Տարեկան հաշվետվություն 2022 թ.

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

Հ. Վարդապետյանի անվան
Փորձարարական Ֆիզիկայի Բաժանմունք

ՓՖԲ-ի ղեկավար՝ Ֆիզմաթ գիտությունների դոկտոր Հ.Մարուքյան

ԵՐԵՎԱՆ – 2022

Փորձարարական Ֆիզիկայի Բաժանմունքի 2022 թ. ընթացիկ հաշվետվություն

Հաշվետվություն 2022 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

2022 թ. LINAC-75 էլեկտրոնային գծային արագացուցիչում կատարվել են տեխնիկական ռեգլամենտային պրոֆիլակտիկ աշխատանքներ և էլեկտրոնային փնջով գիտափորձեր:

Հաշվետու ժամանակահատվածում, գծային արագացուցիչում իրականացվել են հետևյալ տեխնիկական աշխատանքները.

- ✓ Վակուումային համակարգի մասնակի պրոֆիլակտիկա՝ ֆորվակուումային (АВЗ-20Д) և տուրբոմոլեկուլյար (ТМН-200) պոմպերի վերանորոգում և կարգավորում,
- ✓ Յուրաքանչյուր սեանսից առաջ կատարվել է ռեգլամենտով պահանջվող պրոֆիլակտիկ աշխատանքներ,
- ✓ Ստեղծվել է սինքրոտրոնի սրահում գտնվող զուգահեռ տեղափոխման փնջատարի ֆորվակուումի չափման հնարավորություն: Այժմ ինժեկտորի վահանակից հնարավոր է հսկել ֆորվակուումը փնջատարի նաև այդ հատվածում:

Շնորհիվ կատարված աշխատանքների 2022 թ. 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՝

Ամիսներ	Սպառող, փորձի պատասխանատուները
Ապրիլ	ՓՖԲ՝ Լ. Պողոսյան և Ի. Քերոբյան

Մայիս	ԵՊՀ՝ Ա. Բալաբեկյան, Գ. Հովհաննիսյան ՓՖԲ՝ Ի. Քերոբյան
Հունիս	ՓՖԲ՝ Լ.Պողոսյան
Հուլիս	ՓՖԲ՝ Ա. Մարգարյան ԵՊՀ՝ Ա. Բալաբեկյան, Գ. Հովհաննիսյան
Նոյեմբեր	ՄՀՄԻ (Դուբնա, Ռուսաստան), Նովի Սադ համալսարան (Սերբիա)
Դեկտեմբեր	ՓՖԲ՝ Լ.Պողոսյան

29. 10. – 05. 11. 2022 թ. կազմակերպվել է հանդիպում և համատեղ քննարկում ՄՀՄԻ–ի և Նովի Սադ քաղաքի Համալսարանի պատվիրակության հետ: Նպատակը՝ ԱԱԳԼ–ի սարքավորումների հետ ծանոթանալն էր և ուսումնասիրել համատեղ աշխատանքների հնարավորությունը:

Հանդիպման կազմակաերպիչներն էին՝ Հ. Թորոսյանը, Հ. Մարուքյանը, Ա. Հակոբյանը:

Ապագա ծրագրերի քննարկում տնօրինության մասնակցությամբ

Համատեղ լուսանկար ՄՀՄԻ և Սերբիայի գործնկերների հետ, նոյեմբեր 2022 թ.

Իրականացվել է LINAC-75–ի 40 ՄէՎ-ոց էլեկտրոնային փնջով համատեղ գիտափորձ: ՓՖԲ–ի և Իզոտոպների բաժնի HPGe–ի դետեկտորների միջոցով կատարվել է միջուկային թիրախների ֆոտոնային ճառագայթման սպեկտրամետրիկ անալիզ:

Մասնակիցների կողմից հանդիպումը և փորձի արդյունքները գնահատվել են դրական և խոստումնալից: Արդյունքում ստորագրվել է արձանագրություն: Նաև քննարկվել է ապագա համատեղ աշխատանքների ծրագիր–գրաֆիկը:

Աշխատանքները, ներառյալ գիտափորձերը, շարունակական են:

Այս տարի բազային ֆինանսավորմամբ ձեռք են բերվել 2 համակարգիչ և 2 մոնիտոր:

ՄՀՄԻ–ի և Նովի Սադ Համալսարանի հետ կատարված համատեղ գիտափորձի արդյունքները կարտացոլվեն պատրաստվող հոդվածում, որը կտպագրվի Physics of Elementary Particles and Atomic Nuclei գիտական հանդեսում:

2022 թ. տպագրված հոդվածները.

1. A. S. Hakobyan, H. H. Marukyan, H. H. Hakobyan, A. Z. Babayan, L. R. Vahradyan, V. Baranov, Yu. I. Davydov, A. Krasnoperov, A. Simonenko, V. Tereshchenko, H. T. Torosyan, H. G. Zohrabyan, G. M. Ayvazyan, H. S. Vardanyan, A. K. Papyan, "Test Electron Beams Based on the Linear Accelerator Complex LUE-75 of A.I. Alikhanyan National Scientific Laboratory", J. Contemp. Phys. (Armenian Academy of Sciences) 2022, Vol. 57, pp. 12–19.
2. A. S. Hakobyan, H. H. Marukyan, I. A. Kerobyan, H. R. Gulkanyan, L. A. Poghosyan, V. S. Pogosov, H. T. Torosyan, A. Z. Babayan, L. R. Vahradyan, A. R. Balabekyan, G. H. Hovhannisyan, R. K. Dallakyan, and K. Katovsky, "Investigations at the LUE-75 Linear Accelerator Facility of A. I. Alikhanyan National Science Laboratory", J. Contemp. Phys. (Armenian Academy of Sciences) 2022, Vol. 57, No. 3, pp. 209–217.
3. A. S. Hakobyan, H. H. Marukyan, G. G. Gulbekyan, H. T. Torosyan, A. Z. Babayan, and L. R. Vahradyan, "On Some Projects of Modernization of the Yerevan Synchrotron ARUS", J. Contemp. Phys. (Armenian Academy of Sciences) 2022, Vol. 57, No. 4, pp. 317–324.

Հետազոտություններ CERN միջազգային կենտրոնում (LHC)

CMS-գիտափորձ

ԱԱԳԼ-«CMS» խումբ
Ղեկավար՝ Ա. Թումասյան
Կարարողներ Ա. Պետրոսյան, Ա. Գևորգյան և Ա. Հայրապետյան

1. Ավարտվել է վեկտոր-բոզոնային միաձուլման մեխանիզմով H-բոզոնի ծնման և b-քվարկային զույգի տրոհման պրոցեսի ուսումնասիրությունը (VBF H→bb)՝ օգտագործելով 13 ՏԷՎ էներգիայով pp-բախումների 2016-18 թթ. CMS (LHC) փորձարարական տվյալները:

Պատրաստվել են CMS ներքին հրապարակումը՝ CMS PAPER HIG-22-009, CMS AN 2021/45: 2016-18թթ միասնական տվյալների համար VBF H→bb ազդանշանի ինտենսիվությունը հաշվարկվել է $\mu = 0.97^{+0.53}_{-0.45}$ 68% վստահելիության աստիճանով: Ազդանշանի չափված/սպասվող արտահայտվածչությունը կազմում է 2.4/2.7 ստանդարտ շեղում՝ σ_{obs} (σ_{exp}) = 2.4σ (2.7 σ):

Մանրամասն՝

https://cms.cern.ch/iCMS/analysisadmin/cadilines?line=HIG-22-009

Պատրաստվում է վերջնական հոդվածը ամսագիր (JHEP) ուղարկելու համար:

Կատարողներ՝ Արմեն Թումասյան

2. Կատարվել են CMS հադրոնային կալորիմետրի տվյալների որակավորման համակարգի արդիականացման աշխատանքները: Ինչպես նաև հադրոնային կալորիմետրի պայմանների (էներգետիկ տրամաչափություն, էֆեկտիվություններ, և այլն) թարմացման և ներմուծման աշխատանքները: Սրանցով փակվել են ԱԱԳԼ CMS խմբի պարտավորությունները (150 % - ով):

   Կատարողներ՝ Արամայիս Պետրոսյան և Արզունիկ Գևորգյան

3. DESY (Համբուրգ, Գերմանիա) CMS խմբի հետ համատեղ իրականացվել է CMS գիտափորձի տվյալների բազայի արդիականացման աշխատանքները, որը ևս գրանցվել է որպես ԱԱԳԼ CMS խմբի պարտավորությունների կատարում (ևս 75%). 2021թ. ունեցած նույնատիպ ակտիվության հետ միասին սա հանդիսանում է նաև ասպիրանտ Արամ Հայրապետյանի որակավորման աշխատանքը, որով նա 2023թ. կմտնի CMS համահեղինակների ցուցակ:

   Կատարողներ՝ Արամ Հայրապետյան

4. FermiLab (ԱՄՆ) CMS խմբի հետ համատեղ սկսվել է Սուպերսիմետրիկ մոդելներով կանխատեսվող «Երկարակյաց մասնիկների» որոնման աշխատանքը CMS փորձարարական տվյալներում: Աշխատանքներին մասնակցում է 2022թ. Օգոստոս ամսից FermiLab գործուղված Արամ Հայրապետյանը:

   Կատարողներ՝ Արամ Հայրապետյան

   Մանրամասն՝

   https://indico.cern.ch/event/1208621/
   https://indico.cern.ch/event/1208620/
   https://indico.cern.ch/event/1208625/
   https://indico.cern.ch/event/1174336
   https://indico.cern.ch/event/1174335/
   https://indico.cern.ch/event/1174334/
   https://indico.cern.ch/event/1208630/

https://indico.cern.ch/event/1208628/
https://indico.cern.ch/event/1208626/

5. CMS գիտափորձի «Phase2-Upgrade» արդիականացման նախագծի շրջանակներում շարունակվել է CMS նոր կալորիմետրական համակարգի (High granularity calorimeter) կոսմիկական մյուոններով թեստավորման համար կառուցվող (ՄՀՄԻ, Դուբնա, ՌԴ) փորձարարական սարքավորման մոդելավորման աշխատանքները: Կատարվել է այս սարքավորման տրիգգերային համակարգի օպտիմալացումը:
   Կատարողներ՝ Արզունիկ Գևորգյան
   Մանրամասն՝
   https://indico.cern.ch/event/1130469/ (Cassettes Working Meeting)
   https://indico.cern.ch/event/1233033/ (RDMS CMS Physics Meeting)
6. Իրականացվել են CMS գիտափորձի «Run3» (2022-24 թթ.) տվյալներում VBF Hbb պրոցեսի ուսումնասիրության համար «online»-տրիգգերներ մշակման և թեստավորման աշխատանքները:
   Կատարողներ՝ Արմեն Թումասյան
7. Իրականացվել են CMS գիտափորձի «Run3» (2022-24 թթ.) տվյալներում Հիգգս բոզոնային զույգի ծնման և b-քվարկային զույգերի տրոհման (HH→4b) պրոցեսի համար «online»-տրիգգերներ էֆֆեկտիվությունների հաշվարկը՝ օգտագործելով 13.6 ՏԷՎ էներգիայով pp-բախումների 2022թ. տվյալները: Այս պրոցեսի ուսումնսիրությունը ԱԱԳԼ CMS խմբի հետաքրքրության հիմնական առարկաներից է Run3 և HL-LHC ժամանակաատվածի համար:
   Կատարողներ՝ Արմեն Թումասյան
   Մանրամասն՝ https://indico.cern.ch/event/1229767/

Հրապարակումներ գիտական ամսագրերում՝ 60

Մասնակցություն գիտաժողովներում՝ 2

A. Tumasyan, “Studies of the Standard Model Higgs Boson produced through vector boson fusion and decaying to bbar”, The Physics of Dimuons at the LHC, Dubna, 23-24 Jun, 2022, Proceeding in Physics of Elementary Particles and Atomic Nuclei
https://indico.cern.ch/event/1156075/

A. Hayrapetyan, M. Savina, S. Shmatov, A. Tumasyan, “Search for Dark Matter with the CMS Detector in bb/Z + MET channel”, The Physics of Dimuons at the LHC, Dubna, 23-24 Jun, 2022, Proceeding in Physics of Elementary Particles and Atomic Nuclei
https://indico.cern.ch/event/1156075/

ATLAS-գիտափորձ

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

Կատարված աշխատանքները՝

ATLAS (CERN) TileCal-ի տվյալների որակի ապահովման (Data Quality Validation) օնլայն հերթափոխներ

Կատարվել են փորձնական փնջերից ստացված տվյալների ճշգրտության հաստատման աշխատանքներ:

Laser-in-gap տվյալների որակի վերլուծություն

TileCal-ի laser-in-gap վերլուծության ծածկագրի մշակում և պահպանում `որպես սալիկի PMT ելքի կախվածություն անոդային հոսանքից, օգտագործելով ATLAS-ում (LHC) 2017 և 2018 աշխատանքային միջանկյալ տիրույթի լազերային տվյալները: Այս աշխատանքը ATLAS որակավորման առաջադրանքի բաղկացուցիչ մասն էր:

Կատարված աշխատանքները՝

Մասնակցություն TileCal կալորիմետրի «Phase2-Upgrade»-ի հետ կապված նոյեմբերի 2 - 13 տևած beam tests փորձի հերթափոխներին

TileCal թեստային փունջ

Նպատակներ՝

- արդիականացման համար չափումներ,
- տվյալների գրանցման կայուն վերարտադրություն:

Պատասխանատվություններ՝

- Ցածր լարումների մատակարարման սարքերի հավաքում և տեղադրում,
- Հերթափոխներ,
- Ֆիզիկայի տվյալների վերլուծություն:

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

Ցածր լարման համակարգը բաղկացած է երեք գլխավոր մասից՝ 200 Վ հաստատուն հոսանքի էներգիայի աղբյուր, ցածր լարման էներգիայի աղբյուրներ և օժանդակ աղբյուր: Ցածր լարման էներգիայի աղբյուրները՝ (LVPS) հանդիսանում են համակարգի երկրորդ աստիճանը, բաղկացած են կառավարման համակարգից և ութ անհատական մասերից, որոնցից յուրաքանչյուրը փոփոխում է 200 Վ հաստատուն հոսանքը 10 Վ–ի: AuxBoard-ն ապահովում է Tri-State ազդանշաններ, DC/DC 200/10 Վ 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 10 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) թեստերի հարմարեցում նոր թողարկման համար,

- Հերթափոխներ:

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 սենյակ–ի (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:
- Նոր՝ ATLAS այցելուների կենտրոնի տեխնիկական ապահովագրում:
- Նոր՝ ATLAS վիրտուալ այցելուների կենտրոնի ապառատային սարքավորումների, ենթակառուցվածքների սպասարկում և անսարքությունների շտկում :
- ATLAS Slimos պահեստային վթարային կենտրոնի շարունակական և անխափան գործունեության համար ապառատային 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),
- Մյուոնային պատերի տեղադրման համար ղեկի փոփոխություն,

- ATLAS դետեկտորի A կողմում BIS մյուոնային խցիկների տեղադրման նախապատրաստական աշխատանքներ,
- Մյուոնային 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, մյուոնային 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՝ տորրոիդ 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 մյուոնային խցիկները նորերով, փոխարինելու համար կառույցների պատրաստում և հավաքում
- BIS խցիկների տեղադրման աշխատանքների օպտիմիզացում,
- Նախապատրաստում հետագա տեխնիկական սպասարկմանը։

Գիտաժողովներ

TileCal-ի Phase-II Upgrade Session:
Ներկայացնող - L. Sargsyan, “Low Voltage: Auxiliary board current status and readiness for FDR”.

2022 թ-ի հրատարակումների ցուցակ

1. DevOps and CI/CD for WinCC Open Architecture Applications and Frameworks / Silvola, Riku-Pekka (CERN), Sargsyan, Laura (Yerevan, Inst. Appl. Prob. Phys.) : © Feb 2022 by JACoW.
2. Two-particle Bose–Einstein correlations in pp collisions at s√=13 TeV measured with the ATLAS detector at the LHC; Aad, Georges (Marseille, CPPM) … Mkrtchyan, Tigran (Yerevan Phys. Inst.): Eur. Phys. J. C 82 (2022) 608.

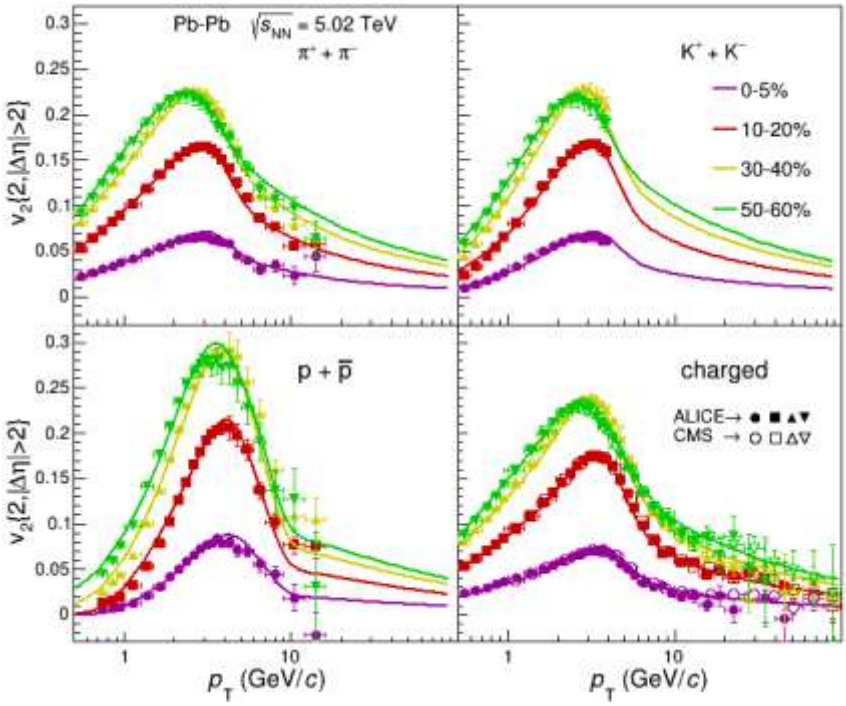
ALICE- գիտափորձ

Խումբը (Սմբատ Գրիգորյան (ղեկավար), Գալուստ Սարգսյան) 2022 թվականին մասնակցել է ALICE համագործակցության բոլոր համաժողովներին (առցանց ձևաչափով՝ «zoom»-ով), գիտական արդյունքների ու հոդվածների քննարկմանը: Կատարվել են հետևյալ աշխատանքները՝

1. **Սմբատ Գրիգորյանը** 2022 թվականին շարունակել է զարգացնել 2021 թվականին իր կողմից մշակած և հրատատարակած BWTP ֆենոմենոլոգիական մոդելը Eur.Phys.J.A57(2021), որը մեծ ճշգրտությամբ նկարագրում է LHC-ի pp և Pb-Pb բախումներում չափված զանազան հադրոնների (պիոնից մինչև չարմոնիում) լայնակի իմպուլսի (p_T) սպեկտրները և դրանց կախվածությունը բախումների կենտրոնականությունից կամ ծնված լիցքավորված մասնիկների բազմակիությունից: Մոդելը զարգացվել է երկու նպատակով: Առաջին նպատակն է՝ նկարագրել LHC-ի Xe-Xe բախումներում ծնված տարբեր հադրոնների 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 հադրոնների ելքերի 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: Արդյունքում BWTP մոդելի նոր տարբերակը բարեհաջող նկարագրում է վերոնշյալ բոլոր փորձարական տվյալները, որ ստացվել են մեծամասամբ ALICE, ինչպես նաև CMS և ATLAS գիտափորձերում: Որպես այդպիսի նկարագրության օրինակ, ներքևում բերված նկարը ցույց է տալիս սույն մոդելի համեմատությունը պիոնների, կաոնների, պրոտոնների և բոլոր լիցքավորված հադրոնների v_2 մեծությունների փորձարական տվյալների հետ

կախված p_T-ից և Pb-Pb բախումների 0-5%, 10-20%, 30-40% և 50-60% կենտրոնականությունների համար: Մոդելը լավ է նկարագրում տվյալները p_T-ի չափված ամբողջ տիրույթում: Աշխատանքի ամբողջական արդյունքները կհրատարակվեն 2023 թվականին:

2. Հաշվետու տարում գիտական ամսագրերում հրատարակվել են 29 հոդվածներ:



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 կամ հրատարակության ուղարկված հոդվածների ցանկը

1. Hrachya Marukyan (On behalf of the HERMES Collaboration), “ Overview of HERMES results on longitudinal spin asymmetries ”, JPS Conf. Proc. 37 (2022) 020106.

2. I. Abt, R. Aggarwal, ..., H. Zohrabyan et al. (H1 and ZEUS collaborations), “ Impact of jet-production data on the next-to-next-to-leading-order determination of HERAPDF2.0 parton distributions”, Eur. Phys. J. C 82 (2022) 3, 243.
3. V. Andreev, M. Aratia, ..., H. Zohrabyan et al. (H1 collaboration), “ Measurement of lepton-jet correlation in deep-inelastic scattering with the H1 detector using machine learning for unfolding”, Phys. Rev. Lett. 128 (2022) 13, 132002.

Խիտոզանի նոր ածանցյալների սինթեզ և ուսումնասիրություն

Քիմական գիտությունների թեկնածու Վասակ Ղավալյան

Հաշվետու ժամանակահատվածում՝ 2022 թվականին, շարունակել ենք խիտոզանի **ԽՋ-(ԽՋ-CS)** հիման վրա նոր Շիֆֆի հիմքերի (**ԽՇՀ-CSSB)** սինթեզ և սինթեզված համակարգերի ուսումնասիրությունները: Սինթեզված արգասիքները բնութագրվել են - մոլեկուլյար սպեկտրոսկոպիայի՝ տեսանելի լույսի ինֆրակարմիր տիրույթում (FTIR-ATR), հետևյալ մեթոդներով.

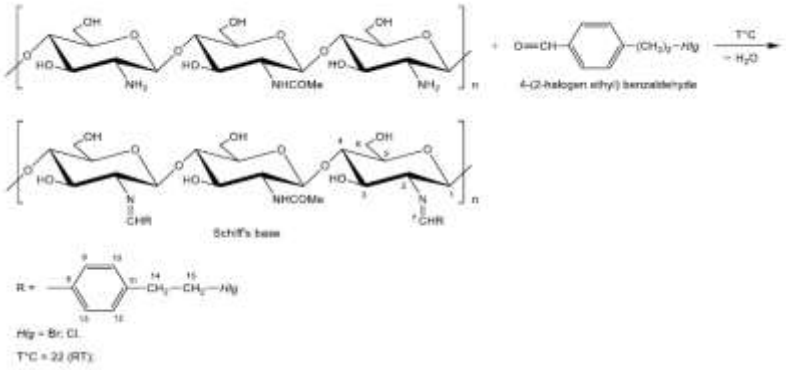
- էլեմենտար (C, N, H) անալիզի մեթոդ,
- գել/թափանցող քրոմատոգրաֆիայի (Gel penetration Chromatograph - GPC) մեթոդ,
- թերմոգրավիմետրիկ անալիզի (TG-DSC) մեթոդ:

Ուսումնասիրվել են **ԽՇՀ-CSSB**-երի հակամիկրոբային՝ “P. Aeruginosa” և “S. Aureus” հատկությունները:

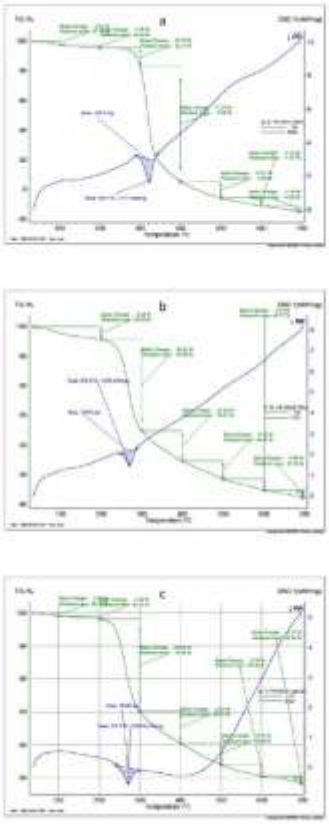
Գիտահետազոտական աշխատանքներն իրականացվել են համագործակցելով Իտալիայի Ֆերրարայի համալսարանի աշխատակիցների հետ, որն ամրագրված է հետևյալ ”Պայմանագրով”՝ RESEARCH COLLABORATION AGREEMENT “PROJECT TITLE- Synthesis of new chitosan and chitosan-based Schiff base compounds and definition of their anti-microbial activity”: Պայմանագիրն ավարտվում է 2022 թվականի դեկտեմբերի 31-ին:

Սևանա լճի խեցգետնի խեցիից անջատված խիտինի դեացետիլացմամբ ստացված **ԽՋ-CS** հիման վրա, համաձայն բերված ուրվագծի, սինթեզել և ուսումնասիրել ենք **ԽՇՀ-CSSB:**

ԽՇՀ-CSSB-երը բնութագրվել են TG-DSC (Նկար 1), FTIR-ATR (Նկար 2), իսկ **ԽՋ-CS-ը** նաև GPC մեթոդներով: GPC չափումների համաձայն **ԽՋ-CS-**ի նմուշի միջին թվային մոլեկուլյար կշիռը Mn-48.8 kDa (կիլոԴալտոն) է, միջին կշռայինը՝ Mw-84.5 kDa, իսկ ՛՛պոլիդիսպերսության՛՛ գործակիցը՝ Mw/Mn 1.73:

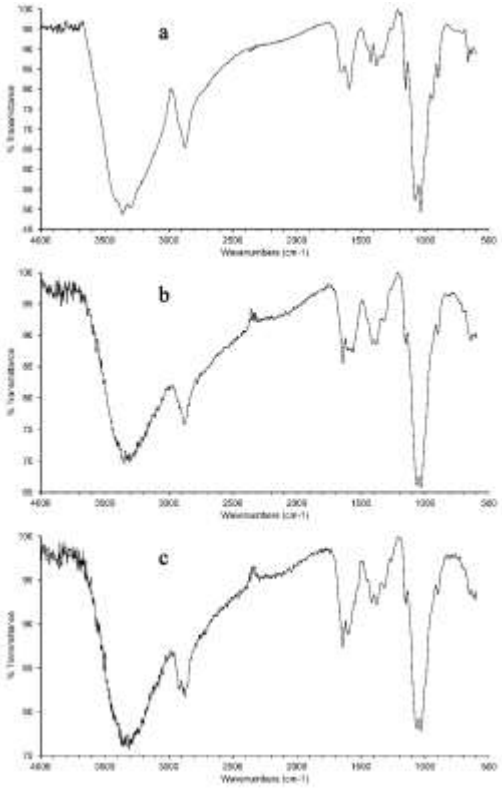


Նկար 1-ում բերված տվյալների համաձայն՝ **ԽՁ-CS**-ի նմուշի կշռի հիմնական կորուստն սկսվում է 240 C-ի, իսկ **ԽՇՀ-CSSB** նմուշներինը՝ 200 C-ի պայմաններում (տես համապատասխանաբար նկար 1a-ն և նկար 1 b և c-ն): **ԽՇՀ-CSSB**-երի նմուշների ավելի ցածր, քան **ԽՁ-CS**-ի նմուշի թերմիկ կայունությունը բացատրվում է առաջինների կառուցվածքում նոր տեղակալիչների առկայությամբ և դրանցով պայմանավորված մակրոմոլեկուլների շարժունակության ավելացմամբ:



Նկար 1. CS (a), CSSB-1 (b) և CSSB-2 (c) նմուշների տվյալների TG և DSC անալիզը:

FTIR-ATR (Նկար 2) տվյալները հաստատում են վերը բերված սինթեզի ուրվագծի հավաստիությունը: Մասնավորապես, **ԽՋ-CSSB**-ների նմուշների կլանման սպեկտրներում (նկար 2b և 2c) կլանման նոր տիրույթի՝ 1640 cm^{-1} արձանագրմամբ: Տվյալ կլանումը բնութագրական է իմինային C=N կապի վալենտական տատանումներին, որը բացակայում է **ԽՋ-CS**-ի նմուշի կլանման սպեկտրում (Նկար 2a):

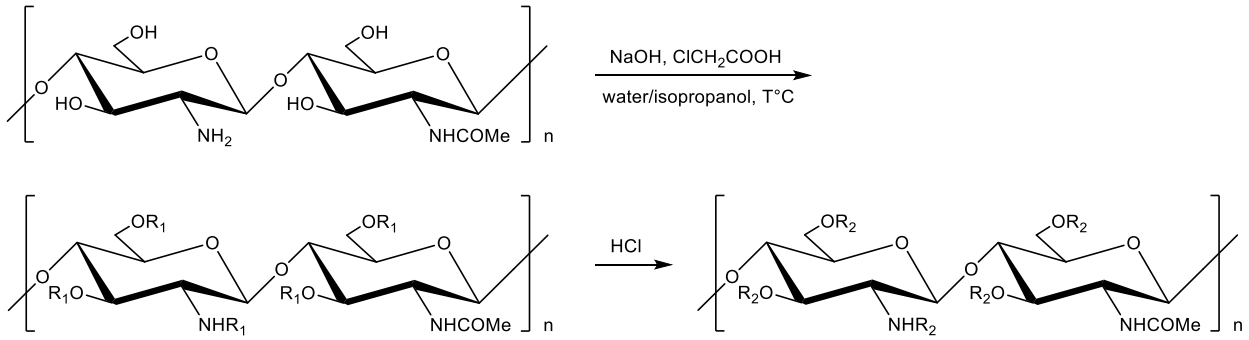


Նկար 2. CS (a), CSSB-1 (b) and CSSB-2 (c) նմուշների FTIR սպեկտրները:

Հակամիկրոբային հատկությունների ուսումնասիրությունը [(the Gram-negative P. Aeruginosa and the Gram-positive S. aureus) and one yeast strain (C. albicans)] վկայում է, որ **ԽՇՀ-CSSB** նմուշների հակա-միկրոբային հատկությունները գերազանցում են **ԽՋ-CS** նմուշի նույնատիպ հատկություններին որը, հավանաբար, հետևանք է վերջիններիս ավելի բարձր, քան **ԽՋ-CS** նմուշի, լուծելիության:

Նմուշների հակամիկրոբային հատկությունների ուսումնասիրություններն իրականացվել են բացառապես Իտալիայի Ֆերրարայի համալսարանում:

Աշխատանքները շարունակվում են՝ նպատակ ունենալով սինթեզել, բնութագրել և ուսումնասիրել բոլորովին նոր և ջրալույծ օքսիկարբոքսիմեթիլ խիտոզանային Շիֆֆի հիմքեր, համաձայն ստորև բերված ռեակցիայի ուրվագծի:



Տպագրված հոդված

1. R. Fontana, P. C. R. Marconi, A. Caputo and V. G. Gavalyan, “Novel Chitosan-Based Schiff Base Compound, Chemical Characterization and Antimicrobial Activity”, Molecules **2022**, 27, 2740. https://doi.org/10.3390.

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

Ղեկավար՝ ֆիզ. մաթ. գիտ. թեկնածու Նատալիա Դաշյան
Թեման կատարվում է Ջեֆերսոնի անվան լաբորատորիայի հետ ԱԱԳԼ-ի համագործակցության սահմաններում, Ջեֆերսոնի լաբորատորիայի չորս փորձարարական սրահներում (A, B, C, D):

Hall-A (փորձարարական սրահ)

2022 թ. A փորձարարական սրահում կատարվել են հետևյալ աշխատանքները.

- Մասնակցություն SBS-ի (Super BigBite-Spectrometer) առցանց նախագծմանը վերաբերվող քննարկումներին:
- Մասնակցություն SBS-ի կառուցման աշխատանքներին, և A սրահում հայկական խմբի հետագա գործունեության պլանավորում:
- A սրահում ԱԱԳԼ-ի ներկայացուցիչ Ա. Շահինյանի մասնակցությունը E12-09-019 GMn (Precision Measurement of the Neutron Magnetic Form Factor) գիտափորձին (2021թ. սեպտեմբեր – 2022 թ. փետրվար):

- E12-17-004 (GEn-Recoil) գիտափորձի համար նախատեսված սարքավորման պատրաստում: Սարաքավորումը (compass) նախատեսված է թիրախի բևեռացման ուղղության որոշման համար::
- Մասնակցություն կապարային ապակիների թափանցելիության վերականգնման եղանակի մշակմանը, և ընտրված մեթոդի կիրառմամբ վերականգնան աշխատանքներին.
    - Ապակիների մոդուլների կառուցման սկզբունքների մշակում:
    - Մոդուլներից հավաքված կալորիմետրի կառուցում:
    - Կալորիմետրի փորձարկում:

Այժմ ընթանում են SBS/GEp5 (Large Acceptance Proton Form Factor Ratio Measurements at 13 and 15 $(GeV/c)^2$ using Recoil Polarization Method) գիտափորձի համար նախատեսված Էլեկտրամագնիսական կալորիմետրի վերջնական նախագծման և կառուցման աշխատանքները: Այս կալորիմետրի կառուցման համար օգտագործվում են կապարային ապակիներ, որոնք ունեն հետևյալ չափսերը՝ 42x42x340 մմ^3: Կապարային ապակիները գիտափորձի ընթացքում ճառագայթման ազդեցությունից կորցնում են իրենց թափանցելիությունը, որի հետևանքով վատանում է կալորիմետրի լուծողունակությունը: Գոյություն ունի ապակիների թափանցելիության վերականգման մի քանի մեթոդ՝ ճառագայթել ապակիները ուլտրամանուշակագույն լույսով կամ դրանք տաքացնել վառարանում մինչև 220^{0}C: Այս երկու մեթոդներն էլ շատ ժամանակատար են: Հաշվի առնելով նշված մեթոդների ժամանակատարությունը, որոշվեց կառուցել կալորիմետր և կապարային ապակիները ամբողջ գիտափորձի ընթացքում պահել տաք վիճակում: Նախապես որոշ ապակիներ ճառագայթվեցին, և կատարվեցին փորձարկումներ, որպեսզի որոշվի վերականգման անհրաժեշտ ջերմաստիճանը՝տես նկար 1.1:

Որոշվեց կալորիմետրը կառուցել մոդուլային համակարգով:

Ամբողջ կալորիմետրը կառուցելու համար հավաքվեց 188 մոդուլ կամ 1692 կապարային ապակի: Կառուցվեց կալորիմետրի նախատիպ բաղկացած 6 մոդուլից, և փորձի միջոցով ընտրվեց մոդուլների տաքացման համար անհրաժեշտ տաքացուցիչը և այն հզորությունը, որը հնարավորություն կտա տաքացնել կապարային ապակիները՝ պահպանելով անհրաժեշտ ջերաստիճանը՝ 225^{0}C: Այս պայմաններում, ճառագայթումից վնասված ապակիները անմիջապես վերականգնում են թափանցիելությունը՝ հետևաբար կալորիմետրի էներգետիկ լուծողունակությունը մնում է նույնը: Նկար 1.2-ում ցուցադրված է կալորիմետրի նախատիպը ջերմային փորձարկման ժամանակ:

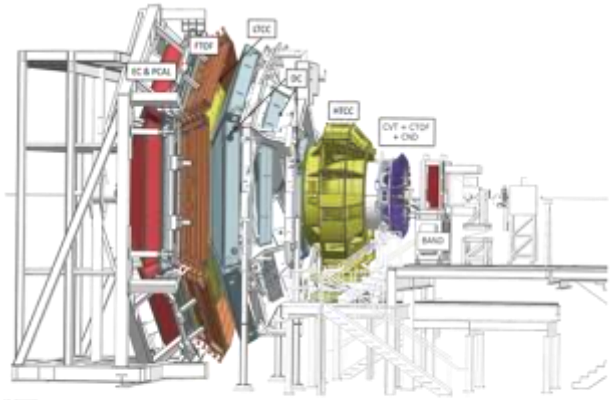
Նկար 1.1. Ապակիների թափանցելիության վերականգնման փորձարկումները:

Նկար 1.2. Կալորիմետրի նախատիպը:

Գործունեություն AANL-JLAB համագործակցությունից դուրս

Ընթացիկ տարում Ա. Շահինյանի կողմից առաջարկված 21APP-1E006 ծածկագրով կիրառական նշանակության թեմայի շրջանակներում կատարվել է տարբեր տեղերից վերցրած նմուշների ճառագայթում LINAC-75 էլեկտրոնային գծային արագացուցչի վրա: Ավանի աղի հանքի ցածր ֆոնային լաբորատորիայում կատարվել է Ճառագայթված նմուշների սպեկտրալ անալիզ՝ դրանցում ծանր մետաղների և վնասակար նյութերի պարունակության առկայությունը ստուգելու նպատակով: Կ. Օհանյանը մասնակցել է ԱԱԳԼ-ի 21DP-1C015 ծածկագրով երկակի նշանակության թեմայի կատարման աշխատանքներին:

Hall-B (փորձարարական սրահ)



CLAS12 սպեկտրոմետրի սխեման

Ֆիզիկական ծրագիր.

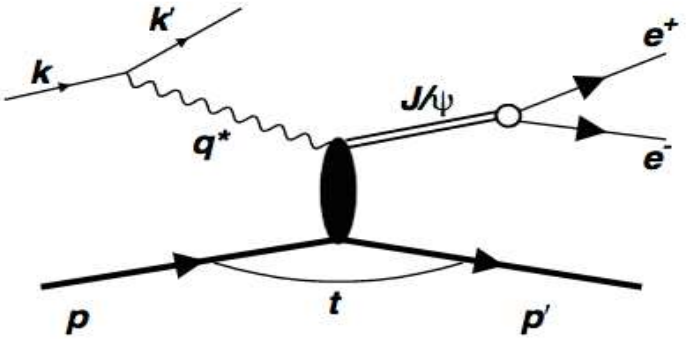
Շարունակվել է RGA և RGB փորձերի տվյալների վերլուծությունը E12-12-001, E12-12-001A, E12-11-103B, E12-07-104A նախագծերի շրջանակներում.

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

Շարունակվում են միջուկային թիրախներից J/ψ մեզոնի շեմին մոտ էքսկլյուզիվ ֆոտոծնման հետազոտական աշխատանքները: Նուկլոնների վրա J/ψ մեզոնի շեմին մոտ ծնման կինեմատիկ կախվածությունը իրենից ներկայացնում է մեծ հետաքրքրություն: Ֆոտոնային փնջի 8-20 ԳէՎ շեմային էներգիայով պայմանավորված $c\bar{c}$ ֆլուկտուացիայի

կոհերենտ երկարությունը փոքր է՝ $l_c \sim 2E_\gamma^{lab}/4mc^2 = 0.36$ ֆմ: Շեմային էներգիաների դեպքում c քվարկի մեծ զանգվածը և փոխանցված նվազագույն իմպուլսի մեծ արժեքը՝ $|-t_{min}| = 2.2$ (ԳէՎ/c)^2, նշանակում են, որ ռեակցիան գնում է փոքր լայնական չափերով և հարվածի փոքր պարամետրերով: Այնպես որ, ակնկալվում է, որ շեմին մոտ դեպքում ծնման կտրվածքը զգայուն է թիրախի ալիքային ֆունկցիայի և բազմագլյուոնային փոխանակման մեխանիզմի կարճ հեռահարության հարաբերակցության նկատմամբ: J/ψ մեզոնի շեմին մոտ ծնման փոքր կտրվածքի պատճառով այն երբեք ճշգրտությամբ չի չափվել, ինչը անհրաժեշտ է առաջարկվող դինամիկ սխեմաները տարանջատելու համար: CEBAF արագացուցչի 12 ԳէՎ էներգիայով վերազինումը և Ջեֆերսոնի լաբորատորիայի փորձարարական սրահներում անհրաժեշտ սարքավորումները էներգիայի 8.5-11 ԳէՎ տիրույթում, հմայիչ քվարկների ($c\bar{c}$) ֆոտո- և էլեկտրածնման ուսումնասիրման համար հրաշալի հնարավորություն տվեցին:

Վերլուծվում են կրիոգեն ջրածնային թիրախի կիրառմամբ CLAS12 սարքավորմամբ ստացված փորձարարական տվյալները: Ուսումնասիրության առարկան քվազիիրական ֆոտոծնման ռեակցիան է՝ $\gamma p \to p\, J/\psi\, (l+ l-)$, որտեղ $(l+ l-)$-ը J/ψ մեզոնի տրոհումից առաջացած լեպտոնային զույգն է:



Նկար 2.1 Պրոտոնի վրա վեկտոր մեզոնի քվազիիրական ֆոտոծնման դիագրամը:

Այստեղ k, k′ -ը, համապատասխանաբար, էլեկտրոնի իմպուլսն է մինչ ցրումը և ցրումից հետո, q*-ն վիրտուալ ֆոտոնի իմպուլսն է, p,p′-ը, համապատասխանաբար, պրոտոնի իմպուլսն է մինչ ցրումը և ցրումից հետո:

Հաշվետու ժամանակահատվածում այս թեմայով արվել են հետևյալ քայլերը՝

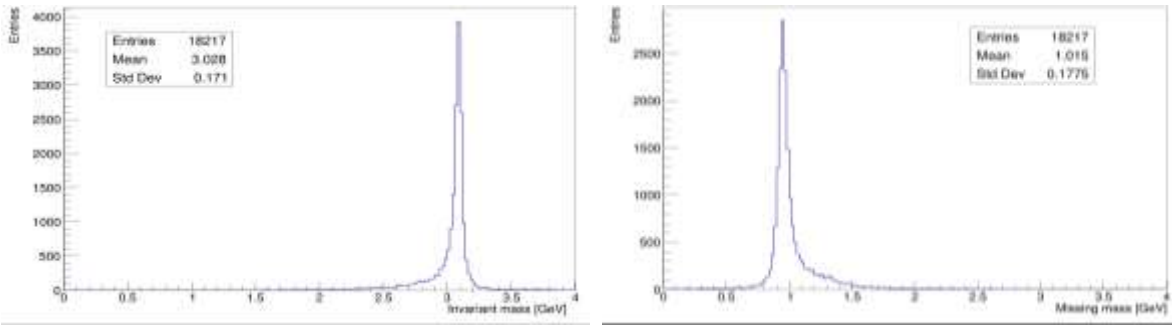
- Թեկնածուական ատենախոսության պաշտպանություն հետևյալ թեմայով՝ «J/Ψ – ՖՈՏՈԾՆՄԱՆ ՈՒՍՈՒՄՆԱՍԻՐՈՒՄԸ CLAS12 ՍԱՐՔԱՎՈՐՄԱՆ ՎՐԱ»

Պաշտպանությանը ներկայացվել են հետազոտությունների առաջին փուլի արդյունքները, որոնք ունեին մեթոդաբանական ուղղվածություն: Խնդիրների ցանկում

մտնում էին՝ էլեկտրածնման փորձարարական տվյալներից շեմին մոտ քվազիիրական J/ψ ֆոտոծնման ազդանշանի առանձնացման հնարավորությունների ուսումնասիրումը, մեթոդական հետազոտություն՝ վիճակագրությունը մեծացնելու համար, թիրախային դեպքերի ընտրությունը վերահսկող կինեմատիկ պարամետրների օպտիմալ հավաքածուի որոնում, այդ պարամետրերի արժեքների գնահատում: Դիտարկվել է ֆոտոծնման երկու մեխանիզմ՝ պիտակավորված և չպիտակավորված:

- Սկսվել են վերլուծությունների երկրորդ փուլի աշխատանքները, իրականացվել է ուսումնասիրվող երևույթների մոդելավորում Մոնտե-Կարլո մեթոդով, որտեղ կիրառվել են CLAS12-ում ընդունված ծրագրային փաթեթները՝ JpsiGen դեպքերի գեներատորը (գեներացնում է J/ψ-ի էքսկլյուզիվ ֆոտոծնում, e-e+ տրոհման կանալով) և GEMC-ն (GEant4 Monte-Carlo), որը GEANT4 փաթեթի հարմարեցված տարբերակն է, համապատասխանեցված CLAS12 սարքավորման կառուցվածքին RGA փորձի համար:

  Նկար 2.2-ում պատկերված են նախնական բաշխումները՝ ինվարիանտ (ձախ կողմ) և պակասող (աջ կողմ) զանգվածները գեներացված դեպքերի համար, երբ դիտարկվում է պիտակավորված ֆոտոծնումը:



Նկար 2.2. Ինվարիանտ զանգվածի (ձախ) և պակասող զանգվածի (աջ) բաշխումները:

E12-07-104A, Դեյտրոն թիրախից վեկտոր մեզոնների կոհերենտ ծնում

Շարունակվում է փորձի տվյալների վերլուծությունը՝ դեյտրոն թիրախից վեկտոր մեզոնների կոհերենտ ծնման կոշտ էքսկլյուզիվ ռեակցիաների ուսումնասիրությունը: Նպատակը գունային թափանցիկության (Color Transparency, CT) ուսումնասիրությունն է: Այս երևույթի ուսումնասիրությունը կարևոր է կոշտ ռեակցիաների դինամիկան հասկանալու համար:

Դետեկտորի աշխատանքային օպտիմալ պարամետրներն ընտրելու համար պարբերաբար տարվում են աշխատանքներ՝ ինչպես ամբողջ CLAS դետեկտորի, այնպես էլ նրա առանձին մասերի վրա, էֆեկտիվությունը կարգավորելու և հաշվարկելու համար: Հաշվետու ժամանակահատվածում ԱԱԳԼ խմբի ներկայացուցիչները մասնակցել են SVT և BMT դետեկտորների հետ տարվող աշխատանքներին: RGA և RGB փորձերի տվյալներով գնահատվել է գրանցման էֆեկտիվությունը՝ հոսանքի հզորության տարբեր արժեքների և աշխատանքային պարամետրների տարբեր սահմանափակումների համար:

Աշխատանքի նպատակն է պարզաբանել և արդյունավետ օգտագործել ստացված փորձարարական տվյալները, համակարգման և էֆեկտիվության հաշվարկման մշակված մեթոդների օգնությամբ: Մեթոդի հիմքում ընկած է լիցքավորված մասնիկների և էլեկտրոնների թվի քանակական հարաբերակցությունը: Հարաբերակցության գործակցից հետևում է էֆեկտիվության բաշխումը տարբեր հոսանքի հզորությունների համար: Դրանով իսկ գնահատվում է դետեկտորի գրանցման և հավասարեցման արդյունավետությունը: Հաջորդ քայլը եղել է SVT դետեկտորի էֆեկտիվության որոշումը յուրաքանչյուր սեկտորի համար:

Էլեկտրաածնման դեպքում գունային կոհերենտությունն ավելի վաղ է ի հայտ գալիս, քան նուկլոնների դուրսմղման դեպքում: Հիմնական պատճառն այն է, որ մեզոնի $q\bar{q}$ քվարկներն իրար մոտեցնելը և կետանման դասավորություն ստանալը (PLC) ավելի հեշտ է, քան բարիոնի qqq քվարկները:

Էլեկտրոնային փնջերի բարձր էներգիաների և մեծ ինտենսիվությունների շնորհիվ, ստեղծվել է գունային թափանցիկության փորձարարական ուսումնասիրության նոր հնարավորություն՝ էքսկլյուզիվ ռեակցիաները: Այդպիսի ռեակցիաներից մեկը դեյտրոնից վեկտոր մեզոնների էլեկտրաածնման լրիվ էքսկլյուզիվ ռեակցիան է՝

$$e + d \rightarrow e' + V + d', \qquad (2.1)$$

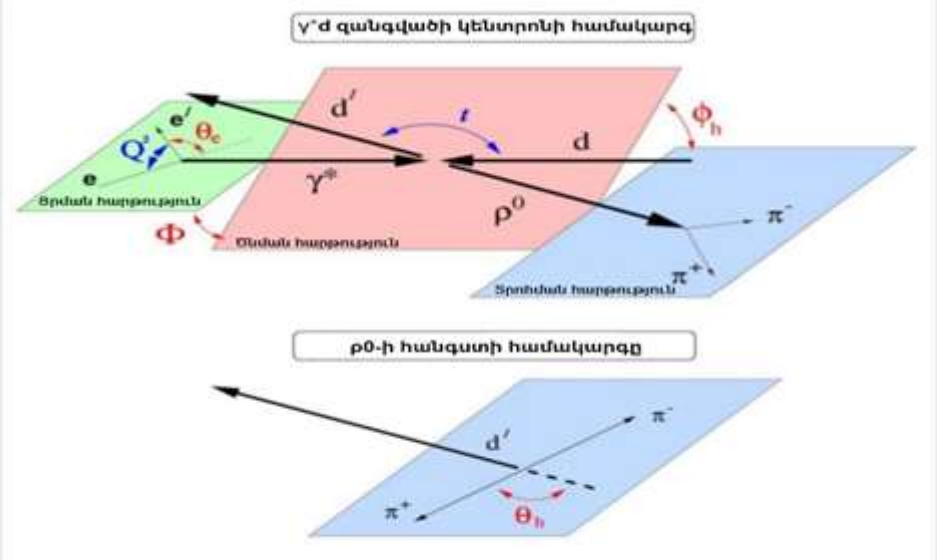
որտեղ, V-ն ρ-ն, ω-ն կամ φ-ն վեկտոր մեզոններն են:

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 ռեակցիան.

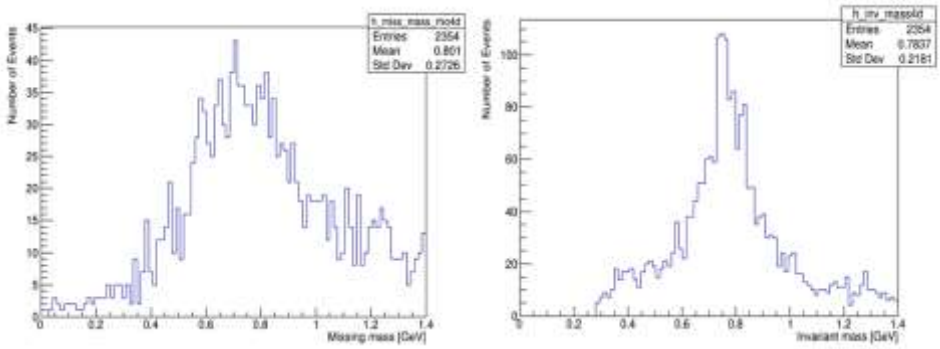
$$e\, d \rightarrow e'\, d'\, \pi^+ \pi^- \qquad (2.2)$$

Այստեղ e-ն և d-ն համապատասխանաբար ընկնող էլեկտրոնն է և թիրախի դեյտրոնը, e′-ն և d′-ը ցրված էլեկտրոնը և հետվարվածի դեյտրոնը, իսկ π+π--ը հանդիսանում են ρ^0-մեզոնի տրոհման արգասիքներն են:

Անհրաժեշտ դեպքերի ընտրության համար կիրառվել է պակասող զանգվածի (նկար 2.4ա) և ինվարիանտ զանգվածի (Նկար 2.4բ) տեխնիկան:



Նկ. 2.3 դիտարկվող ռեակցիայի սխեմատիկ պատկերը



ա) պակասող զանգվածը բ) π+π-ի ինվարիանտ զանգվածը

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

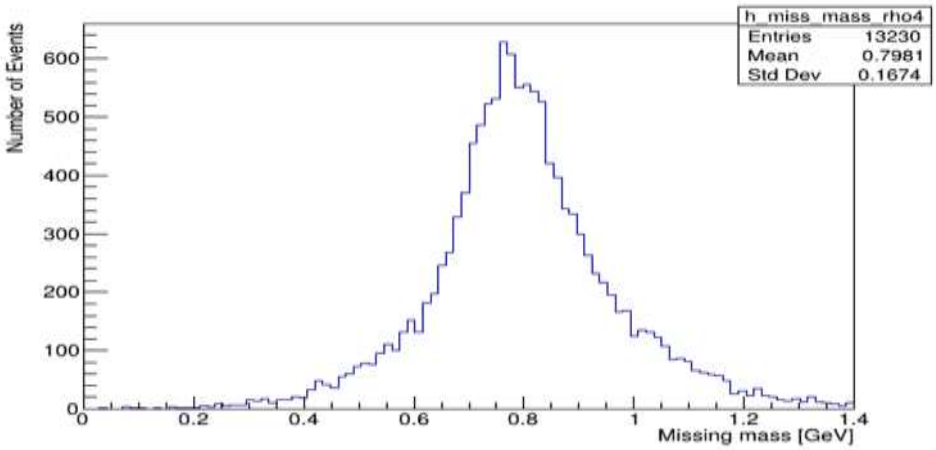
Հաշվետու ժամանակահատվածում այս թեմայով արվել են հետևյալ քայլերը՝

- Կատարվել է համակարգչային մոդելավորման վերլուծություն, քայլեր մասնիկների նույնականացման և կատարված հաշվարկների բարելավման ուղղությամբ (Նկար 2.5):

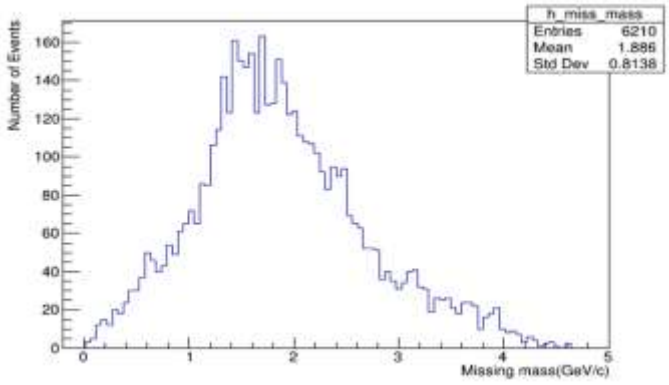
Դեյտրոնի գրանցումն ավելի հստակեցնելու համար ստացված տվյալները համեմատվել են դեյտրոնի իբրև պրոտոն գրանցվելու դեպքերի հետ: Նաև դիտարկվել է ոչ առաձգական ռեակցիան (Նկար 2.6)՝

$$e + d \rightarrow e' + p + \pi^{+} + \pi^{-} + X,$$

որտեղ ընկնող էլեկտրոնը փոխազդում է դեյտրոնում առկա պրոտոնի հետ և արդյունքում պրոտոնը լքում է դեյտրոնի միջուկը, գրանցվելով որպես ելքային մասնիկ:



Նկ. 2.5 ed բացակայող զանգվածը



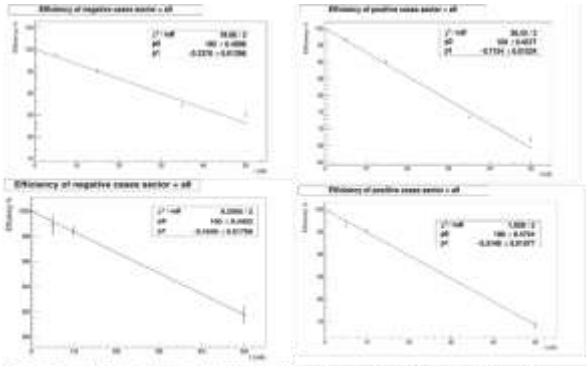
Նկար 2.6. $e + d \rightarrow e' + p + \pi^{+} + \pi^{-} + X$ ռեակցիայի բացակայող զանգվածը, որը համընկնում է նեյտրոնի զանգվածի հետ, որպես չգրանցված մասնիկ:

- Ստացված բոլոր տվյալները համեմատվել են փորձարարական տվյալների հետ: Աշխատանքը շարունակական բնույթի է:

Սերվիսային աշխատանքներ

- Դետեկտորի աշխատանքի օպտիմալ պարամետրերն ընտրելու համար պարբերաբար տարվում են աշխատանքներ, ինչպես CLAS դետեկտորի հետ ամբողջությամբ, այնպես էլ նրա առանձին մասերի հետ, էֆեկտիվությունը կարգավորելու և հաշվարկելու համար: Հաշվետու ժամանակահատվածում ԱԱԳԼ խմբի ներկայացուցիչները մասնակցել են CVT և BMT դետեկտորների հետ տարվող աշխատանքներին: RGA և RGB փորձերի տվյալներով գնահատվել է գրանցման էֆեկտիվությունը հոսանքի ինտենսիվության տարբեր արժեքների և աշխատանքային պարամետրների տարբեր սահմանափակումների համար:

  Աշխատանքի նպատակն է պարզաբանել և արդյունավետ օգտագործել ստացված փորձարարական տվյալները, FD (CLAS12-ի առաջնային դետեկտորի) և CD(CLAS12-ի կենտրոնական դետեկտորի) համակարգման և էֆեկտիվության հաշվարկման մշակված մեթոդների օգնությամբ: Մեթոդի հիմքում ընկած է լիցքավորված մասնիկների և էլեկտրոնների թվի քանակական հարաբերակցությունը: Հարաբերակցության գործակցից, որը ստացվել է վերը նշված հարաբերության բաշխման ֆիտավորումից կախված փնջի ինտենսիվությունից, ստացվում է էֆեկտիվության բաշխումը տարբեր ինտենսիվության համար: Նկար 2.7-ում պատկերված են ընթացիք արդյունքները:



Նկար 2.7. Էֆեկտիվության կախվածությունը փնջի հոսանքից, բացասական (ձախ մաս) և դրական (աջ մաս) լիցքավորված մասնիկների համար: Վերին մասի գրաֆիկները RGB խմբի փորձերի տվյալների մշակումից է ստացված, ստորին մասը՝ RGA խմբի:

- CVT գրանցիչի համար հետագծերի վերականգնման և գրանցման արդյունավետության համար Արհեստական Բանականության միջոցով

ծրագրային փաթեթի մշակումով նախատեսվում է գրանցված մասնիկների կինեմատիկ պարամետրների գնահատում:

- Մասնակցություն RGC փորձին - 24 հերթափոխ (անձամբ):

Hall-C (փորձարարական սրահ)

2022 թ.-ին 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) Մասնակցություն մեծ Q^2 –ների տիրույթում պիոնների էքսկլյուզիվ էլեկտրաածնման կտրվածքի L-T բաժանման և F_π ֆորմ-ֆակտորի որոշման E12-19-006 գիտափորձին:

Ինչպես նշված էր նախորդ տարվա հաշվետվությունում, 2021 թ.-ին C սրահում ավարտվեցին “Pion-LT” (E12-19-006) գիտափորձի չափումները վիրտուալ ֆոտոնի ε բևեռացման ցածր արժեքների տիրույթում: Պիոնի ֆորմ-ֆակտորի որոշման համար նաև անհրաժեշտ էին չափումներ ε-ի բարձր արժեքների տիրույթում, որոնք նախատեսված էին 2022 թ.: Նշենք, որ ε-ի ցածր և բարձր արժեքների տիրույթներում կատարված չափումների համատեղ մշակումը թույլ է տալիս տարանջատել e+p→e’+π+n ռեակցիայի կտրվածքի լայնական (T) և երկայնական (L) բաղադրիչները, և որոշել պիոնի F_π ֆորմ-ֆակտորը մեծ Q^2 –ների տիրույթում:

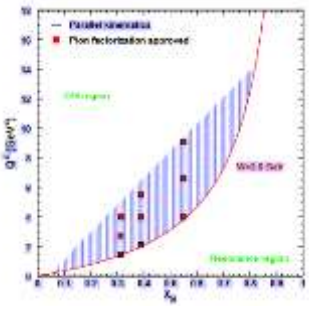
2022 թ. մարտ — սեպտեմբեր ամիսներին C սրահում կատարվեցին լիցքավորված պիոնի ֆորմ-ֆակտորի “Pion-LT” (E12-19-006) գիտափորձով նախատեսված e+p→e’+π+n ռեակցիայի կտրվածքի չափումները վիրտուալ ֆոտոնի բևեռացման բարձր արժեքների տիրույթում: ԱԱԳԼ-ի խմբի 3 ֆիզիկոսներ (Վ. Թադեվոսյան, Հ. Ոսկանյան և Հ. Մկրտչյան) հնարավորություն ունեցան գործուղվել ԱՄՆ և մասնակցել այս գիտափորձին:

Այս չափումները առանձնահատուկ հետաքրքրություն են ներկայացնում հադրոն-պարտոնային ռեժիմից քվարկ-գլյուոնային ռեժիմին անցնելու տիրույթում հադրոնային կառուցվածքի մեր ըմբռնման համար: Այս անցումը սպասվում է Q^2-ու արժեքների մինչև 10 ԳԷՎ^2 տիրույթում:

Գիտափորձը պահանջում էր յուրաքանչյուր կինեմատիկ կետում կատարել չափումներ 10 սմ երկարության հեղուկ ջրածնային թիրախով (LH2), իսկ թիրախի պատուհանների ներդրումը գնահատելու համար՝ ալյումինի (Al Dummy) թիրախով:

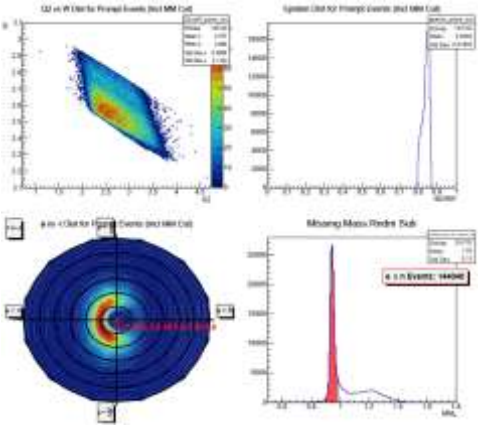
Բացի այդ, ուսումնասիրվող ռեակցիայում t–կանալի գերակայության ստուգման նպատակով կատարվել են դեյտրոնային թիրախի վրա (LD2) լիցքավորված պիոնների էլեկտրաձնման չափումներ՝ π+/π- հարաբերության գնահատման համար:

Ընդհանուր առմամբ, կտրվածքի չափումները կատարվել են Բյորկենի x-փոփոխականի և վիրտուալ ֆոտոնի Q^2–ու մի քանի արժեքների համար, ինչպես ցույց է տրված Նկար 3.1-ում :



Նկար 3.1. C սրահում L-T տարանջատումների համար հասանելի կինեմատիկ տիրույթը՝ 11 ԳԷՎ էլէկտրոնային փնջի, և C սրահի SHMS և HMS սպեկտրոմետրների համադրման դեպքում:

Չափումների ընթացքում, յուրաքանչյուր 1 ժամվա կուտակված տվյալներից մշակվում էր առաջին 50000 դեպքը և կառուցվում էին կարևոր ֆիզիկական բնութագրերի բաշխումները, որոնց միջոցով գնահատվում էին չափման բարորակությունը: Որպես օրինակ, Նկար 3.2-ում բերված են ”Pion-LT” փորձից ստացված որոշ կինեմատիկական փոփոխականների նախնական բաշխումները:



Նկար 3.2. “Pion-LT” գիտափորձից ստացված որոշ կինեմատիկական փոփոխականների նախնական բաշխումները (Q2 vs W; ε; φ vs Pt; MMx): Փնջի էներգիան եղել է 10.536 ԳԷՎ, թիրախը՝ LH2, Q2=2.73, W=2.63, x=0.31, θ_SHMS=16.34:

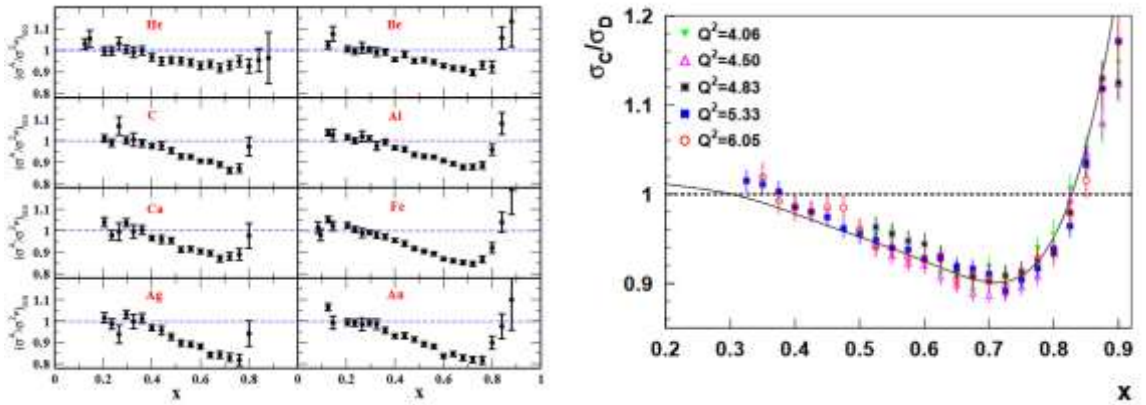
բ) EMC և X>1 գիտափորձերը (E12-10-008/E12-06-105)

Այս երկու գիտափորձերի չափումները կատարվեցին համատեղ, սկսվեցին 2022 թ.-ի սեպտեմբերին և շարունակվեցին մինչև տարեվերջ:

E12-10-008-ի նպատակն էր x-ի լայն տիրույթում (0.1<x<1) և Q^2 -ն մինչև ≈15 ԳԷՎ^2 չափել էլեկտրոնների ինկլյուզիվ ցրման կտրվածքը մի քանի թեթև և ծանր միջուկների համար: Նոր չափումները կլրացնեն EMC էֆեկտի JLab-ում ստացված նախկին տվյալները x–ի ավելի լայն կինեմատիկ տիրույթում և կլինեն առաջին ճշգրիտ տվյալները թեթև միջուկների (A<12) համար:

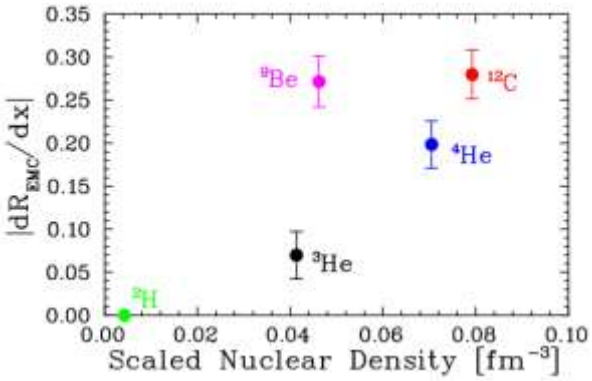
Միջուկների քվարկային կառուցվածքի միջուկից կախվածության հարցը, սկսած խորը ոչ-առաձգական ցրման (DIS) Մյուոնի Եվրոպական Համագործակցության (EMC) առաջին չափումներից մնում է առեղծվածային: EMC-ն հայտնաբերել էր զգալի տարբերություն ծանր և թեթև միջուկների կառուցվածքային ֆունկցիաների միջև (երկաթ և դեյտերիում): Այդ ժամանակից ի վեր կառուցվածքային ֆունկցիաների միջուկից կախվածությունը լայնորեն ուսումնասիրվել է ինչպես փորձնականորեն, այնպես էլ տեսականորեն: Թեև EMC էֆեկտի x և A կախվածությունների վերաբերյալ լայնածավալ տվյալներ կան, դրաց ծագումը դեռ լավ չի հասկացվել:.

Նկար 3.3-ում որպես օրինակ բերված են SLAC-ի E139 և JLab-ի E03-103 գիտափորձերի արդյունքները:



Նկար 3.3. (Աջից) Q^2–ով միջինացված և իզոսկալյար շտկված SLAC -ի E139 գիտափորձի EMC տվյալները: (Ձախից) JLab-ի E03-103 գիտափորձից ստացված C և ^2H միջուկներից էլեկտրոնների ինկլյուզիվ ցրման կտրվածքների հարաբերության կախվածությունը x-ից, տարբեր Q^2 -ների համար: Մեջբերված Q^2-ու արժեքները x = 0.75-ի համար են: Հոծ կորը ներկայացնում է SLAC-ի տվյալներով EMC միջինացված x-կախվածությունը:

Խնդիրն էլ ավելի խճճվեց EMC էֆեկտի թեքության գործակցի (slope parameter) կախվածությունը միջուկի խտությունից ուսումնասիրելիս: Պարզվեց, որ ^{9}Be միջուկի համար տվյալները էապես տարբերվում են սպասվելիք արժեքից (Նկար 3.4):



Նկար 3.4. 0,35 < x < 0,7 տիրույթում միջինացված EMC էֆեկտի թեքության գործակցի կախվածությունը միջուկի խտությունից:

Նշված հանգամանքները վկայում էին x, Q^2 ավելի լայն կինեմատիկ տիրույթներում, և ավելի բազմազան միջուկների համար EMC էֆեկտի նոր և ճշգրիտ չափումների կատարման անհրաժեշտության մասին, որն էլ հանդիսացավ E12-10-008 գիտափորձի նպատակը:

Կատարված չափումների կինեմատիկ պայմանները և թիրախները բերված են Աղուսյակ 3.1-ում: Բոլոր տվյալները ստացվել են 10.5 ԳէՎ էներգիայի էլեկտրոնների փնջով: Կուտակված որոշ տվյալների համար, չափումների հուսալիությունը ստուգելու նպատակով երկու մագնիսական սպեկտրոմետրները (HMS և SHMS) օգտագործվել են միաժամանակ:

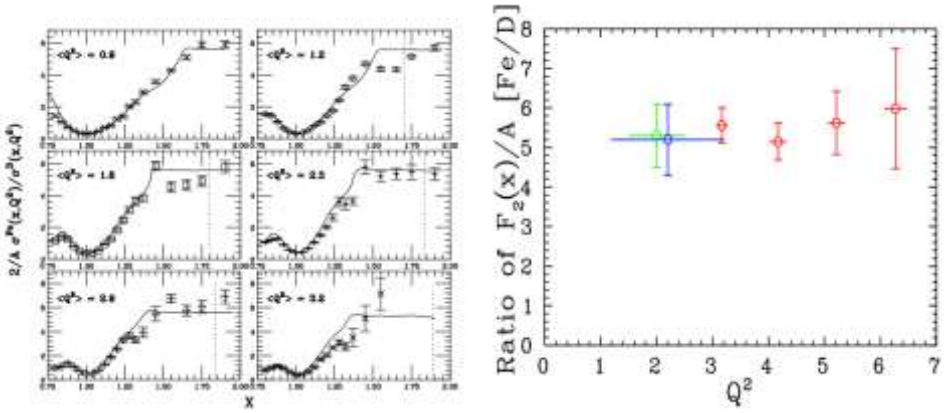
Աղյուսակ 3.1

θ (deg)	E' (GeV)	x range (for $W^2 > 2$)	Q^2 (GeV^2)	targets	estimated time (hours)
20	1.6–6.4	0.1–0.87	2.1–8.4	^{1}H,^{2}H,^{3}He,^{4}He, ^{6}Li, ^{7}Li,^{9}Be,^{12}C,^{63}Cu	24
25	3.4–5.1	0.5–0.90	7.1–10.5	^{1}H,^{2}H,^{12}C	11
30	2.7–4.2	0.5–0.91	7.8–12.3	^{1}H,^{2}H,^{12}C	31
35	1.4–3.5	0.3–0.92	5.4–13.5	^{1}H,^{2}H,^{3}He,^{4}He,^{7}Li,^{10}B, ^{11}B,^{12}C,^{40}Ca,^{48}Ca	318
40	1.7–2.8	0.5–0.93	8.7-14.6	^{1}H,^{2}H,^{3}He,^{12}C	197

JLab-ի 11 ԳէՎ էներգիայի էլեկտրոնային փնջով կատարվել են նոր և ավելի ճշգրիտ չափումներ, որոնք ընդգրկում են DIS տիրույթը և x-ի մեծ արժեքները, հասնելով մինչև x = 3: Նշենք, որ x-ի մեծ արժեքների տիրույթում միջուկների կառուցվածքային

ֆունկցիաների հարաբերությունները շատ զգայուն են միջուկում նուկլոնների իմպուլսային բաշխման նկատմամբ: Դա օգտակար կլինի հասկանալու EMC էֆեկտը:

SLAC–ի մի քանի չափումների համատեղ վերլուծությունը ցույց տվեց որ 1.5 < x <2 տիրույթում, որտեղ գերակշռում են երկու նուկլոնային կոռելյացիաները, միջուկների կտրվածքների հարաբերությունը դեյտերիումին անկախ է x-ից, բացահայտելով նաև Q^2–ուց թույլ կախվածություն, ինչպես ցույց է տրված Նկ. 3.5-ի ձախ մասում: Սակայն, JLab-ի CLAS սպեկտրոմետրի և C սրահի տվյալները, որոնք բերված են Նկ. 3.5–ի աջ մասում, չհաստատեցին A/2H հարաբերության Q^2 կախվածությունը:



Նկար 3.5. (Ձախից) SLAC-ում ստացված A/2H հարաբերության տվյալները Fe միջուկի համար, մեծ x–երի տիրույթրում: (Աջից) CLAS սպեկտրոմետրով և C սրահում ստացված A/2H հարաբերության Q^2 կախվածության տվյալները:

C սրահի **E12-06-105** գիտափորձում, լայն կինեմատիկ տիրույթում չափվեց A/2H և A/^{3}He հարաբերության Q^2 կախվածությունը: Նոր, ճշգրիտ, լայն կինեմատիկ տիրույթի տվյալները կօգնեն պարզել SLAC-ի և Jlab-ի տվյալների հակասության պատճառները: ԱԱԳԼ-ի խմբց 2 ֆիզիկոսներ (Ա. Մկրտչյան և Հ. Ոսկանյան) մասնակցեցին այս երկու գիտափորձի կատարման և տվյալների նախնական մշակման աշխատանքներին:

գ) Չեզոք մասնիկների սպեկտրոմետրի նախագծի հետ կապված աշխատանքներ

NPS-ի կառուցումը: Մոտ 1200 կապարի վոլֆրամատի ($PbWO_4$) բյուրեղներից բաղկացած NPS սպեկտրոմետրն անհրաժեշտ է 5 հաստատված գիտափորձերին, որոնցից մեկին (π^0–SIDIS) համահեղինակ է ԱԱԳԼ-ի խումբը: Նախկինում ԱԱԳԼ-ի խումբը Ամերիկյան Կաթոլիկ Համալսարանի (CUA) և Օրսեյի Միջուկային Ֆիզիկայի Ինստիտուտի (Ֆրանսիա) հետ համատեղ ուսումնասիրել է չինական SICCAS և չեխական CRYTUR ֆիրմաներից ստացված 2.05×2.05×20 սմ^3 չափերի $PbWO_4$ բյուրեղների

օպտիկական հատկությունները, և ճապոնական Hamamatsu R4125 ֆոտոբազմապատկիչների բնութագրերը:

Չեզոք մասնիկների սպեկտրոմետրը (Neutral Particle Spectrometer, կամ NPS) ներկայումս գտնվում է կառուցման ավարտական փուլում: Լավ յուրացված HMS և SHMS մագնիսական սպեկտրոմետրների հետ համատեղ օգտագործմամբ այն նոր հնարավորություններ կբացի C սրահում կատարվող գիտափորձերի համար:

2022 թվականին շարունակվել է կապարի վոլֆրամատի բյուրեղների ($PbWO_4$) ձեռքբերումը CRYTUR (Չեխիա) ընկերությունից, նրանց չափագրումը և օպտիկական բնութագրերի ստուգումը: Մայիս-հուլիս ամիսներին NPS կալորիմետրի բոլոր մեխանիկական մասերը նախապատրաստվել են հավաքման աշխատանքները սկսելու համար:

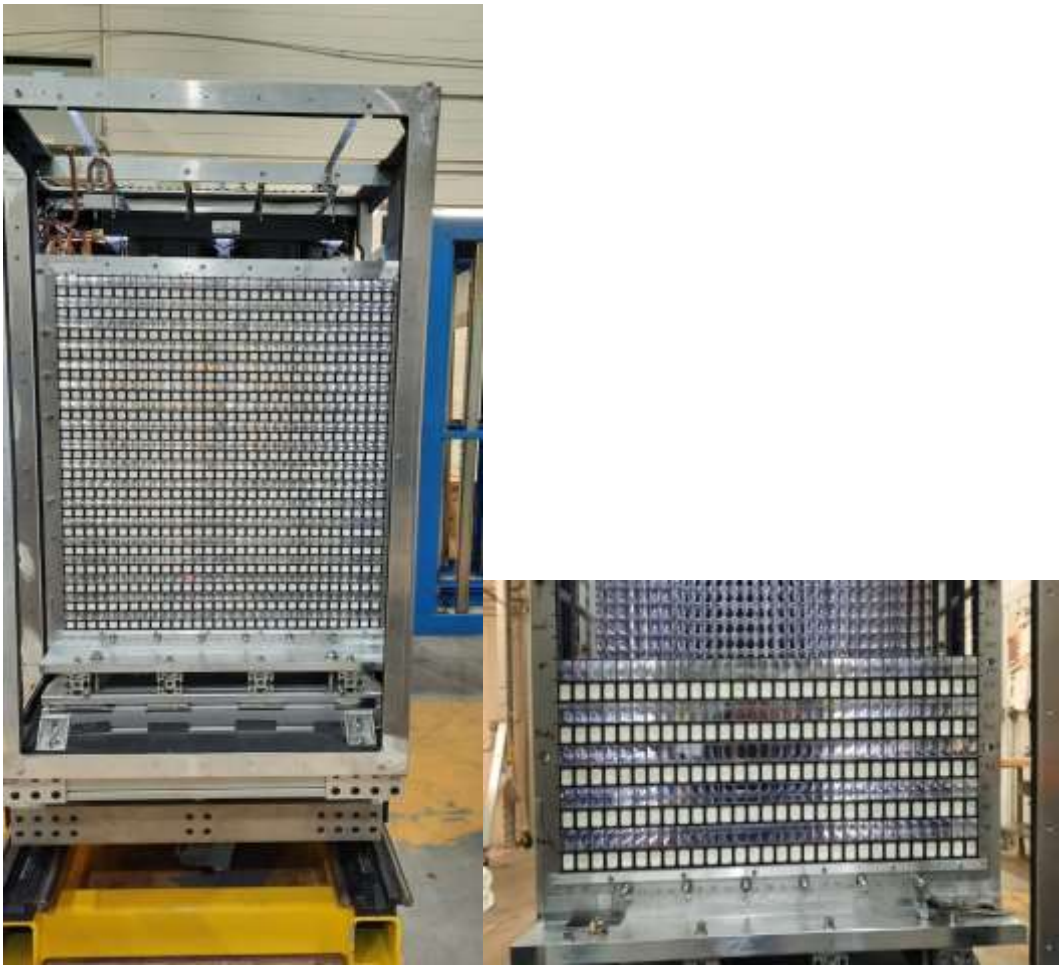
ԱԱԳԼ-ի խմբի անդամներ Վ. Թադեվոսյանը, Հ. Մկրտչյանը, Հ. Ոսկանյանը և Ա. Մկրտչյանը մեծ ներդրում ունեցան կալորիմետրի բյուրեղների օպտիկական մեկուսացման, ՖԷԲ-ների և մալուխների նախապատրաստման գործում:

Նկար. 3.6-ում բերված են աշխատանքային առօրյայի պատկերներ:

Նկար 3.6.

Ներկայումս կալորիմետրի բոլոր բյուրեղները տեղադրված են ջերմամեկուսիչ արկղում, և երեք սունյակների ՖԷԲ-ները օպտիկորեն կցված են բյուրեղներին և միացված էլեկտրոնիկայի համակարգին: Կոսմիկական մյուոններով կատարվում են նախնական ստուգումներ, որից հետո կտեղակայվեն մնացած ՖԷԲ-ները (Նկար 3.7):

Կալորիմետրի տեղափոխումը փորձարարական սրահ նախատեսված է հաջորդ տարվա գարնան-ամռան ամիսներին, իսկ NPS-ով առաջին գիտափորձերը՝ մինչև 2023 թ. վերջ:



Նկ.3.7

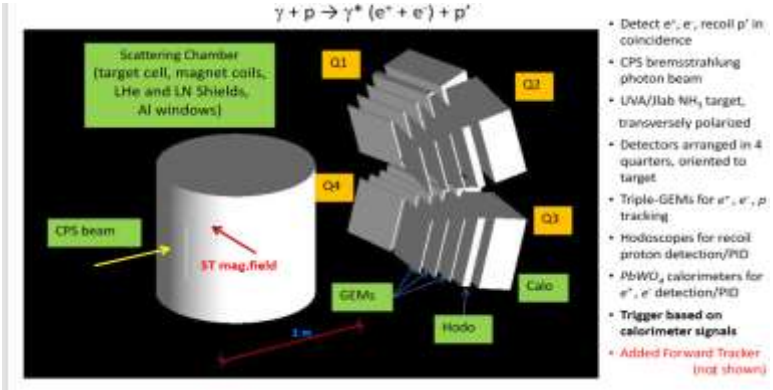
դ) Ժամանականման Կոմպտոնյան ցրման (TCS) նախագծի հետ կապված աշխատանքներ

Ժամանականման Կոմպտոնյան ցրման (TCS) գիատափորձի այս նախագիծը միտված է ընդհանրացված պարտոնային բաշխումների (GPD) ուսումնասիրմանը, մասնավորապես՝ GPD E-ի հետազոտմանը, որը առնչվում է նուկլոնում պարտոնների

շարժման անկյունային մոմենտին։ Չափումները նախատեսված է կատարել $4 < Q^2 < 9$ ԳէՎ^2/c^2, $-t < 0.7$ ԳէՎ^2/c^2 կինեմատիկ տիրույթում, գրանցելով փոխազդեցությունից առաջացած էլեկտրոն – պոզիտրոն զույգը, և ետհարվածի պրոտոնը։ Նախատեսված փորձարարական սաքավորումը կազմված է ընկնող ֆոտոնային փնջի աղբյուրից, լայնակի բևեռացված ջրածնային թիրախից, և դետեկտորների համակարգից՝ GEM կոորդինատային դետեկտորներից, սցինտիլյացիոն հոդոսկոպներից և էլեկտրամագնիսական կալորիմետրներից (Նկար 3.8)։

2022 թ. շարունակվեցին աշխատանքները՝ միտված TCS սարքավորման զանազան ասպեկտերի հաշվարկային ուսումնասիրմանը։ Մասնավորապես, թվային մոդելավորմամբ ցույց տրվեց, որ բացառելով փնջին մոտ բարձր ֆոնով անկյունային ակսեպտանսի մի փոքր մասը, կարելի է տրիգերում ֆոնային դեպքերի հաճախությունը նվազեցնել՝ բերելով դրանք ընդունելի սահմաններից ներս, միևնույն ժամանակ պատշաճ մակարդակի վրա պահպանելով TCS դեպքերի գրանցման էֆեկտիվությունը (60 կՀց ֆոնային դեպքերի հաճախություն, 72% TCS դեպքերի գրանցման էֆեկտիվություն)։ Նախնականորեն մշակվել է տրիգերի էլեկտրոնային համակարգի կառուցվածքը։ GEANT4 հաշվարկով գնահատվել է GEM կոորդինատային դետեկտորներում գրանցվող ֆոնային մասնիկների բաղադրությունը, և GEM դետեկորների առանձին կանալներում ազդանշանների սպասվող հաճախությունը։ Մշակվել են ցածր էներգիայով ետհարվածի պրոտոնների գրանցման և նույնականացման մոտեցումները՝ օգտագործելով հոդոսկոպների և կալորիմետրների ազդանշանները, նաև թռիչքի ժամանակի չափումով։ Մշակվել է գրանցվող լեպտոնների (e+ և e-) լիցքերի որոշման եղանակ՝ օգտագործելով ընկնող ֆոտոնի վերականգնված զանգվածի բաշխումը։ GEANT4 հաշվարկով ցույց է տրվել կալորիմետրներում կուտակվող սպասվող ռադիացիոն դոզաների ընդունելի սահմաններում լինելը։

Նախագիծը՝ նախկինում պայմանականորեն ընդունված, լրամշակվել և նորից ներկայացվել է Jlab-ի հետազոտական ծրագրերի կոմիտեյին (PAC 50)՝ հաստատման։ Կոմիտեն բարձր է գնահատել ծրագրի տեսական ֆիզիկական նպատակները, բայց առկախել է հաստատումը՝ հաշվի առնելով պահանջվող հավելյալ հետազոտությունների ծավալը փորձարարական մասով։



Նկար 3.8.

Մասնակցություն գիտաժողովներին

Խմբի անդամները մասնակցել են C սրահի, SIDIS համագործակցության ամեն շաբաթյա, NPS և CPS համագործակցությունների երկշաբաթյա ժողովներին: Խմբի անդամները մասնակցել են JLab-ի նոր գիտափորձերի առաջարկների քննարկման PAC50 նիստերին, JLUG, Hall A/C, Jlab at 24 GeV energy, JLab with positron beam, ինչպես նաև EIC Calorimetry, EIC Detector-1, EIC software միտինգներին: Վ. Թադևոսյանը մասնակցել է Վիրջինիայի տեխնիկական համալսարանում կայացած գիտաժողովին (Towards improved hadron femtography with hard exclusive reactions, July 18 – 22, 2022, Virginia Tech, Blacksburg, VA) զեկուցումով:

Hall-D (փորձարարական սրահ)

1. Հաշվետու ժամանակաշրջանում (2022 թ.) ԱԱԳԼ-Jlab կոլաբորացիայի անդամները մասնակցել են D փորձարարական սրահում կատարվող GlueX գիտափորձի աշխատանքներին:
2. Մասնակցել են 20 հեռավար հերթափոխների (shifts):
3. Խմբի անդամներն ակտիվորեն մասնակցել են D փորձարարական սրահի եռամսյակային կոլաբորացիոն հեռավար գիտա-ժողովներին, ինչպես նաև Production and analysis ամենշաբաթյա և երկշաբաթյա Bi-weekly ժողովներին:

Հրատարակումներ

1. M. E. Christy;_T. Gautam; L. Ou; et al., Jefferson Lab Hall A Collaboration,"Form Factors and Two-PhotonExchange in High-Energy Elastic Electron-Proton Scattering.", Phys. Rev. Lett. 128 (2022), 10, 102002.

2. D. Abrams et al. , Jefferson Lab Hall A Tritium Collaboration, “Jefferson Lab MARATHON Tritium/Helium-3 Deeo Inelastic Scattering Experiment.”, Phys. Rev. Lett. 128 (2022), 13, 132003.
3. D. Adhikari et al., PREX and CREX Collaborations, “New Measurements of the Beam-Normal Single Spin Asymmetry in Elastic Electron Scattering over a Range of Spin-0 Nuclei”, Phys. Rev. Lett. 128 (2022), 14, 14.
4. T. Gogami, P. Achenbach, J. K. Ahn et al., “Strangeness physics programs by S-2S at J-PARC”, EPJ Web Conf. 271 (2022), 11002.
5. T. Gogami, P. Achenbach, T. Akiyama et. al, “High accuracy spectroscopy of 3- and 4- body ΛΛ hypernuclei at Jefferson Lab”, EPJ Web Conf. 271 (2022), 01001.
6. F. Georges et al., “Deeply Virtual Compton Scattering Cross Section at High Bjorken”, Jefferson Lab Hall A Collaboration, Phys. Rev. Lett. 128 (2022), 25, 252002.
7. D. Ruth et al., Jefferson Lab Hall A Ag2p Collaboration, “Proton spin structure and generalized polarizabilities in the strong quantum chromodynamics regime”, Nature Phys, 18 (2022), 1441.
8. D. Adhikari et al., CREX Collaboration, “Precision Determination of the Neutral Weak Form Factor of ^{48}Ca.”, Phys. Rev. Lett. 129 (2022), 4, 042501.
9. S. Iqbal et al., Jefferson Lab Hall A Collaboration, “Probing for high-momentum protons in ^{4}He via the 4He (e,e′p)X4He(e,e′p)X reactions”, Phys. Rev. C, 105, (2022), 6, 064003.
10. S. Li, R. Cruz-Torres, N. Santiesteban, et al., "Revealing the short-range structure of the mirror nuclei ^{3}H and ^{3}He.", Nature 609, (2022), 7925, 41.
11. S. Diehl, A. Kim, G. Angelini et al., CLAS Collaboration, "Multidimensional, High Precision Measurements of Beam Single Spin Asymmetries in Semi-inclusive π+ Electroproduction off Protons in the Valence Region", Phys. Rev. Lett. 128 (2022), 6, 062005.
12. N. Zachariou, E. Munevar, B. L. Berman et al., CLAS Collaboration, "Beam-spin asymmetry **Σ** for Σ– hyperon photoproduction off the neutron", Phys. Lett. B 827, (2022), 136985.
13. S. Moran; R. Dupre; H. Hakobyan et al., CLAS Collaboration, "Measurement of charged-pion production in deep-inelastic scattering off nuclei with the CLAS detector", Phys. Rev. C, 105, (2022), 1, 015201.
14. E. L. Isupov, V. D. Burkert, A. A. Golubenko et al., CLAS Collaboration, "Polarized structure function $\sigma_{LT'}$ from π^0p electroproduction data in the resonance region at 0.4 GeV^2 < Q^2 < 1.0 GeV^2 ", Phys. Rev. C, 105, (2022), 2, L022201.

15. D. S. Carman, A. D'Angelo, L. Lanza et al., CLAS Collaboration, "Beam-recoil transferred polarization in electroproduction in the nucleon resonance region with CLAS12", Phys. Rev. C, 105, (2022), 6, 065201.
16. S. J. Paul, S. Morán, M. Arratia et al., CLAS Collaboration, "Observation of Azimuth-Dependent Suppression of Hadron Pairs in Electron Scattering off Nuclei", Phys. Rev. Lett. 129 (2022), 18, 182501.
17. D. Androic, D.S. Armstrong, K. Bartlett, et al., "Distribution Radius from a Parity-Violating Electron Scattering Measurement.", Phys. Rev. Lett. 128 (2022), 132501.
18. R. A. Khalek, A. Accardi, J. Adam, D. Adamiak et al., "Science requirements and detector concepts for the electron-ion collider: EIC yellow report", Nucl. Physics A 1026, (2022), 122447.
19. R. Li, N. Sparveris, H. Atac et al., "Measured proton electromagnetic structure deviates from theoretical predictions", Nature 611 (2022), 7935, 265.
20. S. Adhikari, C. S. Akondi, M. Albrecht et al., "Measurement of Spin Density Matrix Elements in Λ(1520) Photoproduction at 8.2 GeV to 8.8 GeV", Phys. Rev. C 105 (2022) 3, 035201.
21. S. Adhikari, C. S. Akondi, M. Albrecht et al., "Search for photoproduction of axion-like particles at GlueX", Phys. Rev. D 105 (2022) 5, 052007.

Մասնակցություն EIC համագործակցության աշխատանքներին

Էլեկտրոն-իոնային կոլայդերի (EIC) գիտական ծրագիրը գնահատվել է որպես ԱՄՆ-ի կարևորագույն նպատակներից մեկը: EIC-ը կլինի իր տեսակի մեջ ամենահզոր կոլայդերը: Բոլոր նախկին էլեկտրոն-իոնային կոլայդերների համեմատ այն կունենա փնջերի ընդհարման 100-1000 անգամ ավելի մեծ հաճախականություն: Այն կլինի առաջին մեքենան, որտեղ պրոտոնի և էլեկտրոնի փնջերը կարող են բևեռացվել: Այս եզակի մեքենան կապահովի բարձր էներգիաների և միջուկային ֆիզիկայի բնագավառի եզակի ուսումնասիրությունների կատարումը:

EIC օգտվողների խմբերն այժմ ձևավորված են, և Հայաստանը՝ հանձինս ԱԱԳԼ-ի, ներգրավված է էլեկտրամագնիսական կալորիմետրի Մոնտե-Կառլո մոդելավորման, նախագծման և կալորիմետրի նախատիպի ստեղծման ու ուսումնասիրման աշխատանքներին:

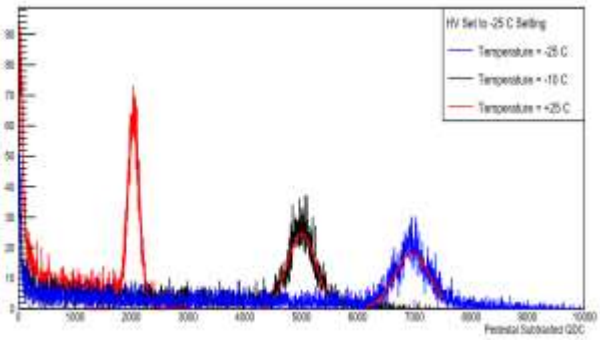
ԱԱԳԼ-ի խումբը այժմ նախապատրաստում է անհրաժեշտ նյութա-տեխնիկական բազա այս աշխատանքներին լիարժեք ընդգրկվելու համար: ԱԱԳԼ-ի տնօրինության և ամերիկյան բարերարների օգնությամբ կառուցվել է Լաբորատոր սենյակ՝ հատուկ մեթոդիկ աշխատանքների համար (բյուրեղների և ֆոտո-էլեկտրոնային-

բազմապատկիչների ուսումնասիրություններ): Առաջիկա տարիներին այն համալրվել է և շարունակում է համալրվել միջազգային ստանդարտներին համապատասխանող էլեկտրոնիկայով և հատուկ չափիչ սարքերով, այդ թվում ՀՀ ԿԳՄՍ նախարարության Գիտական կոմիտեի հայտարարած մրցույթը շահած 21AG-1C028 ծածկագրով առաջատար հետազոտությունների աջակցության գիտական թեմայի և ենթակառուցվածքի, նյութատեխնիկական բազայի արդիականացման համար ֆինանսական աջակցության տրամադրման մրցույթը շահած թեմայի ֆինանսների հաշվին:

- Կատարվել են կալորիմետրի նախատիպի ուսումնասիրություններ:

  Քանի որ կալորիմետրի շատ տեխնիկական ասպեկտներ նոր են, իսկ որոշները գտնվում են զարգացման փուլում, բոլոր տեխնիկական խնդիրները ուսումնասիրելու համար նախքան EIC կալորիմետրի նախագծումը վերջնական տեսքի բերելը համագործակցությունը կառուցել է մի քանի նախատիպեր՝ $PbWO_4$ բյուրեղների տարբեր կոնֆիգուրացիաներով (3×3; 5×5 և 12×12, $PbWO_4$ բյուրեղի չափսերն են՝ 2x2x20 սմ^3):
- Նախատիպի փորձարկումներ DESY-ում.

  Փորձարկումներն իրականացվել են DESY-ում, էլեկտրոնների փնջով: Փորձարկվեցին 5×5 նախատիպի էներգիայի և կոորդինատի լուծողունակությունները տարբեր ջերմաստիճանային պայմաններում (25°C, 10°C, -10°C և -25°C), էլեկտրոնային փնջի 2, 3, 4 և 5 ԳԷՎ էներգիաների դեպքում: Կատարվեցին նաև հորիզոնական/ուղղահայաց դիրքի սկանավորում 5մմ և 3 մմ քայլերով, կալորիմետրի առջևի մասում կլանիչի առկայությամբ և առանց կլանիչի, և 6 աստիճանի պտույտով ու առանց պտույտի: Նկար 1-ում ցույց են տրված կալորիմետրում էներգիայի անջատման առցանց արդյունքները տարբեր ջերմաստիճանների դեպքում:



Նկար 1. Կենտրոնական բյուրեղի (#9) էներգետիկ սպեկտրը տարբեր ջերմաստիճանային պայմաններում:

Հրատարակումներ

1. J. Adam, L. Adamczyk, N. Agrawal et al., ATHENA Collaboration, “ATHENA detector proposal — a totally hermetic electron nucleus apparatus proposed for IP6 at the Electron-Ion Collider”, JINST 17 (2022) 10, P10019.
2. C. Fanelli, Z. Papandreou, K. Suresh et al., “AI-assisted Optimization of the ECCE Tracking System at the Electron Ion Collider”, Nucl. Instrum. Meth. A 1047, (2023), 167748.

Ռեալ և վիրտուալ ֆոտոններով միջուկների ճեղքումը և ֆրագմենտացիա

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

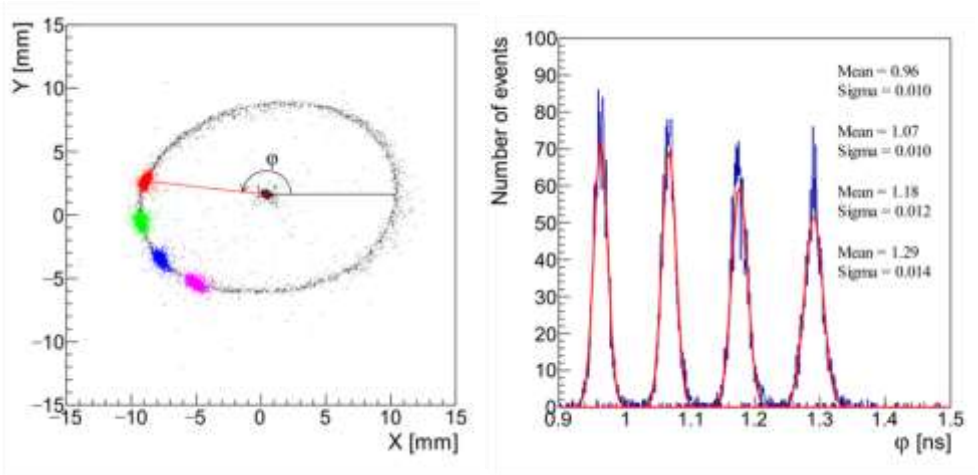
Կատարողներ՝ Ա. Մարգարյան, Հ. Վարդանյան, Ս. Աբրահամյան, Վ. Խաչատրյան, Հ. Էլբակյան, Ռ. Այվազյան, Ն. Մարգարյան, Պ. Խաչատրյան, Հ. Ռոստոմյան, Ա. Սաֆարյան

Խմբի աշխատակիցները մասնակցել են հետևյալ նախագծերի սահմաններում իրականացվող աշխատանքներին.

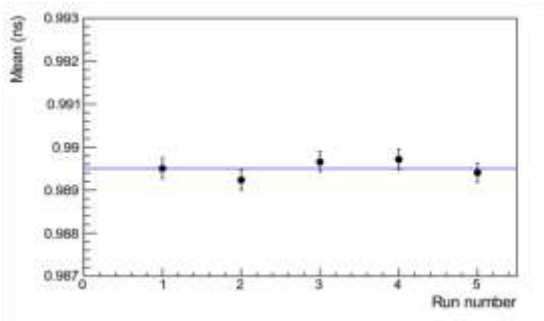
1. Գիտական Խմբերի կամ լաբորատորիաների Ամրապնդմանն Աջակցության 2020 թ. մրցույթի դրամաշնորհ, ծածկագիր՝ 20TTCG-1C011, վերնագիր՝ «Պիկովայրկյանային լուծողականությամբ երկրորդական էլեկտրոնների դետեկտոր Λ հիպերմիջուկների հետազոտությունների համար», ղեկավար՝ Ս. Ժամկոչյան, կատարողներ՝ ֆմգթ Ա. Մարգարյան, ֆմգթ Վ. Կակոյան, ֆմգթ Ս. Աբրահամյան, Հ. Ռոստոմյան, ֆինանսական ծավալներ՝ 57,000.0 հազար ՀՀ դրամ, կատարման ժամկետ՝ 01.10.2020թ. - 01.10.2023թ:
2. Կիրառական Արդյունքի Ձեռքբերմանն ուղղված 2021 թ. մրցույթի դրամաշնորհ, ծածկագիր՝ 21APP-2B012, վերնագիր՝ «ԿԷՎ էներգիաներով էլեկտրոնների գերբարձր հաճախությունների պարույրաձև սկանավորող համակարգ», ղեկավար՝ ֆմգթ Հ. Էլբալկյան, կատարողներ՝ Ռ. Այվազյան, Վ. Բարդախչյան, Ա. Սաֆարյան, Գ. Սուղյան, Հ. Զոհրաբյան, ֆինանսական ծավալներ՝ 30,100.0 հազար ՀՀ դրամ, կատարման ժամկետ՝ 04.10.2021թ - 04.10.2023թ:
3. Պայմանագրային (թեմատիկ) Ֆինանսավորման 2021 թ. մրցույթի դրամաշնորհ, ծածկագիր՝ 21T-2J133, վերնագիր՝ «Պիկովայրկյանային ճշտություններով նանոկառուցվածքների քվանտային վիճակների կյանքի տևողությունների սենսոր», ղեկավար՝ Վ. Կակոյան, կատարողներ՝ ֆմգթ Ա. Մարգարյան, Ս. Մայիլյան, տգթ Ա. Ղալումյան և Ա. Սաֆարյան, ֆինանսական ծավալներ՝ 22,500.0 հազար ՀՀ դրամ, կատարման ժամկետ՝ 01.10.2022թ - 01.10.2024թ:
4. ՄԳՏկ, "RF timer of keV electrons":

5. Պայմանագրային (թեմատիկ) Ֆինանսավորման 2021 թ. մրցույթի դրամաշնորհ, ծածկագիր՝ 21T-1C164, վերնագիր՝ «Ծանր միջուկների ինքնակամ և հարկադրական բաժանման հազվագյուտ պրոցեսներ», ղեկավար՝ Ա. Բալաբեկյան (ԵՊՀ), կատարողներ՝ 100/3 խմբից Պ. Խաչատրյան:

Շարունակվել են ՌՀ թայմերի նախատիպի տեսական և փորձարարական ուսումնասիրությունները: Ամփոփվել են սինխրինիզացված լազերի վրա ստացված արդյունքները: Ցույց է տրվել, որ համակարգի ժամանակային լուծողունակությունը կազմում է մոտ 10 պվ (Նկար 1), իսկ կայունությունը՝ 0.5պվ/ժամ (Նկար 2):

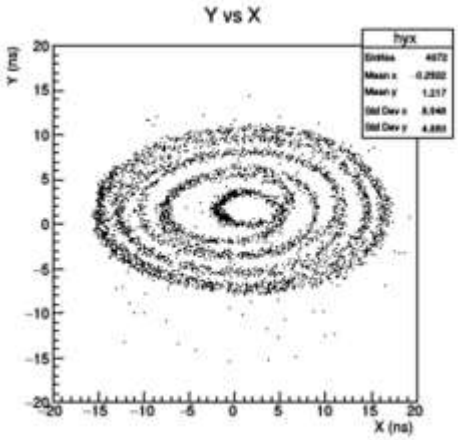


Նկար 1: Ձախ. գրանցված ֆոտոէլեկտրոնների 2-D պատկեր: Շրջանագծի կենտրոնի կետը համապատասխանում է ֆոկուսացման ռեժիմին (ՌՀ անջատած): Շրջանագիծը՝ լազերի հետ ոչ սինխրոնիզացված 500 ՄՀց ՌՀ դաշտով սքանավորած էլեկտրոնների պատկերն է: Գունավոր կետերը համապատասխանում են սինխրոնիզված դաշտով սքանավորված էլեկտրոնների փուլային բաշխումներին: Աջ. նանովայրկյաններին փոխակերպված սքանավորված էլեկտրոնների փուլերի բաշխումներ՝ լազերի հետ սինխրոնիզացված ՌՀ դաշտի դեպքում:



Նկար 2: Հաջորդաբար չափված ժամանակային լուծողունակությունը մեկ ժամվա ընթացքում:

Հաջողվել է ստանալ ֆոտոէլեկտրոնների սպիրալաձև սքանավորման պատկեր՝ կիրառելով երկու իրար մոտ ՌՀ հաճախականություններ (Նկար 3): Այս մեթոդի կիրառումը թույլ կտա էապես մեծացնել սարքավորումի դինամիկ տիրույթը՝ 2 նվ –ից մինչև տասնյակ նանովայրկյաններ:



Նկար 3. Սքանավորված ֆոտոէլեկտրոնների պատկերը միաժամանակ երկու՝ 500 ՄՀց և 550 ՄՀց ՌՀ դաշտերի դեպքում:

Շարունակվել են ուսումնասիրությունները բարձր (1-10 ԳՀց) ՌՀ հաճախականությունների տիրույթում, ինչը թույլ կտա էապես (անգամներ) լավացնել սարքի լուծողականությունը ստանդարտ 500 ՄՀց–ի հետ համեմատ: Կատարվել են ֆոկուսացման ոսպնյակի և ընդհանուր համակարգի օպտիմիզացմանը ուղղված Մոնտե-Կառլո հաշվարկներ: Կառուցման վերջին փուլում է Λ հիպերմիջուկների և նանոկառուցվածքների ուսումնասիրությունների համար նախատեսված նոր դետեկտոր:

20TTCG-1C011 ծածկագրով թեմայի միջոցներով տարվա ընթացքում ձեռք է բերվել համակարգչային տեխնիկա և օդորակիչ՝ ընդհանուր 1 100 000 դրամ արժողությամբ:

Աշխատանքների արդյունքները ներկայացվել են հետևյալ գիտաժողովներին.

1. PicoQuant 2022 workshop (“Single Molecule Spectroscopy and Super-resolution Microscopy”), Berlin, Germany, ներկայացվել է Ս. Ժամկոչյանի կողմից:
2. Ultrafast Beams and Applications, 2022, CANDLE, Armenia, ներկայացվել է Ա. Մարգարյանի կողմից
3. Universal Journal of Lasers, Optics, Photonics & Sensors (UJLOPS) UINUJLOPS07/2022/01, ներկայացվել է Ա. Մարգարյանի կողմից:

Հրատարակումներ գիտական ամսագրերում

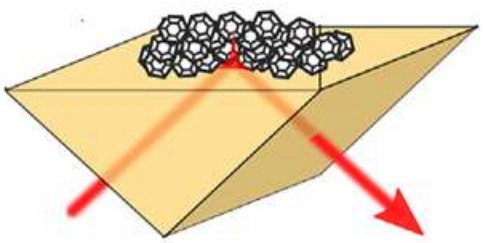
1. A. Margaryan et al., An RF timer of electrons and photons with the potential to reach picosecond precision, NIM A, V 1038, pp 166926, 2022
2. D. Androic et al., “Determination of the Neutron Distribution Radius from a Parity-Violating Electron Scattering Measurement”, Phys. Rev. Lett. 128, (2022), 132501.
3. A. Aprahamian, A. Margaryan, V. Kakoyan et al., “Advanced Radio Frequency Timing AppaRATus (ARARAT) Technique and Applications”, Universal Journal of Lasers, Optics, Photonics & Sensors (UJLOPS), 2 (2022) 3.

Նանոկառուցվածքների և նանոնյութերի ուսումնասիրություններ

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

Կատարողներ՝ Ն. Գասպարյան

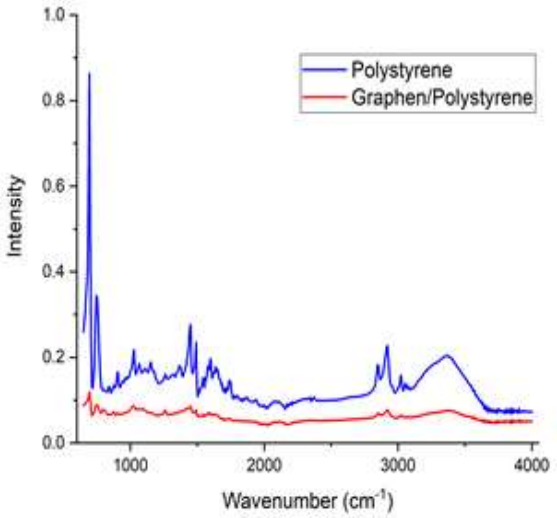
1. 2022 թ. խմբի իրականացրած հետազոտություններն հիմնականում առնչվում են գրաֆենային թաղանթների, պերովսկիտային նյութերի, տիտանի երկոքսիդի այլ նյութերի սինթեզին և հեթազոտություններին: Ի թիվս այլի, կախված լուծույթի նյութաբաղադրիչային կազմությունից, հեղուկ փուլային շերտազատման մեթոդով ստացվել են երկու տիպի գրաֆենային շերտեր՝ լեգիրացված և չլեգիրացված: Ստացված նմուշները տեղափոխվել են տարբեր կրող հարթակների վրա և հետազոտվել: Լեգիրացված գրաֆենի հիմքով ստացվել են տաք մարմինների ինֆրակարմիր ճառագայթումը կառավարող թաղանթներ: Կատարվել են հետազոտություններ ATR (attenuated total reflection) թուլացված ներքին անդրադարձման մեթոդով (Նկար 1):



Նկար 1. Թուլացված լրիվ անդրադարձման (ATR) մեթոդի սխեմատիկ ներկայացումը:

Այս մեթոդը ենթադրում է, որ ինֆրակարմիր ճառագայթն անցնում է այդ տիրույթում կատարելապես թափանցիկ ալմաստի բյուրեղի միջով և ընդհուպ մինչև 2 մկմ

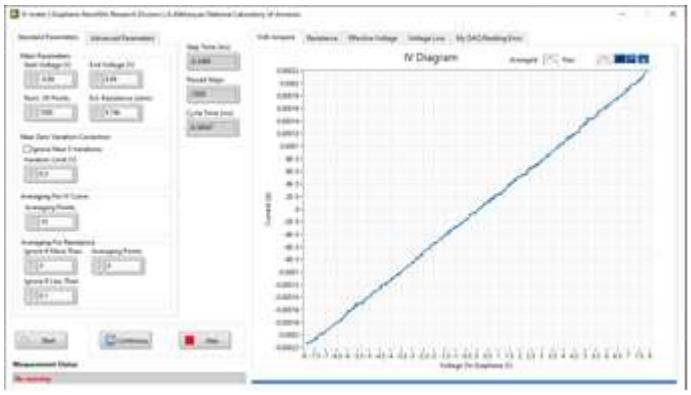
ներթափանցելով նմուշի միջև անդրադառնում է: Դա թույլ է տալիս գնահատել ճառագայթի կլանված և անդրադարձված բաղադրիչների ինտենսիվությունները:
Նկար 2-ում ներկայացված են պոլիստիռոլի հարթակի եռաշերտ լեգիրացված գրաֆենով պատված և չպատված կողմերի ATR չափմամբ ստացված սպեկտրները:



Նկար 2. Պոլիստիրոլի հարթակի գրաֆենով պատված (կարմիր) և չպատված (կապույտ) կողմերի ինֆրակարմիր ճառագայթների կլանման սպեկտրները:

Այս սպեկտրի վերլուծությունից հետևում է, որ լեգիրացված տուրբոստրատիկ գրաֆենի թաղանթը, որի հաստությունը նանոմետրական է, անդրադարձնում է ինֆրակարմիր ճառագայթի ինտենսիվության ավելի քան 90%-ը և թույլ չի տալիս, որպեսզի այն անցնի իր միջով և հասնի պոլիստիռոլի հարթակին: Այսինքն, համաձայն մեր հետազոտությունների նախնական արդյունքների, լեգիրացված տուրբոստրատիկ գրաֆենը ի զորու է քողարկել ինֆրակարմիր ճառագայթումը: Բանն այն է, որ լեգիրվածությունը հանգեցնում է Ֆերմիի մակարդակի բարձրացման: Այսինքն հաղորդականության գոտում զբաղեցվում են վիճակներ, որոնք լեգիրացվածության բացակայությամբ զբաղեցված չէին: Ուստի համաձայն Պաուլիի սկզբունքի անցումները դեպի այդ վիճակներ տեղի չեն ունենում: Դրա շնորհիվ ինֆրակարմիր տիրույթի միջզոտիական անցումները, ուստի, նաև, ինֆրակարմիր լույսի կլանումը տեղի չեն ունենում: Ավելին, ներզոտիական անցումները հարստանում են: Արդյունքում ինֆրակարմիր լույսի կլանումը (ուստի և հետագա ճառագայթումը) խափանվում է, իսկ անդրադարձումը՝ ուժեղացվում: Դա էլ թույլ է տալիս քողարկել ինֆրակարմիր ճառագայթման ֆոնը: Խմբի կողմից կատարվել են գրաֆենային թաղանթների ու պերոովսկիտների վրա մինչև 17.6 ՄէՎ էներգիայով

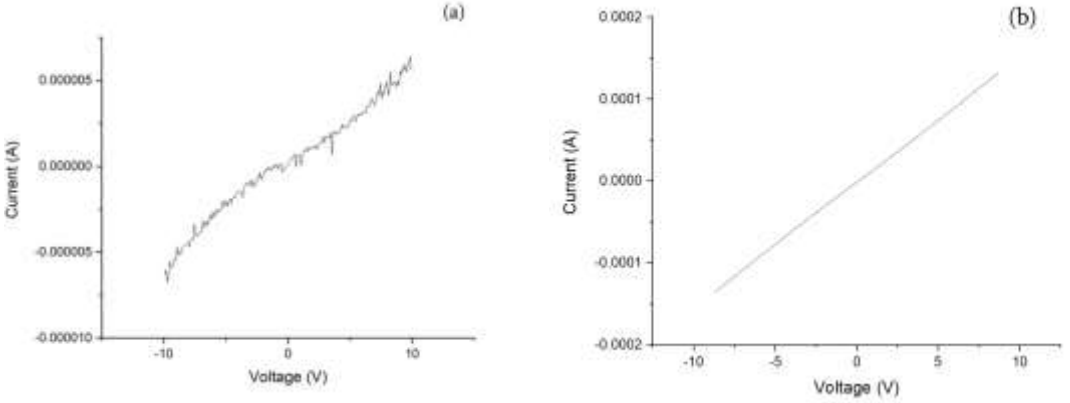
պրոտոնային փնջի ներգործությանն առնչվող հետազոտություններ: Չափվել և հետազոտվել են վերոհիշյալ նյութերի ռենտգենյան դիֆրակցիոն պատկերները, ռամանյան, Ֆուրյե ձևափոխմամբ ինֆրակարմիր և տեսանելի լույսի կլանման սպեկտրները: Ստացված թաղանթների օպտիկական կլանման սպեկտրները չափվել և վերլուծվել են ուլտրամանուշակագույն տիրույթից մինչև մոտ ինֆրակարմիր տիրույթում: Այս հետազոտությունները կատարվել են կերակրի աղի միաբյուրեղից պատրաստված հարթակի վրա, քանի որ այն թափանցիկ է նշված տիրույթում: Հայկական պետական մանկավարժական համալսարանի հետ կատարվել են գրաֆենային թաղանթների հետազոտություններ Horiba Xplora plus ռամանյան մանրադիտակային սպեկտրոմետրի միջոցով: Նկարագրված չափումների և սպեկտրալ անալիզի միջոցով բացահայտվել և քվանտային ֆիզիկայի տեսության շրջանակներում վերլուծվել են հիշյալ նանոնյութերին առնչվող մի շարք ֆիզիկական երևույթներ: Այդպիսի արդյունքներից են գրաֆենի օպտիկական հատկությունների վրա խառնորդային և ադսորբցված մոլեկուլների ներգործության բացահայտումը և այդ խառնորդներ ու ադսորբցված մոլեկուլների միջոցով գրաֆենի օպտիկական հատկությունների կառավարումը: LabView ծրագրային միջավայրում գրվել են ծրագրեր որոնց միջոցով և National Instruments-ի տվյալաչափական սարքի գործադրմամբ հետզոտվել են նանոկառուցվածքային և նանոթաղանթների Վոլտ-Ամպերային Բնութագրերը (ՎԱԲ) (Նկար 3):



Նկար 3. ՎԱԲ չափուների LabView պատուհանը:

Թաղանթների նկատմամբ ուղղահայաց էլեկտրական դաշտի կիրառմամբ հաջողվել է ստեղծել արգելված գոտի գրաֆենի գոտիական կառուցվածքում: Հաջողվել է էլեկտրական դաշտի և լեգիրման կիրառությամբ կառավարել վերջինիս հաղորդականությունը՝ փոփոխելով խոռոչայինից էլեկտրոնայինի: Նկ. 4 (a) -ում ներկայացված է շերտերի տուրբոստրատիկ դասավորվածությամբ չլեգիրացված

եռաշերտ գրաֆենի ՎԱԲ-ը: Այն ունի ոչ գծային տեսք, ինչը պայմանավորված է դաշտի ազդեցությամբ շարժունակ լցքակիրների կոնցենտրացիայի փոփոխությամբ:



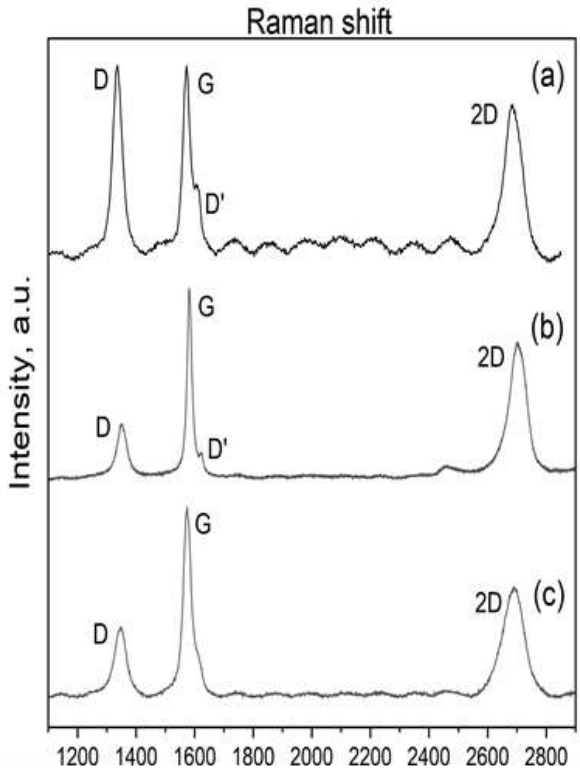
Նկար 4. Չլեգիրացված և լեգիրացված, շերտերի տուրբոստրատիկ դասավորվածությամբ գրաֆենի վոլտ-ամպերային բնութագրերը:

Լեգիրացման շնորհիվ հնարավոր է լինում բարձրացնել Ֆերմիի մակարդակի դիրքը գրաֆենի գոտիական կառուցվածքում, ինչի արդյունքում հաղորդականության գոտում առաջեն գալիս զբաղեցված վիչկներ: Այլ կերպ ասած ավելանում է հաղորդականության էլեկտրոններ քանակը, ուստի, էականորեն բարելավվում է թաղանթի հաղորդականությունը, և ՎԱԲ-ն ունենում է գծային տեսք (4b): 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: Մշակվել է տեխնոլոգիա, որի կիրառմամբ գրանցվում է միջավայրի և նմուշի ջերմաստիճանները և ըստ այդմ գրաֆենային թաղանթի վրա կիրառվում է համապատասխան լարում՝ կառավարելի լեգիրացմամբ ջերմային ճառագայթման ֆոնը կառավարելու նպատակով:

Կատարվել են գրաֆենային թաղանթների հետազոտություններ Horiba Xplora plus ռամանյան մանրադիտակային սպեկտրոմետրի միջոցով: Ստացված սպեկտորները (Նկար 5) հուշում են շերտերի տարբեր քանակներով և դասավորությամբ գրաֆենային թաղանթների առկայության մասին: Ավելին՝ sp^2 հիբրիդիզացիայի մակարդակը բնորոշող 2D պիկը պահպանում է իր սիմետրիկ՝ երկչափությանը բնորոշ տեսքը, ինչը մատնանշում է, այսպես կոչված, տուրբոստրատիկ գրաֆենի առկայությունը: Ռամանյան սպեկտրում առկա, բյուրեղացանցի դեֆեկտների մակարդակը բնորոշող D պիկի համեմատական փոքր ինտենսիվությունը (b, c) հուշում է որ ստացված տուրբոստրատիկ գրաֆենային թաղանթներում դեֆեկտների մակարդակը բավականաչափ փոքր է համանման մեթոդներով սինթեզված

գրաֆենային թաղանթների համեմատությամբ: Սակայն լեգիրացվածության մակարդակը բարձրացնելու դեպքում ավելանում է նաև դեֆեկտների D պիկի ինտենսիվությունը (a). Նմուշներից շատերի համար չափված ռամանյան սպեկտրները գրաֆենային թաղանթներին բնորոշ D, G և 2D պիկերից զատ պարունակում են նաև մեկ այլ փոքր պիկ (D'), որը տեղակայված է 1605 սմ$^{-1}$ տիրույթում:

Այս պիկը մատնանշում է սինթեզված գրաֆենային թաղանթների լեգիրացված լինելը: Չլեգիրացված նմուշների դեպքում (c) այս պիկը բացակայում է: Այն առավել մեծ ինտենսիվություն ունի այն նմուշների մոտ, որոնց լեգիրացվածության մակարդակը ավելի բարձր է (a):



Նկար 5. Տարբեր լեգիրացվածված (a, b) և չլեգիրացված (c) տուրբոստրատիկ գրաֆենի շերտերի ռամանյան ցրումների սպեկտրները:

Խումբը համագործակցում է ԱՄՆ Նոտեր Դամի համալսարանի, ֆրանսիական Լորիանի և Paris-Saclay համալսարանների հետ: Այս համագործակցությունների շրջանակում խմբի ղեկավարի կողմից ԱՄՆ Նոտեր Դամի համալսարանում իրականացվել են մի շարք հետազոտություններ և ձեռք բերվել կարևոր գիտական արդյունքներ, որոնք շուտով կուղարկվեն տպագրության: Հաշվետու ժամանակահատվածում խումբը համագործակցել է նախ ռուսական

Ֆիզիկոտեխնիկական համալսարանի հետ: Խումբը սերտորեն համագործակցում է Աշտարակի Ֆիզիկական Հետազոտությունների Ինստիտուտի և Խաչատուր Աբովյանի անվան հայկական պետական մանկավարժական համալսարանի որոշ գիտական խմբերի հետ:

Նանոկառուցվածքների և նանոնյութերի գիտական խումբը հաշվետու ժամանակահատվածում ամենշաբաթյա գրաֆիկով անցկացրել է գիտական սեմինարներ: Այդ սեմինարների արդյունքում քննարկվել են ընթացիկ գիտական արդյունքները, կատարվել է ինքնաանրադարձ վերլուծություն: Խմբի սեմինարներին ակտիվորեն ներգրավվել է ԱԱԳԼ կիրառական հետազոտությունների բաժանմունքի Օպտիկական սպեկտրոսկոպիայի գիտական խումբը, որի հետ համատեղ մշակվել և իրականացվել են անալիտիկ հետազոտությունների և սպեկտրալ վերլուծության աշխատանքներ: Նանոկառուցվածքների և նանոնյութերի խումբը 2022 թ. կազմակարպել և իրականացրել է երկու գիտական դպրոցներ (internship), որոնց արդյունքում ՀՀ տարբեր բուհերից մի խումբ ուսանողներ ներգրավվել են հետազոտական աշխատանքներում և ձեռք բերել համապատասխան մասնագիտական հմտություններ: Երկրորդ ծրագիրն այս պահին ընթացքի մեջ է:

Խումբը մասնակցել է առկա և հեռավար հետևյալ միջոցառումներին՝

1. **Ն. Բ. Մարգարյան**, Է. Մ. Ալեքսանյան, Է. Պ. Կոկանյան, “Ածխածնային տարբեր ալոտրոպների նանոթաղանթների մակերևութային պոտենցիալի հետազոտումը Կելվինի զոնդի մեթոդով”, 2022, Երևանի Հայբուսակ համալսարանի տարեկան գիտաժողով: **Բանավոր զեկուցում**:
2. **Narek Margaryan**, Eduard Aleksanyan, Edvard Kokanyan // Enhanced IR absorption of LPE graphene / 2022, 9th International Symposium on Optics & its applications (OPTICS-2022), 15/01/2022-19/01/2022, **Բանավոր զեկուցում**:
3. **Narek Margaryan**, Edvard Kokanyan, Eduard Aleksanyan “Tuned IR properties of LPE graphene”, 2022, International Conference on Quantum Magnetism and Statistical Mechanics of Lattice Models, 11.05.2022-15.05.2022. **Բանավոր զեկուցում**:
4. Narek Margaryan, Eduard Aleksanyan, **Naira Gasparyan**, Stela Galstyan “The influence of proton irradiation on I-V characteristics of LPE graphene”, 2022, The XXVI International Scientific Conference of Young Scientists and Specialists, 24.10.2022-28.10.2022, Dubna, Russia. **Բանավոր զեկուցում**:
5. Edvard Kokanyan, Narek Margaryan, Eduard Aleksanyan, **Stela Galstyan**, Naira Gasparyan, “Preparation and study of Graphene/LN heterojunction for sensorial

application”, 2022, The XXVI International Scientific Conference of Young Scientists and Specialists, 24.10.2022-28.10.2022, Dubna, Russia. **Բանավոր զեկուցում**:

6. **Badalyan Anush**, Harutyunyan Vachagan, Aleksanyan Eduard, Arshakyan Arevik, Grigoryan Norik, Margaryan Narek, Manukyan Andranik, Matevosyan Lernik, Zakaryan Marieta, “Proton Beam Irradiation of CsPbBr3 Lead Halide Perovskites”, 2022, The XXVI International Scientific Conference of Young Scientists and Specialists, 24.10.2022-28.10.2022, Dubna, Russia. Պոստեր:

Հոդվածների ցանկ

Ձեռք բերված արդյունքները մշակվել են և նոր պետք է ուղարկվեն տպագրության.

1. Ն.Բ. Մարգարյան, Է. Մ. Ալեքսանյան, Է. Պ. Կոկանյան, Ածխածնային տարբեր ալոտրոպների նանոթաղանթների մակրևույթային պոտենցիալի հետազոտումը Կելվինի զոնդի մեթոդով:/ Երևանի Հայբուսակ համալսարանի գիտամեթոդական հանդես, Բժշկագիտություն և բնական գիտություններ:, 2022, 1, 88-93.
2. Ani Aprahamian, Amur Margaryan, et al. Advanced Radio Frequency Timing AppaRATus (ARARAT) Technique and Applications. DOI: 10.48550/arXiv.2211.16091.

Հետազոտությունների մեթոդիկայի մշակում և միջուկային ռեակցիաների ուսումնասիրություն ցիկլոտրոնի և գծային արագացուցչի՝ ԼՈՒԷ-75-ի վրա

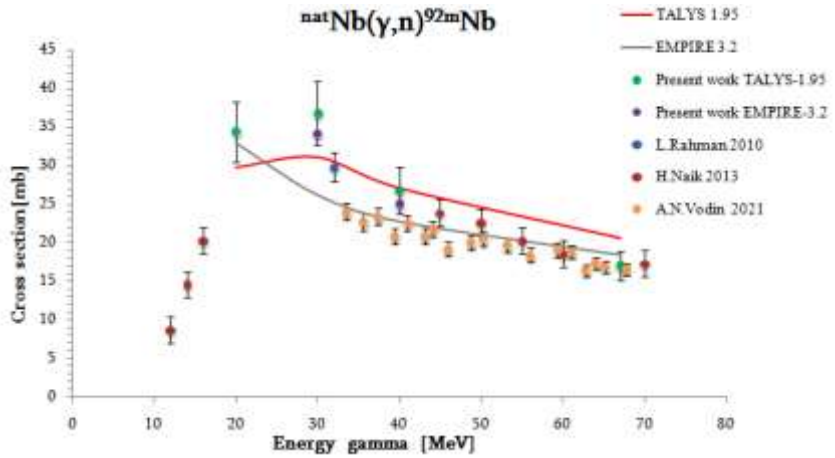
Ղեկավար՝ ֆիզ.մաթ.գիտ.թեկնածու Արմեն Գյուրջինյան

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

2022 թ. խումբը շարունակել է կատարել գիտափորձեր LINAC-75 էլեկտրոնային գծային արագացուցչի արգելակման ֆոտոնային և ցիկլոտրոն C18/18-ի պրոտոնային փնջերի օգտագործմամբ՝ կիրառելով ակտիվացիոն անալիզի մեթոդը: Ճառագայթված թիրախների ակտիվությունը չափվել է CANBERRA HPGe դետեկտորով, համալրված GENIE 2000 ծրագրով: Նախօրոք չափվել է CANBERRA HPGe դետեկտորի էֆեկտիվությունը դետեկտորի և աղբյուրի միջև տարբեր հեռավորությունների համար՝ 0 – 25 սմ տիրույթում:

Էլեկտրոնների 20 ՄէՎ և 70 ՄէՎ էներգիաների փնջերով ճառագայթվել են բնական նիոբիումի և տանտալի թիրախների փաթեթներ, որոնք կազմված են եղել ուսումնասիրվող փայլաթիթեղներից, ինչպես նաև պղնձե փայլաթիթեղից՝ որպես

գամմաների մոնիտոր: Ճառագայթումը տևել է 2 ժամ, միջին հոսանքը կազմել է 0.4 մկԱ: Նիոբիումի ^{92m}Nb, ^{90g}Nb, և ^{89m}Nb իզոտոպների համար ստացվել են ֆոտոնների փնջով միջինացված կտրվածքների վերաբերյալ տվյալներ, որոնք լրացնում են նախկինում ստացված մեր արդյունքները 30 ՄէՎ և 40 ՄէՎ էներգիաների համար: Կատարվել են տեսական հաշվարկներ GEANT4 ծրագրային փաթեթով ֆոտոնների սպեկտրը ստանալու համար, նաև TALYS 1.95 և EMPIRE 3.2 միջուկային կոդերով միջին կտրվածքը որոշելու համար: Ստացված արդյունքները համեմատվել են առկա փորձարարական տվյալների հետ: Նկար 1-ում բերված են ^{92m}Nb իզոտոպի համար մեր կողմից ստացված տեսական և փորձարարական տվյալները՝ գրականությունում առկա տվյալների հետ համատեղ: Ինչպես երևում է Նկար 1-ից, սխալների սահմաններում մեր տվյալները համընկնում են ինչպես տեսական, այնպես էլ այլ հեղինակների տվյալների հետ:



Նկար 1. ^{92m}Nb իզոտոպի համար TALYS 1.95 և EMPIRE 3.2 միջուկային կոդերի միջոցով հաշված միջին կտրվածքների համեմատությունը փորձարարական տվյալների հետ:

Տանտալի թիրախի ճառագայթման գիտափորձի հիմնական նպատակը բնության մեջ քիչ տարածվածություն ունեցող (0.012 %) և երկար ապրող (10^{15} տարի) ^{180m}Ta առաջացման կտրվածքի գնահատումն էր: Առաջարկվել է նոր մեթոդ ^{180m}Ta առաջացման կտրվածքի գնահատման համար, հիմնված GEANT4 ծրագրային փաթեթով կատարած հաշվարկի վրա: Գնահատվել է իզոմեր հարաբերությունը՝ ^{180m,g}Ta իզոմեր զույգի համար: Ստացված արդյունքները բերված են Աղյուսակ 1-ում:

Աղյուսակ 1. Տանտալի իզոտոպների համար միջին կտրվածքները և իզոմեր հարաբերությունը:

^{nat}Ta+γ	Flux-weighted average cross section (mb)			
	Theoretical results		Experimental results	
	TALYS 1.96	EMPIRE 3.2		
^{180g}Ta	143.87	137.27	135.61±15.49	
^{180m}Ta	11.31	12.22	R.Bergere	GEANT4
			8.18±0.93	9.12±1.04
^{180tot}Ta	155.18	149.49	143.79±3.62	144.73±16.52
ICR	0.07	0.08	0.05±0.0085	0.06±0.0095

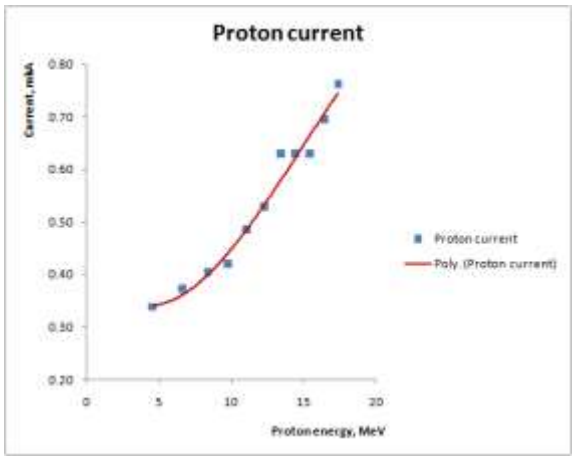
Ինչպես երևում է Աղյուսակ 1-ից, ստացած արդյունքները սխալների սահմաններում համընկնում են տեսական հաշվարկների հետ:

Շարունակվում են փորձարարական տվյալների մշակումները տանտալի մյուս իզոտոպների համար:

Շարունակվել են ցիկլոտրոն C18/18-ի վրա գիտափորձերը՝ պրոտոն հարուցված ռեակցիաների գրգռման ֆունկցիաների չափման նպատակով, օգտագործելով փաթեթ-թիրախի ակտիվացման մեթոդը: SRIM/TRIM ծրագրային փաթեթի միջոցով կատարվել է Մոնտե-Կարլո հաշվարկ թիրախների ամբողջ փաթեթի և բաղադրիչ փայլաթիթեղների հաստությունը, ինչպես նաև յուրաքանչյուր թիթեղում պրոտոնների միջին էներգիան որոշելու նպատակով:

Ճառագայթվել է բնական գադոլինիումը ^{nat}Gd բժշկության մեջ հետաքրքրություն ներկայացնող ^{152}Tb, ^{155}Tb, և ^{161}Tb իզոտոպների ստացումն ուսումնասիրելու համար: Այդ նպատակով հավաքվել է թիրախների փաթեթ, կազմված 11 եռյակից: Փաթեթը բաղկացած է՝ Gd – ուսումնասիրվող թիրախ, Cu – պրոտոնների փնջի մոնիտոր, Al – դանդաղեցուցիչ: Ճառագայթումը կատարվել է 18 ՄէՎ էներգիայի պրոտոնային փնջով, 1 մկԱ հոսանքով, 10 րոպե տևողությամբ: Ճառագայթված Gd և Cu թիրախները չափվել են, այժմ կատարվում է տվյալների մշակում:

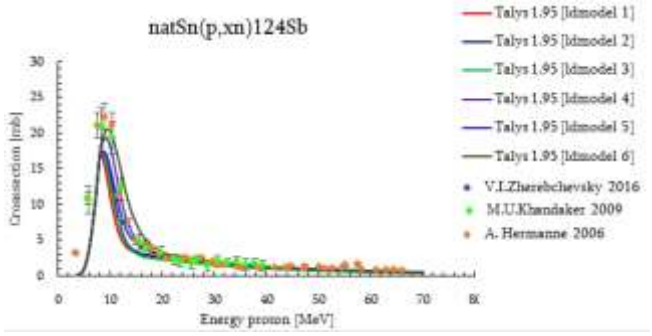
Նկար 2-ում բերված է պրոտոնների հոսանքի նվազումը՝ փաթեթի միջով անցնելիս:



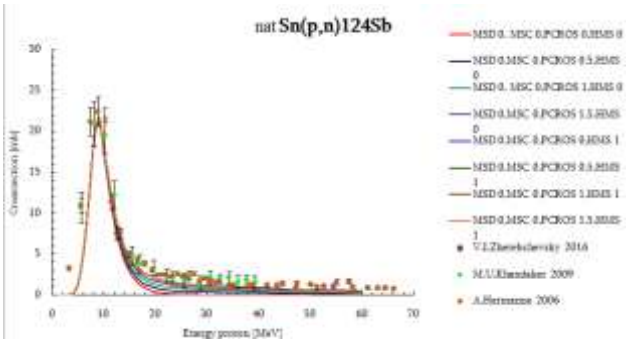
Նկար 2. Պրոտոնների հոսանքի նվազումը փաթեթի միջով անցնելիս:

Նախատեսվում է կատարել բնական անագի (^{nat}Sn) վրա գրգռման ֆունկցիաների ուսումնասիրությունը C18/18 ցիկլոտրոնի դուրս բերված պրոտոնային փնջի օգտագործմամբ: Միջուկային ռեակցիաների ելքում ստացված ծարիրի (Sb-stibium) որոշ ռադիոնուկլիդներ (օր՝ ^{122}Sb, ^{124}Sb) ունեն այնպիսի տրոհման պարամետրեր, որոնց շնորհիվ դրանք կարելի է միջուկային բժշկության մեջ օգտագործել որպես ուղեկցող նյութեր: Քանի որ անագը հանդիսանում է համաձուլվածքների կարևոր բաղադրիչ, ապա դրա կոռոզիայի, էռոզիայի և մաշվածության վարքագծերը կարելի է ուսումնասիրել ծարիրի իզոտոպների հետազոտությամբ:

^{nat}Sn(p,xn) ռեակցիաների համար կատարվել են կտրվածքների և իզոմեր հարաբերությունների տեսական հաշվարկներ TALYS 1.95 և EMPIRE 3.2 կոդերի տարբեր մոդելների միջոցով: Գրականության մեջ առկա աշխատանքների հետ համեմատության նպատակով հաշվարկները կատարվել են բոլոր հնարավոր ռեակցիաների համապատասխան շեմից մինչև 70 ՄէՎ տիրույթում: Բժշկական տեսակետից հետաքրքրություն ներկայացնող ^{124}Sb ռադիոիզոտոպի համար հաշվարկները և դրանց համեմատությունները տպագրված աշխատանքների հետ բերված են Նկար 3-ում:



ա)

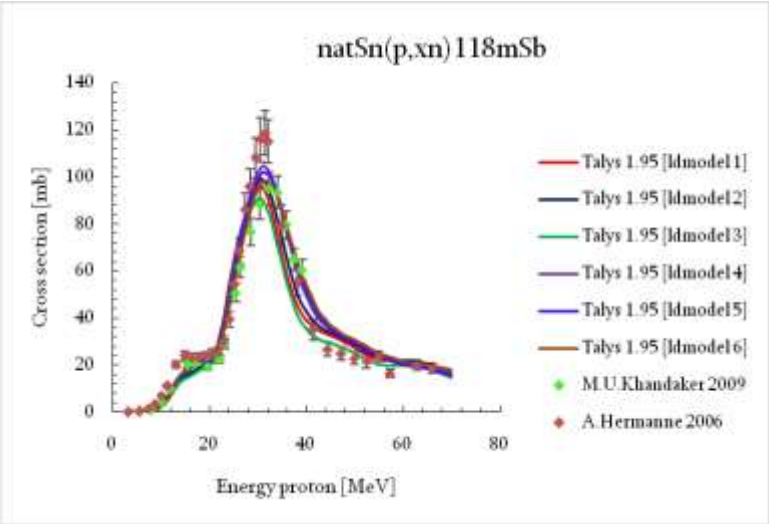


բ)

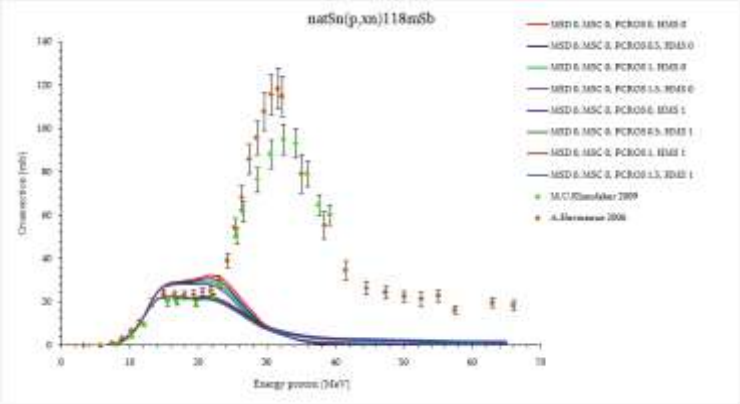
Նկար 3. $^{nat}Sn(p,n)^{124,}Sb$ ռեակցիաների համար գրգռման ֆունկցիաների և փորձարարական տվյալների համեմատումը տարբեր մոդելներով տեսական հաշվարկների հետ՝ ա) TALYS 1.95; բ) EMPIRE 3.2:

Նկար 3-ից երևում է, որ TALYS 1.95 և EMPIRE 3.2 կոդերի բոլոր մոդելները նկարագրում են փորձարարական տվյալները:

Նկար 4-ում բերված են $^{nat}Sn(p,xn)^{118m}Sb$ ռեակցիայի համար գրգռման ֆունկցիաների և փորձարարական տվյալների համեմատումը՝ TALYS 1.95 և EMPIRE 3.2 ծրագրային փաթեթների տարբեր մոդելներով տեսական հաշվարկների հետ:



ա)



բ)

Նկար 4. $^{nat}Sn(p,xn)^{118m}Sb$ ռեակցիայի համար գրգռման ֆունկցիաների և փորձարարական տվյալների համեմատումը տարբեր մոդելներով տեսական հաշվարկների հետ՝ ա) TALYS 1.95; բ) EMPIRE 3.2:

Նկար 4-ից երևում է, որ տեսական երկու մոդելն էլ բավականին լավ են կանխագուշակում փորձարարական տվյալները ցածր էներգիաների տիրույթում, երբ տեղի է ունենում մեկ նեյտրոնի էմիսիա և ռեակցիան կատարվում է մեկ իզոտոպի վրա: Էներգիան աճելիս TALYS 1.95 կոդը կանխագուշակում է գրգռման ֆունկցիայի աճը, մինչդեռ EMPIRE 3.2 կոդի ոչ մի մոդելում այդ աճը չի դրսևորվում: Սա վկայում է այն մասին, որ տեսական մոդելների զարգացման համար անհրաժեշտ է ընդլայնել փորձարարական տվյալների շտեմարանը:

Օգտագործված գրականություն

1. A.Koning, S.Hilaire, S.Goriely. ‘TALYS 1.9. A nuclear reaction program. 2017.
2. M. Herman, R. Capote, M. Sin, A. Trkov et al., “EMPIRE-3.2 Malta modular system for nuclear reaction calculations and nuclear data evaluation”, 2013.
3. GEANT4: A Simulation Toolkit. https://geant4.web.cern.ch/. Accessed March 5, 2019.
4. J. F. Ziegler, J. P. Biersack, M. D. Ziegler, “The Stopping and Range of Ions in Solids", www.SRIM.org.
5. H. Naik, G. N. Kim, R. Schwengner, K. Kim, M. Zaman, M. Tatari, M. Sahid, S. C. Yang, R. John, R. Massarczyk, A. Junghans, S. G. Shin, Y. Key, A.Wagner, M.W. Lee, A. Goswami, and M.-H. Cho, Nucl. Phys. A 916, 168, 2013.
6. A. K. Md. L. Rahman, K. Kato, H. Arima, N. Shigyo, K. Ishibashi, S. Hori, and K. Nakajima, Journal of Nuclear Science and Technology, Vol 47, p. 618, 2010.
7. A. N. Vodin1, O. S. Deiev, V. Yu. Korda2, I. S. Timchenko, S. N. Olejnik, et al. Nuclear Physics A Vol. 1014, October 2021, 122248
8. RR.Bergère,H.Beil and A.Veyssière, Nuclear Physics A121 (1968) 463-480.B
9. M.U. Khandaker, K. Kim, K.S. Kim, M. Lee, Y.S. Lee, G. Kim, Y.S. Cho, Y.O. Lee. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B 267 (2009) 23–31. B
10. A. Hermanne, F. Ta´rka´nyi, F. Ditro´ i, S. Taka´cs, R. Adam Rebeles, M.S. Uddin et al. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B 247 (2006) 180–191.
11. V.I.Zherebchevsky,I.E. Alekseev, K.A.Gridnev, E.B.Krymov,T.V.Lazareva et al.e J. IZV, 80, 975, 2016.

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

Խմբի անդամները ընդգրկված են եղել միջազգային վերապատրաստման ծրագրերում: Մասնավորապես՝

Անուշ Պետրոսյան – University of Basque Country, Բիլբաո, Իսպանիա, 2 շաբաթ,

Ռոզա Ավետիսյան – Բիրմինգհամի համալսարան, Մեծ Բրիտանիա, 1 ամիս:

Տպագրված աշխատանքներ

1. G. H. Hovhannisyan, T. M. Bakhshiyan, A. R. Balabekyan, I. A. Kerobyan, “Production of ^{47}Sc in photonuclear reactions on ^{nat}Ti targets at the bremsstrahlung endpoint energy of 30 and 40 MeV”, Applied Radiation and Isotopes 182 (2022) 110138 pp. 1-4.

The results are included in **Experimental Nuclear Reaction Data (EXFOR) Database**. https://www-nds.iaea.org/exfor/servlet/X4sSearch5?Accnum=M1035&chkAccnum=1&sort=entry

2. A.S. Hakobyan, H. H. Marukyan, I. A. Kerobyan, H. R. Gulkanyan, L. A. Poghosyan, V. S. Pogosov, H. T. Torosyan, A. Z. Babayan, L. R. Vahradyan, A. R. Balabekyan, G. H. Hovhannisyan, R. K. Dallakyan, and K. Katovsky, "Investigations at the LUE-75 Linear Accelerator Facility of A.I. Alikhanyan National Science Laboratory", J. Contemp. Phys. (Armenian Academy of Sciences) 2022, Vol. 57, № 3, pp. 209–217

Ուղարկված է տպագրության

1. R.V. Avetisyan, A. G. Barseghyan, Yu. A. Gharibyan, A. V. Gyurjinyan, I. A. Kerobyan, H. A. Mkrtchyan, A. Yu. Petrosyan "Evaluation of the ^{180m}Ta formation in photoneutron reaction", Submitted to Proceedings of the Japan Academy, Series B.
2. R.V. Avetisyan, A.G. Barseghyan, Yu.A. Gharibyan, A.V. Gyurjinyan, I.A. Kerobyan, H.A. Mkrtchyan, A.Yu. Petrosyan "Investigation of proton-induced excitation functions on natural tungsten up to 18 MeV" Submitted to Nuclear Inst. and Methods in Physics Research, B.
3. R. V. Avetisyan, A. G. Barseghyan, Yu. A. Gharibyan, A. V. Gyurjinyan, I. A. Kerobyan, H. A. Mkrtchyan, A. Yu. Petrosyan "Production of ^{186g}Re medical radioisotope by proton and photon induced reactions" Submitted to Applied Radiation and Isotopes.
4. H.A. Mkrtchyan "Theoretical investigations of excitation functions in proton-induced reactions on natural gadolinium up to 70 MeV" Submitted to J. Contemp. Phys. (Armenian Academy of Sciences).

Ցածր ֆոնային լաբորատորիայում կատարված ուսումնասիրություններ

Ղեկավար՝ Լևոն Պողոսյան

Կատարողներ՝ Հ. Գուլքանյան, Վ. Պողոսով, Տ. Քոթանջյան, Ս. Ամիրխանյան, Ա. Ալեքսանյան, Օ. Պողոսովա

1. ԱԱԳԼ-ի գծային էլեկտրոնային արագացուցչի վրա $\hat{E}_e$ = 30 ՄէՎ միջին էներգիայի դեպքում առաջին անգամ շեմամերձ տիրույթում հետազոտվել է արգելակման ճառագայթման ֆոտոններով հարուցված ^{209}Bi(γ, 4n)^{205}Bi ռեակցիան (շեմային էներգիան՝ E_γ^{th} = 29.5 ՄէՎ): Չափվել է այդ պրոցեսի՝ ֆոտոնների սպեկտրով միջինացված կտրվածքը՝ <σ> = (1.95±0.22) մբ, ինչը մեկ կարգով գերազանցում է TALYS1.9 մոդելի կանխատեսած արժեքը: Նման տարաձայնությունը կարող է

պայմանավորված լինել այն բանով, որ մոդելում նախատեսված չէ կոռելացված (ռեզոնանսային) նեյտրոնային համակարգերի առաջացման հնարավորությունը, ինչի վերաբերյալ վերջերս ստացվել են հավաստի տվյալներ՝ 2.4 ՄէՎ ռեզոնանսային էներգիայի դեպքում (M. Duer et al., Nature 606 (2022) 678): Ըստ երևույթին, մեր դիտարկած քառանեյտրոն համակարգի շեմամերձ առաջացումը կարող է հանդիսանալ անուղղակի վկայություն վերջինիս ռեզոնանսային բնույթի վերաբերյալ: Գիտափորձի արդյունքներն ընդունվել են հրատարակման՝ А. Ю. Алексанян и др., “Поиск тетранейтрона в реакции фоторасщепления ядра висмута”, accepted for publication in the Journal of Contemporary Physics (Armenian Academy of Sciences).

2. Շարունակվել է ԱԱԳԼ-ի էլեկտրոնային գծային արագացուցչի վրա 21.5 , 28, 30, 35 և 55 ՄէՎ սահմանային էներգիաներով արգելակման ֆոտոնների փնջերով ճառագայթված տարբեր թիրախների, ինչպես նաև Ամուլսարի մերձակայքից վերցված հողի նմուշների գամմա-սպեկտրաչափական վերլուծությունը: E_e = 28 ՄէՎ-ի դեպքում ճառագայթված հողի նմուշի վերլուծության արդյունքում չափվել են Աղյուսակ 1-ի երկրորդ սյունյակում ներկայացված (γ,n) տիպի ռեակցիաների ելքերը, որոնց հիման վրա գնահատվել են հետազոտվող իզոտոպների (^{238}U, ^{140}Ce, ^{133}Cs, ^{86}Sr, ^{75}As, ^{48}Ca) և համապատասխան տարրերի (U, Ce, Cs, Sr, As, Ca) տարածվածությունները (Աղյուսակ 1-ի չորրորդ սյունյակ): Վերջինները համեմատվել են առկա տարբեր չափումների արդյունքների հետ (Աղյուսակ 1-ի երրորդ սյունյակ), որոնք վերցված են հետևյալ աղբյուրից՝ https://en.wikipedia.org : «The abundance of elements in Earth’s crust»:

   Ինչպես հետևում է Աղյուսակ 1-ից, մեր չափումների արդյունքները ցեզիումի և ստրոնցիումի համար համադրելի են առկա տվյալների հետ, ուրանի և ցերիումի համար՝ 2÷3 անգամ ավելի ցածր, իսկ արսենի (մկնդեղի) համար՝ 3÷5 անգամ ավելի բարձր: Հողի նմուշներում այլ տարրերի (Mn, Co, Ni, Zn, Mo, Au, Cd, Sb, Hg և այլն) տարածվածությունը որոշելու համար նախատեսվում է ստանալ անհրաժեշտ տվյալներ այդ թիրախների վրա (γ, n) ռեակցիայի կտրվածքի վերաբերյալ: Այդ աշխատանքներն ընթացքում են:

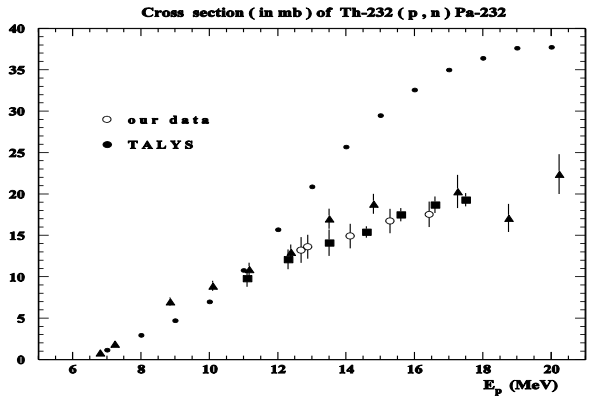
Աղյուսակ 1. Հետազոտված հողի նմուշում տարրերի տարածվածությունը՝ համեմատած առկա տվյալների հետ:

Տարր	(γ,n) ռեակցիան	Տարրի տարածվածությունն ըստ զանգվածի (ըստ առկա տվյալների) %	Տարրի տարածվածությունը հետազոտված հողի նմուշում՝ ըստ զանգվածի %

U	$^{238}U(\gamma,n)^{237}U$	(1.8÷2.7) E-4	(0.78±0.27) E-4
Ce	$^{140}Ce(\gamma,n)^{139}Ce$	(6.0÷6.8) E-3	(2.09±0.19) E-3
Cs	$^{133}Cs(\gamma,n)^{132}Cs$	(1.9÷3.0) E-4	(2.16±0.23) E-4
Sr	$^{86}Sr(\gamma,n)^{85}Sr$	(3.6÷3.7) E-2	(4.04±0.47) E-2
As	$^{75}As(\gamma,n)^{74}As$	(1.5÷2.1) E-4	(7.31±0.70) E-4
Ca	$^{48}Ca(\gamma,n)^{47}Ca$	3.63÷5.00	2.52±0.23

3. Շարունակվել է C-18 ցիկլոտրոնի վրա 17.5 ՄէՎ սկզբնական էներգիայով պրոտոնների փնջերով ճառագայթված տարբեր թիրախների (այդ թվում՝ ոսկու, թորիումի և ուրանի թիրախների) գամմա-ակտիվության վերլուծությունը և չափման տվյալների մշակումը:

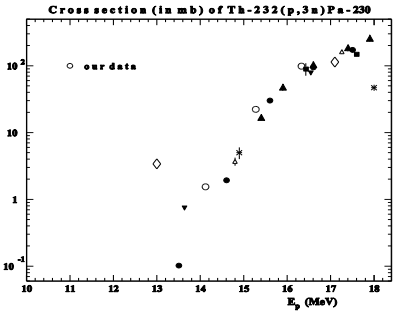
ա) Պրոտոնի հինգ էներգետիկական տիրույթներում (< E_p > = 12.7, 12.9, 14.1, 15.3, 16.4 ՄէՎ) չափվել է $^{232}Th(p,n)^{232}Pa$ ռեակցիայի կտրվածքը (Նկար 1): Մեր չափման արդյունքներն ապահովում են տվյալների շտեմարանի որոշակի ճշգրտում՝ նկատի առնելով գոյություն ունեցող տվյալներում առկա տարաձայնությունները:



Նկար 1. $^{232}Th(p,n)^{232}Pa$ ռեակցիայի կտրվածքի կախումը E_p–ից: Շրջանագծերով պատկերված են մեր տվյալները, քառանկյունիներով՝ [1], եռանկյունիներով՝ [2] տվյալները: Սև շրջաններով պատկերված է TALYS մոդելի կանխագուշակումը:

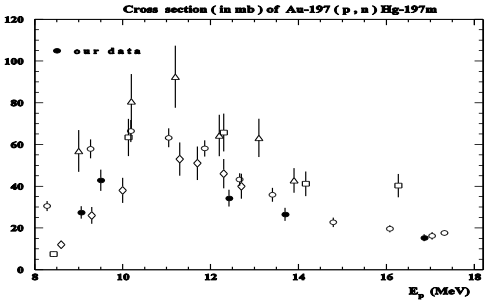
Նկար 1-ից նաև հետևում է, որ TALYS մոդելի կանխագուշակումները խիստ հակասում են փորձարարական տվյալներին:

բ) Պրոտոնի երեք էներգետիկական տիրույթներում (< E_p > = 14.1, 15.3, 16.4 ՄէՎ) չափվել է $^{232}Th(p,3n)^{230}Pa$ ռեակցիայի կտրվածքը (Նկար 2): Մեր չափման արդյունքներն ապահովում են տվյալների շտեմարանի որոշակի ճշգրտում:



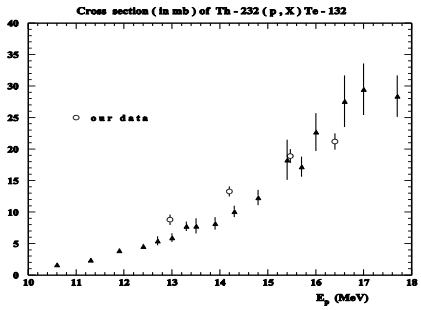
Նկար 2. $^{232}Th(p,3n)^{230}Pa$ ռեակցիայի կտրվածքի կախումը E_p–ից: Մեր տվյալները՝ o, [1]՝ ●, [2]՝ Δ, [3]՝ ▼, [4]՝ ▲ , [5]՝ ■ , [6]՝ ◊ , [7]՝ ✶:

գ) Ստացվել են նոր տվյալներ $^{197}Au(p,n)^{197m}Hg$ ռեակցիայի կտրվածքի վերաբերյալ՝ պրոտոնների E_p = 9.1, 9.6, 12.4, 13.7 և 16.9 ՄէՎ էներգիաների դեպքում (տես Նկար 3): Մեր չափման արդյունքներն այստեղ ևս ապահովում են տվյալների շտեմարանի որոշակի ճշգրտում՝ նկատի առնելով գոյություն ունեցող տվյալներում առկա տարաձայնությունները: Վերջիններին լուծում տալու համար անհրաժեշտ են լրացուցիչ ուսումնասիրություններ:



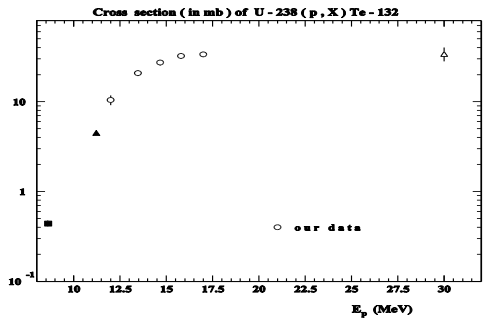
Նկար 3. $^{197}Au(p,n)^{197m}Hg$ ռեակցիայի կտրվածքը՝ համեմատած E_p = 8÷18 ՄէՎ էներգիաների տիրույթում առկա տվյալների հետ: Մեր տվյալները՝ ●, [8]՝ o, [9]՝ □, [10]՝ Δ, [11]՝ ◊:

դ) Ստացվել են տվյալներ թորիումի միջուկի՝ պրոտոններով հարուցված ճեղքման որոշ կանալների կտրվածքների վերաբերյալ: Որպես օրինակ, Նկար 3-ում բերված են $^{232}Th(p,X)^{132}Te$ ճեղքման ռեակցիայում թելուր-132 ռադիոիզոտոպի առաջացման կումուլյատիվ կտրվածքի վերաբերյալ մեր ստացած արդյունքները: Վերջիններս E_p > 15 ՄէՎ տիրույթում համադրելի են առկա տվյալների [4] հետ՝ օժտված լինելով, սակայն, ավելի փոքր սխալներով, իսկ E_p < 15 ՄէՎ տիրույթում ավելի բարձր են, քան [4]-ում չափված կտրվածքները:



Նկար 4. $^{232}Th(p,f)^{132}Te$ ռեակցիայի կտրվածքի կախումը E_p–ից: Շրջանագծերով պատկերված են մեր տվյալները, եռանկյունիներով՝ [4] տվյալները:

ե) Ընթացքի մեջ է ճառագայթված ուրանի թիրախների սպեկտրալ վերլուծությունը: Ստացվել են տվյալներ ուրանի միջուկի՝ պրոտոններով հարուցված ճեղքման որոշ կանալների կտրվածքների վերաբերյալ: Որպես օրինակ, Նկար 5-ում բերված են $^{238}U(p,X)^{132}Te$ ճեղքման ռեակցիայում թելուր-132 ռադիոիզոտոպի առաջացման կումուլյատիվ կտրվածքի վերաբերյալ մեր ստացած արդյունքները՝ համեմատած առկա տվյալների հետ: Ինչպես երևում է Նկար 5-ից, մեր ստացած կտրվածքները զգալիորեն լրացնում են տվյալների բացը E_p < 30 ՄէՎ էներգետիկական տիրույթում:



Նկար 5. $^{238}U(p,f)^{132}Te$ ճեղքման ռեակցիայի կումուլյատիվ կտրվածքը՝ համեմատած առկա տվյալների հետ: Մեր տվյալները՝ o , [12]՝ ■, [13]՝ ▲, [11]՝ Δ:

Օգտագործված գրականության ցանկ

[1] A. Roshchin et al., Physics of Atomic Nuclei 60 (1997) 1943.
[2] A. Celler et al., Phys. Ser. 24 (1981) 930.
[3] G.F.Steyn et al., Applied Radiation and Isotopes Vol.168, p.109514 (2021).
[4] H. Kudo et al., Phys. Rev. C 25 (1982) 3011.
[5] A.Morgenstern et al., Applied Radiation and Isotopes,Vol.66, p.1275 (2008).
[6] J.R.Griswold et al., Phys. Rev. C 98 (2018) 044607.
[7] H.A.Tewes, Physical Review Vol.98, p.25 (1955).
[8] J. Cervenak and G. Lebeda, Nucl. Instr. Methods B478 (2020) 85.
[9] B. Satheesh et al., Int. Journal of Modern Physics. Part E, Vol. 21 (2012) 1250059.
[10] E.K. Elmaghraby et al., Applied radiation and Isotopes, Vol. 60, p. 1694 (2010).
[11] L.F. Hansen et al., Nucl. Phys. 30 (1962) 389.
[12] A.Yokoyama et al., Zeitschrift fuer Physik A, Hadrons and Nuclei Vol.356 (1996) 55.
[13] G.R.Choppin, Abdel-Halim T.Kandil, Journal of Inorganic and Nuclear Chemistry 33 (1971) 897.
[14] M.Diksic, D.K.Mcmillan, L.Yaffe, Journal of Inorganic and Nuclear Chemistry 36 (1974) 7.

Հրատարակված և հրատարակման ընդունված հոդվածների ցանկ

1. A.Y. Aleksanyan et al., “Study of ^{7}Be formation from oxygen nuclei by bremsstrahlung photons at E_{γ}^{max} = 40 и 70 MeV”, Journal of Contemporary Physics (Armenian Academy of Sciences), 2022, Vol. 57, No. 2, pp. 112–122.
2. A.Y. Aleksanyan et al., “Searching for tetraneutron in bismuth nucleus photodisintegration reaction”, accepted for publication in the Journal of Contemporary Physics (Armenian Academy of Sciences), accepted for publication.
3. A.S. Hakobyan et al., "Investigations at the LUE –75 Linear Accelerator Facility of A.I. Alikhanyan National Science Laboratory", Journal of Contemporary Physics (Armenian Academy of Sciences), 2022, Vol. 57, No. 3, pp. 311-323.
4. A.R. Balabekyan et al., “Investigation of photonuclear reactions on isotopes ^{51}V, ^{115}In and ^{207}Pb at photon energy $E_{\gamma max}$= 20–70 MeV”, Radiation Physics and Cemistry, Vol. 204, March 2023, 110651.
5. М.А. Агинян и др. “Газовый потокомер на основе вибрирующих струн” Известия НАН Армении, Физика, 2022, том 57, No. 1, стр 30-43.

Չերենկովյան դիտակների օգնությամբ աստղաֆիզիկական աղբյուրների ուսումնասիրումը (HESS և CTA)

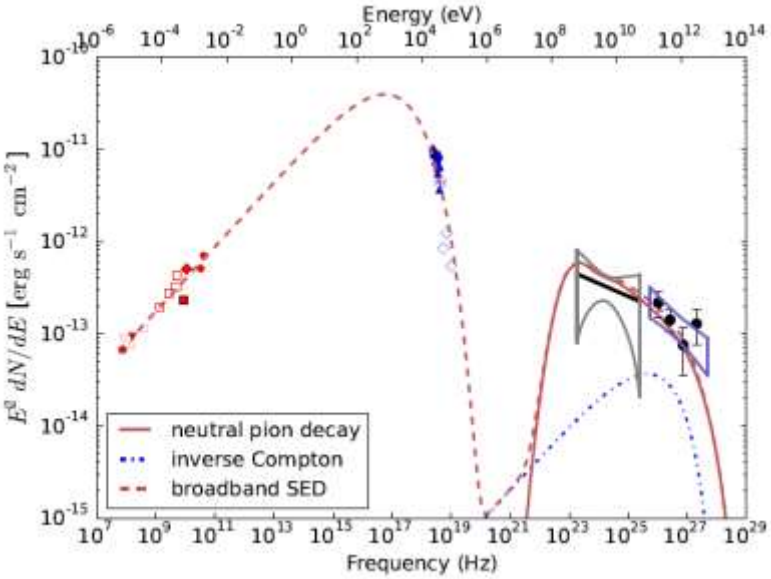
Ղեկավար՝ ֆիզ.մաթ.գիտ.թեկնածու Վ. Սահակյան
Կատարող՝ Գ. Պապյան, Մ. Ժամկոչյան

Ա.Ի.Ալիխանյանի անվան ազգային գիտական լաբորատորիայի (Երևանի ֆիզիկայի ինստիտուտ) Փորձարարական ֆիզիկայի բաժանմունքի Չերենկովյան դիտակների օգնությամբ աստղաֆիզիկական աղբյուրների ուսումնասիրման (HESS և CTA) խումբը 2022 թ. ընթացքում շարունակել է հետազոտությունները շատ բարձր էներգիաների (ՇԲԷ, մի քանի տասնյակ ԳէՎ-ից մինչև մի քանի հարյուր ՏէՎ տիրույթ) գամմա-ճառագայթների աստղաֆիզիկայի բնագավառում: Մասնավորապես, խումբը մասնակցել է H.E.S.S. (High Energy Stereoscopic System) համագործակցության աշխատանքներին և շարունակել է հետազոտել մինչև 100 ԳէՎ էներգետիկ տիրույթում Պատկերային մթնոլորտային չերենկովյան դիտակների (ՊՄՉԴ) կողմից գրանցվող փորձարարական տվյալների մաթեմատիկական վերլուծության նոր՝ ավելի արդյունավետ եղանակներ կամ չերենկովյան պատկերը նկարագրող պարամետրեր մշակելու հնարավորությունները: Վերջինս իրականացվել է Cherenkov Telescope Array (CTA) համագործակցության Large Size Telescope (LST, տրամագիծ՝ 23 մ, տեղակայման բարձրություն՝ 2200 մ ծովի մակարդակից բարձր) դիտակի համար մոդելավորված տվյալների բանկի վրա:

H.E.S.S. համագործակցության շրջանակներում, մասնավորապես՝

- ՇԲԷ գամմա ճառագայթների հոսք է գրանցվել Կեպլեր գերնոր աստղի մնացորդից [1]: Դիտումների ընդհանուր ժամանակահատվածը կազմել է 152.2 ժամ և գամմա ազգանշանն առանձնացվել է 4.6σ հուսալիությամբ: Դիտման 122 ժամը վերաբերում է 2017-2020 թթ., իսկ մնացածը՝ 2004-2013 թթ.: Փորձարարական տվյալների մշակման ժամանակ օգտագործվել են H.E.S.S. համակարգի 12 մ տրամագիծ ունեցող չորս դիտակների համակարգի տվյալները՝ ստերեոսկոպիկ ռեժիմով՝ առնվազն երեք ՊՄՉԴ-ների մասնակցությամբ: Մշակման ընթացքում առանձնացվել են 1524 գամմա-դեպք՝ աղբյուրի տիրույթից և 23667 գամմա-դեպք՝ աղբյուրի շրջակա ֆոնից: Եթե հաշվի առնենք, որ աղբյուրի ուղղությամբ (On-source) և աղբյուրից դուրս (Off-source) դիտումների ժամանակների հարաբերությունը կազմում է 0.0569, ապա գամմա դեպքերի առանձացման հուսալիությունը կազմում է

4.6σ: Վերլուծության ժամանակ էներգետիկ շեմը կազմել է 226 ԳէՎ: Գրանցված սպեկտրը կարելի է նկարագրել $dN/dE = N_0(E/E_0)^{-\Gamma}$ աստիճանային ֆունկցիայի տեսքով, որտեղ սպեկտրալ ինդեքսը՝ $\Gamma = 2.3 \pm 0.2_{stat} \pm 0.2_{sys}$, իսկ սպեկտրի նորմավորման գործակիցը՝ $N_0 = (9.5 \pm 2.3_{stat} \pm 2.9_{sys}) \times 10^{-14}$սմ$^{-2}$վրկ$^{-1}$ՏէՎ$^{-1}$՝ $E_0 = 1$ ՏէՎ դեպքում: Չափված ինտեգրալ հոսքը 226 ԳէՎ-ից բարձր էներգիաների համար կազմում է Խեցգետնակերպ Միգամածության հոսքի ~0,3%-ը: Կեպլեր գերնոր աստղի մնացորդի բազմահաճախային տիրույթում էներգիայի սպեկտրային բաշխումը՝ ԷՍԲ (Broadband Spectral Energy Distribution) բերված է Նկար 1-ում: Արդյունքները և դրանց համեմատությունը Տիխո գերնոր աստղի մնացորդի ԷՍԲ-ի հետ թույլ են տալիս փորձնականորեն առաջարկել երկու դեպքի համար էլ գամմա-ճառագայթների առաջացման հադրոնային մոդելը:



Նկար 1. Կեպլեր գերնոր աստղի մնացորդի բազմահաճախային տիրույթում էներգիայի սպեկտրային բաշխումը:

- MAXI J1820+070 ռենտգենյան երկակի համակարգը դիտվել է H.E.S.S., MAGIC և VERITAS ՊՄՃԴ համակարգերի օգնությամբ 2018 թ. մարտից մինչև հոկտեմբեր ընկած ժամանակահատվածում, երբ աղբյուրից գրանցվել է բացառիկ պայծառ ռենտգենյան բռնկում (Outburst) [2]: H.E.S.S-ի և MAGIC-ի դիտումներն իրականացվել են 2018 թ. մարտից մինչև հոկտեմբեր ամիսներին՝ ընդգրկելով աղբյուրի սկզբնական կոշտ վիճակը (Hard State, HS), փափուկ վիճակը (Soft State, SS) և անցումների վիճակը, իսկ VERITAS-ի տվյալները հավաքագրվել են մարտից հունիս ամիսներին, երբ աղբյուրը եղել է HS վիճակում: H.E.S.S-ի., MAGIC-ի և VERITAS-ի դիտումների ժամանակահատվածները կազմել են

համապատասխանաբար 26.3, 22.5 և 10.7 ժամ: Երեք գիտափորձերի համակցված տվյալները 200 ԳէՎ-ից բարձր էներգիաների համար համեմատվել են Fermi-LAT-ի 0.1-500 ԳէՎ տիրույթի և ռադիոյից մինչև ռենտգեն տիրույթի բազմաալիքային դիտումների արդյունքների հետ: MAXI J1820+070-ից գամմա ճառագայթում չի գրանցվել՝ ոչ բարձր էներգիաների (100 ՄէՎ-ից բարձր), ոչ էլ շատ բարձր էներգիաների (100 ԳէՎ-ից բարձր) տիրույթներում: Հաշվարկված ինտեգրալ հոսքերի վերին սահմանները Fermi-LAT-ի և H.E.S.S., MAGIC ու VERITAS համակցված տվյալների համար ներկայացված են Աղյուսակ 1-ում՝ աղբյուրի յուրաքանչյուր վիճակի համար: Առաջին դեպքում ֆոտոնների էներգիան կազմել է >100 ՄէՎ, իսկ երկրոդ դեպքում՝ >200 ԳէՎ՝ կոշտ վիճակի, կոշտ վիճակից փափուկի վիճակի անցման, փափուկ վիճակի և ամբողջ ընտրանքի համար և >300 ԳէՎ՝ փափուկ վիճակից կոշտ վիճակի անցման համար:

Աղյուսակ 1: Ինտեգրալ հոսքի վերին սահմանները աղբյուրի տարբեր վիճակների ժամանակ:

Source state	*Fermi*-LAT UL (0.1 – 500 GeV) [ph cm^{-2} s^{-1}]	IACT UL (> 200/300 GeV) [ph cm^{-2} s^{-1}]
Hard State I	3.1×10^{-8}	9.5×10^{-13}
HS → SS	1.6×10^{-7}	9.5×10^{-13}
Soft State	2.5×10^{-8}	1.6×10^{-12}
SS → HS	5.2×10^{-8}	2.2×10^{-12}
Hard State II	6.0×10^{-8}	–
TOTAL	1.8×10^{-8}	7.2×10^{-13}

Ստացված վերին սահմանները և բազմաալիքային տվյալները թույլ են տալիս հիմնավորված սահմանափակումներ դնել աղբյուրի հատկությունների վրա՝ հիմք ընդունելով ողջամիտ ենթադրություններ ոչ ջերմային մասնիկների պոպուլյացիայի և շիթի սինքրոտրոնային ճառագայթման սպեկտրի վերաբերյալ: Մասնավորապես, եթե աղբյուրի կոշտ վիճակում առկա է բարձր էներգիաների գամմա-ճառագայթման տիրույթ, ապա դրա կանխատեսվող հոսքը պետք է լինի առավելագույնը 20 գործակցով ցածր ստացված Fermi-LAT վերին սահմաններից:

Հաշվետու տարում 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: Մոդելավորման ժամանակ հաշվի է առնվել ինչպես ՊՄՉԴ-ի կոնստրուկցիայի առանձնահատկություններն ու օպտիկական հատկությունները, այնպես էլ տեղակայմանն վայրի (Իսպանիայի Լա-Պալմա կղզի) գիշերային երկնքի ֆոնի ազդեցությունը մթնոլորտային հեղեղին ուղեկցող չերենկովյան լուսի գրանցման վրա: Հաշվարկները կատարվել են սկզբնական գամմա-քվանտների և տիեզերական ճառագայթների մաս կազմող պրոտոնների ու էլեկտրոնների համար: Սկզբնական գամմա-քվանտների և էլեկտրոնների էներգիաները վերցվել են 2 ԳէՎ-ից բարձր, պրոտոններինը՝ 10 ԳէՎ-ից, իսկ հեղեղի անկման առավելագույն հեռավորությունը դիտակից՝ համապատասխանաբար 750, 750 1000 մ: Ներկայումս հետազոտվում են չերենկովյան պատկերի տարբեր պարամետրերի կամ դրանց հիման վրա ստեղծված նոր պարամետրերի օգտագործման հնարավորությունները՝ օգտակար ազդանշանի առանձնացման նոր, ավելի արդյունավետ մաթամատիկական մեթոդ մշակելու նպատակով: Մասնավորապես, պրոտոնների դեպքում ցույց է տրվել, որ, եթե միայն Alpha պարամետրով կարելի է հասնել ազդանշանի առանձնացման արդյունվետության բարելավման 1.2-1.6 գործակցի՝ (Size=40-100pe), ապա երեք պարամետրի օգտագործման և Dist պարամետրի որոշակի արժեքների դեպքում այն դառնում է 1.8-2.4՝ Size-ի նույն արժեքների համար:

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, E. O. Anguner, ... V.Sahakian et al. (The H.E.S.S. Collaboration), “Evidence for gamma-ray emission from the Kepler supernova remnant from deep H.E.S.S. observations”, Astronomy and Astrophysics, 662, A65 (2022).

2. H. Abe, S. Abe, V. A. Acciari et al. (The MAGIC Collaboration), H. Abdalla, F. Aharonian, F. Ait Benkhali,..., V.Sahakian et al. (The H.E.S.S. Collaboration), A. Acharyya, C. B. Adams, P. Batista et al. (The VERITAS Collaboration), “Gamma-ray observations of MAXI J1820+070 during the 2018 outburst”, Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 517, 4, 4736–4751 (2022).
3. H. Abdalla, F. Aharonian, F. Ait Benkhali, ... V.Sahakian et al. (The H.E.S.S. Collaboration), “Search for dark matter annihilation signals in the H.E.S.S. Inner Galaxy Survey”, Physical Review Letters, 129, 111101 (2022).

- Թեմատիկ ֆինանսավորման շրջանակներում՝

4. F.Aharonian, F.Ait Benkhal, E.O.Anguner, ...,V.Sahakian et al (The H.E.S.S. collaboration), “Time-resolved hadronic particle acceleration in the recurrent nova RS Ophiuchi”, Science, 376, 77 (2022).
5. F.Aharonian, H.Ashkar, M.Backes, …,V.Sahakian et al (The H.E.S.S. collaboration), “A deep spectromorphological study of the γ-ray emission surrounding the young massive stellar cluster Westerlund 1”, Astronomy and Astrophysics, 666, A124 (2022).
6. M.E.Christy, T.Gautam, L.Ou, …, A.Shahinyan et al (The JLab Hall A SBS collaboration), “Form factors and two-photon exchange in high-energy elastic electron-proton scattering.” Physical Review Letters, 128, 10, 102002 (2022).