի վրա:

Այս նմուշը հետազոտվել է այլ ջերմատեսիլային մեթոդով ևս: Մասնավորապես հաշվարկվել են ջերմային արժեքները թաղանթի վրա, միջավայրում և թաղանթի տակ գտնվող տաք մարմնի վրա (Նկար 8): Չափված ջերմաստիճանները ներկայացված են աղյուսակ 1-ում: Այստեղ M1 և M2 կետերը պատկերավորության համար ընտրել էինք այն տեղերում, որտեղ ջերմաստիճանները նույնն են: Նմուշի և շրջապատի տարբեր կետերում առկա է ջերմաստիճանի գրադիենտ: Այլ կետերի ընտրության դեպքում կուենայինք չնչին տարբերություն, որն արհամարելի փոքր կլիներ թաղանթի վրա և թաղանթի տակ գտնվող տաք մարմնի (այս դեպքում ձեռքի) վրա չափված ջերմաստիճանների տարբերությունից:

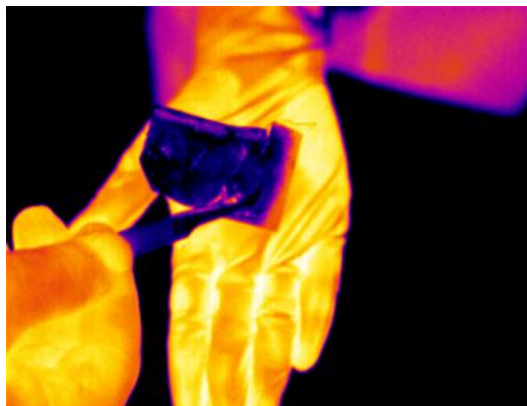


Նկար 8. Ջերմաստիճանային չափումներ նմուշի վրա, միջավայրում և նմուշի տակ գտնվող տաք մարմնի վրա:



Նկ. 9. Էլեկտրական հոսանքով տաքացված ITO/ապակի հարթակին նստեցված թաղանթի ջերմատեսիլային պատկերը:

Մեկ այլ գիտափորձի շրջանակում 18 Վ լարմամբ առաջացվել է էլեկտրական հոսանք գրաֆեն/պոլիէթիլեն թաղանթի տակ գտնվող ապակու մակերևույթին նստեցված ITO (նույնը նաև ոսկու դեպքում) բարակ շերտով: Արդյունքում շերտը տաքացել է (Նկար 9): ԻՆՆպես երևում է Նկար 9-ից, ITO/ապակի հարթակի տաքացումը չի հանգեցրել գրաֆենային շերտի տաքացման, և վերջինս շարունակում է իրականացնել ջերմային քողարկում: Մյուս կողմից, կան դեպքեր, երբ ջերմային քողարկման կառավարելիությունը (պայմանավորված լարման կիրառման անհրաժեշտությամբ) պարտադիր չէ, և անհրաժեշտ է ունենալ բարակ ու ճկուն թաղանթ, որը կիրականացնի ջերմային ճառագայթների քողարկում: Այդ դեպքում կարող են կիրառվել հեղուկ փուլային շերտազատման հետ միաժամանակյա լեգիրացված գրաֆենային թաղանթներ:



Նկ. 10. Ծակոտկեն պոլիէթիլենի վրա նստեցված գրաֆենային թաղանթի ջերմատեսիլային պատկերը մարդկային ձեռքի վրա:

Նկար 10-ում ներկայացված է այդպիսի գրաֆենային թաղանթ, որը նստեցված է նկար 4-ում ներկայացված ջերմատեսիլի համար թափանցիկ պոլիէթիլենի վրա: Ինչպես երևում է Նկար 9-ից, այս դեպքում ևս թաղանթները թափանցիկ չեն ջերմատեսիլի համար և ապահովում են քողարում:

Խմբի անդամները ընդգրկված են ՀՀ ԿԳՄՄՆ բարձրագույն կրթության և գիտության կոմիտեի կողմից ֆինանսավորվող 23-2DP-1C010 «Միջավայրի ջերմային ֆոնին ինքնուրույն ադապտացվող «խելացի» թաղանթներ», 40 000 000 ՀՀ դրամ, 2023-2025:

Մասնակցություն գիտաժողովներին

1. Narek Margaryan, Eduard Aleksanyan, Khachatur Manukyan, The Influence of Proton Irradiation on The Physical Properties of LPE Graphene, 13th edition of Graphene Conference series, the largest European Event in Graphene and 2D Materials, Graphene 2023, 27-30 June, Manchester, UK, 2023.
2. Narek Margaryan, Eduard Aleksanyan, Naira Gasparyan, Optics of Graphene Affected by Proton Irradiation, 11th International Symposium on Optics and its Applications, OPTICS 11, 11-15 July, Yerevan-Ashtarak, 2023.
3. N.B. Margaryan, R.A. Apreyan, A.A. Arshakyan, A.A. Danghyan, Optical Properties of Graphene Layers Exfoliated in an Aminoacid Medium, The International Scientific School-Conference on Acoustophysics named after Academician A. R. Mkrtchyan, Armenia, 12-17 June, 2023

Հոդվածների ցանկ

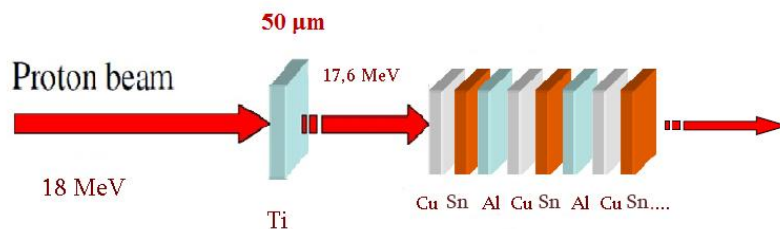
1. L. Anjo, A. Arshakyan, N. Gasparyan, A. Shahinyan, E. Aleksanyan, N. Margaryan, Functionalization of Graphene Oxide Layers Simultaneously with Liquid Phase Exfoliation, Armenian Journal of Physics, V16, I 2, p 56-61, 2023:
2. E. Aleksanyan et al. Optical and structural characterization of CsPb (I1-xBrx) 3 nanomaterials prepared by the mechanochemical method, Optical Materials. This link is disabled, 2023, 146, 114506.

Ցածր էներգիաների միջուկային ֆիզիկա

Ղեկավար՝ ֆիզ.մաթ. գիտ. թեկնածու Ռոզա Ավետիսյան

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

Հաշվետու տարում կատարվել է գիտափորձ ցիկլոտրոն C18/18 դուրս բերված պրոտոնային փնջի վրա, կիրառելով ակտիվացիոն մեթոդը: Ուսումնասիրվել են $^{nat}\text{Sn}(p,xn)$ $^{117,118,120,124}\text{Sb}$ ռեակցիաների գրգռման ֆունկցիաները: Ուսումնասիրության շրջանակներում օգտագործվել են GEANT4, SRIM/TRIM ծրագրային փաթեթները, գրգռման ֆունկցիաների տեսական հաշվարկների համար կիրառվել են TALYS 1.96 և EMPIRE 3.2 միջուկային կոդերը: Թիրախային փաթեթը, կազմված է 10 եռյակից, որոնք բաղկացած են եղել հիմնական թիրախ հանդիսացող բնական անագից, պղնձե մոնիտորից յուրաքանչյուրը 25 մկմ հաստությամբ, և այլումինե դանդաղեցուցից 50 մկմ հաստությամբ: Թիրախային փաթեթի ընդհանուր սխեմատիկ տեսքը բերված է Նկար 1-ում: Տիտանե պատուհանը (50 մկմ հաստությամբ) նախատեսված է ցիկլոտրոնի վակուումը արտաքին միջավայրից առանձնացնելու համար: Փաթեթի ճառագայթումը կատարվել է 18 ՄԷՎ էներգիայով և 1 մկԱ հոսանքով պրոտոններով, այն տևել է 5 րոպե:



Նկ. 1. Փաթեթ-թիրախի սխեմատիկ պատկերը:

Ստացված ռադիոակտիվ տարրերի տրոհման տվյալները վերցված են NUDAT 3 տվյալների բազայից և բերված են Աղյուսակ 1-ում:

Աղյ ու սակ 1. $^{nat}\text{Sn}(p,x)$ ռեակցիաների շեմերից մինչև 18 ՄԷՎ առաջացած ռադիոնուկլիդների տրոհման բնութագրերը:

Միջուկ	Ռեակցիա	Ռեակցիայի շեմ (ՄԷՎ)	Կիսատրոհման պարբերություն $T_{1/2}$	Տրոհման ուղի (%)	Էներգիա E_γ (keV)	Ինտենսիվություն I_γ (%)
^{124}Sb	$^{124}\text{Sn}(p,n)$	1.4	60.2 օր	β^- (100)	602.72 722.78 1690.97	98.3 10.86 47.57
^{122}Sb	$^{122}\text{Sn}(p,n)$	2.4	2.72 օր	$\beta^- + \text{EC}$ (100)	564.2 692.6	70.67 3.85
^{120m}Sb	$^{120}\text{Sn}(p,n)$	3.69	5.76 օր	EC (100)	197.25 1023.1	87. 99.4

^{118m} Sb	¹¹⁸ Sn(p,n)	4.7	5.0 ժամ	EC (100)	253.68 1050.69	99.
	¹¹⁹ Sn(p,2n)	11.27				97.
¹¹⁷ Sb	¹¹⁷ Sn(p,n)	2.56	2.8 ժամ	EC (100)	158.56	85.9
	¹¹⁸ Sn(p,2n)	11.97				
^{117m} Sn	¹¹⁷ Sn(p,pn)	3.	14. օր	IT (100)	158.56	86.4
	¹¹⁹ Sn(p,p2n)	12.				

Ճառագայթումից հետո թիրախ-փաթեթը բացվել է, թիթեղները առանձնացվել են և կատարվել են գամմա սպեկտրոսկոպիկ չափումներ՝ HPGe միջոցով, որը համակցված է բազմականալ անալիզատորի հետ: Ստացված սպեկտրները մշակվել են GENIE 2000 ծրագրային համակարգով:

^{nat}Sn(p,x) ռեակցիաների կտրվածքները համապատասխան շեմերից մինչև 18 ՄէՎ էներգետիկ տիրույթում որոշվել են հայտնի հավասարումով՝

$$\frac{\lambda C}{\varepsilon \cdot I_{\gamma} \cdot N_d \cdot l \cdot \phi_i \cdot (1 - e^{-\lambda t_i}) \cdot e^{-\lambda t_c} \cdot (1 - e^{-\lambda t_m})} \quad (1)$$

որտեղ C -ն ֆոտոպիկի տակ գտնվող դեպքերի քանակն է, λ -ն տրոհման հաստատունը $\lambda = \ln 2 / T_{1/2}$ (ժ^{-1}), I_{γ} – ն ճառագայթած գամմա զծի ինտենսիվությունը, ε -ը դետեկտորի էֆֆեկտիվությունը, N_d – ն թիրախի ատոմների քանակը (ատոմ/սմ²), ϕ_i -ն i -րդ նմուշի վրա պրոտոնների ինտենսիվությունը (ատոմ/սմ² ժ), l -ը թիրախի հաստությունն է (սմ), t_i , t_c և t_m ճառագայթման, դրա ավարտից մինչև չափման սկիզբ և չափման տևողություններն են (ժ), համապատասխանաբար:

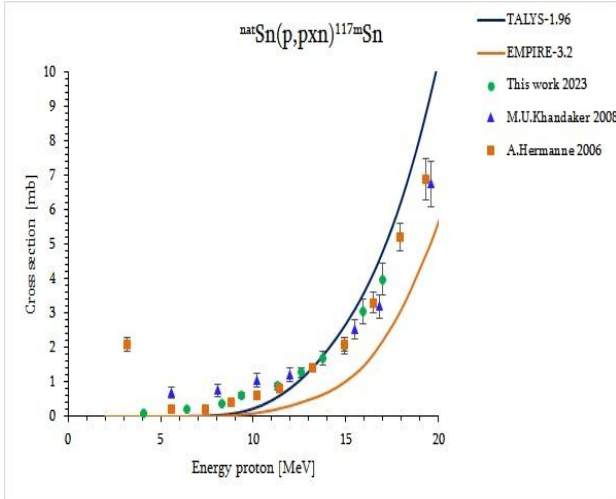
Պրոտոնային փնջի ϕ_i ինտենսիվությունը յուրաքանչյուր էներգիայի համար որոշվում է անագի յուրաքանչյուր թիթեղին նախորդող պղնձե թիթեղի միջոցով: Որպես մոնիտոր օգտագործվել են ^{nat}Cu(p,x)⁶³Zn և ^{nat}Cu(p,x)⁶⁵Zn ռեակցիաները, որոնց կտրվածքները վերցվել են IAEA տվյալների բազայից: Այսպիսով՝ պրոտոնային փնջի ինտենսիվությունը որոշվել է բանաձև (2)-ով՝

$$\phi_i = \frac{\lambda C}{\varepsilon \cdot I_{\gamma} \cdot N_d \cdot l \cdot \sigma \cdot (1 - e^{-\lambda t_i}) \cdot e^{-\lambda t_c} \cdot (1 - e^{-\lambda t_m})} \quad (2)$$

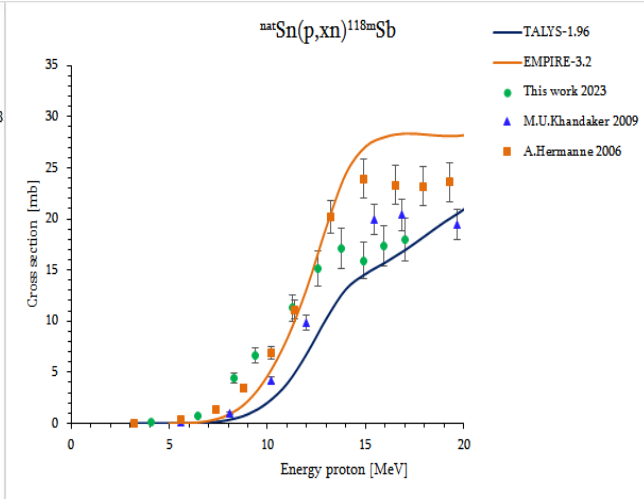
որտեղ՝ նշանակումները նույնն են, ինչ բանաձև (1)-ում:

Ստացված արդյունքները համեմատվել են ինչպես գրականությունում առկա այլ աշխատանքների, այնպես էլ TALYS 1.96 և EMPIRE 3.2 կոդերով հաշված տվյալների հետ:

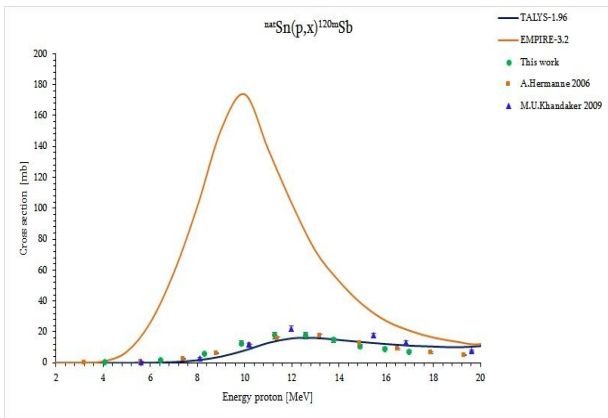
Նկար 2-5-ում բերված են գիտափորձում չափված ${}^{\text{nat}}\text{Sn}(p,xn){}^{117\text{m}}\text{Sn}$ և ${}^{\text{nat}}\text{Sn}(p,xn){}^{118\text{m},120\text{m},122,124}\text{Sb}$ ռեակցիաների գրգռման ֆունկցիաները, TALYS 1.96 և EMPIRE 3.2 տեսական կոդերով հաշված ինչպես նաև այլ գիտական խմբերի տվյալներ:



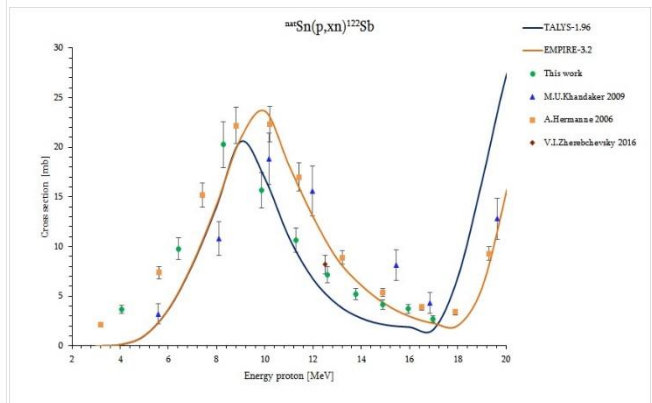
Նկ. 2. ${}^{\text{nat}}\text{Sn}(p,xn){}^{120\text{m}}\text{Sb}$ ռեակցիայի գրգռման ֆունկցիան:



Նկ. 3. ${}^{\text{nat}}\text{Sn}(p,xn){}^{122}\text{Sb}$ ռեակցիայի գրգռման ֆունկցիան:



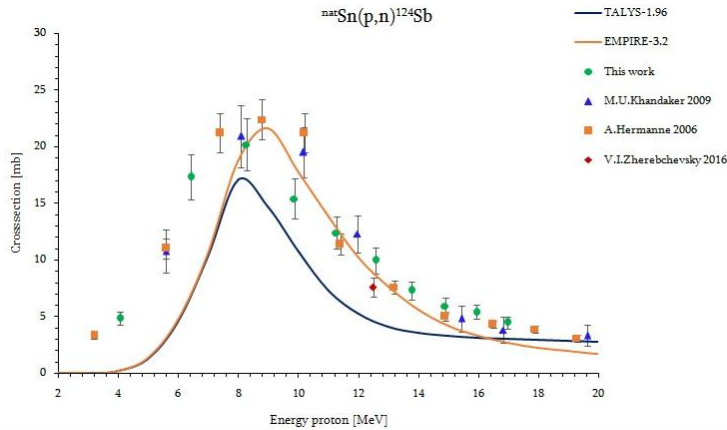
Նկ. 4. ${}^{\text{nat}}\text{Sn}(p,xn){}^{120\text{m}}\text{Sb}$ ռեակցիայի գրգռման ֆունկցիան:



Նկ. 5. ${}^{\text{nat}}\text{Sn}(p,xn){}^{122}\text{Sb}$ ռեակցիայի գրգռման ֆունկցիան:

Ինչպես երևում է նկարներից, մեր չափման արդյունքները սխալների տիրույթում հանրնկնում են այլ գիտական կենտրոնների տվյալների և տեսական կանխագուշակումների հետ: Միայն ${}^{120\text{m}}\text{Sb}$ նուկլիդի համար EMPIRE 3.2 կոդերով հաշված տվյալները մոտ 8 անգամ գերազանցում են ինչպես փորձարարական տվյալները, այնպես էլ TALYS 1.96 կոդով հաշվարկի արդյունքները:

Նկար 6-ում բերված է բժշկության մեջ կիրառվող ^{124}Sb նուկլիդի առաջացման գրգռման ֆունկցիան:



Նկ. 6. $^{nat}\text{Sn}(p,xn)^{124}\text{Sb}$ ռեակցիայի գրգռման ֆունկցիան:

Նկար 6-ից հետևում է, որ մեր չափումները համընկնում են այլ գիտական կենտրոնների տվյալների, ինչպես նաև TALYS 1.96 և EMPIRE 3.2 տեսական կոդերով հաշվարկների հետ: Փորձարարական տվյալները առավել լավ են նկարագրվում EMPIRE 3.2 տեսական կոդով:

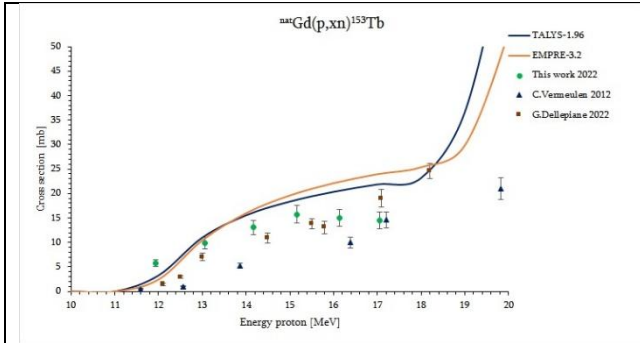
Որպես եզրակացություն կարելի է նշել, որ EMPIRE 3.2 տեսական կոդով հաշիվները հիմնականում գերազանցում են փորձարարական տվյալները: ^{120m}Sb նուկլիդի դեպքում գերազանցումը չափազանց բարձր է, մոտավորապես 8 անգամ: Տեսական մոդելների հետագա զարգացման համար անհրաժեշտ է ունենալ ավելի հարուստ փորձարարական տվյալների բազա:

Կիրառական նշանակություն ունեցող ^{124}Sb հնարավոր է արտադրել պրոտոնային փնջի միջոցով օգտագործելով հարստացված թիրախ:

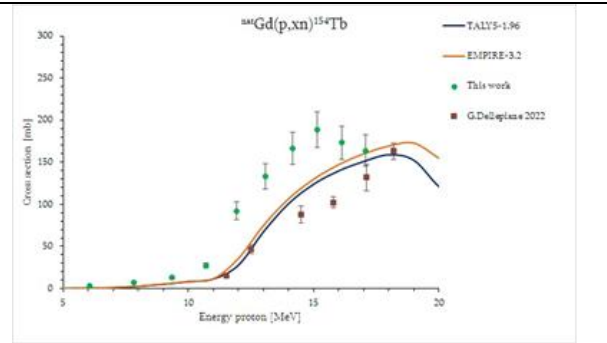
Հաջորդ արդյունքը հաշվետու տարվա համար մեկնարկային դրամաշնորհի աշխատանքների ամփոփիչ հաշվետվությունն է:

$^{nat}\text{Gd}(p,x)$ ռեակցիայի արդյունքում առաջացած տերբիումի այն իզոտոպների համար, որոնք հավանականություն ունեն առաջանալու 1 մկԱ հոսանքով մինչև 18 ՄԷՎ էներգիայով պրոտոնային փնջով ճառագայթման դեպքում: TALYS 1.96 և EMPIRE 3.2 ծրագրային փաթեթներով կատարվել են գրգռման ֆունկցիաների հաշվարկ, օգտագործելով բոլոր հնարավոր մոդելները: Տեսական հաշվարկները կատարվել են պրոտոնների լայն էներգետիկ տիրույթում, ռեակցիաների համապարասխան շեմից մինչև 70 ՄԷՎ: Ստացված արդյունքները տպագրվել են: Այդ աշխատանքում ցույց է տրված, որ պրոտոնների էներգիաների մինչև 20 ՄԷՎ տիրույթում TALYS 1.96 և EMPIRE 3.2 կոդերի տարբեր մոդելների արդյունքները համընկնում են, ուստի ստացված

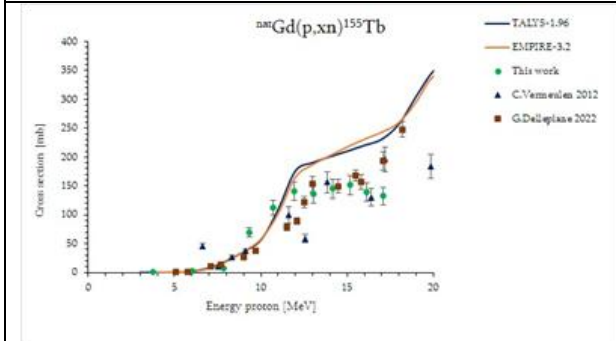
փորձարարական տվյալները համեմատվել են տեսական հաշվարկների “default” մոդելի հետ: Փորձարարական տվյալները համեմատվել են նաև այլ գիտական կենտրոններում ստացված արդյունքների հետ: Նկար 7-11-ում բերված են չափված արդյունքներն այլ հեղինակների ստացած արդյունքների և տեսական հաշվարկների հետ համատեղ:



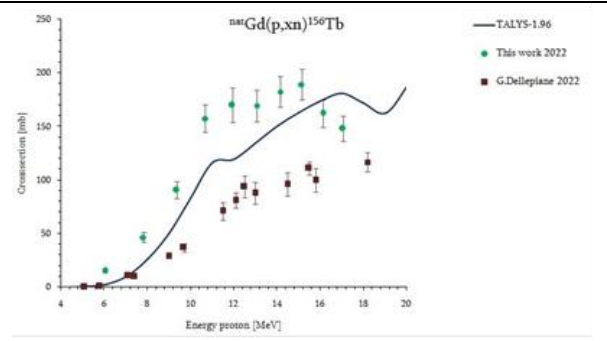
Նկ. 7. Չափված գրգռման ֆունկցիան ${}^{\text{nat}}\text{Gd}(p,xn){}^{153}\text{Tb}$ ռեակցիայի համար:



Նկ. 8. Չափված գրգռման ֆունկցիան ${}^{\text{nat}}\text{Gd}(p,xn){}^{154}\text{Tb}$ ռեակցիայի համար:



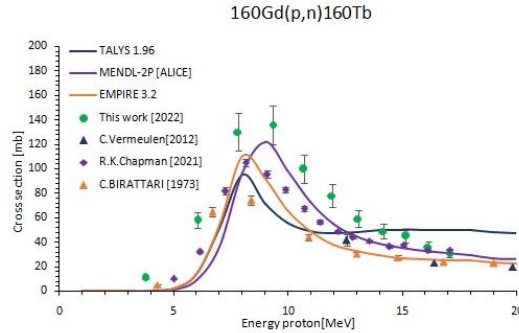
Նկ. 9. Չափված գրգռման ֆունկցիան ${}^{\text{nat}}\text{Gd}(p,xn){}^{155}\text{Tb}$ ռեակցիայի համար:



Նկ. 10. Չափված գրգռման ֆունկցիան ${}^{\text{nat}}\text{Gd}(p,xn){}^{156}\text{Tb}$ ռեակցիայի համար:

Մեր տվյալների և մեջբերված հեղինակի արդյունքների միջև տարբերությունը կարող է պայմանավորված լինել այն հանգամանքով, որ որպես թիրախ հեղինակը օգտագործել է գադոլինիումի օքսիդը:

Նկար 11-ում բերված է չափված գրգռման ֆունկցիան ${}^{\text{nat}}\text{Gd}(p,xn){}^{160}\text{Tb}$ ռեակցիայի համար:



Նկ. 11. Չափված գրգռման ֆունկցիան $^{nat}\text{Gd}(p,xn)^{160}\text{Tb}$ ռեակցիայի համար:

Ինչպես երևում է բերված արդյունքներից, գոյություն ունեցող փորձարարական տվյալներն ուսումնասիրվող միջուկի համար շատ սակավաթիվ են, ինչը խոչնդոտում է տեսական մոդելների զարգացմանը: Ստացված արդյունքների վերլուծությունը ցույց է տալիս, որ տեսական մոդելների հետագա կատարելագործման համար անհրաժեշտ է գիտափորձեր իրականացնել պրոտոնային փնջերի էներգիաների լայն տիրույթում, ինչպես նաև օգտագործել հարստացված թիրախներ:

Նախագծի իրականացման ժամանակահատվածում խմբի արտասահմանյան գործընկերն այցելեց ԱԱԳԼ և իր փորձով ու հմտություններով կիսվեց խմբի անդամների հետ: Ինչպես նաև խմբի անդամներից մեկը գործուղվեց արտասահմանյան խորհրդատուի ներկայացրած գիտական կազմակերպություն:

Այս նախագծի շրջանակներում ստեղծված լաբորատորիան օգտագործվել է նաև Սերբիայի, Նովի Սադ համալսարանի գիտնականների կողմից՝ LUE-75 գծային էլեկտրոնային արագացուցչի վրա ճառագայթված թիրախների սպեկտրոմետրիկ վերլուծության համար: Փորձի արդյունքների հիման վրա միջազգային ամսագրում հրատարակվել է համատեղ հոդված:

Խմբի անդամները ընդգրկված են եղել և կամ ընդգրկված են ՀՀ ԿԳՄՄՆ բարձրագույն կրթության և գիտության կոմիտեի կողմից ֆինանսավորվող հետևյալ թեմաներում.

- ա) Գիտական խմբերի մեկնարկի աջակցության գիտական թեմա 2020 (3 տարի);
- բ) Գիտական և գիտատեխնիկական գործունեության պայմանագրային (թեմատիկ)ֆինանսավորման նպատակով գիտական թեմա 2021 (2 տարի);
- գ) Գիտական խմբերի կամ լաբորատորիաների (բաժինների) ամրապնդմանն աջակցություն 2023 (5 տարի);
- դ) Ասպիրանտների և երիտասարդ հայցորդների հետազոտությունների աջակցության ծրագիր 2023:

Խմբի անդամներն հանդես են եկել մի շարք լոկալ (բաժանմունքի ներսում) սեմինարներով և ներկայացրել են իրենց կատարած աշխատանքները և ստացած արդյունքները:

Գիտական խմբերի մեկնարկի աջակցության գիտական թեմայի դրամաշնորհի շրջանակներում ստեղծվել է համագործակցություն ԱՄՆ Նուր Դամի համալսարանի պրոֆեսոր Վ. Տանի հետ:

Տեղական գիտափորձերի ընթացքում շարունակվում է համագործակցությունը ԵՊՀ Միջուկային ֆիզիկայի ամբիոնի գիտաշխատողների հետ:

Տպագրված աշխատանքներ

1. M. Krmar, N. Jovančević, D. Maletić, Ž. Medić, D. Knežević, M. Savić, D. Knežević, M. Savić, Yu. Teterev, S. Mitrofanov, K. D. Timoshenko, S. I. Alexeev, H. Marukyan, I. Kerobyan, R. Avetisyan, L. Poghosyan, R. Dallakyan, A. Hakobyan, L. Vahradyan, H. Mkrtchyan, A. Petrosyan, «Search for the evidence of $^{209}\text{Bi}(\gamma, p5n)^{203}\text{Pb}$ reaction in 60 MeV bremsstrahlung beams». The European Physical Journal A 59, 2023, p. 170.
2. H. A. Mkrtchyan “Theoretical investigations of excitation functions in proton-induced reactions on natural gadolinium up to 70 MeV” J. Contemp. Phys. (Armenian Academy of Sciences), 2023, Vol. 58, No 2, p. 105.
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, L. Poghosyan, R. Dallakyan, A. Hakobyan, L. Vahradyan, H. Mkrtchyan, A. Petrosyan, Hrach Torosyan, “Production of ^{117m}Sn and ^{119m}Sn by photonuclear reactions on natural antimony”, Applied Radiation and Isotopes, Manuscript Number: ARI-D-23-01025.

Ցածր ֆոնային լաբորատորիայում կատարված ուսումնասիրություններ

Ղեկավար՝ Լևոն Պողոսյան / Տիգրան Քոթանջյան

Կատարողներ՝ Հ. Գուլբանյան, Տ. Քոթանջյան, Լ. Պողոսյան, Ս. Ամիրխանյան, Ա. Ալեքսանյան, Օ. Պողոսովա, Մ. Լևոնյան, Հ. Հակոբյան:

Հազվադեպ միջուկային ռեակցիաների և միջուկային աստղաֆիզիկական հետազոտությունների խմբի կատարված ուսումնասիրություններ (2023 թ.)

- 1) Առաջին անգամ ՀՀ-ում իրականացվել է երկրաբանական նմուշներում քիմիական տարրերի պարունակության որոշման գամմա-ակտիվացման վերլուծության (ԳԱՎ) մեթոդի տեստավորումը և ստուգվել դրա գործնական կիրառությունը՝ մի շարք բնապահպանական նշանակություն ունեցող տարածքներից վերցրած երկրաբանական

նմուշների քիմիական պարունակության որոշման նպատակով: Տեսավորման համար օգտագործվել է Արագածի հրաբխային շրջանի Արտենի տեղանքից ընտրված օբսիդիանի նմուշը, որը նախկինում հետազոտվել էր նեյտրոնային ակտիվացման վերլուծության (ՆԱՎ) մեթոդով (թեմայի կատարողները շնորհակալություն են հայտնում ՀՀ ԳԱԱ Երկրաբանական գիտությունների ինստիտուտի տնօրեն Խ. Մելիքսեթյանին՝ օբսիդիանի նմուշը տրամադրելու և մեր հետազոտությունների ավարտից հետո ՆԱՎ մեթոդով ստացված արդյունքներին ծանոթացնելու համար):

ԳԱՎ մեթոդի տեսավորման համար օգտագործվել է $MY\Theta-70$ -ում արագացված $E_e = 20.8$ ՄեՎ էներգիայով էլեկտրոններից առաջացած արգելակային ֆոտոնների փունջը, որով ճառագայթվել է խմբի կողմից նախագծված և ստեղծված թիրախային համակարգը: Այն բաղկացած է հաջորդաբար տեղադրված վոլֆրամի ռադիատորից (որում տեղի է ունենում էլեկտրոնների արգելակային ճառագայթումը), այլումինե կլանիչից (որը կլանում է ռադիատորից դուրս եկած էլեկտրոնները) և թիրախների շարանից, որում օբսիդիանի՝ 0.72 գ զանգվածով թիրախից բացի, ընդգրկված են մինչև մի քանի տասնյակ մգ զանգվածով մի շարք ռեպերային թիրախներ (նիկել, ցինկ, նիոբիում, մոլիբդեն, ոսկի, կապար), ինչպես նաև պղնձե մոնիտորային թիրախներ: Ճառագայթված թիրախների գամմա-սպեկտրաչափական վերլուծությունն իրագործվել է գերմաքուր գերմանիումի դետեկտորի հիման վրա գործող գիտասարքի միջոցով, որը տեղադրված է Ավանի աղի հանքում՝ ջրային համարժեքով 650 մետր խորության վրա գտնվող ԱԱԳԼ-ի ստորգետնյա ցածրֆոնային լաբորատորիայում (մանրամասները [1,2] հոդվածներում):

Սպեկտրաչափական տվյալների մշակման և ֆիզիկական վերլուծության արդյունքում չափվել են թիրախներում (γ, n) ֆոտոմիջուկային ռեակցիաների արդյունքում առաջացած ռադիոիզոտոպների էլքերը, որոնց հիման վրա էլ գնահատվել է օբսիդիանի նմուշում առկա քիմիական տարրերի հարաբերական պարունակությունը: Վերջինս Աղյուսակ 1-ում համեմատվում է ՆԱՎ մեթոդի հիման վրա ստացված տվյալների հետ: Նշենք, որ Աղյուսակ 1-ում ընդգրկված են նաև՝ ա) կալիումի պարունակության վերաբերյալ մեր տվյալը, որն ստացվել է առանց ԳԱՎ մեթոդի կիրառման (օգտագործելով օբսիդիանում առկա երկարակյաց ^{40}K ռադիոիզոտոպի բնական գամմա-ակտիվությունը), և բ) երկաթի համար տվյալը, որն ստացվել է $E_e = 40$ ՄեՎ-ի դեպքում իրականացված հատուկ գիտափորձում, որում վերոնշյալ օբսիդիանի նմուշի հետ մեկտեղ ճառագայթվել է նաև բնական երկաթի ռեպերային թիրախը և երկաթի պարունակության որոշման համար օգտագործվել է $^{54}\text{Fe}(\gamma, nn)^{52}\text{Fe}$ երկնեյտրոնային ռեակցիան:

Աղյուսակ 1- ից հետևում է, որ երկու տարբեր մեթոդներով ստացված արդյունքներն ընդհանուր առմամբ համադրելի են: Հիմնականում բացառություն են

կազմում օբսիդիանում ցածր պարունակություն ունեցող տարրերը, ներառյալ մկնդեղը, ծարիրը, ինչպես նաև ԳԱՎ մեթոդով չդիտարկված գրեթե բոլոր լանթանիդները (նեոդիմից մինչև լուտեցիում): Հետագա հետազոտություններում թիրախների ճառագայթման և ակտիվության չափումների ռեժիմների համապատասխան ընտրությունը հնարավորություն կընձեռի որոշ չափով ընդլայնելու դիտարկվող տարրերի ցանկը: Կարևոր է ընդգծել, որ ԳԱՎ մեթոդով հաջողվում է դիտարկել մի շարք տարրեր (Ca, Ti, Mn, Sr, Y, Nb, Mo, Pb), որոնք չեն դիտարկվել ՆԱՎ մեթոդով (տե՛ս Աղյուսակ 1): Այսպիսով, ՆԱՎ և ԳԱՎ մեթոդները կարող են փոխադարձաբար լրացնել միմյանց:

Աղյուսակ 1. Օբսիդիանի նմուշի գամմա-ակտիվացման վերլուծության և նեյտրոնային ակտիվացման վերլուծության արդյունքների համեմատությունը:

Քիմիական տարր	ԳԱՎ մեթոդով չափված տարրի (բացառությամբ կալիումի, տե՛ս տեքստը) հարաբերական պարունակությունը (մկգ/գ կամ %)	ՆԱՎ մեթոդով չափված տարրի հարաբերական պարունակությունը (մկգ/գ կամ %)
Na (%)	2.52±0.33	3.22
K (%)	3.79±0.35	3.40
Ca (%)	0.445± 0.043	Չի դիտարկվել
Sc	3.2 ±0.6	2.50
Ti (%)	0.070±0.004	Չի դիտարկվել
Cr	3.5 ±2.7	6.00
Mn	404±29	Չի դիտարկվել
Fe (%)	0.58±0.06	0.61
Co	1.59±0.60	1.09
Zn	47.8±15.5	40.0
As	2.53 ±0.36	5.10
Rb	128±8	135
Sr	32.3±2.7	Չի դիտարկվել

Y	26.3±1.9	Չի դիտարկվել
Zr	72.2±5.1	73
Nb	32.7±2.1	Չի դիտարկվել
Mo	6.1±1.0	Չի դիտարկվել
Sb	1.0±0.3	0.16
Cs	3.57±0.24	3.64
Ba	405±48	388
La	Չի դիտարկվել	24.0
Ce	48.6±6.6	40.4
Nd	Չի դիտարկվել	17.0
Sm	Չի դիտարկվել	3.42
Eu	Չի դիտարկվել	0.369
Tb	Չի դիտարկվել	0.57
Yb	Չի դիտարկվել	2.44
Lu	Չի դիտարկվել	0.480
Hf	Չի դիտարկվել	3.45
Ta	Չի դիտարկվել	1.97
Pb	16.1±2.8	Չի դիտարկվել
Th	20.4±2.4	16.3
U	5.74±0.45	6.20

2) ԳԱՎ մեթոդի կիրառության համար անհրաժեշտ են նախօրոք հայտնի տվյալներ հետազոտվող (γ, n) ռեակցիայի σ_w կշռավորված կտրվածքի վերաբերյալ: Քանի որ բավարար ճշգրտությամբ տվյալներ գոյություն ունեն բավականին սահմանափակ քանակով միջուկների համար, ապա տվյալների այդ բացը լրացնելու համար հետազոտվելիք նմուշի հետ մեկտեղ ճառագայթվում են նաև որոնվող քիմիական տարրերի՝ նախօրոք հայտնի պարունակությամբ ռեպերային թիրախներ:

Այդ նպատակով էլեկտրոնների տարբեր էներգիաների դեպքում (նախորդ տարիների $E_e = 21.5$ ՄէՎ, 28 ՄէՎ, 35 ՄէՎ և 55 ՄէՎ էներգիաները 2023 թ-ին լրացվել է $E_e = 20,8$ ՄէՎ

էներգիայով) արգելակման ֆոտոններով ճառագայթվել են սույն թեմայի շրջանակներում նախագծված և ստեղծված թիրախային համակարգեր, որոնք կազմված էին մի շարք քիմիական տարրեր պարունակող թիրախներից, այդ թվում՝ Al, Ti, V, Mn, Fe, Co, Ni, Zn, Y, Nb, Mo, Ag, Cd, Sb, Tb, Tm, Yb, Lu, Hf, Au, Hg, Pb, Th, U: Ճառագայթված թիրախների գամմա-սպեկտրաչափական վերլուծության արդյունքում ստացվել են նոր փորձարարական տվյալներ նշված թիրախների վրա ընթացող ֆոտոմիջուկային ռեակցիաների՝ արգելակման ֆոտոնների սպեկտրով կշռավորված (σ_w) և միջինացված ($\langle\sigma\rangle$) կտրվածքների վերաբերյալ: Ստացված փորձարարական տվյալները մի շարք թիրախների համար ներկայացված են Աղյուսակ 2-ում՝ համեմատությամբ [3] փորձարարական տվյալների շտեմարանի հիման վրա կատարված հաշվարկների:

Աղյուսակ 2. $E_e = 20.8$ ՄէՎ-ի դեպքում (γ, n) ռեակցիայի միջինացված կտրվածքը:

Ռեակցիա	$\langle\sigma\rangle$ (մբ)	$\langle\sigma\rangle$ (մբ) <i>EXFOR</i> [3]
$^{58}\text{Ni}(\gamma, n) ^{57}\text{Ni}$	17.7 ± 3.0	13.4 ± 1.4
$^{66}\text{Zn}(\gamma, n) ^{65}\text{Zn}$	45.8 ± 3.3	37.5 ± 3.0
$^{93}\text{Nb}(\gamma, n) ^{92m}\text{Nb}$	22.7 ± 2.0	-
$^{100}\text{Mo}(\gamma, n) ^{99}\text{Mo}$	62.8 ± 5.4	54.3 ± 4.3
$^{197}\text{Au}(\gamma, n) ^{196}\text{Au}$	160 ± 10	176 ± 14
$^{204}\text{Pb}(\gamma, n) ^{203}\text{Pb}$	126 ± 8	-

Ինչպես հետևում է Աղյուսակ 2-ից, մեր արդյունքները ^{57}Ni , ^{65}Zn , ^{99}Mo և ^{196}Au ռադիոիզոտոպների վերաբերյալ սխալների սահմաններում համադրելի են [3] շտեմարանի տվյալների հետ, իսկ ^{92m}Nb իզոմերային ռադիոիզոտոպի և ^{203}Pb ռադիոիզոտոպի վերաբերյալ՝ միակ չափումներն են ֆոտոնների համեմատաբար ցածր էներգիաների ($E_\gamma < 21$ ՄէՎ) տիրույթում: Ընթացքի մեջ է ֆոտոմիջուկային փոխազդեցությունների վերաբերյալ գիտական հոդվածի նախապատրաստումը:

- 3) Խմբի կողմից նաև իրականացվել է պրոտոնային ակտիվացման վերլուծության (ՊԱՎ) մեթոդի առաջին փորձարկումը ՀՀ-ում: Տարբեր նմուշներում որոշ քիմիական տարրերի բաղադրության որոշման համար առավել օպտիմալ կարող է լինել ՊԱՎ մեթոդը: Դրա ցայտուն օրինակներից է լիթիումը, որի առկայությունը հետազոտվող նմուշում կարող է միարժեքորեն բացահայտվել և քանակապես գնահատվել պրոտոններով ճառագայթելու

շնորհիվ՝ չափելով ${}^7\text{Li}(p,n){}^7\text{Be}$ լիցքափոխանակման ռեակցիայի արգասիք հանդիսացող ${}^7\text{Be}$ ռադիոիզոտոպի ելքը: ՊԱՎ մեթոդի փորձարկման նպատակով C-18 ցիկլոտրոնի պրոտոնային փնջով ճառագայթվել են թիրախային համակարգեր, որոնցում ներառվել են մի շարք երկրաբանական նմուշներ (օբսիդիան, գրանիտ, հող՝ այդ թվում՝ Քաջարանի հանքարդյունաբերական պոչամբարից), ինչպես նաև միատարր ռեպերային թիրախներ (այդ թվում՝ Cu, Mo, Cd, W, Au, Pb, Th, U): Ստացված փորձարարական տվյալները մի շարք թիրախների համար ներկայացված են Աղյուսակ 3-ում: Ընթացքի մեջ է ՊԱՎ մեթոդի փորձարկման վերաբերյալ գիտական հոդվածի նախապատրաստումը:

Աղյուսակ 3. Պրոտոնով հարուցված ռեակցիաների կտրվածքները

Միջինացված ըստ ${}^{110}\text{Cd}(p,\gamma){}^{111}\text{In}$ ${}^{111}\text{Cd}(p,n){}^{111}\text{In}$ ${}^{112}\text{Cd}(p,2n){}^{111}\text{In}$ ռեակցիաների		Միջինացված ըստ ${}^{95}\text{Mo}(p,\gamma){}^{96}\text{Tc}$ ${}^{96}\text{Mo}(p,n){}^{96}\text{Tc}$ ${}^{97}\text{Mo}(p,2n){}^{96}\text{Tc}$ ռեակցիաների		${}^{197}\text{Au}(p,n){}^{197m}\text{Hg}$	
E_p (ՄէՎ)	σ (mb)	E_p (ՄէՎ)	σ (mb)	E_p (ՄէՎ)	σ (mb)
11.19	320±39	7.98	285±33	9.06	27.4±3.0
13.57	385±44	14.79	320±37	9.60	42.9±5.1
15.72	539±66			12.42	34.3±4.0
				13.69	26.5±3.1
				16.86	15.3±1.7

4) Հաշվարկվել և ստեղծվել են ուրանի, թորիումի, պլատինի և վոլֆրամի թիրախային համակարգեր, SRIM&TRIM ծրագրերով հաշվարկվել է պրոտոնային փնջի E_p միջին էներգիան հետազոտվող ենթաթիրախների վրա, իրականացվել են այդ թիրախային համակարգերի պրոտոնային փնջով մի քանի ճառագայթումներ: Այնուհետև իրականացվել է այդ ենթաթիրախների գամմա-սպեկտրաչափական վերլուծություն ստորգետնյա ցածրֆոնային լաբորատորիայում:

Մասնավորապես, ավարտին են հասցվել ճառագայթված թորիումի և ուրանի թիրախների գամմա-սպեկտրաչափական վերլուծության, ստացված տվյալների մշակման և ֆիզիկական վերլուծության աշխատանքները: Չափվել է պրոտոն-թորիում և պրոտոն-ուրան միջուկային փոխազդեցությունների մի շարք ռեակցիաների կտրվածքների կախումը պրոտոնի էներգիայից՝ $E_p < 18$ ՄէՎ տիրույթում: Ընդհանուր առմամբ չափվել են 21 կտրվածքներ, որոնք վերաբերում են հետևյալ հինգ ռեակցիաներին՝ ${}^{232}\text{Th}(p,n){}^{232}\text{Pa}$, ${}^{232}\text{Th}(p,3n){}^{230}\text{Pa}$, ${}^{238}\text{U}(p,n){}^{238}\text{Np}$, ${}^{238}\text{U}(p,3n){}^{236m}\text{Np}$, ${}^{238}\text{U}(p,np){}^{237}\text{U}$ (տես Աղյուսակներ 4 և 5):

Աղյուսակ 4. Պրոտոն-թորիում փոխազդեցության ռեակցիաների կտրվածքների կախումը պրոտոնի էներգիայից:

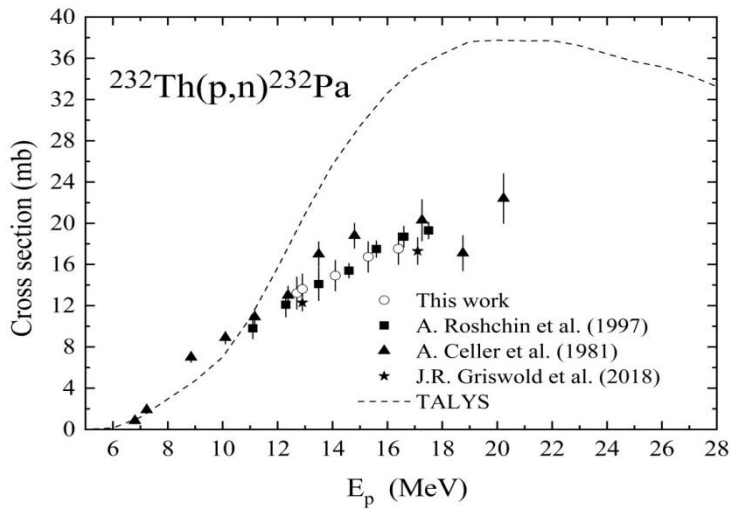
Թորիումի էնթաթիրախ	E_p (ՄէՎ)	σ_n (մբ) $^{232}\text{Th}(p,n)^{232}\text{Pa}$	σ_{3n} (մբ) $^{232}\text{Th}(p,3n)^{230}\text{Pa}$
1	16.4±0.08	17.54± 1.53	98.7±6.0
2	15.3±0.12	16.74± 1.48	22.2±1.4
3	14.1±0.13	14.92± 1.48	1.57±0.15
4	12.9±0.16	13.62± 1.45	-
5	12.7±0.18	13.22± 1.56	-

Աղյուսակ 5. Պրոտոն-ուրան փոխազդեցության ռեակցիաների կտրվածքների կախումը պրոտոնի էներգիայից:

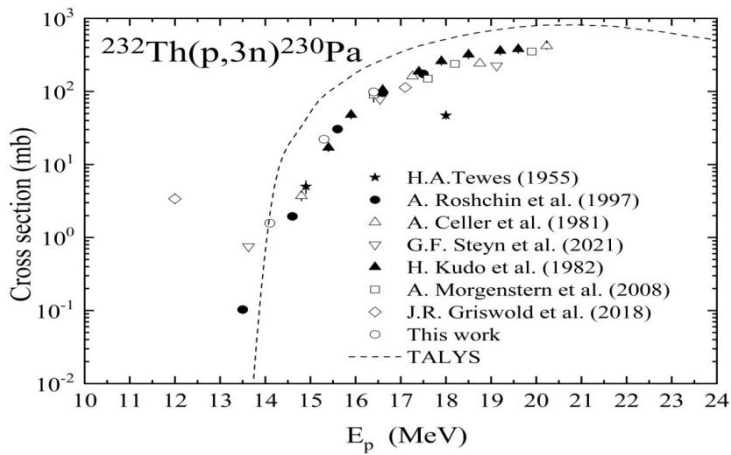
Ուրանի էնթաթիրախ	E_p (ՄէՎ)	σ_n (մբ) $^{238}\text{U}(p,n)^{238}\text{Np}$	σ_{3n} (մբ) $^{238}\text{U}(p,3n)^{236m}\text{Np}$	σ_{np} (մբ) $^{238}\text{U}(p,np)^{237}\text{U}$
1	17.0±0.36	12.89± 1.11	69.22±5.06	39.90±2.94
2	15.8±0.10	12.50± 0.93	27.17±1.99	21.84±1.61
3	14.7±0.14	11.90± 0.87	8.99±0.69	11.67±1.36
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 արդյունքների, ինչպես նաև տարբեր բնագավառներում լայնորեն կիրառվող TALYS1.9 մոդելի կանխագուշակումների հետ: Ինչպես հետևում է բերված նկարներից, մոդելի

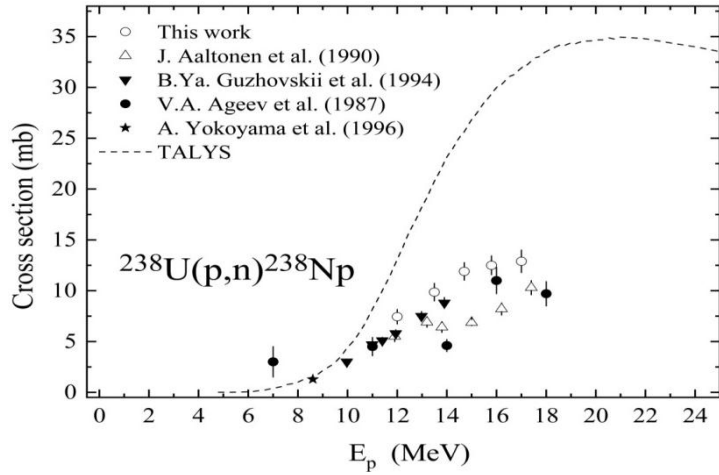
կանխագուշակումներն ընդհանուր առմամբ հակասում են մեր և այլոց կողմից ստացված փորձարարական տվյալներին, ուստի այդ մոդելը կարիք ունի էական ճշգրտումների:



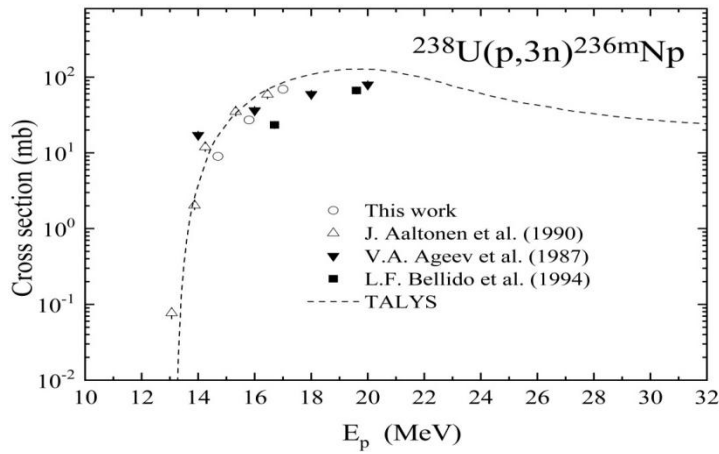
Նկ. 1. $^{232}\text{Th}(p,n)^{232}\text{Pa}$ ռեակցիայի կտրվածքի կախվածությունը E_p -ից:



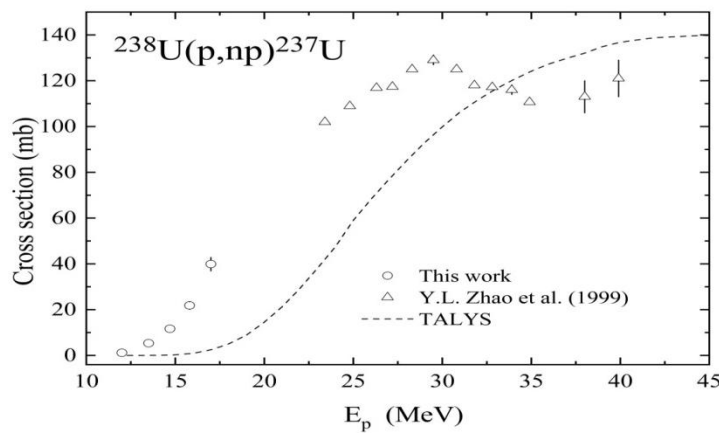
Նկ. 2. $^{232}\text{Th}(p,3n)^{230}\text{Pa}$ ռեակցիայի կտրվածքի կախվածությունը E_p -ից:



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:



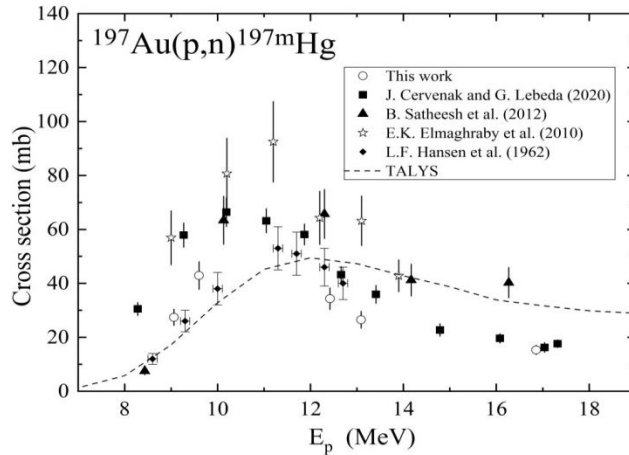
Նկ. 5. $^{238}\text{U}(p,np)^{237}\text{U}$ ռեակցիայի կտրվածքի կախվածությունը E_p -ից:

Ինչպես երևում է Նկարներ 1–5-ից, մեր չափման արդյունքները մասամբ լրացնում են տվյալների բացը $E_p < 17$ ՄԷՎ տիրություն և ապահովում են տվյալների որոշակի ճշգրտում՝ նկատի առնելով գոյություն ունեցող տվյալներում առկա տարաձայնությունները: Նշված էներգետիկական տիրություն $^{238}\text{U}(p,n)^{237}\text{U}$ ռեակցիայի կտրվածքի կախվածությունը E_p –ից սույն թեմայի շրջանակներում չափվել է առաջին անգամ: Աստղաֆիզիկական կարևորությունից զատ, 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:

- 5) Հաշվարկվել, ստեղծվել և C-18 ցիկլոտրոնի վրա ճառագայթվել է ոսկու ենթաթիրախներ պարունակող թիրախային համակարգը: Գամմա-սպեկտրաչափական վերլուծության արդյունքում ստացվել են նոր տվյալներ $^{197}\text{Au}(p,n)^{197m}\text{Hg}$ ռեակցիայի կտրվածքի վերաբերյալ՝ պրոտոնների $E_p = 9.1, 9.6, 12.4, 13.7$ և 16.9 ՄԷՎ էներգիաների դեպքում (տես Աղյուսակ 6): Նկար 6-ում մեր չափման արդյունքները համեմատվում են $E_p = 8 \div 18$ ՄԷՎ էներգիաների տիրություն առկա տվյալների, ինչպես նաև *TALYS1.9* մոդելի կանխագուշակումների հետ: Ինչպես երևում է Նկար 6-ից, մեր արդյունքներն ապահովում են տվյալների որոշակի ճշգրտում՝ նկատի առնելով գոյություն ունեցող տվյալներում առկա տարաձայնությունները: Նախատեսվում է ևս մի քանի կետ ավելացնել մեր չափումներում: Նշենք նաև, որ մոդելի կանխագուշակումները չեն նկարագրում ինչպես մեր, այնպես էլ այլ աշխատանքների տվյալները:

Աղյուսակ 6. $^{197}\text{Au}(p,n)^{197m}\text{Hg}$ ռեակցիայի կտրվածքի կախումը պրոտոնի էներգիայից:

E_p (ՄԷՎ)	9.06	9.60	12.42	13.09	16.86
σ (մբ)	27.4 ± 3.0	42.9 ± 5.1	34.3 ± 4.0	26.5 ± 3.1	15.3 ± 1.7



Նկ. 6. $^{197}\text{Au}(p,n)^{197m}\text{Hg}$ ռեակցիայի կտրվածքը՝ համեմատած $E_p = 8\div 18$ ՄէՎ էներգիաների սիրույթում առկա տվյալների հետ:

Օգտագործված գրականության ցանկ

- [1] A.S. Hakobyan, A. Y. Aleksanyan, S. M. Amirkhanyan, H.R. Gulkanyan, T.V. Kotanjyan, V.S. Pogosov, L.A. Poghosyan, Journal of Contemporary Physics (Armenian Academy of Sciences), Vol. 55, No. 2, pp. 111-117 (2020)
- [2] A. Aleksanyan, S. M. Amirkhanyan, H. R Gulkanyan , T.V. Kotanjyan, V. S. Pogosov, L.A. Poghosyan, Journal of Contemporary Physics (Armenian Academy of Sciences), Vol. 57, No. 2, pp. 112–122 (2022)
- [3] USA National Nuclear Data Center database “CSISRS and EXFOR Nuclear reaction experimental data”, <http://www.nndc.bnl.gov/exfor> (2014)

Խմբի աշխատակիցները ակտիվ մասնակցություն են ունեցել գիտկոմի ֆինանսավորմամբ մի շարք նախագծերում

Մասնակցած առկա և հեռավար միջոցառումների ցանկ

1. The 8th International Advanced School “Frontiers in Optics & Photonics” (FOP-2023) - A. Aleksanyan, S. Amirkhanyan, H. Gulkanyan, T. Kotanjyan**, L. Poghosyan - Investigation of rare nuclear processes in a low-background underground laboratory (2023):
2. “Համահայկական գիտաժողով 2023”, նպատակը՝ 21SCG-1C018 ծածկագրով դրամաշնորհի ընթացիկ տարվա հաշվետվություն, 17-22 նոյեմբեր, 2023 բանավոր զեկուցում:

Հրատարակված և ընդունված հրատարակման հոդվածների ցանկ

1. A.Y. Aleksanyan et al., “Searching for tetra-neutron in bismuth nucleus photodisintegration reaction”, Journal of Contemporary Physics (Armenian Academy of Sciences), Vol. 58, No. 1, pp. 6–13 (2023):
2. A.R. Balabekyan et al., “Investigation of photonuclear reactions on isotopes ^{51}V , $^{\text{nat}}\text{Cu}$, $^{\text{nat}}\text{Mo}$, ^{115}In and ^{207}Pb at photon energy $E_{\gamma}^{\text{max}}= 20\text{--}70\text{ MeV}$ ”, Radiation Physics and Chemistry, Vol. 204, pp. 110651 (2023):

Նախապատրաստվել և առաքվել են հրատարակման հետևյալ հոդվածները՝

1. T.V. Kotanjyan et al., “Cross sections of proton-induced neutron emission reactions on thorium and uranium at energies below 18 MeV”, submitted to Physical Review C.
2. А.Ю. Алексанян и др., “Сравнение результатов гамма-активационного анализа и инструментального нейтронного активационного анализа геологических образцов” submitted to Journal of Contemporary Physics (Armenian Academy of Sciences)

Համաձայն 21SCG-1C018 ծածկագրով ՀՀ ԿԳՄՍ նախարարության Բարձրագույն կրթության և գիտության կոմիտեի կողմից ֆինանսավորվող գիտական թեմայի պահանջի, տեղի է ունեցել գիտական խմբի անվանման և ղեկավարի փոփոխություն, նաև նույն գիտական թեմայի պահանջների համապատասխան Հ. Գուլբանյանը դարձել է 100/7 գիտական խմբի անդամ:

Չերենկոյան դիտակների օգնությամբ աստղաֆիզիկական աղբյուրների ուսումնասիրումը (HESS և CTA)

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

Հաշվետու տարում Ա.Ի.Ալիխանյանի անվան ազգային գիտական լաբորատորիայի (Երևանի ֆիզիկայի ինստիտուտ) Փորձարարական ֆիզիկայի բաժանմունքի Չերենկոյան դիտակների օգնությամբ աստղաֆիզիկական աղբյուրների ուսումնասիրման (HESS և CTA) խումբը շարունակել է հետազոտությունները շատ բարձր էներգիաների (ՇԲԷ, մի քանի տասնյակ ԳԷՎ-ից մինչև մի քանի հարյուր ՏԷՎ) γ -ճառագայթների աստղաֆիզիկայի բնագավառում: Խումբը մասնակցել է H.E.S.S. (High Energy Stereoscopic System) համագործակցության աշխատանքներին, հետազոտել մինչև 100 ԳԷՎ էներգետիկ տիրույթում մթնոլորտային հեղեղների չերենկոյան պատկերների «մաքրման» և դրանք նկարագրող նոր

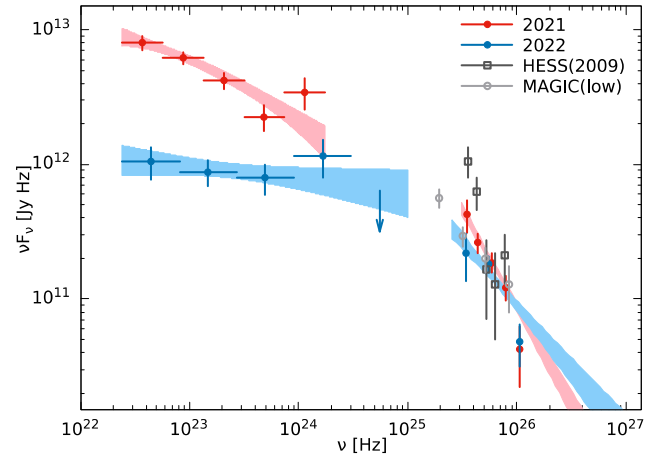
պարամետրերի մշակման հնարավորությունները՝ γ -դեպքերի առանձնացման արդյունավետությունը բարձրացնելու նպատակով: Վերջինս իրականացվել է Cherenkov Telescope Array (CTA) համագործակցության Large-Sized Telescope (LST, տրամագիծը՝ 23 մ, տեղակայման բարձրությունը՝ 2200 մ) պատկերային մթնոլորտային շերտնկովյան դիտակի (ՊՄՉԴ) դեպքում մոդելավորված տվյալների բանկի օգնությամբ:

H.E.S.S.-ի կողմից 2023թ. շարունակվել է տարբեր դասերի աստղաֆիզիկական աղբյուրների ուսումնասիրությունը, մասնավորապես՝

- Հետազոտվել է PKS 1510-089 քվազարի ճառագայթումը 2021-2022թթ. ընթացքում [1]: Ուսումնասիրությունը պայմանավորված է նրանով, որ 2021թ. հուլիսին գրանցվել էր այդ աղբյուրի հոսքի զգալի նվազում բարձր էներգիաների (Բէ, $E > 100$ ՄէՎ) γ -ճառագայթների (10 անգամ) և օպտիկական (5 անգամ) տիրույթներում, ինչը շարունակվել էր նաև ողջ 2022թ.-ին: PKS 1510-089 աղբյուրի դիտումները H.E.S.S.-ի կողմից կատարվել են 2021-2022թթ. և օգտագործվել են 12 մ տրամագիծ ունեցող չորս ՊՄՉԴ-ների դիտակների կողմից գրանցված տվյալները: Դիտման ժամանակահատվածը կազմել է 50.9ժ. (2021թ.) և 36.5ժ. (2022թ.): Փամմա դեպքերի առանձնացման ժամանակ օգտագործված կտրվածքները (cuts) 2021 և 2022թ. համար ապահովում են համապատասխանաբար 129 և 106 ԳէՎ գրանցման էներգետիկ շեմ: Ազգանշանն առանձնացվել է 13.5 σ և 10.3 σ հուսալիությամբ: Գրանցված սպեկտրները կարելի է նկարագրել $F(E) = N_0(E_0)(E/E_0)^{-\Gamma}$ աստիճանային ֆունկցիայի տեսքով, որտեղ N -ը նորմավորման գործակիցն է E_0 “դեկոլերյացիոն” էներգիայի դեպքում, իսկ Γ -ն՝ սպեկտրային ինդեքսը:

	2023	թ.	համար
$N_0 = \left(17 \pm 1_{stat}^{+6}_{-5_{sys}}\right) \times 10^{-12}$ ֆոտոն սմ ⁻² վրկ ⁻¹ ՏէՎ ⁻¹ ,	$E_0 = 256$ ԳէՎ և	$\Gamma = 3.4 \pm$	
$0.1_{stat} \pm 0.4_{sys}$:	2022թ.		համար՝
$N_0 = \left(8.8 \pm 0.7_{stat}^{+2.9}_{-2.4_{sys}}\right) \times 10^{-12}$ ֆոտոն սմ ⁻² վրկ ⁻¹ ՏէՎ ⁻¹ ,	$E_0 = 296$ ԳէՎ և	$\Gamma = 3.0 \pm$	
$0.1_{stat} \pm 0.4_{sys}$:	PKS 1510-089-ից գրանցված սպեկտրները բերված են Նկար 1-ում:		

Արդյունքների համեմատությունը ԲԷ γ -ճառագայթների, ռենտգենյան և օպտիկական տիրույթներում գրանցված հոսքերի հետ ցույց է տալիս, որ մոտավորապես 2021թ. հուլիսի 18-ին PKS 1510-089-ի ռեյաստիվիստական շիթը ենթարկվել է հանկարծակի և էական փոփոխության: ԲԷ γ -ճառագայթների և օպտիկական տիրույթի հոսքերն իջել են մինչև կայուն ցածր վիճակների, մինչդեռ ՇԲԷ γ -ճառագայթների և ռենտգենյան հոսքերը մնացել են կայուն՝ 2 գործակցի շրջանակում:

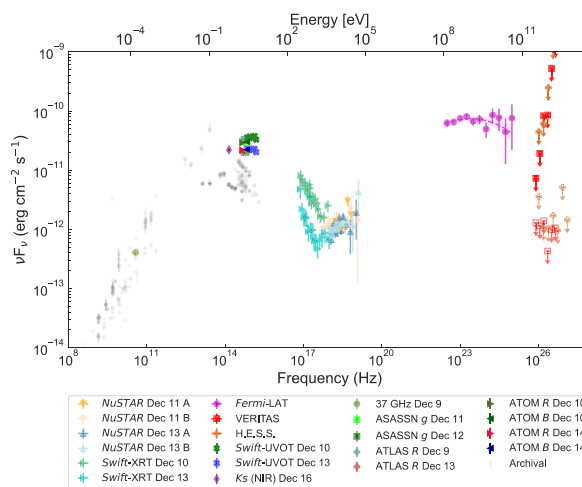


Նկար 1 PKS 1510-089-ի ՇԲԷ γ -ճառագայթների սպեկտրները գրանցված 2021 (կարմիր) և 2022 (կապույտ) թվականներին:

Այս փաստը խոսում է երկգոտի մեկնաբանության օգտին, ըստ որի ճառագայթման առանձին շրջաններ ակտիվ էին մինչև 2021թ. հուլիսի 18-ը և իրենց ներդրումն ունեին էներգետիկ բոլոր տիրույթներում: Այդ օրվան մոտ սև խոռոչին մոտիկ գտնվող առաջնային գոտին, որը պատասխանատու էր օպտիկական ԲԷ γ -ճառագայթների մեծ մասի համար, անհետանում է և մնում է երկրորդական գոտին, որը մեծ ներդրում ունի ՇԲԷ γ -ճառագայթների և ռենտգենյան տիրույթներում: Առաջնային ճառագայթման գոտու անհետացումը պայմանավորված է կամ սև խոռոչին մոտ շիթից ֆոտոնների գեներացիայի արդյունավետության զգալի անկմամբ կամ տեսադաշտից շիթի շեղմամբ:

- Իրականացվել են PKS 0735+178 բլազարի թիրախային դիտումները [2]: Աղբյուրը գտնվում է IceCube նեյտրինո աստղադիտարանի կողմից 2021թ. դեկտեմբերի 8-ին գրանցված IceCube-211208A նեյտրինոյի դիրքից 2.2° հեռավորության վրա: PKS 0735+17-ի դիտումները H.E.S.S.-ի կողմից սկսվել են 2021թ. դեկտեմբերի 8-ին՝ պայմանավորված IceCube-ի թիրախային դիտումների բազմալիքային «տազնապով» և շարունակվել են մինչև դեկտեմբերի 15-ը՝ ընդհանուր առմամբ 16ժ. տևողությամբ, որից հետագա վերլուծության համար ընտրվել են 3.8ժ. տվյալները: PKS0735+178-ի դիրքի շուրջ առանձնացվել է 0.1° շառավղով շրջան և համեմատվել է շրջապատող ֆոնի հետ: Արդյունքում PKS0735+178 ուղղությունից

ակնկալվող ֆոնից բարձր γ -ճառագայթների զգալի ավելցուկ չի հայտնաբերվել: Ինտեգրալ հոսքի վերին սահմանը 0.1-10 ՏէՎ էներգետիկ միջակայքում կազմում է $1.82 \times 10^{-12} \text{ սմ}^{-2} \text{ վրկ}^{-1}$: Նույն ժամանակահատվածում, այն է 2021թ. դեկտեմբերի 9-ից մինչև 2022թ. հունվարի 8-ը PKS0735+178-ը դիտվել է VERITAS ՊՄՉԴ-ների համակարգի կողմից: Դիտումների արդյունքում բարձր հուսալիությամբ γ -ճառագայթների հոսք չի հայտնաբերվել: Աղբյուրի դիրքի շուրջ առանձնացված 0.1° շառավղով շրջանի համար ազդանշանը գրանցվել է 3.4σ հուսալիությամբ: Գնահատվել է ինտեգրալ հոսքի վերին սահմանը 220 ԳէՎ-ից բարձր էներգիաների համար՝ $2.55 \times 10^{-12} \text{ սմ}^{-2} \text{ վրկ}^{-1}$: Նույն ժամանակահատվածում PKS0735+178-ն դիտվել է նաև Fermi-LAT (զգայուն է ~ 20 ՄէՎ-ից մինչև > 300 ԳէՎ γ -ճառագայթների տիրույթի նկատմամբ), NuSTAR (3-79 ԿէՎ), Swift-XRT (~ 0.2 -10 ԿէՎ) և ալիքային այլ տիրույթներում գործող դիտակների կողմից: PKS0735+178-ի լայնաշերտ տիրույթի էներգիայի սպեկտրային բաշխումը (էՄԲ) IceCube-211208A-ի գրանցման ժամանակի համար բերված է Նկար 2-ում: Swift-XRT-ի և NuSTAR-ի ռենտգենյան տվյալները բնութագրում են լայնաշերտ տիրույթի էՄԲ անցումը ցածր և բարձր էներգիաների բաղադրիչների միջև, իսկ Fermi-LAT-ի, VERITAS-ի և H.E.S.S.-ի կողմից գրանցված γ -ճառագայթների տվյալներն ունեն սպեկտրային կտրվածք (cutoff) 100 ԳէՎ-ի մոտ: Ցույց է տրվել, որ թվային լեպտո-հադրոնային մոդելը արտաքին թիրախային ֆոտոններով վերարտադրում է դիտված էՄԲ-ն ու ողջամտորեն համահունչ է նեյտրինոյի դեպքին:



Նկ. 2. PKS0735+178-ի լայնաշերտ տիրույթի էներգիայի սպեկտրային բաշխումը 2021թ. դեկտեմբերին:

2023թ. իրականացվել են նաև աշխատանքներ ցածր էներգիաների (մինչև 100 ԳէՎ) գամմա հեղեղների առանձնացման արդյունավետ եղանակ մշակելու ուղղությամբ: Այդ նպատակով օգտագործվել է CTA հյուսիսային դիտակայանի 23 մ տրամագծով LST1 դիտակի համար ստեղծված Մոնտե-Կարլո բանկը: Բանկը բաղկացած է սկզբնական գամմա-քվանտներից և տիեզերական ճառագայթների մաս կազմող պրոտոններից ու էլեկտրոններից առաջացած մթնոլորտային հեղեղների չեներկովյան պատկերներից և դրանց նախնական «մաքրման» ու մաթեմատիկական վերլուծության արդյունքներից: Գամմա-քվանտներն ու էլեկտրոնները գեներացվել են սկսած 2 ԳէՎ-ից՝ դիտակի շուրջ 750 մ շառավիղ ունեցող շրջանում, իսկ պրոտոնները՝ սկսած 10 ԳէՎ-ից և գեներացման շառավիղը կազմել է 1000 մ: Չերենկովյան պատկերների գրանցումը մոդելավորվել է ինչպես առանց գիշերային երկնքի ֆոնի, այնպես էլ դրա առկայության պայմաններում: Գամմա- և պրոտոն-պատկերների համար ցույց է տրվել, որ «մաքուր» պատկերների դեպքում Alpha պարամետրով կարելի է հասնել ազդանշանի առանձնացման արդյունավետության բարելավման 1.19-ից մինչև 1.45, իսկ երեք պարամետրի դեպքում՝ 1.63-ից մինչև 1.79 գործակիցների, երբ Size պարամետրը փոխվում է 40-ից մինչև 100pe և բացակայում է որևէ սահմանափակում Dist-ի վրա: Գիշերային երկնքի ֆոնի առկայության պայմաններում և չերենկովյան պատկերներ «մաքրման» որոշակի մեթոդ կիրառելու դեպքում այդ գնահատականները դառնում են համապատասխանաբար 1.21-ից մինչև 1.60 և 1.71-ից մինչև 2.05 (Dist-ի որոշակի արժեքների դեպքում այն դառնում է 1.81-ից 2.41): Ներկայումս ուսումնասիրվում են գիշերային երկնքի ֆոնի պայմաններում չերենկովյան պատկերների «մաքրման» նոր եղանակ մշակելու հնարավորությունները:

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՝ բաժանմունքի և ԱԱԳԼ-ի աշխատակիցների մասնակցությամբ:

Հրապարակված աշխատանքների ցանկ

- Բազային ֆինանսավորման շրջանակներում՝

1. F. Aharonian, F. Ait Benkhali, J. Aschersleben, ..., V.Sahakian et al. (The H.E.S.S. Collaboration), “The Vanishing of the Primary Emission Region in PKS 1510–089.” *The Astrophysical Journal Letters*, 952 L38 (2023).

2. A. Acharyya, C. B. Adams, A. Archer, P. Bangale et al (The VERITAS collaboration), F. Aharonian, J. Aschersleben, M. Backes,..., V.Sahakian et al. (The H.E.S.S. Collaboration), “Multiwavelength Observations of the Blazar PKS 0735+178 in Spatial and Temporal Coincidence with an Astrophysical Neutrino Candidate IceCube-211208A.” *The Astrophysical Journal*, 954 70 (2023).

3. F. Aharonian, F. Ait Benkhali, C. Arcaro,..., V.Sahakian et al. (The H.E.S.S. Collaboration), “Constraining the cosmic-ray pressure in the inner Virgo Cluster using H.E.S.S. observations of M 87. ”*Astronomy and Astrophysics*, 675, A138 (2023).

• Թեմատիկ ֆինանսավորման շրջանակներում՝

4. F. Aharonian, F. Ait Benkhali, J. Aschersleben... V. Sahakian et al (The H.E.S.S. Collaboration), “H.E.S.S. follow-up observations of GRB221009A.” *The Astrophysical Journal Letters*, 946, L27 (2023).

5. F. Aharonian, F. Ait Benkhali, J. Aschersleben... V. Sahakian et al (The H.E.S.S. Collaboration), “HESS J1809–193: a halo of escaped electrons around a pulsar wind nebula?” *Astronomy and Astrophysics*, 672, A103 (2023).

6. F. Aharonian, F. Ait Benkhali, J. Aschersleben... V. Sahakian et al (The H.E.S.S. Collaboration), “Detection of extended gamma-ray emission around the Geminga pulsar with H.E.S.S.” *Astronomy and Astrophysics*, 673, A148 (2023).

7. S. N. Santiesteban, S. Li, D. Abrams,...A. Shahinyan (The JLab Hall A SBS collaboration), “A novel measurement of the neutron magnetic form factor from $A = 3$ mirror nuclei.” arXiv:2304.13770v1 [nucl-ex] (2023).