

Հաստատում եմ
Երևանի պետական համալսարանի
գիտական հարցերի գծով պրոռեկտոր
Ռ. Հ. Բարխուդարյան



2025թ.

Կ Ա Ր Ծ Ի Ք

Գայանե Գուրգենի Ղևոնդյանի՝ Ա.04.16 «Միջուկի, տարրական մասնիկների և տիեզերական նառագայթների ֆիզիկա» մասնագիտությամբ ֆիզ.-մաթ. գիտությունների թեկնածուի գիտական ատիճանի հայցման նպատակով ներկայացված՝ «ARICH գրանցիչի կատարողականության ուսումնասիրությունը, որպես լիցքավորված մասնիկների նույնականացման կարևոր քաղաքիչներից մեկը BELLE II գիտափորձում» թեմայով թեկնածուական առենախոսության վերաբերյալ:

Ատենախոսությունը քննարկվել և հաստատվել է Երևանի պետական համալսարանի Ֆիզիկայի ինստիտուտի միջուկային ֆիզիկայի ամբիոնի և Ա. Միսակյանի անվան հեռանկարային հետազոտական միջազգային կենտրոնի 2025 թ.-ի հունվարի 17-ին կայացած համատեղ նիստում: Քննարկմանը մասնակցում էին ֆիզ.-մաթ.գիտ. դոկտոր՝ Ա. Բալաբեկյանը, ֆիզ.-մաթ.գիտ.թեկնածուներ Գ. Զառյանը, Ա.Թումասյանը, Գ. Նիկողոսյանը, Վ.Քոթանջյանը, գիտաշխատողներ Ս. Գազինյանը և Գ. Նազարյանը, ավագ լաբորանտներ Է.Քարաջյանը, Ն. Ղարիբյանը:

Ատենախոսության հիմնական ուսումնասիրությունները նվիրված են Belle II գիտափորձի ARICH գրանցիչի մանրակրկիտ ուսումնասիրմանը, որոնց նպատակն է աղուսյակների տեսքով ստանալ գրանցիչի էֆեկտիվության, մասնիկների սխալ-տարանջատման տվյալներ 1D (կախվածությունը իմպուլսից և անկյունից) և 2D (մասնիկների անկյամբ ինտեգրված իմպուլսից կախվածություն, կամ մասնիկների իմպուսով ինտեգրված անկյունային կախվածություն) դեպքերի համար: Նշված կախվածությունները ստանալու համար Belle II-ի տվյալներից վերականգնվել են հայտնի տրոհման դեպքեր, ինչպիսին է $D^{\mp\pm} \rightarrow D^0(D^0)\pi^{\pm} \rightarrow (K^{\mp}\pi^{\pm})\pi^{\pm}$, և կատարվել են հնարավոր ֆոնների գնահատման համար անհրաժեշտ Մոնտե Կառլո հաշվարկներ: Ուսումնասիրվել է նաև լիցքավորված հետազոտների քանակի հնարավոր կախվածությունը վերջնական վիճակից:

Գիտափորձն ընթանում է Ճապոնիայի Ցուկուբա քաղաքում, SuperKEKB էլեկտրոն-պրոտոնային ասիմետրիկ արագացուցչի վրա: Տվյալների մշակումը կատարվել է Ա.Բ. Ալիխանյանի անվան ազգային գիտական լաբորատորիայում (ԱԱԳԼ), Երևան, Հայաստան:

Ներածություն բաժնում համառոտ նկարագրված է SuperKEKB արագացուցիչը և Belle II գիտափորձը: Քննարկված է տարբեր հազվագյուտ տրոհման պրոցեսներում CP ասիմետրիաների որոնումը Ստանդարդ Մոդելից դուրս (BSM) ֆիզիկայի հայտնաբերման համար: Հիմնավորված է ուսումնասիրությունների համար $Y(4S)$ ռեզոնանսի տիրույթի ընտրությունը: Ընդգծվում է ARICH

աերոջելային Չերենկովյան սարքի կարևորությունը մասնիկների տարանջատման համար:

Առաջին գիտում նկարագրված է Belle II գիտափորձը: Այն սկսվում է SuperKEKB արագացուցչի նկարագրությամբ, որը հանդիսանում է մինչև 2010 թվականը գործող KEKB արագացուցչի կատարելագործված իրավահաջորդը: Ռեկորդային պայծառությամբ օժտված այս արագացուցիչը հնարավորություն է տալիս կատարել ծայրագույն ճշգրտության չափումներ: SuperKEKB արագացուցչը ֆիզիկական գիտափորձերի համար սկսել է օգտագործվել 2019 թ.-ից, հասնելով ռեկորդային պայծառության 2020 թ.-ի հունիսից մինչ 2021 թ.-ը: 2022 թ.-ի հունիսից մինչև 2024 թ.-ի հունվար ամիսը կատարվել են արագացուցչի արդիականացման և վերազինման մի շարք աշխատանքներ: SuperKEKB արագացուցիչը և Belle II դետեկտորը վերաթողարկվել են և ֆիզիկական փորձերը վերսկսվել 2024 թ.-ի հունվարի 29-ից:

Belle II դետեկտորն ունի մոտ 10 մ լայնություն, համարյա նույնքան բարձրության և 1500 տոննա կշիռ: Նրա գրանցիչների համակարգը շրջապատում է SuperKEKB արագացուցչի բախման կետը: Սարքերի նպատակն է չափել մասնիկների հետագծերը, որոնք առաջանում են ծնված մեզոնների տրոհման արդյունքում, տարանջատել դրանք և վերականգնել նրանց էներգիաներն և իմպուլսները:

Մասնիկների էֆեկտիվ գրանցումը և տարանջատումը Belle II գիտափորձում կատարվում են փնջատարը շրջապատող մի շարք սարքերով, ինչպիսիք են փոխազդեցության գազաթը ճշգրիտ գրանցող DEPFET (DEPLETED Field Effect Transistor) համակարգը, մասնիկների իմպուլսը և էներգիայի կորուստները չափող CDC (Central Drift Chamber) կենտոնական դրեյֆային խուցը, որի ազդանշանն օգտագործվում է նաև առաջին մակարդակի L1 տրիգգերի համակարգում: Մասնիկների տարանջատման խնդրում էական դեր ունի pFARICH (proximity-focusing Aerogel Ring Imaging Cherenkov) ալժոդոգելային Չերենկովյան հաշվիչը և թափանցման ժամանակի TOP (Time-Of-Propagation) սարքը: Belle II-ի barrel և end-caps էլեկտրամագնիսական կալորիմետրները, որոնք բաղկացած են CsI(Tl) և CsI բյուրեղներից և նախատեսված են մասնիկների էներգիայի ճշգրիտ չափման համար: Սարքերից ամենամեծն է KLM (K-Long-Muon) երկարակյաց կաոնների (KL) և մյուոնների տարանջատման համակարգը: Մյուոններն անցնում են KLM-ի շերտերով առանց փոխազդելու, թողնելով միայն թափանցելիությանը բնորոշ հետք: Ի տարբերություն դրան, K-long մասնիկները փոխազդում են երկաթի միջուկների հետ՝ առաջացնելով KLM-ում կլաստերային կուտակումներ: Ուժեղ փոխազդեցության դեպքերի ընտրության համար, L1 տրիգգերը փնջի հանդիպման պահից 2-4 մկվ-ի ընթացքում մշակում է CDA, ECL, TOP և KLM-ի տվյալները, տալով DAQ համակարգին ազդանշան՝ գրանցել և պահպանել բոլոր անհրաժեշտ տվյալները հետագա մշակման համար:

Երկրորդ գիտում նվիրված է Belle II գիտափորձի Aerogel RICH (ARICH) գրանցիչի կառուցվածքի, աշխատանքային սկզբունքի և չափումներից ստացված նրա բնութագրերի նկարագրմանը: Բերված են համառոտ տեղեկություններ Belle II սարքի գլխավոր հանգույցների, էլեկտրոնիկայի, տվյալների գրանցման, և մասնիկների տարանջատման համակարգի վերաբերյալ (Tracking, EmCal, Muon detector, Trigger, DAQ and PID): ARICH գրանցիչը գտնվում է Belle II սպեկտրոմետրի վերջնամասում: Այն մասնիկների տարանջատման նորագույն սարք է, նախագծված և կառուցված Belle II գիտափորձի համար: Գրանցելով աերոջել ռադիատորում առաքված Չերենկովյան ֆոտոնները կարելի է տարանջատել պիոնները և կաոնները 0.5 - 4 GeV/c իմպուլսային տիրույթում: Երկար կյանքի տևողությամբ լիցքավորված մասնիկների էֆեկտիվ տարանջատումը կարևոր դեր ունի հազվագույտ տրոհումների B-tagging-ի համար: Լիցքավորված մասնիկների նույնականացումը և նրանց սխալ-տարանջատումը ներկայացվում է ճիշտ նույնականացման և սխալ-նույնականացման հավանականություններով: Էֆեկտիվությունը որոշվում է բոլոր վերակառուցված մասնիկներից ճիշտ նույնականացված մասնիկների մասնաբաժիններով: Մյուս կողմից, սխալ-տարանջատման հավանականությունը տեղեկացնում է, թե այլ տեսակի մասնիկների ինչ մասնաբաժինն է սխալ նույնականացված:

Եռոտող գլխում քննարկվում է մասնիկների նույնականացման մեթոդը, հավանականության խտության ֆունկցիայի և էֆֆեկտիվության որոշման հարցերը: ARICH գրանցիչով անցնող լիցքավորված մասնիկների տարանջատման նպատակով 6 մասնիկներից յուրաքանչյուրի համար (էլեկտրոն, մյուոն, պիոն, կաոն, պրոտոն և դեյտրոն) կազմվում է հավանականության ֆունկցիա: Մասնիկների տարանջատումը կատարվում է դնելով սահմանափակումներ այդ հավանականության ֆունկցիաների յոգարիթմերով կազմած հարաբերությունների վրա:

Չորոտող գլխում ներկայացված է գիտափորձից կուտակված տվյալների ցանկը: Ֆիզիկական մշակման համար նախատեսված տվյալների կուտակումը կատարվել է 2019-2022 թթ.: Չափումները հիմնականում կուտակվել են $Y(4S)$ ռեզոնանսի տիրույթում, որը գտնվում է զույգ B -մեզոնի (B^0B^0) ծնման շեմից վեր: Այս ցածր ֆոնային տիրույթը, ուր չեն ծնվում ֆրագմենտացվող մասնիկներ, թույլ է տալիս էֆֆեկտիվ վերականգնել π^0 , ρ^\pm , η , η' և K^0 մեզոնները: Մասնիկների տարանջատման կարողությունը պարզելու համար օգտագործվել են $D^{\mp\pm} \rightarrow D^0(D^0)\pi^\pm \rightarrow (K^\mp\pi^\pm)\pi^\pm$ տրոհման դեպքերը, որոնք կազմում են $D^{\mp\pm} \rightarrow D^0(D^0)\pi^\pm$ տրոհման դեպքերի $(67 \pm 0.5)\%$ -ը և կարելի է վերականգնել համեմատաբար ցածր ֆոներով, քանզի $D^0(D^0) \rightarrow (K^\mp\pi^\pm)$ տրոհման դեպքերը կազմում են ընդամենը $(3.947 \pm 0.030)\%$: Օգտակար դեպքերի զատման համար կիրառվել են կորդինատային, մարմնական անկյան և կորցրած զանգվածի սահմանափակումներ: Մշակման համար օգտագործվել են $Y(4S)$ ռեզոնանսի տիրույթի տվյալները: Տարբեր ժամանակ կատարված չափման դեպքերով վերակառուցված D^0 և D^0 ինվարիանտ զանգվածների բաշխման նմանությունը վկայում է տվյալների որակի և սարքի կայունության մասին: Տարբեր կոմբինացիաներով կատարված Մոնտե Կոռլո հաշվարկները լավ համաձայնության մեջ են գիտափորձից ստացված D^0 և $D^{\mp\pm}$, D^0 և $D^{\mp\pm}$ դեպքերի ինվարիանտ զանգվածների բաշխումների հետ: Մոնտե Կոռլո հաշվարկների համար օգտագործվել է Pythia8 ծրագրային փաթեթը, հիմնվելով Belle II Analysis Software Framework բազային ծրագրի վրա:

Հինգերորդ գլխում ամբողջությամբ նվիրված է ստացված հիմնական արդյունքների նկարագրմանը: Կատարված է ստացված փորձարարական տվյալների և MC մոդելավորման արդյունքների համեմատություն, նկարագրված է RooFit մեթոդը: Բերված են մասնիկների նույնականացման 1D և 2D մեթոդների դեպքում էֆֆեկտիվության և սխալ-նույնականացման տվյալները: Քննարկվում է տարանջատման որակը բնութագրող R և Q փոփոխականների կախվածությունը:

Եզրակացություն ամփոփում է ատենափոստության նպատակները, ստացված արդյունքները, քննարկում դրանց ներդրման և Մոնտե Կոռլո հաշվարկների ու դրանցում օգտագործվող տեսական մոդելների հետագա լավացման հարցեր:

Ատենափոստությունը շարադրված է բավարար մատչելի և թույլ է տալիս եզրակացնել ներկայացված որակապես բարդ և մեծ ծավալով աշխատանքում Գայանե Ղևոնդյանի անձնական ներդրումը: Այն հետևյալն է՝

- Փորձարարական և Մոնտե Կոռլո տվյալների պատրաստում բավականին մեծ ծավալով:
- Համեմատություն փորձարարական և Մոնտե Կոռլո տվյալների միջև
- ARICH գրանցիչի կատարողականության 1D ուսումնասիրություն ըստ իմպուլսների եւ բևեռային անկյունների:
- ARICH գրանցիչի կատարողականության 2D ուսումնասիրություն ըստ իմպուլսների եւ բևեռային անկյունների, ինչը տվյալ գրանցիչի համար կատարվել է առաջին անգամ:

Որպես թերություն կարելի է նշել հետևյալը.

- Չի քննարկվում տարիների ընթացքում Belle II սարքի, մասնավորապես ARICH գրանցիչի

բնութագրերի հնարավոր փոփոխության, ծերացման հարցը (աերոգելի, ֆոտոգրանցիչների, էլեկտրոնիկայի), որը կարևոր է:

- Բացակայում է ARICH գրանցիչի էֆֆեկտիվության հաշվարկներում որևէ տեղեկություն սարքի օպտիկայի, առաքված լույսի կլանման, Ռ-ելեյան ցրման վերաբերյալ, որից կարող են փոփոխվել արդյունքները:

Սակայն նշված թերությունները չեն նսեմացնում կատարված լայնածավալ աշխատանքը: Հաշվի առնելով ստացված արդյունքների կարևորությունը տարրական մասնիկների ֆիզիկայի բնագավառում՝ որոշեցին որ Գ. Ղևոնդյանի «ARICH գրանցիչի կատարողականության ուսումնասիրությունը, որպես լիցքավորված մասնիկների նույնականացման կարելուր քաղաղրիչներից մեկը BELLE II գիտափորձում» թեմայով ատենախոսությունն արժեքավոր ներդրում է ժամանակակից փորձարարական ֆիզիկայի բնագավառում, իսկ դրա հեղինակն արժանի է ֆիզ.-մաթ. գիտությունների թեկնածուի գիտական աստիճանի շնորհմանը, ուստի Գ. Ղևոնդյանի ատենախոսությունը երաշխավորվում է պաշտպանության 024 մասնագիտական խորհրդում Ա.04.16 "Միջուկի, տարրական մասնիկների և տիեզերական ճառագայթների ֆիզիկա" մասնագիտությամբ:

Հեռանկարային հետազոտությունների
միջազգային կենտրոնի տնօրեն,
Ֆիզ.-մաթ. գիտ. դոկտոր, պրոֆեսոր՝

Ա. Ռ. Բալարեկյան

ԵՊՀ գիտ. քարտուղար՝



Մ. Վ. Հովհաննիսյան

10.01.25թ.