

Տարեկան հաշվետվություն 2021 թ.

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

Հ. Վարդապետյանի անվան  
Փորձարարական Ֆիզիկայի Բաժանմունք

ՓՖԲ-ի ղեկավար՝ Ֆիզմաթ գիտությունների դոկտոր Հ.Մարուքյան

## Փորձարարական Ֆիզիկայի Բաժանմունքի 2021 թ. ընթացիկ հաշվետվություն

### Հաշվետվություն 2021 թ.-ին ԼՈՒԷ-75 գծային արագացուցիչում կատարված աշխատանքների վերաբերյալ

ԱԱԳԼ-ի ՓՖԲ-ի արագացուցչային խումբ, ղեկավար Ա. Հակոբյան

2021 թ.՝ հաշվետու ժամանակահատվածում, ԼՈՒԷ-75 էլեկտրոնային գծային արագացուցիչում կատարված աշխատանքները վերաբերում են արագացուցիչի տեխնիկական և պրոֆիլակտիկ աշխատանքներին և փնջով կատարված գիտափորձերին:

Գծային արագացուցիչում իրականացվել են հետևյալ աշխատանքները.

ա) Կատարվել են արագացուցիչի համար ամենամյա նախատեսված ռեգլամենտային պրոֆիլակտիկ աշխատանքներ՝

- Բարձրավոլտ փորձարկման սարքավորման լրիվ պրոֆիլակտիկա և հեղուկ մեկուսիչների փորձարկում այդ սարքավորման միջոցով,
- Հովացման և ջերմակայունացման համակարգերի պրոֆիլակտիկա,
- Էլեկտրոնների աղբյուրի և բոլոր երեք կլիստրոնների մոդուլատորների պրոֆիլակտիկա,
- Գերբարձր հաճախականային հզոր գեներարների և արագացնող սեկցիաների պարբերաբար մարզում ստատիկ և դինամիկ ռեժիմներում:

բ) Վակուումի արտահոսքի հայտնաբերիչների (Leak Detection) վերականգնում, որից հետո հնարավոր եղավ հայտնաբերել փնջատարի հերմետիզացման խախտման հատվածները և կասեցնել վթարների վտանգը և հնարավոր դարձնել գիտափորձերի անցկացումը:

գ) Հետազոտական խմբերի աշխատանքային տեղ և պայմաններ են ստեղծվել գիտափորձերի անցկացման համար:

Ներկայումս գիտափորձերի անցկացման համար ստեղծվել են առավել անհրաժեշտ պայմաններ: Մինչև տարվա վերջ կկատարվեն նախատեսված գիտափորձերի մի մասը, մնացածը կշարունակվի հաջորդ տարվա հունվարից սկսած: Էքսպերիմենտները նախատեսված են Փորձարարական Ֆիզիկայի Բաժանմունքի և

ԵՊՀ-ի խմբերի հետ: Այլ երկրներից մեր գործակերները պանդեմիայի պատճառով չկարողացան ժամանել:

Պետք է նշել, որ գծային արագացուցիչի տեխնիկական ռեսուրսը սպառվում է: Առաջին հերթին դա վերաբերվում է վակուումային, ջերմակայունացման և հովացման համակարգերին, չափող սարքերին: Խիստ անհրաժեշտություն կա թվային չափող գործիքների:

Հաշվետու ժամանակաշրջանում մասնակցել ենք տարբեր հայտարարված մրցույթներին, որտեղ հայցում էինք նոր տեխնիկայի ձեռք բերումը, սակայն չհաղթեցինք:

Աշխատանքները, ներառյալ գիտափորձերը, շարունակական են:

2021 թ. ԼՈՒԷ-75 գծային արագացուցիչում էլեկտրոնային ռեյաստիվիստիկ փնջերով կատարված գիտատեխնիկական աշխատանքները ներկայացվել են բաժնի սեմինարներում, քննարկումներում և արտացոլված են հետևյալ հոդվածներում.

1. A.S. Hakobyan, Journal of Contemporary Physics (Armenian Academy of Sciences) 56 (2021) 3, 169.
2. 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, and A.K. Papyan, Journal of Contemporary Physics (Armenian Academy of Sciences) 57 (2022) 1.

## Հետազոտություններ CERN միջազգային կենտրոնում (LHC)

### CMS-գիտափորձ

ԱԱԳԼ-«CMS» խումբ

Ղեկավար՝ Ա. Թումասյան

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

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

Ամփոփվել է  $\sim 59 \text{ ֆբ}^{-1}$  ինտեգրալ լուսատվությամբ 2018թ. տվյալների մշակումը, ավարտին է հասնում  $\sim 36 \text{ ֆբ}^{-1}$  ինտեգրալ լուսատվությամբ 2016թ. տվյալների մշակումը: Պատրաստվում է CMS ներքին հրապարակումը: 2016-18թթ միասնական տվյալների համար պրոցեսի ազդանշանի ինտենսիվությունը գնահատվել է  $\mu = 1.0_{-1.36}^{+1.37}$ , 68% հավաստիության աստիճանով: Ազդանշանի սպասվող հավաստիությունը կազմում է  $\sim 3$  ստանդարտ շեղում՝  $\sigma_{\text{exp}} \sim 3.0\sigma$ :

Մանրամասն՝

<https://indico.cern.ch/event/1071749/>

<https://indico.cern.ch/event/1071743/>

<https://indico.cern.ch/event/996933/>

<https://indico.cern.ch/event/996932/>

<https://indico.cern.ch/event/996939/>

<https://indico.cern.ch/event/996868/>

Կատարող՝ Արմեն Թումայան

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

Մանրամասն՝

<https://indico.cern.ch/event/1056952/>

Կատարողներ՝ Արամայիս Պետրոսյան և Արզունիկ Գևորգյան

3. Կատարվել են «2HDM+a» մոդելով կանխատեսվող (ՄՄ Հիգգս բոզոնի հետ ասոցիատիվ ծնվող) մութ մատերիայի որոնման աշխատանքներ: Աշխատանքը սկսվել է հունիս ամսին Երևանում և շարունակվել հուլիս-սեպտեմբեր ամիսներին ՄՀՄԻ (Դուբնա, ՌԴ) կատարած այցի ընթացքում:

Մշակվել է անալիզի ռազմավարությունը, մշակվել են պրոցեսի ընտրման պայմանները, կատարվել է CMS (LHC) 13 ՏԷՎ էներգիայով pp-բախումների 2018թ. տվյալների մշակումը:

Մանրամասն՝

<https://indico.cern.ch/event/1071651/>

Կատարողներ՝ Արամ Հայրապետյան և Արմեն Թումայան

4. DESY (Համբուրգ, Գերմանիա) CMS խմբի հետ համատեղ իրականացվել են CMS գիտափորձի տվյալների բազայի արդիականացման աշխատանքները:  
Կատարող՝ Արամ Հայրապետյան
5. CMS գիտափորձի 2024-26թթ նախատեսված «Phase2-Upgrade» արդիականացման նախագծի շրջանակներում իրականացվել է CMS նոր կալորիմետրական համակարգի (High granularity calorimeter) կոսմիկական մյուոններով թեստավորման համար կառուցվող (ՄՀՄԻ, Դուբնա, ՌԴ) փորձարարական սարքավորման մոդելավորումը և օպտիմալացումը: Աշխատանքները սկսվել են հունիս ամսին Երևանում, և շարունակվել նոյեմբեր-դեկտեմբեր ամիսներին Դուբնա կատարած այցի ընթացքում:  
Մանրամասն՝  
<https://indico.cern.ch/event/1085122/>  
<https://indico.cern.ch/event/1103874/>  
Կատարող՝ Արզունիկ Գևորգյան
6. Սկսվել են CMS գիտափորձի «Run3» (2022-24թթ) տվյալներում VBF Hbb պրոցեսի ուսումնասիրության համար «online»-տրիգգերներ մշակման աշխատանքները:  
Կատարող՝ Վարդան Ալոյան
7. Հոկտեմբեր ամսից FermiLab (ԱՄՆ) CMS խմբի հետ համատեղ սկսվել է սուպերսիմետրիկ մոդելներով կանխատեսվող «երկարակյաց սուպերսիմետրիկ» STau մասնիկների որոնման աշխատանքը CMS 2018թ փորձարարական տվյալներում:  
Կատարող՝ Արամ Հայրապետյան

Հրապարակումներ գիտական ամսագրերում՝ 64

Սեմինարներ՝

<http://epd.yerphi.am/24.06.2021%20A.Tumasyan.pdf>

<http://epd.yerphi.am/30.06.2021%20A.Hayrapetyan.pdf>

## ATLAS-գիտափորձ

Անդամներ՝ Լ. Սարգսյան (խմբի ղեկավար), Ա. Կոծինյան (խմբի ղեկավարի տեղակալ), Հ. Սարուքյան (ազգային կոնտակտային ֆիզիկոս), Ռ. Օգանեզով, Հ. Օգանեզով, Ա. Գրիգորյան, Ֆ. Ադամյան

## Կատարված աշխատանքները՝

### ATLAS (CERN) TileCal-ի տվյալների որակի ապահովման (Data Quality Validation) օնլայն հերթափոխներ (Ա. Գրիգորյան)

Կատարվել են փորձնական փնջերից ստացված տվյալների ճշգրտության հաստատման աշխատանքներ:

### Laser-in-gap տվյալների որակի վերլուծություն (Ա. Գրիգորյան, ղեկ.՝ Հ. Մարուքյան)

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 է:

Մասնակցություն TileCal կալորիմետրի «Phase2-Upgrade»-ի հետ կապված նոյեմբերի 4-ից մինչև նոյեմբերի 13-ը տևած beam tests փորձի հերթափոխներին (Հ. Մարուքյան)

### Փորձարկման սարքավորման բարելավում, ֆոտոէլեկտրոնային բազմապատկիչների ուսումնասիրություններ (Ա. Գրիգորյան, Ռ. Օգանեզով, Ֆ. Ադամյան)

Դիմային (Front-end) էլեկտրոնիկայի մշակում, զարգացում (Լ. Մարգսյան, Ռ. Օգանեզով)

- **Ցածր լարման համակարգ**

Ցածր լարումների մատակարարման սարքերի հավաքում և տեղադրում:

AUXboard կառավարման համակարգը թույլ է տալիս հեռակառավարմամբ անջատել և միացնել ցածր լարման էներգիայի աղբյուրերը:

Սպասարկում: AUXboard-երի նորոգում և բարելավում:

- **Phase II AuxBoard-ի նախատիպի փորձարկում և կատարելագործում**

- **Որակի ապահովում՝ նախագծման և կառուցման հուսալիությունը հաստատելու համար:**

Պատրաստվել է օժանդակ տախտակի նախատիպ՝ 8 անկախ Tri-State ազդանշաններ տրամադրելու և մեկ ELMB2-ը սնուցելու ունակությամբ: Այս նախատիպը փորձարկվել է CERN-ում TileCal Ցածր լարման Vertical Slice Test #1 (VST#1) հետ միասին փուլ-2 LV աղյուսների v8.4, ELMB MB նախատիպի v1 և փուլ-2 ELMB2-ի հետ միասին:

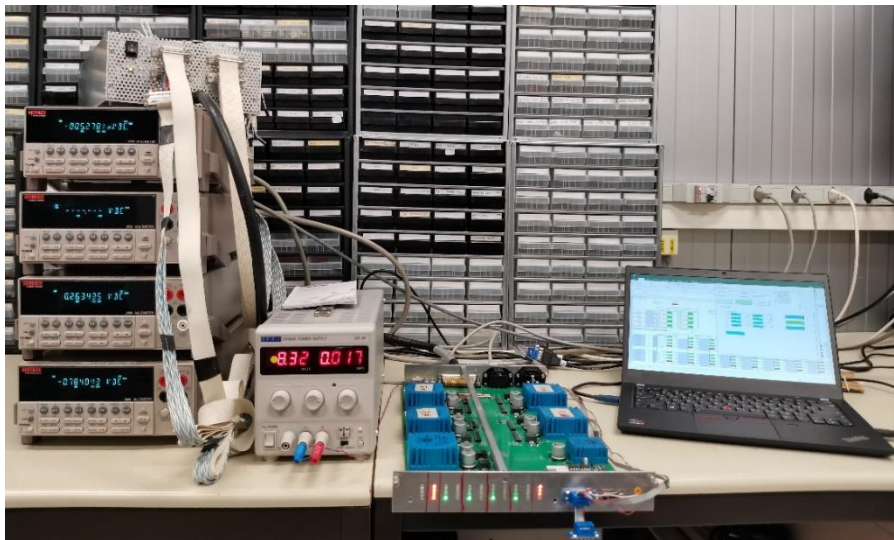
- **Փորձարկիչի՝ AUXboard3\_V3.6-ի ֆունկցիոնալությունը.**

1) 32 աղյուսների մոդելավորում LT1121 գծային կայունացուցիչի հիման վրա,

2) ELMB և STARTUP լարումների և հոսանքների չափումների և վերահսկման ապահովում,

- 3) ընթացիկ չափման ILOCK (Interlock) ապահովում.
- 4) Tri-State-Lines (TSL) վրա լարման չափումների և հսկողության ապահովում:

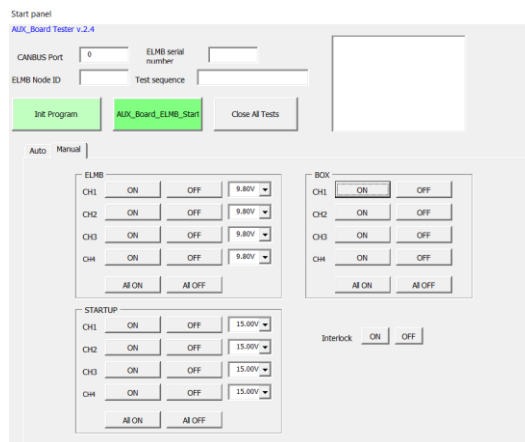
Ստենդի ընդհանուր տեսքը ներկայացված է Նկար 1-ում: Ստենդը ներառում է ալյումինե տուփի մեջ գտնվող փորձարկիչ և չորս Keithley 2000 մուլտիմետրներ, որոնք ներառում են 2001-341B 10-ալիքային մուլտիպլեքսների տախտակներ:



Նկար 1.

Չորս Keithley 2000 մուլտիմետրներ՝ մուլտիպլեքսացված տախտակներով, ապահովում են չափումների 40 ալիքները: Մեր դեպքում մենք օգտագործում ենք 32 ալիքներ Tri-State-Lines-ի վրա լարումների չափման և STARTUP լարումների չափման համար, չորս ալիքներ՝ ELMB լարման չափման և մեկ ալիք՝ ընթացիկ ILOCK-ի չափման համար:

Փորձարկիչի մեկնարկային ինտերֆեյսը ներկայացված է Նկար 2-ում:



Նկար 2.

AUXboard3 թեստի արդյունքները պահվում են առանձին ֆայլում՝ համապատասխան պիտակով:

AUXboard3 տախտակների փորձարկման ստենդի ստեղծման վերաբերյալ ներկայումս հնարավոր բոլոր աշխատանքները հաջողությամբ ավարտվել են:

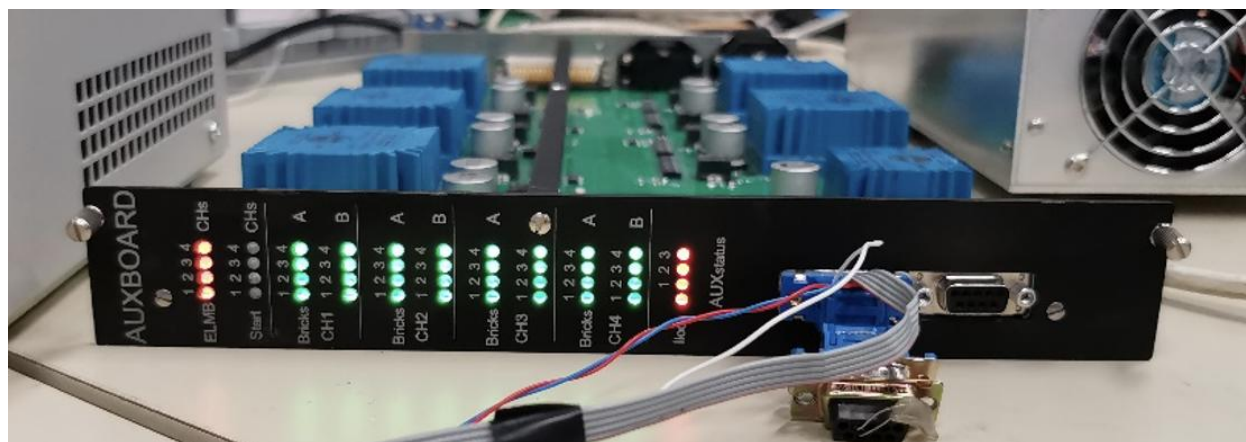
### **AUXboard3 Front Panel-ի նախատիպը**

Այս տարի ԱԱԳԼ-ում արտադրվել է Front Panel-ի նախատիպը (Նկար 3) նոր օժանդակ AUXboard3 տախտակի համար:



Նկար 3.

AUXboard3 նախատիպը տեղադրվել է CERN-ում (Նկար 4):



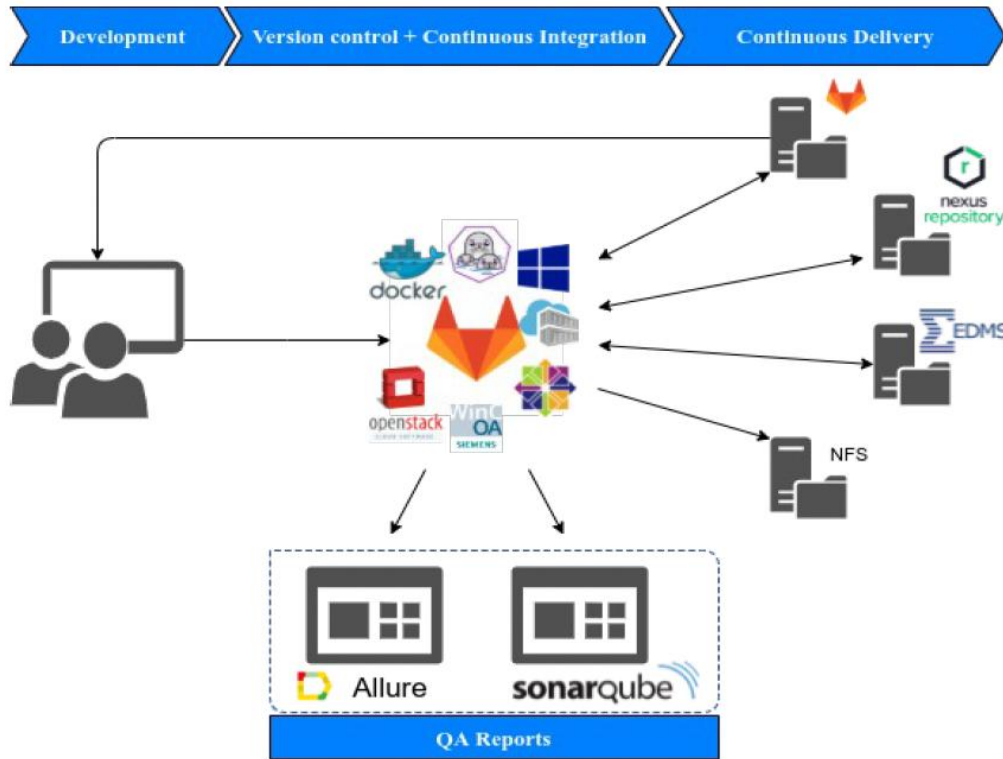
Նկար 4.

### **Արագացուցչի արդյունաբերական կառավարման համակարգ (Լ. Մարգսյան)**

Կառավարման համակարգը ներառում է շարունակական ինտեգրում/շարունակական առաքում (CI/CD) և որակի ապահովման համակարգ WinCC OA հավելվածների (applications) և շրջանակների (frameworks) համար:



CI/CD կառուցվածքը ներկայացված է նկար 5-ում: GitLab-ը, որը տրամադրվում է որպես ծառայություն CERN-ի IT բաժնի կողմից, օգտագործվում է որպես CI/CD ենթակառուցվածքի ողնաշար: Ինտեգրված բեռնարկային ռեեստրն օգտագործվում է բեռնարկիչների պատկերները պահելու համար:



Նկար 5.

Բացահայտելով ընդհանուր օրինաչափությունները և ժամանակատար ընթացակարգերը, համաձայնեցնելով ստանդարտ պահոցները (repository) և անվանման կոնվենցիաները և գործիքավորելով, մենք ձեռք ենք բերել լուծում, որն ավտոմատացնում է երկուականների հավաքումը և փաստաթղթերի գեներացումը՝ այդպիսով երաշխավորելով, որ դրանք արդիական են և համապատասխանում են աղբյուրի կողմից պահեստում: Խողովակաշարերով (pipelines), առաջացվում են տեղակայման համար պատրաստ ծրագրային թողարկումներ, որոնք անցնում են սկսած ստատիկ կողի վերլուծությունից մինչև միավորի թեստերը: Այնուհետև դրանք ավտոմատ կերպով տեղակայվում են կարճաժամկետ և երկարաժամկետ պահոցներում :

Արդյունքներ.

Մոտ քսանհինգ հազար շրջանակային ակնթարթային թողարկումներ, որոնք գործարկվել են համապատասխան քսանհինգ հազար բաղադրիչների ակնթարթային

թողարկումներով, և հարյուր հազարավոր այլ մշակումների թողարկումներ են արտադրվել այն պահից, երբ մենք սկսել ենք կառուցապատման ենթակառուցվածքի տեղակայումը: Այս բոլոր թողարկումներն անցել են ավտոմատ թեստեր WinCC OA-ի վերջին թողարկումներով աշխատող բեռնարկողներում, որոնք ինքնին ստեղծվել և փորձարկվել են ավտոմատ կերպով մեր CI/CD գործիքակազմի միջոցով:

Մա մեծությամբ երկու կարգ ավել է համեմատած հին ավտոմատ ծրագրաշարի թողարկման ծառայության հետ, միաժամանակ նվազեցնելով ջանքերը մշակողների համար՝ խնայելով հազարավոր աշխատաժամեր միայն ծրագրերի թողարկումներում:

Կարևոր է նշել, որ ներդրված CI/CD համակարգը բարձրացնում է նաև ծրագրային ապահովման որակը:

Այս աշխատանքը ներկայացվել է ICALEPS 21 կոնֆերանսի ժամանակ:

## **Աշխատանքներ ATLAS գիտափորձի տեխնիկական համակարգում**

### **TDAQ համարգչային ադմինիստրացիա՝ Point 1-ի տարածքում համակարգչային ենթակառուցվածքների անխափան աշխատանքի ապահովում (Հ. Օգանեզով)**

- Մոնիթորինգ և սպասարկում SLIMOS-ին (անվտանգության ոլորտում հերթափոխի ավագ պատասխանատու) պատկանող բոլոր համակարգիչներին, ապարատային և ծրագրային ապահովություն, բոլոր հարկավոր պատչերի տեղադրում:
- Անվտանգության վերաբերյալ որոշակի տեղեկատվություն հեռարձակող Մեդիա-հեռարձակիչ սերվերի թարմացում, տեղադրում, կոնֆիգուրացիա և սպասարկում:
- Point 1-ի տեսախցիկներից ուղիղ վիդեո Zoom-ի հոսքի համար միջավայր ստեղծելու աշխատանքներ՝ ATLAS նոր փոքր անիվների իջեցման գործընթացը ցուցադրելու համար:
- 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:
- Point 1-ում գտնվող (ATLAS) նախագծման գրասենյակի համակարգիչների տեխնիկական սպասարկում, անսարքությունների շտկում:
- Դետեկտորի անվտանգության համակարգի Gateway մեքենաների միգրացիա:
- Թվային մեդիայի հոսքային սերվերի: Ապարատային և ծրագրային ապահովման տեղադրում, կազմաձևում :

## Հետագա աշխատանքներ

- ԱԱԳԼ-ում փորձարկման սարքավորման բարելավում ֆոտոէլեկտրոնային բազմապատկիչների ուսումնասիրման համար:
- AUXboard3 փորձարկման ստենդի աշխատանքը կշարունակվի 2022 թ.:
- CI/CD և որակի ապահովման համակարգ WinCC OA հավելվածների և շրջանակների վերաբերյալ աշխատանքները կշարունակվեն 2022 թ.:

## Մասնակցություն Գիտաժողովներին

- L.Sargsyan, R. Oganezov, Auxiliary boards design, teststands, Phase-II Upgrade Session during the Tile Week, 2 February, 2021.
- L.Sargsyan, R. Oganezov, Auxiliary Board readiness for FDR, Phase-II Upgrade Session during the Tile Week, 5 Oct 2021.
- L. Sargsyan, DevOps and CI/CD for WinCC Open Architecture Applications and Frameworks, International Conference on Accelerator and Large Experimental Physics Control Systems, 14-22 Oct., 2021.

## Հոդվածներ

- L. Sargsyan and R.I. Silvola, DevOps and CI/CD for WinCC Open Architecture Applications and Frameworks. Will appear in conference proceedings, [https://indico.ssrp.ac.cn/event/1/attachments/1/3/ICALPCS2021\\_AbstractBooklet.pdf](https://indico.ssrp.ac.cn/event/1/attachments/1/3/ICALPCS2021_AbstractBooklet.pdf).
- ATLAS Collaboration (L. Sargsyan, R. Oganezov et al.) Study of energy response and resolution of the ATLAS Tile Calorimeter to hadrons of energies from 16 to 30 GeV, <https://doi.org/10.1140/epjc/s10052-021-09292-5>.

Հրատարակվել են ATLAS խմբի բոլոր հեղինակների ընդգրկմամբ ևս 5 հոդված:

## ALICE- գիտափորձ

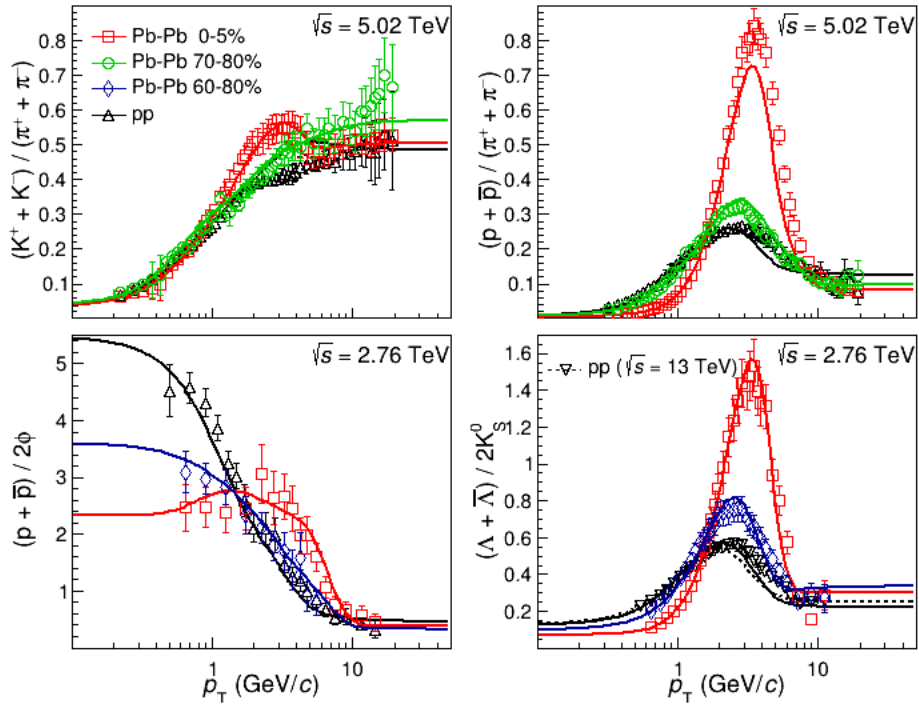
Ղեկավար՝ ֆիզ-մաթ. գիտ. թեկնածու Ս. Գրիգորյան  
Կատարողներ՝ Գ. Սարգսյան, Ն. Մանուկյան, Ե. Համբարձումյան

Խումբը 2021 թվականին մասնակցել է ALICE համագործակցության բոլոր համաժողովներին («zoom»-ով), գիտական արդյունքների ու հոդվածների քննարկմանը: Գալուստ Սարգսյանը 6 ամսով գործուղվել է CERN: Խմբի անդամները կատարել են հետևյալ աշխատանքները.

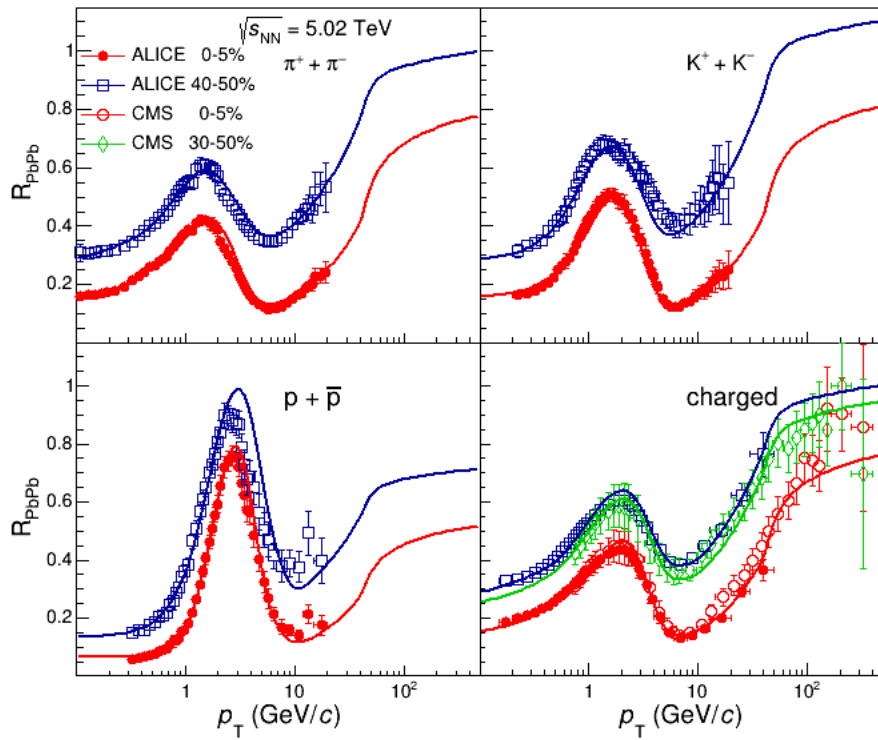
1. **Սմբատ Գրիգորյանը** ուսումնասիրել է LHC-ի pp և Pb-Pb բախումներում չափված տարբեր հաղորդների լայնակի իմպուլսի ( $p_T$ ) սպեկտրները և դրանց կախվածությունը բախումների կենտրոնականությունից: Նա առաջարկել է ֆենոմենոլոգիական տեսական մոդել այդ տվյալները նկարագրելու համար: Մոդելը կազմված է երեք բաղադրիչներից, որոնք համապատասխանում են բախումներում առաջացող տարբեր ֆիզիկական պրոցեսների: Օրինակ, առաջին բաղադրիչը նկարագրում է առաջացած քվարկ-գլյուոնային պլազմայի (ՔԳՊ) հիդրոդինամիկական ընդարձակման երևույթները և շատ կարևոր է հաղորդների  $p_T$ -ի միջին արժեքների համար ( $p_T = 1-7 \text{ GeV}/c$ ): Մոդելի պարամետրերի արժեքները pp և Pb-Pb բախումների համար որոշվել են երկու գոբալ ֆիթերի միջոցով՝ մեկը pp-ի տվյալների համար (մոտ 6700 տվյալ-կետեր), իսկ մյուսը Pb-Pb-ի տվյալների համար (մոտ 5400 տվյալ-կետեր): Մոդելը նկարագրում է մեծ ճշգրտությամբ վերոնշյալ բոլոր փորձարարական առկա տվյալները զանազան հաղորդների (պիոնից մինչև չարմոնիում) վերաբերյալ և LHC-ի տարբեր էներգիաների դեպքում: Մանրամասները տրված են Սմբատ Գրիգորյանի այս հոդվածում՝ [arXiv:2109.07888](https://arxiv.org/abs/2109.07888):

Կարևոր արդյունքներից երկուսը բերված են ներքևի երկու նկարներում: Նկար 1-ը ցույց է տալիս սույն մոդելի համեմատությունը ALICE-ի տվյալների հետ տարբեր հաղորդների էլքերի հարաբերությունների  $p_T$ -ից կախվածության համար՝ pp և Pb-Pb բախումներում: Մոդելը շատ լավ է նկարագրում տվյալները: Հատկապես պրոտոն/պիոն և Լամդա/կաոն հարաբերությունների պիկերը կենտրոնական Pb-Pb բախումներում (0-5%) և  $p_T = 1-7 \text{ GeV}/c$  տիրույթում: Այս պիկերի էֆեկտը պայմանավորված է նշված հիդրոդինամիկական երևույթներով և ավելի ուժեղ է կենտրոնական բախումների ու ծանր հաղորդների դեպքում:

Նկար 2-ում բերված է նման համեմատություն այսպես կոչված «միջուկային մոդիֆիկացիայի ֆակտոր»-ի  $R_{pPb}$  համար, որը որոշվում է տվյալ հաղորդի Pb-Pb և pp բախումներում ունեցած էլքերի նորմավորված հարաբերությամբ և բնութագրում է այդ երկու էլքերի տարբերությունները կախված  $p_T$ -ից և բախումների կենտրոնականությունից:  $R_{pPb}$ -ի ցուցադրված մոդելային կորերը շատ լավ են նկարագրում պիոնի, կաոնի, պրոտոնի և լիցքավորված մասնիկների տվյալները՝ ստացված ALICE և CMS գիտափորձերում: Այս նկարի պիկերը ևս գտնվում են  $p_T = 1-7 \text{ GeV}/c$  տիրույթում և պայմանավորված են հիդրոդինամիկական պրոցեսներով:  $R_{pPb}$ -ի աճը  $p_T > 7 \text{ GeV}/c$  տիրույթում պայմանավորված է Pb-Pb բախումներում առաջացած ՔԳՊ-ում քվարկ-գլյուոնային շիթերի էներգիայի կորուստով:

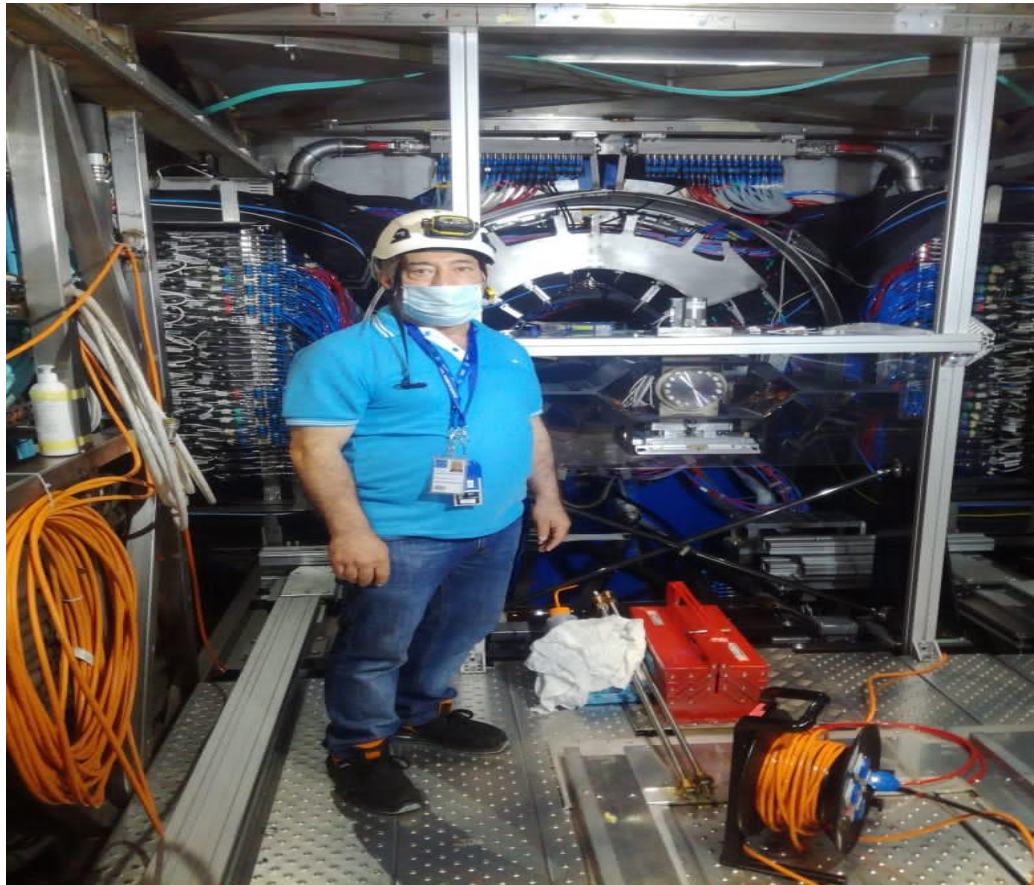


Նկար 1.



Նկար 2

2. **Գալուստ Սարգսյանը** 6 ամսով (12.02.21 – 12.08.21) գործուղված է եղել CERN մասնակցելու ALICE գիտափորձի նախապատրաստական աշխատանքներին: Գործուղման ընթացքում մասնակցել է ITS-ի (Inner Traking Sistem) ներքին հետազոտման համակարգի հավաքման որոշ աշխատանքներին՝ մաքուր սենյակում: Մասնավորապես, նրա առաջարկով մտցրվել է փոփոխություն ITS-ի հովացման համակարգի հավաքման ընթացքի մեջ: Մեծ մասնակցություն է ունեցել L3 մագնիսի մեջ ITS-ի տեղադրման նախապատրաստական աշխատանքներին:



Նա հիմնականում աշխատել է ALICE-ի մեխանիկական արհեստանոցի խմբի հետ, որի նպատակն է եղել ապահովել գիտափորձը անհրաժեշտ բոլոր դետալներով և կոնստրուկցիաներով: Առանձնապես երկար աշխատել է FIT (Fast Interaction Trigger) դետեկտորի տեղադրման համար նախատեսված բազմաֆունկցիոնալ սեղանի մշակման և պատրաստման աշխատանքներին:



3. **Եղիշե Համբարձումյանը**, որպես ստաժոր-հետազոտող, զբաղվել է ALICE զիտափորձի կողմից կուտակված իոնային բախումների տվյալների մշակման մեթոդներով և այդ տվյալներից ստացված տարբեր հաղորդների լայնակի իմպուլսի սպեկտրների բնութագրերի ուսումնասիրմամբ: Սույն թվականի սեպտեմբերից նա ընդունվել է Մոսկվայի ֆիզիկա-տեխնիկական ինստիտուտի ասպիրանտուրան «բարձր

էներգիաների ֆիզիկա» մասնագիտությամբ: Թեզի թեման կապված է լինելու ALICE գիտափորձի հետ:

4. **Նարինե Մանուկյանը** զբաղվել է ALICE-ի հաշվողական միջավայրի տարբեր ծառայությունների տեխնիկական սպասարկման և բարելավման հարցերով: Շարունակել է AliEn-ի **FAMoS** (File Access Monitoring Service) և **CoCoTime** (Computing Coordination and Time Management Tool) ծրագրային ապահովումների սպասարկման աշխատանքները: Դա մասնավորապես ներառում է հետևյալը՝

- Համապատասխան սերվերների և ներգրավված ծառայությունների տեխնիկական սպասարկում, բարելավում և ծրագրերի թարմացում:
- Խափանումների դեպքում համապատասխան միջոցների կիրառում:

Հաշվետու տարում գիտական ամսագրերում հրատարակվել են 33 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 հետևյալն է.

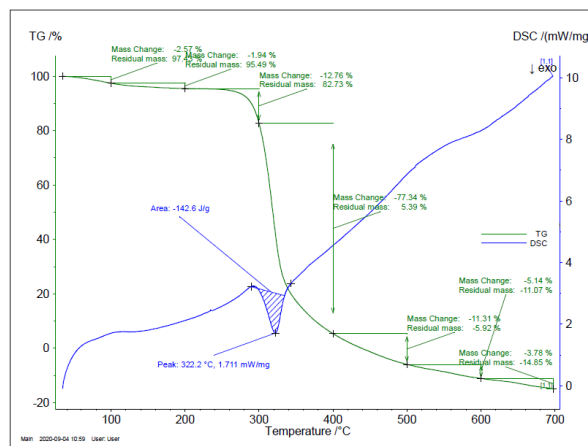
1. J. C. Bernauer, A. Schmidt, ..., H. Marukyan et al. (OLYMPUS collaboration), “Measurement of the Charge-Averaged Elastic Lepton-Proton Scattering Cross Section by the OLYMPUS Experiment”, Published in Phys. Rev. Lett. 126 (2021) 16, 162501.
2. V. Andreev, A. Baghdasaryan, ..., H. Zohrabyan et al. (H1 collaboration), “Measurement of charged particle multiplicity distributions in DIS at HERA and its implication to entanglement entropy of partons”, Eur. Phys. J. C 81 (2021) 3, 212.
3. V. Andreev et al. (H1 collaboration), “Measurement of lepton-jet correlation in deep-inelastic scattering with the H1 detector using machine learning for unfolding H1 Collaboration”, e-Print: 2108.12376 [hep-ex].
4. Abt et al. (ZEUS and H1 collaboration), “Impact of jet-production data on the next-to-next-to-leading-order determination of HERAPDF2.0 parton distributions”,



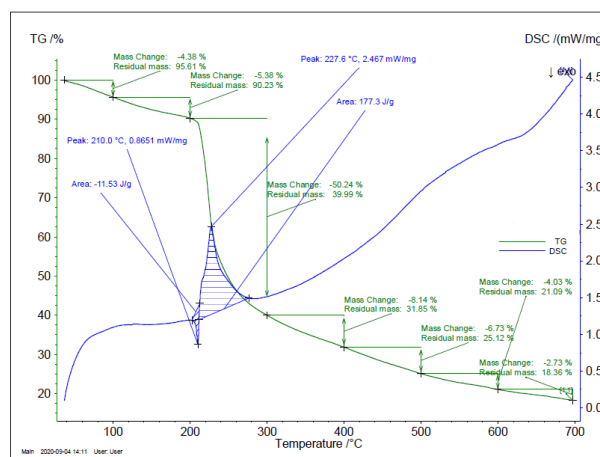
## Խիտոզանի նոր ածանցյալների սինթեզ և ուսումնասիրություն Քիմական գիտությունների թեկնածու Վասակ Ղավայան

Ընթացիկ տարում, տարբեր նմուշներ սինթեզելու հետ միաժամանակ շարունակվել են սինթեզված ջրալույծ խիտոզանային Շիֆի հիմքերի (ՋԽՇՀ) որոշ հիմնական հատկությունների ուսումնասիրություններ:

Մասնավորապես, կարևորել ենք դրանց թերմիկ հատկությունների ուսումնասիրությունները: Նկար 1-ում և նկար 2-ում համապատասխանաբար բերված են սինթեզի համար ելանյութ հանդիսացող խիտոզանի և նրա հիման վրա սինթեզված բոլոր պարունակող ՋԽՇՀ նմուշների թերմոգրավիմետրիկ անալիզի արդյունքները:



Նկար 1. Խիտոզանային նմուշի թերմոգրավիմետրիկ անալիզի տվյալներ, VG-20-C (Cs):



Նկար 2. Բոլոր պարունակող ջրալույծ խիտոզանային Շիֆի հիմքի նմուշի թերմոգրավիմետրիկ անալիզի տվյալներ VG-20-05 (CM-CsSB; Br-H):

Նկատելի են էական տարբերություններ նմուշների թերմիկ հատկություններում: Օրինակ, նկար 1-ում նմուշը մինչ ինտենսիվ քայքայում՝ 275° C, կորցնում է ելային կշռի 1.94 %, իսկ Նկար 2-ում նմուշը մինչ ինտենսիվ քայքայում՝ 200° C, կորցնում է ելային կշռի 9.76 %: Բացի դրանից երկու նմուշների համար ինտենսիվ քայքայումն սկսվում և ուղեկցվում է ջերմության անջատումով, և, ինչպես երևում է նկար 2-ում միայն այս նմուշի քայքայումն է շարունակվում ջերմության կլանումով:

Հետևաբար, կարելի է ենթադրել, որ կարբոքսիմեթիլ խմբերի առկայությունը ՋԽՇՀ-ում (նկար 2), ելային խիտոզանային նմուշի հետ համեմատած (նկար 1), նվազեցնում է նմուշի թերմիկ կայունությունը և հարուցում նմուշի հետագա քայքայման համար ջերմություն պահանջող նոր փոխակերպումներ:

Աշխատանքները շարունակվում են:

Թերմոգրավիմետրիկ չափումներն իրականացվել են netzsch jupiter sta 449 f3 (Germany) սարքի օգտագործմամբ, նմուշների ելային կշիռը 10մգ, տաքացման արագությունը 10°C/րոպե, մինչև 700 °C, իներտ գազի He (հոսք-20 մլ/վրկ) միջավայրում:

### **Հաղորդների 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)**

2021թ. ԵրՏԻ-Մlab կոլաբորացիայի շրջանակներում փորձարարական A սրահի աշխատանքները կատարելու նպատակով Ա. Շահինյանը գործուղվել է Ջեֆերսոնի անվան Լաբորատորիա և մասնակցել SBS-ի (Super BigBite-Spectrometer) կառուցման աշխատանքներին: Խումբը մասնակցել է նաև հեռակառավարման միջոցով քննարկումներին՝ Երևանից:

2021թ մարտից սկսվեցին SBS-ի տեղադրման աշխատանքները A սրահում , որին Երևանի խումբը հիմնականում մասնակցում էր առաջարկություններով Երևանից՝ տեսակառավարման միջոցով: Ինչպես տեսնում ենք, SBS-ի տեղադրումից հետո (տես Նկար 1) դահլիճի հիմնական սպեկտրոմետրները տեղափոխվել էին և նրանց աշխատանքային տեղը զբաղեցնում են SBS-ի թները՝ BigBite սպեկտրոմետրը (որը

հանդիսանում է SBS-ի էլեկտրոնային թևը), որի արդիականացման աշխատանքներում մեծ ներդրում ունի Երևանի խումբը:

SBS-ի տեղադրումից հետո 2021թ. սեպտեմբերին սկսվեց հաստատված գիտափորձերից չորսի կատարումը, որը պլանավորվում է ավարտել 2022թ փետրվարին: Նկար 2-ում պատկերված է SBS սպեկտրոմետրի դետեկտորների դիրքը GMn և մյուս 3 գիտափորձի համար: Ընթացող գիտափորձերն են.

1. E12-09-019: GMn (Precision Measurement of the Neutron Magnetic Form Factor)
2. E12-17-004: (GEN-Recoil)
3. E12-20-008: (Wide-Angle Pion Production)
4. E12-20-010: Proposal (nTPE)

2021 թ. Երևանում նախագծվել է GEM (Gas Electron Multiplayer) դետեկտորի աղմուկապաշտպան էկրաները (RF shielding frame), որոնք հետագայում պատրաստվել են Ջեֆերսոն Լաբորատորիայում: Նշենք, որ GEM դետեկտորները կառուցվել են Իտալիայում, ինչին Երևանի խումբը նույնպես մասնակցություն է ունեցել:

2021 թ. Երևանում նախագծվել է նաև BigBite սպեկտրոմետրի ժամանակային հոդոսկոպի (Timing Hodoscope), նախահեղեղային և հեղեղային (Preshower and Shower) դետեկտորների ՓԷԲ՝ ֆոտոէլեկտրոնային բազմապատկիչների հովացման համակարգը, որը նաև պաշտպանում է ՓԷԲ-ները հելիումից: Նախագծված համակարգը օգտագործվեց նաև հելիումից SBS թևի Հադրոնային կալորիմետրի պաշտպանության համար:

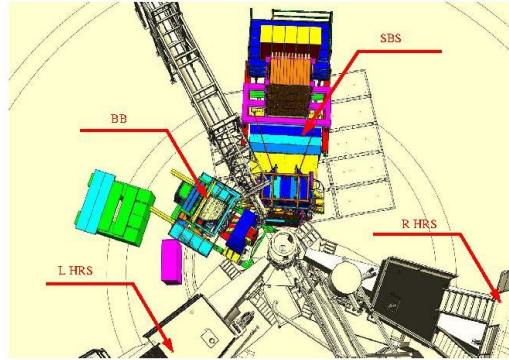
2021 թ. տաքացվող բազմականալային էլեկտրամագնիսական կալորիմետրի՝ ECAL1700-ի կառուցման աշխատանքներին մասնակցել ենք ինչպես Երևանից այնպես էլ Jlab-ում եղած ժամանակ, այն SBS-ի հիմնական դետեկտորներից է և օգտագործվելու է GEP5 - “Large Acceptance Proton Form Factor Ratio Measurements at 13 and 15 (GeV/c)<sup>2</sup> using Recoil Polarization Method” գիտափորձի ժամանակ:

2021 թ.-ին ավարտվել են Jlab-ում ECAL1700-ի համար նախատեսված բոլոր կապարային ապակիների, սոսնձված լուսատարների փաթաթման աշխատանքները, որոնց վերահսկողությունը հիմնականում կատարվել է Երևանից: Շուտով կսկսվեն մնացած 57 մոդուլների հավաքման աշխատանքները: Նկար 3ա – ում պատկերված է մոդուլի սխեմատիկ տեսքը, իսկ նկար 3բ – ում մոդուլի իրական տեսքն է ամբողջությամբ հավաքված:

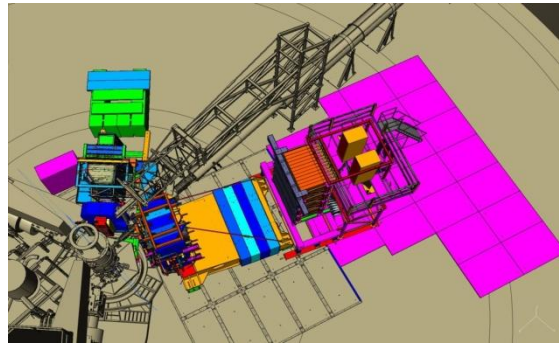
2021 թ.-ին Երևանից տեսահեռակառվառման միջոցով համակարգել ենք GMn գիտափորձի կայքի ստեղծման աշխատանքները՝ տես

[https://hallaweb.jlab.org/experiment/SBS/GMn/GMn\\_Website.html](https://hallaweb.jlab.org/experiment/SBS/GMn/GMn_Website.html)

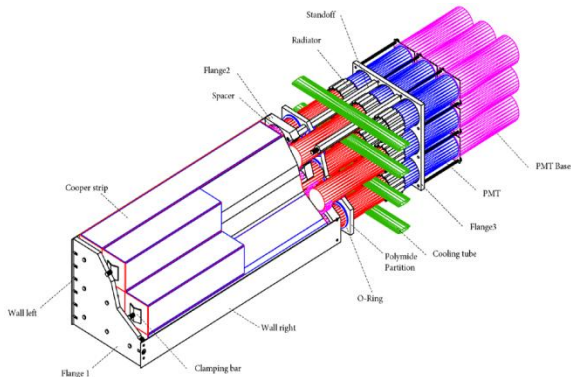
Ա. Շահինյանի կողմից առաջարկված կիրառական նշանակության թեման հաստատվել է ՀՀ ԿԳՄՍ Գիտության կոմիտեի կողմից: Կ. Օհանյանը մասնակցում ԱԱԳԼ-ում նախագծման և կառուցման աշխատանքներին ինչպես նաև ՀՀ ԿԳՄՍ Գիտության կոմիտեի կողմից ընդունված երկակի նշանակության՝ «Արևի-կույր» ուլտրամանուշակագույն ուղղորդչիչի փորձնական նմուշի ստեղծում՝ թեմայի աշխատանքներին:



Նկար 1. A Դահլիճի սխեմատիկ տեսքը SBS-ի տեղադրումից հետո:

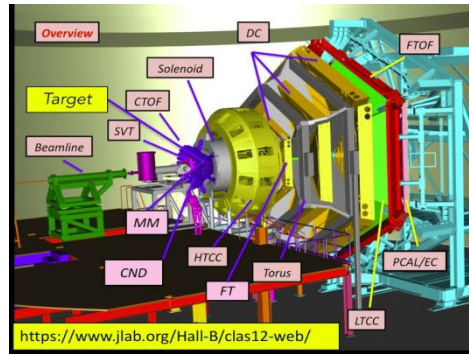


Նկար 2. A Դահլիճի սխեմատիկ տեսքը GMn և մյուս 3 գիտափորձի համար



Նկար 3. ա) Մոդուլի սխեմատիկ տեսքը, բ). Մոդուլի իրական տեսքը

## Hall-B (փորձարարական սրահ)



### Ֆիզիկական ծրագիր.

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

#### 1. E12-12-001, E12-12-001A CLAS12 դետեկտորի վրա $J/\psi$ -meson-ի շեմամերձ ֆոտոծնման ուսումնասիրումը

Ժամանակակից միջուկային ֆիզիկայի գլխավոր թեմաներից մեկը հանդիսանում է նուկլոնի կառուցվածքի բացատրությունը քվարկ-գլյուոնային ազատության աստիճանների մեթոդով: Այս դեպքում կարևոր դեր է խաղում ծանր քվարկոնիումի փոխազդեցությունը հադրոնային նյութի հետ: Ծանր քվարկոնիումի ստացումը ուսումնասիրում է միջուկի լոկալ գունային (գլյուոնային) դաշտերը և կարող է բացահայտել այնպիսի հատկություններ, ինչպիսիք են նրանց փոխանցման իմպուլսի նկատմամբ ռեակցիան, տարածական բաշխումը և նրանց կոռելացիան վալենտային քվարկների հետ: Այն դինամիկան, որը միջուկում ստեղծում է համապատասխան գլյուոնային դաշտերը, զգալիորեն փոխվում է բարձր էներգիայի և շեմի մոտ շրջանների միջև:

Ներկայումս  $J/\psi$ -ի մեզոնի ֆոտոծնման համար առկա են զգալի քանակությամբ տվյալներ բարձր էներգիաների դեպքերի համար ( $W > 10$  ԳէՎ), որոնք լավ համապատասխանության մեջ են երկգլյուոնային փոխանակման մեխանիզմի հետ, այնինչ շեմին մոտ էներգիաների տիրույթը մնում է քիչ ուսումնասիրված: Ծանր

քվարկների ծնման ռեակցիայի ուսումնասիրումը կարող է տրամադրել նուկլոնում լոկալ գունային (գլյուոնային) դաշտերի մասին ինֆորմացիա:

CEBAF արագացուցիչի 12 ԳԷՎ-անոց վերակառուցումը բացառիկ հնարավորություն է տրամադրում ուսումնասիրել քիչ ուսումնասիրված շեմին մոտ cc, հմայիչ քվարկոնների ֆոտո- և էլեկտրոնումը  $E_\gamma \approx 8,5$  ԳԷՎ-ից մինչև 11 ԳԷՎ տիրույթների համար:

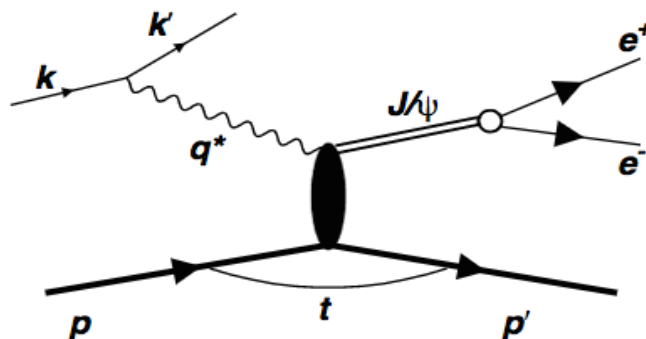
Ուսումնասիրվել են RGA (Run Group A) խմբի փորձարարական տվյալները: Փորձում  $10.6$  ԳԷՎ-անոց,  $0.7 \times 10^{35}$  վկ-1 սմ-2 լուսատվությամբ էլեկտրոնային փունջը ցրվում է հեղուկ ջրածնային թիրախի վրա: Ուսումնասիրության առարկան է շեմին մոտ քվադի-իրական ֆոտոնումը  $\gamma p \rightarrow p J/\psi(1+1-)$ , որտեղ  $1+1--$ ը  $J/\psi$  մեզոնի տրոհումից առաջացած լեպտոնային զույգն է:

Ընտրվել են լրիվ էքսկլուզիվ էլեկտրաձնման դեպքերը՝

$$e p \rightarrow e + e - p'(e') \quad (1.1)$$

որտեղ  $e'$  - ցրված էլեկտրոնն է,  $p'$  - հետ հարվածի պրոտոնն է,  $e+e--$  առաջացած լեպտոնային զույգն է:

Փոքր անկյունների դեպքում ցրումը տեղի է ունենում քվադի-իրական ֆոտոնի փոխանակման հաշվին (նկար 1.1): Ուսումնասիրության նպատակն է գրանցել և ուսումնասիրել վերջնական վիճակի  $J/\psi$  մեզոնի տրոհումից առաջացած լեպտոնային զույգը և հետհարվածի պրոտոնը:

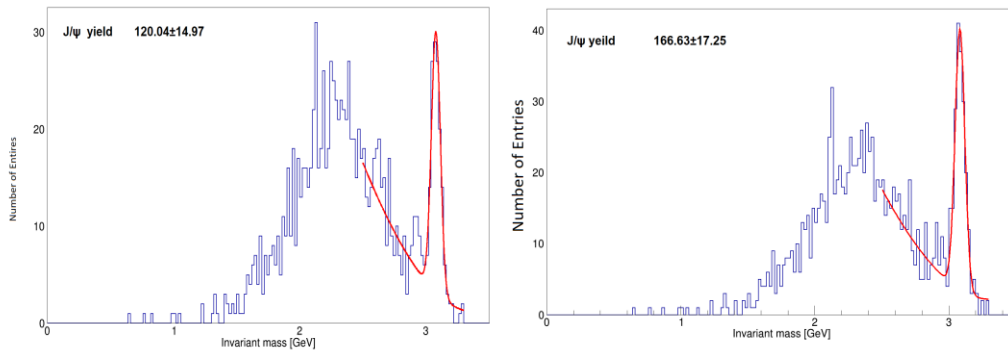


Նկար 1.1. Պրոտոնի վրա վեկտորական մեզոնի քվադի-իրական ֆոտոնման դիագրամ:

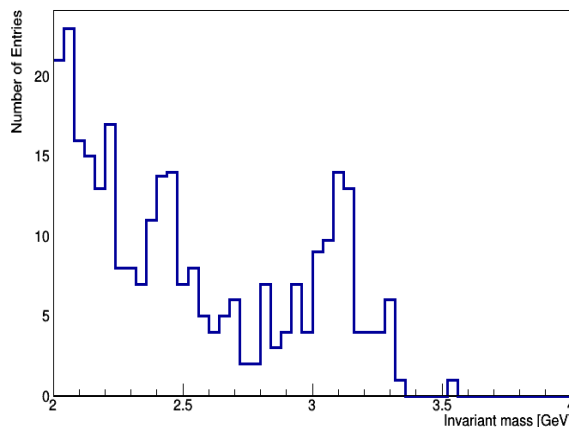
Այս տարվա ընթացում ավարտին է հասցվել մշակումների առաջին փուլը, որի հիմանական նպատակն էր  $J/\psi$  մեզոնի դեպքերի ընտրության հնարավորության ստուգումը առկա փորձարարական տվյալների հիման վրա, ինչի իրականացման համար կիրառվել է CLAS-ի ֆիզիկոսների կողմից մշակված մեթոդը՝ ֆոտոնման դեպքերի

տարանջատումը էլեկտրաճնման տվյալներից: Վիճակագրության հավաքման համար կատարվել են մեթոդաբանական հետազոտություններ: Դիտարկվել են ֆոտոճնման երկու՝ պիտակավորված և չպիտակավորված դեպքերի ընտրանիներ:

Հետազոտությունները ցույց տվեցին, որ լեպտոնային զույգի ինվարիանտ զանգվածի հստակեցման համար հարկավոր է կատարել դեպքերի մաքրում, մասավորապես ազատվել պիոնային աղտոտվածությունից, կատարել մասնիկների նույնականացման բարելավումներ, ինչպես նաև օգտագործվել են տարբեր եղանակներով ստացված տվյալների վերլուծության համեմատումներ, սահմանափակումների բարելավումներ:  $J/\psi$  մեզոնի բաշխման բարելավման և դեպքերի քանակի մեծացման համար կատարվել են էներգիայի կորուստի վերականգման մշակումներ, ինչի շնորհիվ հնարավոր եղավ մեծացնել էլքային դեպքերի քանակը մոտ 39%-ով (Նկար 1.2): Մշակված մոտեցումները կիրառվել են պիտակավորված ֆոտոճնման դեպքերի համար, ինչի շնորհիվ հնարավոր եղավ կառուցել ինվարիանտ զանգվածի և գումարային հադրոնային զանգվածի բաշխվածությունները և կատարելորոշակի գնահատականներ (Նկար 1.3):



Նկար 1.2. Լեպտոնային զույգերի ինվարիանտ զանգվածի բաշխումը էներգիայի կորուստի վերականգնումից առաջ և հետո



Նկար 1.3. Պիտակավորված դեպքերի հնվառհանտ օանձմածի բաշխում:

## 2. E12-07-104A. Դեյտրոնի թիրախից վեկտորական մեզոնների կոհերենտ ծնումը

Շարունակվում է փորձի տվյալների վերլուծությունը՝ հիմնված դեյտրոնի թիրախից վեկտորական մեզոնների կոհերենտ ծնման կոշտ էքսկյուզիվ ռեակցիաների ուսումնասիրության վրա: Նպատակը գունային թափանցիկության ուսումնասիրությունն է: Այս երևույթի ուսումնասիրությունը կարևոր է կոշտ ռեակցիաների դինամիկան հասկանալու համար: Գունային թափանցիկության ուսումնասիրման շատ փորձերում հիմնական ուշադրության արժանացել է նուկլոնների էլեկտրաձնումը (էլեկտրոնների կողմից հետհարվածի նուկլոնների առաջացումը), չնայած որ, մեզոնների էլեկտրաձնման դեպքում գունային կոհերենտությունն առավել վաղ է ի հայտ գալիս, քան հետհարվածի նուկլոնների դեպքում: Հիմնական գաղափարն այն է, որ մեզոնի զգ քվարկներն իրար մոտեցնելը և կետանման դասավորություն ստանալն ավելի հեշտ է, քան բարիոնի զզ քվարկների դեպքում:

Էլեկտրոնային փնջերի բարձր էներգիաների և մեծ հոսանքների շնորհիվ ստեղծվել է գունային թափանցիկության փորձարարական ուսումնասիրության նոր հնարավորություն՝ էքսկյուզիվ ռեակցիաները: Այդպիսի ռեակցիաներից մեկը դեյտրոնից վեկտոր մեզոնների էլեկտրաձնման լրիվ էքսկյուզիվ ռեակցիան է՝

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

որտեղ,  $V$ -ն  $\rho$ ,  $\omega$  և  $\phi$  վեկտորական մեզոններն են:

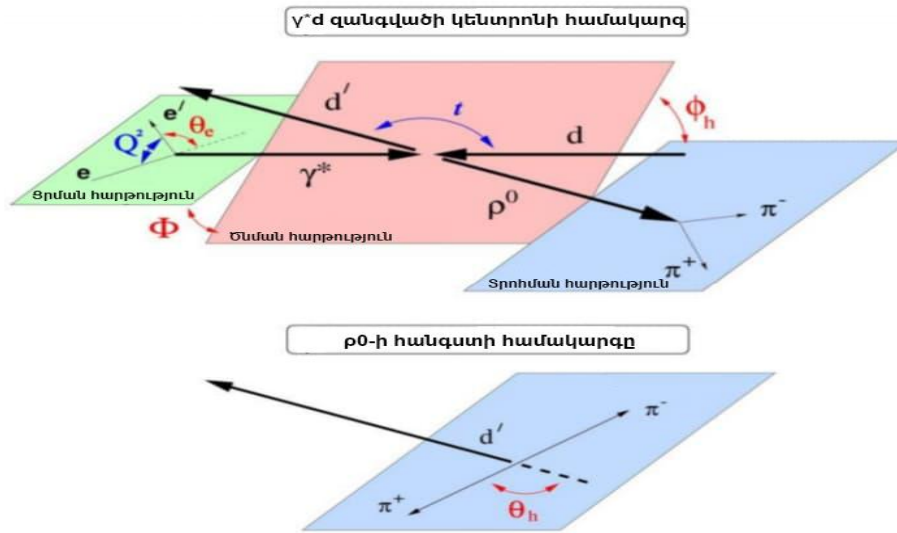
Աշխատանքն իրականացվել է փորձարարական E12-07-104A (Run Group B) տվյալների հիման վրա: 10.6 ԳԷՎ էներգիայով էլեկտրոնների փունջը ցրվում է հեղուկ ջրածնի թիրախի վրա: Հետազոտվել է հետևյալ ռեակցիան

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

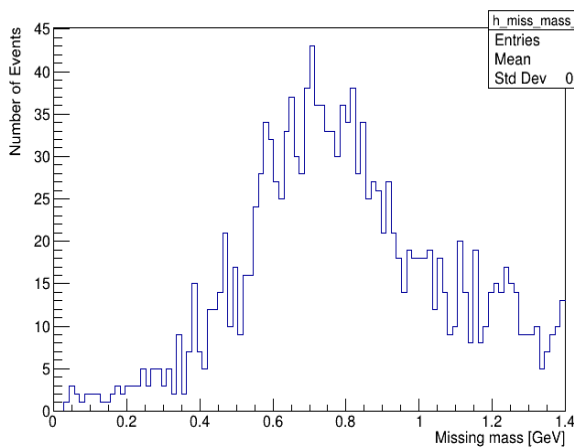
Այստեղ  $e$  և  $d$  -ն համապատասխանաբար ընկնող էլեկտրոնն է և թիրախի դեյտրոնը,  $e'$  և  $d'$  -ցրված էլեկտրոնը և հետվարվածի դեյտրոնը, իսկ  $\pi^+\pi^-$  հանդիսանում են  $\rho^0$  մեզոնի տրոհման արգասիքները:

Անհրաժեշտ դեպքերի ընտրության համար կիրառվել է պակասող զանգվածի (Նկար 2.2ա) և ինվարիանտ զանգվածի (նկար 2.2բ) տեխնիկան:

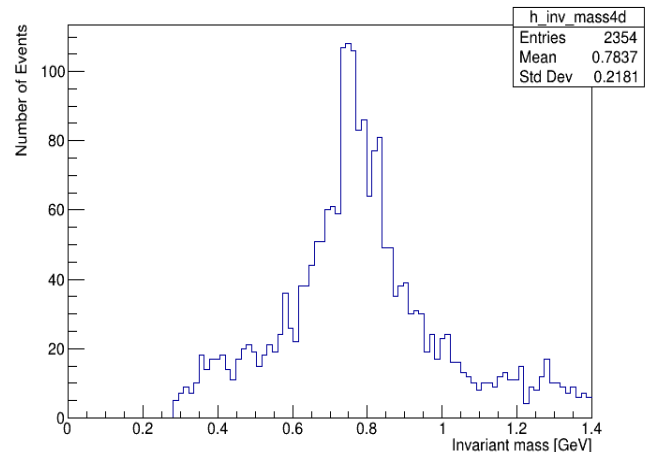




Նկար 2.1 դիտարկվող ռեակցիայի սխեմատիկ պատկերը



Նկար 2ա)  $\rho^0$  պակասող զանգվածը



Նկար 2բ)  $\pi^+\pi^-$  ինվարիանտ զանգվածը

### Մերվիսային աշխատանքներ

- Հեռավար կարգով կատարվել են ավելի քան 30 HPS (Heavy Photon) գիտափորձի աշխատանքային հերթափոխներ:
- Մերվիսային աշխատանքներում իրականացվել են CLAS12-ի հետազոտային համակարգերի՝ կենտրոնային և առաջնային դետեկտորների, տվյալների հարաբերական կարգավորումների ցուցանիշների շտկումներ:

## Hall-C (փորձարարական սրահ)

2021 թվականին Ջեֆերսոնի Լաբորատորիայի C սրահում շարունակվել է 12 ԳԷՎ էներգիայի էլեկտրոնային փնջով ֆիզիկական գիտափորձերի ծրագիրը: 2021թ.-ին արագացուցչի և կրիոգենիկ համակարգերի խնդիրների պատճառով փորձարարական չափումները C սրահում սկսվել են միայն ամռան կեսին:

Այդ պահից և մինչ տարեվերջ կատարվել է մեծ Q2 –ների տիրույթում պիոնների էքլյուզիվ էլեկտրաձեռնման կտրվածքի L-T բաղադրիչների բաժանման և նրա ֆորմ-ֆակտորի որոշման E12-19-006 “Pion-LT” գիտափորձը, այն էլ մասնակի՝ վիրտուալ ֆոտոնների  $\epsilon$  բևեռացման փոքր արժեքների տիրույթում: Այս գիտափորձի չափումները կշարունակվեն 2022 թ.-ի հունվար և հոկտեմբեր-դեկտեմբեր ամիսներին:

Համավարակի պատճառով, ԱՄԳԼ-ի խմբի անդամներն այս գիտափորձի չափումներին մասնակցել են հեռահար: Ենթադրում ենք, որ Pion-LT գիտափորձի հաջորդ տարվա նախատեսված չափումների երկրորդ փուլին ԱՄԳԼ-ի ֆիզիկոսները կկարողանան գործուղվել ԱՄՆ և լիարժեք մասնակցել գիտափորձին:

Սրան զուգահեռ մենք շարունակել ենք մասնակցել նախկինում կատարված SIDIS, CSV գիտափորձերի տվյալների մշակմանը և դրանց հետ կապված զանազան հարցերի քննարկումներին, կատարել լրացուցիչ մոդելավորման հաշվարկներ կապված մեր (Վ. Թադևոսյանի) համահեղինակությամբ առաջարկված և JLab PAC-ի կողմից պայմանականորեն ընդունված TCS գիտափորձի համար: Կատարվել են որոշ մեթոդական և հաշվարկային աշխատանքներ Չեզոք Մասնիկների Սպեկտրոմետրին (NPS) և Կոմպակտ Ֆոտոնային Աղբյուրին (CPS) վերաբերող թեմաների շրջանակներում: Հատկանշական է նաև ԱՄԳԼ-ի ընդգրկումը EIC էլեկտրոն-Իոնային Կոլայդերի նոր միջազգային համագործակցության շրջանակում, որտեղ մեր մասնակցությունը կենտրոնացված կլինի EmCal էլեկտրամագնիսական կալորիմետրի նախագծման և կառուցման վրա: Ստորև համառոտ անդրադառնանք նշված աշխատանքներից մի քանիսին:

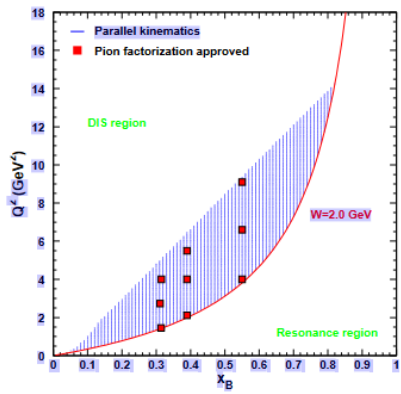
### 1. Մասնակցություն մեծ Q2 –ների տիրույթում պիոնների էքլյուզիվ էլեկտրաձեռնման կտրվածքի L-T բաժանման և $F\pi$ ֆորմ-ֆակտորի որոշման E12-19-006 գիտափորձին

$p(e, e'\pi^+)_n$  ցրման պրոցեսի կտրվածքի L-T տարանջատված բաղադրիչների չափումները եզակի հնարավորություն են՝ փորձարկելու ֆակտորիզացիան կարճ տարածությունների վրա: Այս չափումը առանձնահատուկ հետաքրքրություն է ներկայացնում հաղորնային պարտոնային ռեժիմից քվարկ գլյուոնային ազատության

աստիճաններին անցնելու տիրույթում հաղորնային կառուցվածքի մեր ըմբռնման համար: Անցումը սպասվում է  $Q^2$ -ու արժեքների՝ մինչև 10  $\text{GeV}^2$  տիրույթում:

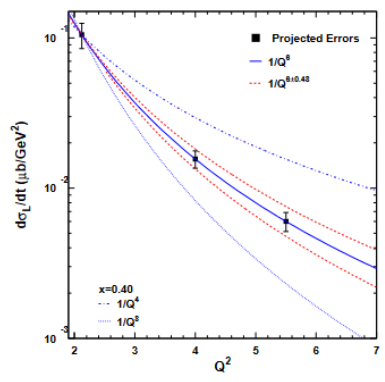
Այս գիտափորձը C սրահի HMS-SOS սպեկտրոմետրների օգտագործմամբ և 6  $\text{GeV}$  էներգիայի փնջով նախկինում կատարված  $F\pi-1$  և  $F\pi-2$  փորձերի շարունակությունն է: Այժմ գիտափորձը կատարվում է 12  $\text{GeV}$  էներգիայի էլեկտրոնային փնջով, նոր SHMS սպեկտրոմետրով, թարմացված HMS սպեկտրոմետրով և էլեկտրոնիկայի համակարգով:

Կտրվածքի չափումները պետք է կատարվեն Բյորկենի  $x$ -փոփոխականի և վիրտուալ ֆոտոնի  $Q^2$  -ու մի քանի հաստատուն արժեքների համար, ինչպես ցույց է տրված Նկար 1-ում :



Նկար 1.  $Q^2 - x_B$  երկչափանի տիրույթը, որը հասանելի է L-T տարանջատումների համար C սրահում 11  $\text{GeV}$ -ի դեպքում՝ օգտագործելով SHMS+HMS համադրությունը:

Նախատեսվում է չափել երկայնական կտրվածքի կախվածությունը  $Q^2$ -ուց  $x_B = 0.311, 0.39, 0.55$  արժեքների համար, և երկայնական կտրվածքի  $x_B$  կախվածությունը  $Q^2 = 4.0 \text{ GeV}^2$  դեպքում:



Նկար 2.  $\sigma_L$ -ի  $Q^2$  -ուց կախվածության կանխատեսված անորոշությունները  $x_B = 0.39$  դեպքում:

Նախատեսված չափումների կինեմատիկական տիրույթը բերված է Աղուսյակ I-ում:

Աղուսյակ I. Նախատեսված չափումների կինեմատիկական տիրույթը

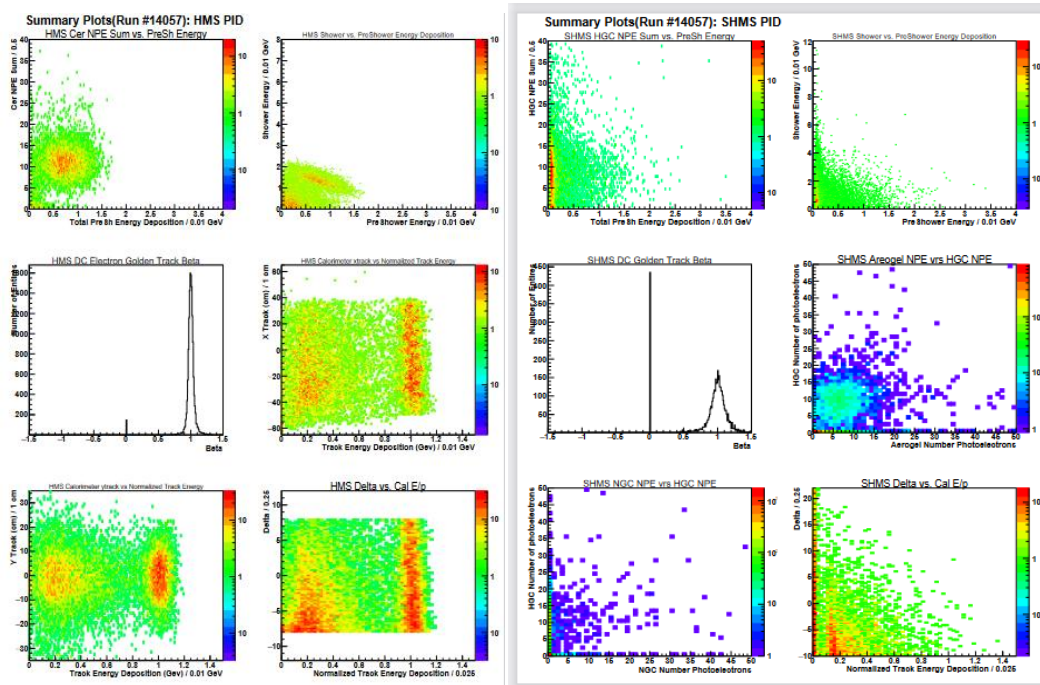
$Q^2$ (GeV <sup>2</sup> )	$x_B$	$\epsilon$	LH <sub>2</sub> hours	Dummy hours	Overhead (hours)	Total (hours)
1.45	0.311	0.52	0.9	0.1	4	5.0
1.45	0.311	0.84	0.3	0.1	4	4.4
2.73	0.311	0.35	4.3	0.3	4	8.6
2.73	0.311	0.74	1.6	0.2	4	5.8
4.00	0.311	0.33	4.0	0.3	4	8.3
4.00	0.311	0.63	2.6	0.2	4	6.8
Subtotal $x_B=0.31$						38.9 (1.6 days)
2.12	0.39	0.54	0.9	0.1	4	5.0
2.12	0.39	0.82	0.5	0.1	4	4.6
4.00	0.39	0.28	9.5	0.7	4	14.2
4.00	0.39	0.63	5.0	0.3	4	9.3
5.50	0.39	0.24	17.4	1.2	4	22.6
5.50	0.39	0.53	11.2	0.8	4	16.0
Subtotal $x_B=0.40$						71.7 (3.0 days)
4.00	0.55	0.32	3.8	0.3	4	8.1
4.00	0.55	0.73	2.3	0.2	4	6.5
6.60	0.55	0.15	83.7	6.0	4	93.7
6.60	0.55	0.55	51.5	3.6	4	59.1
9.10	0.55	0.18	199.3	14.0	4	217.3
9.10	0.55	0.44	182.3	12.8	4	199.1
Subtotal $x_B=0.55$						583.8 (24.3 days)

Յուրաքանչյուր կինեմատիկական կետում կատարվելու են չափումներ 10 սմ երկարության հեղուկ ջրածնային թիրախով (LH2), իսկ թիրախի պատուհանների ներդրումը գնահատելու համար՝ Al Dummy թիրախով:

Բացի այդ, ռեակցիայի մեկ-պիոնային փոխանակման մեխանիզմի ստուգման նպատակով կատարվում են դեյտրոնային թիրախի վրա (LD2) լիցքավորված պիոնների էլեկտրադինամիկ չափումներ  $\pi^+/\pi^-$  հարաբերության գնահատման համար:

Տարբեր կինեմատիկական պայմանների և թիրախների դեպքում փնջի հոսանքը փոփոխվում է 40-70  $\mu$ A տիրույթում՝ սարքավորման բարձր էֆեկտիվությունը և թիրախների անվտանգությունը պահպանելու համար:

Հեռահար չափումների մեր մասնակցության ժամանակ, յուրաքանչյուր 1 ժամվա ընթացքում կուտակված տվյալներից մշակվում էին առաջին 50000 դեպքերը և կառուցվում էին կարևոր սարքերի և ֆիզիկական բնութագրերի բաշխումները, որոնք վերլուծվում էին չափման բարորակությունը ստուգելու համար: Որպես օրինակ, Նկար 3-ում բերված են HMS և SHMS մասնիկների տարանջատման համակարգերի բնորոշ բաշխումները (կալորիմետր-Չերենկովյան հաշվիչ):



Նկար 3. HMS և SHMS սպեկտրոմետրների կալորիմետրներից և չերենկովյան հաշվիչներից ստացված ազդանշանների բնութագրական բաշխումները:

## 2. Չեզոք մասնիկների սպեկտրոմետրի նախագծի հետ կապված աշխատանքներ

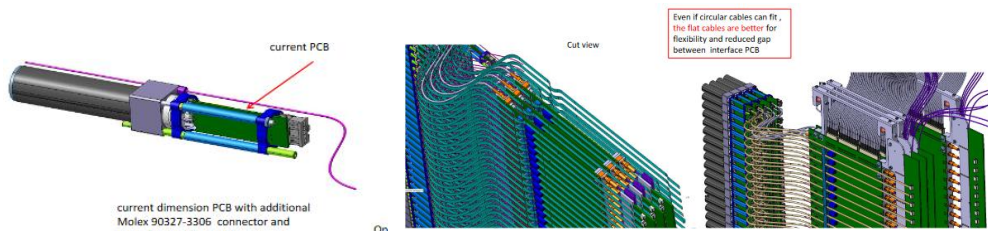
NPS -ի կառուցումը: Մոտ 1200 կապարի վոլֆրամատի (PbWO4) բյուրեղներից բաղկացած NPS սպեկտրոմետրն անհրաժեշտ է 5 արդեն ընդունված գիտափորձերին, որոնցից մեկին ( $\pi 0$ -SIDIS) համահեղինակ է ԱՄԳԼ-ի խումբը: Իդեալ, հենց այդ առաջարկում էլ մենք տվեցինք NPS-ի և նրա հիմնական հանգույցների ստեղծման գաղափարը: ԱՄԳԼ-ի խումբը Ամերիկյան Կաթոլիկ Համալսարանի (CUA) և Օրսեի Միջուկային Ֆիզիկայի Ինստիտուտի (Ֆրանսիա) հետ համատեղ ուսումնասիրել է չինական SICCAS և չեխական CRYTUR ֆիրմաներից ստացված 2.05×2.05×20 սմ3 չափերի PbWO4 բյուրեղների օպտիկական հատկությունները, և ճապոնական Hamamatsu R4125 ֆոտոբազմապատկիչների բնութագրերը:

C սրահի 12 ԳԷՎ ծրագրով նախատեսված չեզոք մասնիկների էլեկտրաձնման կտրվածքների ճշգրիտ չափումների և նրանց L/T բաղադրիչների տարանջատման իրականացման համար պահանջվող չեզոք մասնիկների սպեկտրոմետրը ներկայումս գտնվում է կառուցման ընթացքում: Այն նոր հնարավորություններ կբացի C սրահում կատարվող գիտափորձերի համար՝ օգտագործվելով լավ յուրացված HMS և SHMS մագնիսական սպեկտրոմետրների հետ համատեղ: 2021 թվականին շարունակվել է համակարգչային մոդելավորմամբ NPS սպեկտրոմետրի “մաքրող մագնիսի” միջոցով ֆիզիկական ֆոնի չեզոքացման էֆեկտիվության ուսումնասիրումը: Շարունակվել է կապարի վոլֆրամատի բյուրեղների ձեռք բերումը SICCAS (Չինաստան) և CRYTUR (Չեխիա) ընկերություններից, նրանց չափագրումը և օպտիկական բնութագրերի ստուգումը: Մոտ են ավարտին կալորիմետրի ջերմամեկուսիչ խցիկի և ՖԷԲ-ների բարձր լարման մալուխավորման աշխատանքները: Նախատեսվում է, որ մինչ տարեվերջ կալորիմետրի բոլոր բաղկացուցիչ մասերը կլինեն JLab-ում: Հավաքման աշխատանքները նախատեսվում է սկսել 2022-ի գարնանը կամ ամռան սկզբներին:



Նկար 3. NPS սպեկտրոմետրի տեղակայումը Hall C սրահում (ձախից), և PbWO4 բազմաբջիջ (1200) կալորիմետրի մեխանիկական կմախքի սխեմատիկ տեսքը (աջից):

Ներկայումս մշակվում է առանձին մոդուլների և ողջ կալորիմետրի հավաքման, ազդանշանային, բարձր լարման և հսկման համակարգի մալուխների միացման տեխնիկական հարցերը, ինչպես նաև ՖԷԲ-ների բարձր լարման ճշգրտման հարցերը:



Նկար 4. NPS կալորիմետրի առանձին մոդուլի սխեմատիկ տեսքը (ձախից), և PbWO4 բազմաբջիջ (1200) կալորիմետրի մեխանիկական և մալուխային համակարգի միացման սխեմատիկ տեսքը (աջից): Նկարը վեցված է NPS համագործակցության նյութերից:

Ինչպես նախկինում, ԱՍԳԼ-ի մեր խումբը ներգրավված է եղել բյուրեղների ձեռք բերման, չափագրման և ջոկման աշխատանքներում:

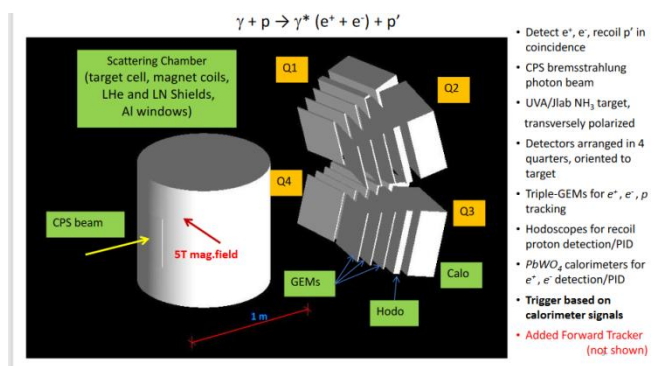
Covid համավարակի պայմաններով թելադրված, NPS սպեկտրոմետրի հավաքման աշխատանքներն ընթացիկ տարուց տեղափոխվել են գալիք տարվա գարուն կամ ամռան սկիզբ: Նույն հանգամանքների բերումով մեր մասնակցությունը աշխատանքներում սահմանափակվել է առցանց ժողովներով, ընթացիկ խնդիրների լուծմանը միտված առաջարկներով:

Մենք 2022 թ.-ին պլանավորում ենք մասնակցել NPS կալորիմետրի հավաքման և նախնական ստուգման աշխատանքներին:

### 3. Ժամանականման Կոմպտոնյան ցրման (TCS) նախագծի հետ կապված աշխատանքներ

2021 թվականին մոդելային հաշվարկներ են կատարվել, միտված TCS սարքավորման համակարգի էլեկտրոնային տրիգերի հիմնավորմանը: Մոդելային հաշվարկներով ցույց է տրվել, որ էֆեկտիվ տրիգեր կարելի է կառուցել, հիմնված TCS զույգ լեպտոնների կալորիմետրիկ ազդանշանների վրա: Բարձր շեմ դնելով ամեն մի ազդանշանի, նաև գումարային ազդանշանի վրա, կարելի է ապահովել TCS դեպքերի գրանցման ավելի քան 95%-ը, միևնույն ժամանակ սահմանափակելով ֆոնային դեպքերի հաճախությունը տրիգերում մի քանի տասնյակ կձց-ի մակարդակում, որն ընդունելի է:

Աշխատանք է կատարվում գնահատելու համար տվյալների մշակման էֆեկտիվությունը: Ցույց է տրվել, որ դրա համար էական է հետհարվածի պրոտոնի նույնականացումը հոդոսկոպում և կալորիմետրում: Ստացվել են վերականգնված TCS մեծությունների բաշխումները: Աշխատանքն ընթացքի մեջ է:



Նկար 5. Գիտափորձի ենթադրվող սարքավորման սխեմատիկ պատկերը:

### 4. E12-09-017 (“pt-SIDIS”) գիտափորձից ստացված տվյալների մշակում

ԱՄԳԼ-ի խումբը շարունակել է մասնակցել E12-09-017 (“pt-SIDIS”) գիտափորձի 2018-2019 թ.թ. չափված տվյալների մշակմանը, օգտագործելով JLab-ի և ԱՄԳԼ-ի հաշվողական բազաների հնարավորությունները: Ծրագրային որոշ կարևոր փաթեթներ և գիտափորձի տվյալների սահմանափակ մաս հնարավոր է եղել տեղադրել ԱՄԳԼ-ի հաշվիչ կենտրոնի մեքենայի վրա, սակայն դրանց գերակշիռ մասը և տվյալների մշակման ծրագրերի ծավալուն փաթեթները գտնվում են JLab -ում: Ուստի, էֆեկտիվ աշխատանքի համար պահանջվում է որակյալ և արագ ինտերնետային կապ, որը դեռևս բացակայում է:

Pt-SIDIS գիտափորձում օգտագործվել է 10.6 ԳեՎ էներգիայի, 2-70  $\mu$ A ինտենսիվության CW էլեկտրոնային փունջ, 10 սմ երկարության հեղուկ ջրածին (LH2), և հեղուկ դեյտրոն (LD2), ինչպես նաև 2 մմ հաստության Al թիրախներ: Վերջինս ծառայել է նաև հեղուկ թիրախների մուտք-ելք պատուհանների ներդրումը գնահատելու և տվյալներից հանելու համար: Գիտափորձում HMS սպեկտրոմետրը օքսագործվել է ցրված էլեկտրոնների գրանցման համար (բացասական բևեռացում), իսկ SHMS-ը՝  $\pi^-$  (բացասական բևեռացում) և  $\pi^+$  (դրական բևեռացում) մեզոնների գրանցման համար:

## 5. Մասնակցություն EIC համագործակցության աշխատանքներին

Էլեկտրոն-իոնային կոլայդերի (EIC) գիտական ծրագիրը գնահատվել է ԱՄՆ Ազգային գիտությունների ակադեմիայի ֆիզիկայի և աստղագիտության խորհրդի կողմից որպես երկրի կարևորագույն նպատակներից մեկը: Զեկույցը, որը հրապարակվել է 2018 թվականի օգոստոսին, ցույց է տվել, որ նման հետազոտություններն էական նշանակություն կունենան զանգվածի ծագումը, սպինը և նուկլոնի ներսում գյուտոնների փոխազդեցությունը հասկանալու համար: 2020 թվականի հունվարին ԱՄՆ էներգետիկայի նախարարությունը (DOE) Բրուքհեյվենի ազգային լաբորատորիայում EIC-ի համար տեղամասի ընտրություն կատարեց: Ներկայումս ստեղծվում են աշխատանքային խմբեր, ձևավորվում են միջազգային համագործակցություններ ծրագիրն իրագործելու նպատակով:

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, ուր պրոտոնի և էլեկտրոնի փնջերը կարող են բևեռացվել: Այս եզակի մեքենան կապահովի կատարել բարձր էներգիաների և միջուկային ֆիզիկայի բնագավառի եզակի ուսումնասիրություններ, որոնք կպարզաբանեն այնպիսի սկզբունքային հարցեր ինչպիսիք են.

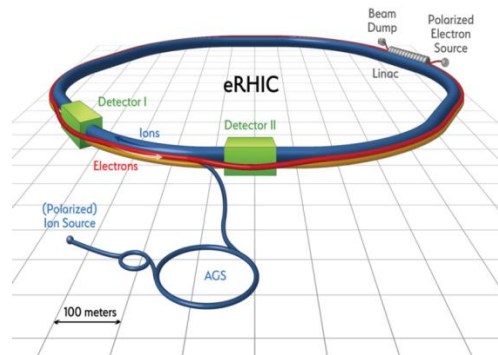


- ինչպես է առաջանում նուկլոնի զանգվածը,
- ինչպես է ձևավորվում նուկլոնի սպինը,
- ինչ վարքագիծ ունեն գլյուոնները և քվարկները մեծ խտության պայմաններում:

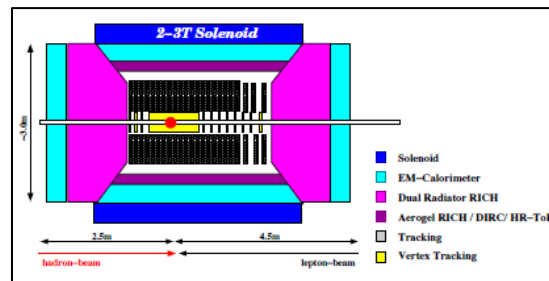
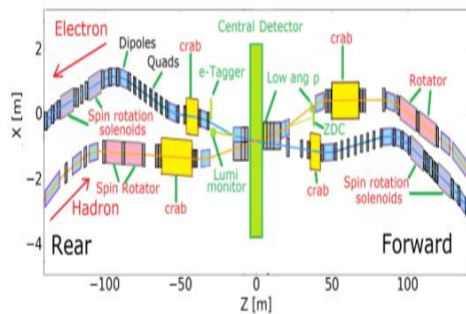
EIC օգտվողների խմբերն այժմ ձևավորվում են, և ժամանակը չափազանց կարևոր է, որպեսզի Հայաստանը, հանձինս ԱՄԳԼ-ի, ներգրավվի որպես առաջատար մասնակից և ստանձնի պատասխանատվություն EIC-ի համար նոր սարքերի նախագծման, կառուցման և փորձարկման համար: ԱՄԳԼ-ի խումբն ի վիճակի է նախագծել, կառուցել և փորձարկել կալորիմետրի նախատիպեր, կատարել MC մոդելավորման հաշվարկներ՝ գնահատելու ակնկալվող պայմանները և սարքերի բնութագրերը:

Նկ.6-ում բերված են ապագա կոլայդերի բնութագրերը և սխեմատիկ կառուցվածքը:

- Center of Mass Energies 20 GeV – 140 GeV
- Maximum Luminosity  $10^{34} \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$
- Hadron Beam Polarization 80%
- Electron Beam Polarization 80%
- Ion Species Range p to Uranium
- Number of interaction regions up to two



Նկար 6. EIC կոլայդերի սպասվող բնութագրերը (ձախից) և նրա սխեմատիկ կառուցվածքը (աջից):



Նկար 7. EIC-ում նախատեսվող փնջերի հանդիպման տիրույթը (ձախից) և նրանում տեղակայվող փորձարարական սարքի սխեմատիկ կառուցվածքը (աջից):

ԱՄԳԼ-ի խումբն այժմ նախապատրաստում է անհրաժեշտ նյութա-տեխնիկական բազա այս աշխատանքներին լիարժեք ընդգրկվելու համար: ԱՄԳԼ-ում տնօրինության և ամերիկյան բարերարների օգնությամբ կառուցվել է Լաբորատոր սենյակ հատուկ մեթոդիկ աշխատանքների համար (բյուրեղների և ՖԷԲ-ների ուսումնասիրություններ):

Առաջիկա տարիներին այն կհամալրվի միջազգային ստանդարտներին համապատասխանող էլեկտրոնիկայով և հատուկ չափիչ սարքերով:

## **6. Մասնակցություն գիտաժողովներին**

Խմբի անդամները մասնակցել են C սրահի, SIDIS համագործակցության ամեն շաբաթյա, NPS-CPS համագործակցության երկշաբաթյա ժողովներին: Մենք մասնակցել ենք նաև EIC-ի ընդհանուր և նրա կալոռիմետրիայի խմբի աշխատանքներին և շաբաթական գիտաժողովներին:

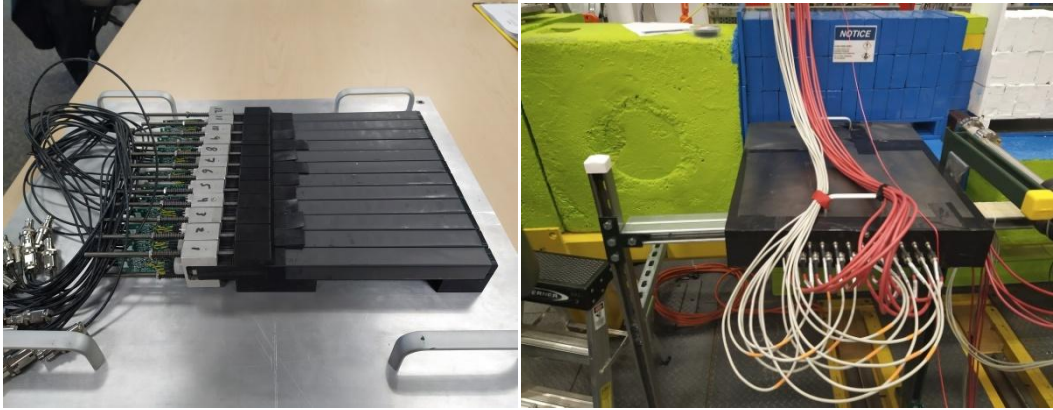
### **Hall-D (փորձարարական սրահ)**

1. Հաշվետու ժամանակաշրջանում (2019-2020թ.) ԱԱԳԼ-Նlab կոլաբորացիայի անդամները մասնակցել են «Դ» փորձարարական սրահում (Hall D) կատարվող GlueX գիտափորձի աշխատանքներին: CEBAF արագացուցիչի 12 ԳԷՎ էլեկտրոնային փնջից ստացված 9 ԳԷՎ էներգիայով զծային բևեռացված ֆոտոնային փնջով կատարվել են GlueX դետեկտորի բաղադրիչների տրամաչափման, շահագործման և աշխատունակության, ինչպես նաև տվյալների հավաքման և մշակման ծրագրային համակարգի ստուգման աշխատանքներ:

2. Մասնակցել են 20 հեռավար հերթափոխների (shifts):

3. Շարունակվել են COMCAL դետեկտորի կառուցման, տեղադրման և տրամաչափման աշխատանքները, որոնցում ունեցել ենք ակտիվ մասնակցություն: Պետք է նշել, որ COMCAL դետեկտորը կառուցվել է NPS (NeutralParticleSpectrometer) դետեկտորի անդամների կոլաբորացիայի հետ, որում ակտիվ ընդգրկված են խմբի աշխատակիցները:

4. Հատուկ պատրաստված հարթակի վրա ուսումնասիրվել են FCAL (Forward Calorimeter) դետեկտորի վերազինման համար նախատեսված PbWO<sub>4</sub> տիպի բյուրեղների և PMT-ների հատկությունները (Նկար 1):



Նկար 1. PbWO<sub>4</sub> բյուրեղների համար նախատեսված հարթակ:

5. Կառուցվել է մաքուր սենյակ (CLEAN ROOM) և էլեկտրոնիկայի համակարգ բյուրեղների և PMT-ների ուսումնասիրություններ կատարելու, ինչպես նաև FCAL դետեկտորի հավաքման համար (Նկար 2):

2021թ. դեկտեմբեր ամսից խումբը ակտիվորեն ներգրավվել է տեղում կատարելու մաքուր սենյակի վերազինման աշխատանքները:

Այժմ մենք ակտիվ ներգրավված ենք կատարելու և կառուցելու FCAL դետեկտորի լույսային մոնիտորինգի համակարգը (Light Monitoring System), որը նախատեսված է առցանց (online) տարբերակով հսկելու PbWO<sub>4</sub> բյուրեղների և PMT-ների հատկությունները փորձերի ժամանակ:



Նկար 2. Clean room և էլեկտրոնիկայի համակարգ

6. DIRC դետեկտորի աշխատանքային միջավայրի պարամետրերի, ինչպես նաև բարձր և ցածր լարման սնուցման աղբյուրների պարամետրերի վերահսկումը և կարգավորումն ապահովելու համար ստեղծվել են EPICS համակարգում աշխատող ծրագրեր և գրաֆիկական ինտերֆեյսեր հերթափոխի անձնակազմի և դետեկտորների

փորձագետների համար: DIRC ENVIRONMENT գրաֆիկական ինտերֆեյսի օգնությամբ կարդացվում, ինչպես նաև կարգավորվում (փոփոխվում) են միջավայրի տվյալները չափող սենսորների արժեքները (ջերմությունը, խոնավությունը, լույսի քանակը, գազերի ճնշումը, ջրի հոսքը, ջերմաստիճանը և այլն): Անհրաժեշտ պայմաններին չբավարարելու դեպքում անջատվում են դետեկտորի լարումների սնուցման աղբյուրները և ահազանգման համակարգի օգնությամբ այդ մասին տեղեկացվում է հերթափոխի անձնակազմին:

7. Խմբի անդամներն ակտիվորեն մասնակցել են Դ փորձարարական սրահի եռամսյակային կոլաբորացիոն հեռավար գիտա-ժողովներին, ինչպես նաև PrimeX և JEF ամենշաբաթյա ժողովներին:

8. Խմբի անդամները մասնակցել են EIC(ElectronIonCollider)-ի համար նախատեսվող կալորիմետրի առկա և հեռակա քննարկումներին:

## **Հրատարակումներ**

1. An experimental program with high duty-cycle polarized and unpolarized positron beams at Jefferson Lab

By: A. Accardi; A. Afanasev; I. Albayrak et al.

Group Author(s): Jefferson Lab Hall A&Hall C Collaborations

Eur.Phys.J.A(2021), 57: 261

2. Deep Exclusive Electroproduction of  $\pi^0$  at High  $Q^2$  in the Quark Valence Regime

By: M. Dlamini; B. Karki; S. F. Ali; et al.

Group Author(s): Jefferson Lab Hall A Collaboration

PHYSICAL REVIEW LETTERS, Volume: 127, Article Number: 152301

3. Accurate Determination of the Neutron Skin Thickness of  $^{208}\text{Pb}$  through Parity-Violation in Electron Scattering By: D. Adhikari; et al.

Group Author(s): PREXCollaboration

PHYSICAL REVIEW LETTERS, Volume: 126, Article Number: 172502D.

4. Form factors and two-photon exchange in high-energy elastic electron-proton scattering

By: M. E. Christy; T. Gautam; L. Ou; et al.

Group Author(s): Jefferson Lab Hall A Collaboration

e-Print: 2103.01842 [nucl-ex]

5. Measurement of the Nucleon  $F_n^2/F_p^2$  Structure Function Ratio by the Jefferson Lab

MARATHON Tritium/Helium-3 Deep Inelastic Scattering Experiment

By: D. Abrams; H. Albataineh; B. S. Aljawrneh; et al.

Group Author(s): MARATHON Collaborations

e-Print: 2104.05850 [hep-ex]

6. A Direct Detection Search for Hidden Sector New Particles in the 3-60 MeV Mass Range

By: A. Ahmidouch; S. Davis; A. Gasparian; et al.

Group Author(s): Jefferson Jlab Collaboration

e-Print: [2108.13276](#) [nucl-ex]

7. New Measurements of the Beam-Normal Single Spin Asymmetry in Elastic Electron Scattering Over a Range of Spin-0 Nuclei

By: D. Adhikari; H. Albataineh; D. Androic; et al.

Group Author(s): CREX and PREX Collaborations

e-Print: [2111.04250](#) [nucl-ex]

8. Double polarisation observable G for single pion photoproduction from the proton

By: N. Zachariou; D.P. Watts; J. McAndrew; et al.

Group Author(s): Jefferson Lab CLAS Collaboration

PHYSICAL LETTERS B, Volume: 817 Article Number: 136304

9. Differential cross sections for  $\Lambda(1520)$  using photoproduction at CLAS

By: U. Shrestha; T. Chetry; C. Djalali; et al.

Group Author(s): Jefferson Lab CLAS Collaboration

PHYSICAL REVIEW C, Volume: 103 Issue: 2 Article Number: 025206

10. Observation of Beam Spin Asymmetries in the Process  $ep \rightarrow e' \pi^+ \pi^- X$  with CLAS12

By: T. B. Hayward; C. Dilks; A. Vossen; et al.

Group Author(s): Jefferson Lab CLAS Collaboration

PHYSICAL REVIEW LETTERS, Volume: 126 Issue: 15 Article Number: 152501

11. Measurement of deeply virtual Compton scattering off He4 with the CEBAF Large Acceptance Spectrometer at Jefferson Lab

By: R. Dupré; M. Hattawy; N.A. Baltzell; et al.

Group Author(s): Jefferson Lab CLAS Collaboration

PHYSICAL REVIEW C, Volume: 104 Article Number: 025203

12. Measurement of the proton spin structure at long distances

By: X. Zheng; A. Deur; H. Kang; et al.

Group Author(s): CLAS Collaboration

NATURE PHYS., Volume: 17 Pages: 736 – 741

13. Electron-beam energy reconstruction for neutrino oscillation measurements

By: M. Khachatryan; A. Papadopoulou; A. Ashkenazi; et al.

Group Author(s): Jefferson Lab CLAS and e4v Collaborations

NATURE, Volume: 599, Pages: 565-570

14. First multidimensional, high precision measurements of semi-inclusive  $\pi^+$  beam single spin asymmetries from the proton over a wide range of kinematics

By: S. Diehl; A. Kim; G. Angelini; et al.

Group Author(s): Jefferson Lab CLAS Collaboration

e-Print: 2101.03544 [hep-ex]

15. Beam-spin asymmetry  $\Sigma$  for  $\Sigma^-$  hyperon photoproduction off the neutron

By: Nicholas Zachariou; Edwin Munevar; Barry Berman; et al.

Group Author(s): Jefferson Lab CLAS Collaboration

e-Print: 2106.13957 [nucl-ex]

16. Improved  $\Lambda p$  Elastic Scattering Cross Sections Between 0.9 and 2.0 GeV/c and Connections to the Neutron Star Equation of State

By: J. Rowley; N. Compton; C. Djalali; et al.

Group Author(s): Jefferson Lab CLAS Collaboration

e-Print: 2108.03134 [hep-ex]

17. First-time measurement of Timelike Compton Scattering

By: P. chatagnon; S. Niccolai; S. Stepanyan; et al.

Group Author(s): Jefferson Lab CLAS Collaboration

e-Print: 2108.11746 [hep-ex]

18. Measurement of charged-pion production in deep-inelastic scattering off nuclei with the CLAS detector

By: S. Moran; R. Dupre; H. Hakobyan; et al.

Group Author(s): Jefferson Lab CLAS Collaboration

e-Print: 2109.09951 [nucl-ex]

19. Ruling out Color Transparency in Quasielastic  $^{12}\text{C}(e,e'p)$  up to  $Q^2$  of 14.2 (GeV/c) $^2$

By: D. Bhetuwal; J. Matter; H. Szumila-Vance; et al.

Group author(s): Jefferson Lab Hall C Collaboration

PHYSICAL REVIEW LETTERS, Volume: 126 Article Number: 082301

20. Measurement of the Beam-Normal Single-Spin Asymmetry for Elastic Electron Scattering from  $^{12}\text{C}$  and  $^{27}\text{Al}$

By: D Androic; DS Armstrong; A Asaturyan; et al.

Group author(s): Qweak Collaboration

PHYSICAL REVIEW C, Volume: 104 Article Number: 014606

21. Spectroscopy of A=9 hyperlithium with the  $(e,e'K^+)$  reaction

By: T Gogami; C Chen; D Kawama; et al.

Group author(s): Jefferson Lab Hall C Collaboration

PHYSICAL REVIEW C, Volume: 103 Article Number: L041301

22. Electromagnetic calorimeters based on the scintillating lead tungstate crystals for experiments at Jefferson Lab

By: A. Asaturyan; F. Barbosa; V. Berdnikov; et al.

Group author(s): NPS Collaboration

Nucl. Instr. Methods A, Volume: 1013 Article Number: 165683

23. S. Adhikari, C. S. Akondi, A. Ali, et al. (GlueX Collaboration), Measurement of beam asymmetry for  $\pi^- \Delta^{++}$  photoproduction on the proton at  $E_\gamma=8.5$  GeV, Physical Review C 103 (2021) 2, L022201.

24. S. Adhikari, C.S. Akondig, H. Al Ghoulg et al. (GlueX Collaboration), The GlueX Beamline and Detector, Nuclear Instruments & Methods A 987 (2021) 164807.

## **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 ՀՀ ԿԳՄՍ Գիտության կոմիտեի «Պիկովայրկյանային լուծողականությամբ երկրորդական էլեկտրոնների դետեկտոր  $\Delta$  հիպերմիջուկների հետազոտությունների համար» և ՄԳՏԿ-ի "RF timer of keV electrons" նախագծերի սահմաններում իրականացվող աշխատանքներին: Մասնավորապես, կառուցված ՌՀ թայմերի նախատիպը հաջողությամբ փորձարկվել է լաբորատոր պայմաններում թերմոէլեկտրոններով և սինխրոնիզացված լազերի ֆոտոններով Քենդլ ինստիտուտում:

Մշակվել և փորձարկվել են տարածազգայուն դետեկտորների համար կիրառվող ուշացման գծերի մի քանի տարբերակներ, ուսումնասիրությունները շարունակվում են: Կատարելագործվել են տվյալների հավաքագրման և մշակման ծրագրեր, որոնց օգնությամբ իրականացվել են փորձարական հետազոտություններ: Կառուցվում է նոր դետեկտոր՝  $\Delta$  հիպերմիջուկների և նանկառուցվածքների նախատեսված ուսումնասիրությունների համար: Հետազոտությունների շնորհիվ ստացված արդյունքները պատրաստվում են տպագրության:

Խումբը ստեղծել է գիտահետազոտական նախագծեր: Հետևյալ նախագծերը մասնակցել են ՀՀ ԿԳՄՍ Գիտության կոմիտեի կողմից հայտարարված դրամաշնորհի մրցույթներին և արժանացել ֆինանսավորման.

1. «ԿԷՎ Էներգիաներով էլեկտրոնների գերբարձր հաճախությունների պարույրաձև սկանավորող համակարգ»
2. «Գրաֆենային հիմքով ինֆրակարմիր ճառագայթման կլանիչ թաղանթներ»

**Հրատարակումներ գիտական ամսագրերում.**

1. T. Gogami, ..., A. Margaryan, S. Zhamkochyan - "Spectroscopy of hyperlithium with the reaction", Physical Review C, V 103, L041301, 2021.
2. D. Androić, ..., S. Zhamkochyan - "Measurement of the beam-normal single-spin asymmetry for elastic electron scattering from  $^{12}\text{C}$  and  $^{27}\text{Al}$ ", Physical Review C, 2021, 104 (1), 014606.
3. A. Accardi, ..., S. Zhamkochyan - "An experimental program with high duty-cycle polarized and unpolarized positron beams at Jefferson Lab", The European Physical Journal A, 2021, 57 (8), 261.
4. V Gurzadyan, A Margaryan - "Ultrahigh accuracy time synchronization technique operation on the Moon", The European Physical Journal Plus, V136, pp 1-7, 2021
5. V Sulkosky, ..., S. Abrahamyan - "Vincent Sulkosky", Nature Physics, volume 17, pages 687-692 (2021).
6. 1) N. Margaryan, N., Kokanyan E. Kokanyan - "Investigation of Properties of Graphene Quantum Dots and Carbon Nanotubes Synthesized in a Colloid Solution", Journal of Contemporary Physics (Armenian Academy of Sciences), 2021, Vol. 56, No. 3, ISSN 1068-3372.
7. N. Margaryan "Synthesis and Topological Study of Graphene Layers". Երևանի Հայրուսակ համալսարանի գիտամեթոդական հանդես: 91-95, 2021:

**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, Յ. Ղարիբյան, Ռ. Ավետիսյան, Ա. Բարսեղյան, Հ. Մկրտչյան, Ա. Պետրոսյան

2021 թ. ընթացքում կատարվել են նախորդ տարում իրականացված գիտափորձերի մշակման աշխատանքներ: Ա.Ալիխանյանի անվան Ազգային Գիտական Լաբորատորիայի (ԱԱԳԼ) գործող ԼՈՒԷ-75 գծային արագացուցչի և C18/18 ցիկլոտրոնի վրա իրականացվել են բնական նիոբիումի, բնական ռենիումի և բնական վոլֆրամի թիրախների ճառագայթում: Այս գիտափորձերի արդյունքում ստացվել են բազմաթիվ տվյալներ, որոնց մի մասը մշակվել և ներկայացվել է նախորդ տարվա հաշվետվությունում, իսկ շարունակությունը բերված է ստորև: Մասնավորապես, կներկայացվի ցիկլոտրոնի արտաքին պրոտոնային փնջի վրա կատարված գիտափորձի արդյունքները:

Բնական վոլֆրամի՝ պրոտոնային փնջով ճառագայթումից առաջանում են ռենիումի մի շարք իզոտոպներ: Չափվել են իզոտոպների առաջացման ռեակցիաների կտրվածքներ: Օգտագործվել է լայն կիրառում ունեցող մեթոդը, ըստ որի հաջորդաբար տեղադրվել են պոնձի, այլումինի և վոլֆրամի թիթեղներ այնպես, որ փունջն ամբողջությամբ կլանվի թիրախում: SRIM/TRIM ծրագրային փաթեթի միջոցով



կատարված հաշվարկները ցույց տվեցին, որ այս պայմանը բավարարելու համար անհրաժեշտ է 10 եռյակ: Պղինձը ծառայել է որպես մոնիտոր՝ պրոտոնային փնջի հոսքը գնահատելու համար, այլումինը՝ որպես փնջի դանդաղեցուցիչ, իսկ վոլֆրամը՝ որպես հետազոտվող թիրախ: Աղ. 1-ում բերված է պրոտոնային փնջի էներգիան պղնձի և վոլֆրամի յուրաքանչյուր շերտում:

Աղ. 1. Պրոտոնային փնջի էներգիան պղնձի և վոլֆրամի յուրաքանչյուր շերտում

N	Էներգիա (ՄԷՎ)	
	Cu	W
1	17.36 ± 0.44	16.94 ± 0.5
2	16.44 ± 0.48	15.99 ± 0.66
3	15.47 ± 0.54	15.01 ± 0.65
4	14.44 ± 0.75	13.97 ± 0.68
5	13.37 ± 0.79	12.88 ± 0.70
6	12.24 ± 0.80	11.73 ± 0.62
7	11.01 ± 0.93	10.48 ± 0.62
8	9.70 ± 0.87	9.08 ± 0.79
9	8.24 ± 0.88	7.52 ± 0.90
10	6.54 ± 0.97	5.71 ± 0.90

Ուսումնասիրվող ռեակցիաների համար կատարվել են գրգռման ֆունկցիաների տեսական հաշվարկներ TALYS 1.95 և EMPIRE 3.2 կոդերի միջոցով: Ստացված արդյունքները համեմատվել են տեսական հաշվարկների և գրականությունում առկա այլ գիտափորձերի արդյունքների հետ: Հաջորդիվ բերված աղյուսակում ընդգրկված են  $^{181}\text{Re}$ ,  $^{182m}\text{Re}$ ,  $^{182g}\text{Re}$ ,  $^{183}\text{Re}$ ,  $^{184g}\text{Re}$ ,  $^{186}\text{Re}$  իզոտոպների առաջացման կտրվածքները:

Այս ամենին զուգընթաց, կատարվել են մի շարք տեխնիկական համալրումներ: Ստեղծվել է լաբորատոր սենյակ, որում իրականացվելու են ցածր էներգիաների միջուկային ֆիզիկայի հետազոտություններ: Սենյակը համալրված է CANBERRA արտադրության բարձր մաքրության գերմանիում դետեկտորով և համապատասխան անալիզատորով: Վերջինս գնվել է ՀՀ ԿԳՄՍՆ Գիտության Կոմիտեի հայտարարած Մեկնարկային դրամաշնորհի ֆինանսական միջոցներով: Այս համակարգը թույլ կտա իրականացնել սպեկտրոսկոպիկ չափումներ և դրանց մշակում:

2021թ.-ին խումբը դիմել էր ՀՀ ԿԳՄՍՆ Գիտության Կոմիտեի կողմից հայտարարված թեմատիկ դրամաշնորհային մրցույթին և ստացել ֆինանսավորում:

Խումբը համալրվել է մեկ երիտասարդ աշխատակցով:

Տարվա ընթացքում կատարած աշխատանքների հիման վրա տպագրվել է 3 գիտական հոդված, ինչպես տեղական, այնպես էլ միջազգային պարբերականներում:

Պրոտոնի էներգիա (ՄԷՎ)	Ընդլայնական կտրվածքներ (մք)					
	<sup>181</sup> Re	<sup>182m</sup> Re	<sup>182g</sup> Re	<sup>183</sup> Re	<sup>184g</sup> Re	<sup>186</sup> Re
5.71±0.90	-	1.07±0.13	0.75±0.09	0.33±0.04	0.58±0.07	0.70±0.08
7.52 ± 0.90	-	3.06±0.37	1.55±0.18	2.11±0.24	2.57±0.31	4.01±0.46
9.08±0.79	-	11.41±1.38	1.60±0.19	8.67±0.97	17.05±0.26	36.76±4.23
10.48±0.62	1.22±0.13	30.28±3.39	5.07±0.56	36.27±3.92	27.60±0.41	40.90±4.29
11.73±0.62	13.30±1.43	79.45±8.90	11.76±1.31	74.04±7.99	21.38±0.32	30.54±3.21
12.88±0.70	67.26±7.26	108.74±12.18	19.70±2.19	105.00±11.34	13.70±1.44	18.88±1.98
13.97±0.68	104.90±11.33	98.90±11.08	21.79±2.42	123.00±13.28	9.45±0.99	17.61±1.85
15.01±0.65	146.70±15.40	82.40±8.40	20.60±2.06	166.83±17.02	9.70±1.02	13.45±1.37
15.99±0.66	156.45±16.43	67.85±6.92	24.14±2.41	185.93±18.96	8.13±0.85	11.29±1.15
16.94±0.50	177.76±18.66	92.80±9.46	26.25±2.63	226.90±23.14	41.30±4.21	10.11±1.03

## Գիտական հրատարակումներ

1. Measurement of average cross sections and isomer ratios for  $^{nat}\text{Re}(\gamma, xn)$  reactions at the end-point bremsstrahlung energies of 30 MeV and 40 MeV  
By: R.V. Avetisyan, A.E. Avetisyan, A.G. Barseghyan, R.K. Dallakyan, Yu. A. Gharibyan, A.V. Gyurjinyan, I.A. Kerobyan, H.A. Mkrtchyan  
NUCLEAR INSTRUMENTS AND METHODS IN PHYSICS RESEARCH SECTION B: BEAM INTERACTIONS WITH MATERIALS AND ATOMS Volume: 507
2. Investigation of Flux-Weighted Average Cross Sections for Reactions on  $^{93}\text{Nb}$  with Bremsstrahlung of LUE-75  
By: A.E. Avetisyan, R.V. Avetisyan, A.G. Barseghyan, Yu.A. Gharibyan, A.V. Gyurjinyan, R.K. Dallakyan, I.A. Kerobyan, H.A. Mkrtchyan  
PHYSICS OF ATOMIC NUCLEI Volume: 84, Issue 3
3. Production of  $^{186}\text{g Re}$  Medical Isotope on the Proton Beam of Cyclotron C18/18  
By: R.V. Avetisyan, A.G. Barseghyan, Yu.A. Garibyan, A.V. Gyurdjinyan, I.A. Kerobyan, H.A. Mkrtchyan  
JOURNAL OF CONTEMPORARY PHYSICS Volume: 56, Issue: 1

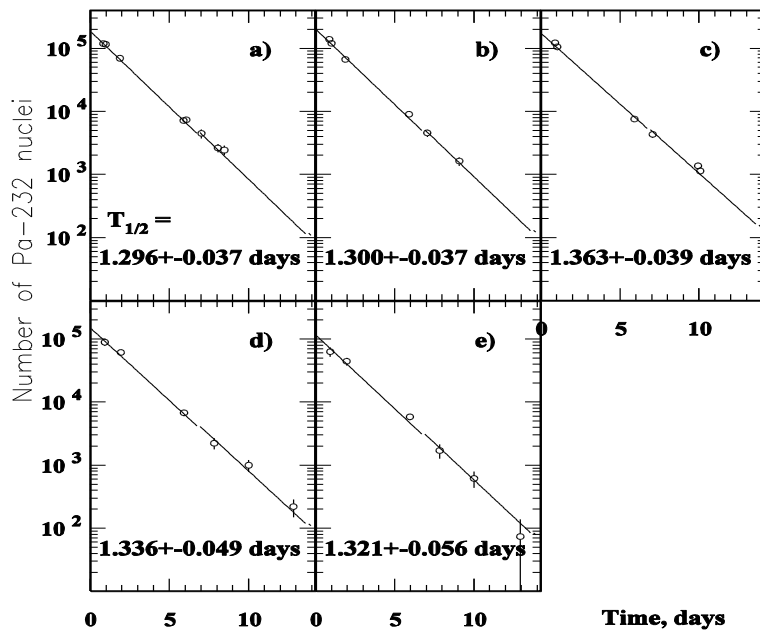
## Ցածր ֆոնային լաբորատորիայում կատարված ուսումնասիրություններ

Ղեկավար՝ Լևոն Պողոսյան

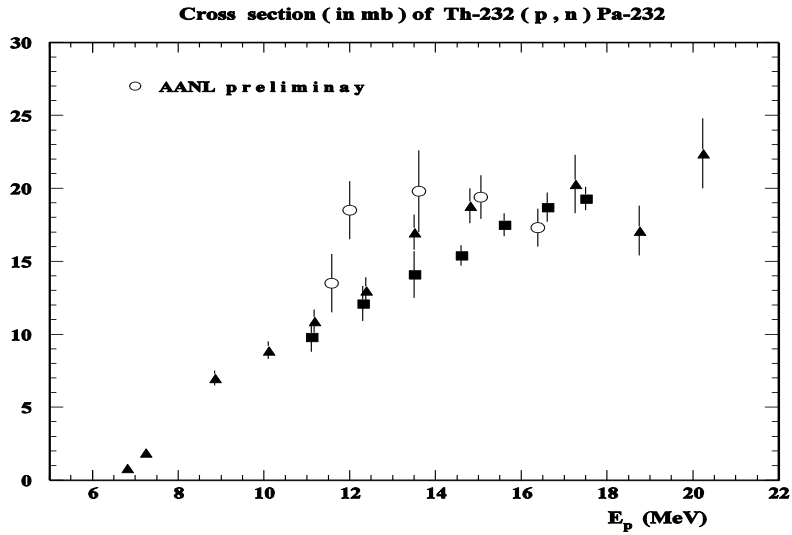
Կատարողներ՝ Հ. Գուլքանյան, Վ. Պողոսով, Տ. Քոթանջյան, Ս. Ամիրխանյան, Ա. Ալեքսանյան, Օ. Պողոսովա

Շարունակվել է ԱԱԳԼ-ի էլեկտրոնային գծային արագացուցչի վրա 25, 40 և 70 ՄԷվ սահմանային էներգիաներով արգելակման ֆոտոնների փնջերով ճառագայթված տարբեր թիրախների, այդ թվում՝ ածխածնի, շափյուղայի ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), պղնձի, արծաթի, ոսկու, կապարի և բիսմութի գերմանատի ( $\text{Bi}_4\text{Ge}_3\text{O}_{12}$ ) թիրախների, գամմա-ակտիվության վերլուծությունը ցածրֆոնային լաբորատորիայում գործող սպեկտրաչափի միջոցով և չափման տվյալների մշակումը: Ստացվել են նախնական տվյալներ մի շարք ֆոտոմիջուկային ռեակցիաների էլքերի վերաբերյալ: Նախապատրաստվել և հրատարակման է առաքվել “Թթվածնի միջուկից  $^7\text{Be}$ -ի առաջացման հետազոտումը արգելակման ֆոտոններով  $E_{\gamma}^{\text{max}} = 40$  և  $70$  ՄԷվ էներգիաների դեպքում” հոդվածը, որում առաջին անգամ չափվել է  $^{16}\text{O}(\gamma, X)^7\text{Be}$  ինկլուզիվ ռեակցիայի էլքը շեմամերձ էներգիաների տիրույթում ( $E_{\gamma} < 40$ ) և ցույց է տրվել, որ առկա տեսական մոդելները չեն նկարագրում փորձարարական տվյալները:

Շարունակվել է C-18 ցիկլոտրոնի վրա 17.5 ՄԷվ սկզբնական էներգիայով պրոտոնների փնջերով ճառագայթված տարբեր թիրախների, այդ թվում՝ պղնձի, թորիումի, ուրանի և բիսմութի գերմանատի թիրախների, գամմա-ակտիվության վերլուծությունը և չափման տվյալների մշակումը: Մասնավորապես, պրոտոնի հինգ էներգետիկական տիրույթներում ( $\langle E_p \rangle = 11.6, 12.0, 13.5, 15.1, 16.5$  ՄԷվ) չափվել են  $^{232}\text{Th}(p,n)^{232}\text{Pa}$  ռեակցիայում առաջացած պրոտակտինիում-232 ռադիոնուկլիդի ( $T_{1/2} = 1.31 \pm 0.02$  օր) տրոհման կորերը (Նկար 1) և ստացվել են նախնական գնահատականներ այդ ռեակցիայի կտրվածքի վերաբերյալ (Նկար 2):



Նկար 1.  $^{232}\text{Th}(p,n)^{232}\text{Pa}$  ռեակցիայում առաջացած պրոտակտինիում-232 ռադիոնուկլիդի տրոհման կորերը՝ ֆիտից ստացված  $T_{1/2}$  կիսատրոհման պարբերության արժեքներով: a), b), c), d), e) նկարները համապատասխանում են պրոտոնի  $\langle E_p \rangle = 16.5, 15.1, 13.5, 12.0, 11.6$  ՄԷվ միջին էներգիաներին:



Նկար 2.  $^{232}\text{Th}(p,n)^{232}\text{Pa}$  ռեակցիայի կտրվածքի էներգետիկական կախումը: Բաց շրջանները համապատասխանում են ԱԱԳԼ-ում ստացված նախնական տվյալներին, սև սիմվոլները՝ գոյություն ունեցող տվյալներին:

Խմբի անդամների կողմից կամ նրանց մասնակցությամբ նախապատրաստված հետևյալ չորս հետազոտական նախագծերը հաղթող են ճանաչվել մրցույթում և ստացել են պետական ֆինանսական աջակցություն՝

- ա) «Աստղաֆիզիկական հետաքրքրություն ներկայացնող պրոտոն-միջուկային ռեակցիաների հետազոտումը C-18 ցիկլոտրոնի վրա».
- բ) «Ծանր միջուկների հետ պրոտոնների փոխազդեցությունների հետազոտումը C-18 ցիկլոտրոնի վրա».
- գ) «Շրջակա միջավայրում և հանքարդյունաբերությունում ծանր մետաղների պարունակության քանակական որոշման նոր տեխնոլոգիա».
- դ) «Արևի-կույր» ուլտրամանուշակագույն ուղղորոշիչի փորձնական նմուշի ստեղծում:

Հրատարակված և հրատարակման առաքված աշխատանքների ցանկ

1. А. Алексанян и др., “Изучение образования  ${}^7\text{Be}$  из ядер кислорода тормозными фотонами при  $E_{\gamma}^{max}=40$  и 70 МэВ”, направлено в ” Journal of Contemporary Physics (Armenian Academy of Sciences).

## **Չերենկովյան դիտակների օգնությամբ աստղաֆիզիկական աղբյուրների ուսումնասիրումը (HESS և CTA)**

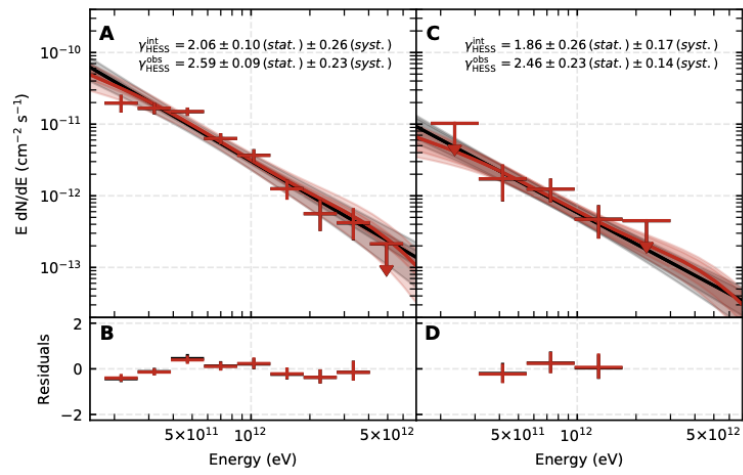
Ղեկավար՝ ֆիզ.մաթ.գիտ.թեկնածու Վ. Սահակյան  
Կատարող՝ Գ. Պապյան, Մ. Ժամկոչյան

Ա.Բ.Ալիխանյանի անվան ազգային գիտական լաբորատորիայի (Երևանի ֆիզիկայի ինստիտուտ) Փորձարարական ֆիզիկայի բաժանմունքի Չերենկովյան դիտակների օգնությամբ աստղաֆիզիկական աղբյուրների ուսումնասիրման (HESS և CTA) խումբը 2021թ. ընթացքում մասնակցել է H.E.S.S. (High Energy Stereoscopic System) համագործակցության աշխատանքներին, ստեղծել է մի քանի ԳԷՎ-ից բարձր էներգիա ունեցող գամմա-քվանտների և տիեզերական ճառագայթների մաս կազմող պրոտոնների ու էլեկտրոնների Սոնտե-Կարլո բանկ՝ CTA (Cherenkov Telescope Array) համագործակցության LST1 (Large-Size Telescope) դիտակի համար, կատարել է ուսումնասիրություններ մինչև 100 ԳԷՎ տիրույթի փորձարարական տվյալների մաթեմատիկական վերլուծության նոր՝ ավելի արդյունավետ եղանակների կամ պարամետրերի մշակման ուղղությամբ:

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

- Գրանցվել են շատ բարձր էներգիաների (ՇԲԷ) գամմա ճառագայթներ GRB 190829A գամմա-բռնկման (Gamma-ray Bursts) մարումից (afterglow)՝ գամմա-բռնկման սկզբից 4.3-ից մինչև 55.9 ժամ հետո [1]: GRB 190829A-ն նախապես գրանցվել է Fermi Gamma-ray Burst Monitor-ի կողմից՝ 2019թ. օգոստոսի 29-ին՝ համաշխարհային ժամանակով (Universal Time UT) 19:55:53-ին ( $T_0$ ): H.E.S.S.-ի դիտումները կատարվել են երեք հաջորդական գիշերների ընթացքում՝ առաջինում՝ 3.6 ժամ տևողությամբ՝ սկսած  $T_0+4.3\theta$ -ից, իսկ երկրորդում և երրորդում՝ 4.7-ական ժամ՝ սկսած  $T_0+27.2\theta$ -ից և  $T_0+51.2\theta$ -ից: Գամմա ազգանշանն առանձնացվել է համապատասխանաբար  $21.7\sigma$ ,  $5.5\sigma$  և  $2.4\sigma$  հուսալիությամբ: Գրանցված սպեկտրը կարելի է նկարագրել  $dN/dE = N_0(E/E_0)^{-\gamma_{VHE}^{obs}}$  աստիճանային ֆունկցիայով, որտեղ  $N_0$ -ն սպեկտրի նորմավորման գործակիցն է  $E_0$  էներգիայի դեպքում, իսկ  $\gamma_{VHE}^{obs}$ -ն՝ սպեկտրալ ինդեքսը: Սպեկտրալ ինդեքսի համար գտնվել են հետևյալ արժեքները՝

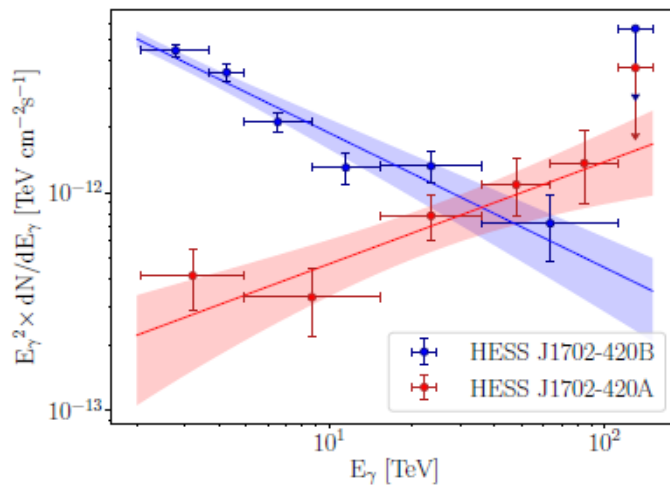
$\gamma_{VHE}^{obs} = 2.59 \pm 0.09_{stat} \pm 0.23_{sys}$  (1-ին գիշեր՝ 0.18-3.3 ՏէՎ տիրույթի համար),  
 $\gamma_{VHE}^{obs} = 2.46 \pm 0.22_{stat} \pm 0.14_{sys}$  (2-րդ գիշեր՝ 0.18-1.4 ՏէՎ-ի համար), իսկ 3-րդ  
 գիշերվա ընթացքում գրանցված հոսքը շատ թույլ է եղել սպեկտրի  
 վերականգնման համար: Եթե հաշվի առնենք ֆոտոնների կլանումն  
 աղբյուրում և արտագալակտիկական ֆոնային լույսի վրա ու այն փաստը, որ  
 երկրորդ ֆակտորն այս դեպքում գերակշռող է, ապա GRB 190829A-ի  
 սպեկտրալ ինդեքսը կլինի  $\gamma_{VHE}^{int} = 2.06 \pm 0.10_{stat} \pm 0.26_{sys}$  (1-ին գիշեր) և  $\gamma_{VHE}^{int} =$   
 $1.86 \pm 0.26_{stat} \pm 0.17_{sys}$  (2-րդ գիշեր, տես, Նկար 1): Երեք գիշերների ընդհանուր  
 տվյալների դեպքում  $\gamma_{VHE}^{int} = 2.07 \pm 0.09_{stat} \pm 0.23_{sys}$ ՝ 0.18-3.3 ՏէՎ միջակայքի  
 համար: Վիճակագրական անճշտությունների սահմաններում առաջին երկու  
 գիշերների համար ստացված սպեկտրալ ինդեքսները համապատասխանում  
 են նույն ժամանակահատվածում X-ճառագայթների տիրույթում Swift-XRT-ի  
 կողմից գրանցված տվյալներին՝  $\gamma_{XRT} = 2.03 \pm 0.06$  (1-ին գիշեր) և  $\gamma_{XRT} = 2.04 \pm$   
 $0.10$  (2-րդ գիշեր):



Նկար 1. GRB 190829A-ի ՇԲԷ սպեկտրը՝ գրանցված H.E.S.S.-ի կողմից:

- Գրանցվել են մինչև 100 ՏէՎ գամմա-ճառագայթներ HESS J1702-420  
 աղբյուրի որոշակի տիրույթ հանդիսացող նոր՝ HESS J1702-420A բաղադրիչից՝  
 $5.4\sigma$  հուսալիությամբ [2]: HESS J1702-420A-ի աստիճանային ֆունկցիայի  
 տեսքով սպեկտրը  $\Gamma = 1.53 \pm 0.19_{stat} \pm 0.20_{sys}$  սպեկտրալ ցուցիչով և առանց  
 կորության ձգվում է մինչև 64-113 ՏէՎ միջակայք, որտեղ ազդանշանն  
 առանձնացվել է  $4.0\sigma$  հուսալիությամբ: Տիրույթի հոսքը 2 ՏէՎ-ից բարձր  
 էներգիաների համար կազմում է  $(2.08 \pm 0.49_{stat} \pm 0.62_{sys}) \times 10^{-13} \text{ սմ}^{-2} \text{ վրկ}^{-1}$ , իսկ  
 շառավիղը՝  $(0.06 \pm 0.02_{stat} \pm 0.03_{sys})^{\circ}$ : Մի քանի տասնյակ ՏէՎ-ից ցածր

միջակայքում HESS J1702-420A-ը մասնակիորեն ծածկվում է երկրորդ կոմպոնենտի՝ HESS J1702-420B-ի ճառագայթումով, որի սպեկտրալ ինդեքսը  $\Gamma = 2.62 \pm 0.10_{\text{stat}} \pm 0.20_{\text{sys}}$  է, հոսքը 2 ՏէՎ-ից բարձր՝  $(1.57 \pm 0.12_{\text{stat}} \pm 0.47_{\text{sys}}) \times 10^{-12} \text{ սմ}^{-2} \text{ վրկ}^{-1}$  և որով հիմնականում պայմանավորված է HESS J1702-420-ի ցածր էներգիաների հոսքը (տես, Նկար 2): Երկու կոմպոնենտների սպեկտրները կարելի է բացատրել ն՝ հաղրոնային, ն՝ լեպտոնային մոդելներով, ընդ որում՝ հաղրոնային մոդելի դեպքում HESS J1702-420A-ի ճառագայթումն ապահովող մասնիկների նվազագույն էներգիան կազմում է 0.5 ՊէՎ, ինչը նշանակում է, որ այն կարելի է դիտարկել որպես ՊէՎ էներգիա ունեցող մասնիկների նոր աղբյուր՝ նոր “PeVatron”:



Նկար 2. HESS J1702-420A-ի և HESS J1702-420B-ի աստիճանային ֆունկցիայի տեսքով:

- Իրականացվել է Գալակտիկական հարթության ՏէՎ ճառագայթման աղբյուրների տվյալների համեմատական վերլուծություն՝ օգտագործելով H.E.S.S.-ի և “water Cherenkov detection technique” օգտագործող HAWC (High Altitude Water Cherenkov) աստղադիտարանների կողմից գրանցված փորձարարական արդյունքները [3]: Վերլուծության ժամանակ երկու գիսփորձերի համար էլ ընտրվել են 1 ՏէՎ-ից բարձր էներգիա ունեցող դեպքերը: Յույց է տրվել, որ HAWC-ի կողմից գրանցված և նախկինում Պատկերային մթնոլորտային չերենկոյան տեխնիկայով չգրանցված 7 աղբյուրներից 4-ի դեպքում գրանցվել են գամմա-ճառագայթներ H.E.S.S.-ի կողմից՝  $>5\sigma$  հուսալիությամբ, իսկ 3-ի դեպքում հոսքերը ցածր են H.E.S.S.-ի զգայունությունից:



Մինչև 100 ԳԷՎ էներգիա ունեցող գամմա-հեղեղների չերենկոմյան պատկերների առանձնահատկությունների ուսումնասիրության ուղղությամբ ստեղծվել է CTA հյուսիսային դիտակայանի LST1 դիտակի (տրամագիծ՝ 23 մ, տեղակայման բարձրություն՝ ծովի մակարդակից 2200 մ) Մոնտե-Կարլո բանկ՝ ընդգրկելով սկզբնական գամմա-քվանտների և տիեզերական ճառագայթների մաս կազմող պրոտոնների ու էլեկտրոնների հեղեղները: Մթնոլորտային հեղեղների գեներացման պայմանները բերված են Ադյուսակ 1-ում (պրոտոնների և էլեկտրոնների գեներացման մարմնային անկյունը 2 անգամ գերազանցում է LST1 դիտակի մարմնային անկյունը): Ներկայումս կատարվում են ուսումնասիրություններ մինչև 100 ԳԷՎ տիրույթի տվյալների մաթեմատիկական վերլուծության ավելի արդյունավետ մեթոդների կամ պարամետրերի մշակման ուղղությամբ:

Սկզբնավորող մասնիկ	Էներգետիկ տիրույթ	Ինտեգրալ սպեկտրի ցուցիչ	Հեղեղի անկման տիրույթ	Զենիթային անկյուն
Գամմա-քվանտ	2 ԳԷՎ – 2 ՏԷՎ	-1.5	0 – 750 մ	0
Պրոտոն	10 ԳԷՎ – 2 ՏԷՎ	-1.7	0 – 1000 մ	0 – 3.18°
Էլեկտրոն	2 ԳԷՎ – 2 ՏԷՎ	-2.26	0 – 1000 մ	0 – 3.18°

Ադյուսակ 1: CTA հյուսիսային դիտակայանի LST1 դիտակի Մոնտե-Կարլո բանկի մթնոլորտային հեղեղների գեներացման պայմանները:

**Հրապարակված աշխատանքների ցանկ**

1. “Revealing x-ray and gamma ray temporal and spectral similarities in the GRB 190829A afterglow.” H.E.S.S. Collaboration: H. Abdalla, F. Aharonian, F. Ait Benkhali et al., Science Vol. 372, Issue 6546, pp. 1081-1085 (2021).
2. “Evidence of 100 TeV  $\gamma$ -ray emission from HESS J1702-420: A new PeVatron candidate.” H.E.S.S. Collaboration: H. Abdalla, F. Aharonian, F. Ait Benkhali et al. Astronomy and Astrophysics, 653, A152 (2021).
3. “TeV emission of Galactic plane sources with HAWC and H.E.S.S.” H.E.S.S. Collaboration: H. Abdalla, F. Aharonian, F. Ait Benkhali et al. The Astrophysical Journal, 917 6 (2021).