

«ՀԱՍՏԱՏՈՒՄ ԵՄ»

«ԳԱԱ Ֆիզիկայի կիրառական

պրոբլեմների ինստիտուտի տնօրեն



Վ.Ռ. Քոչարյան

«04» մարտի 2026 թ.

ԱՌԱՋԱՏԱՐ ԿԱԶՄԱԿԵՐՊՈՒԹՅԱՆ ԿԱՐԾԻՔ

Հրայր Ասատրյանի «Ուժեղ փոխազդեցությունների ուղղումները B-մեզոնի թույլ ռադիացիոն տրոհումների համար» ատենախոսության վերաբերյալ, ներկայացված Ա.04.02 - «Տեսական ֆիզիկա» մասնագիտությամբ ֆիզիկամաթեմատիկական գիտությունների թեկնածուի գիտական աստիճանի հայցման համար

Հմայքի փոփոխությամբ չեզոք հոսանքների (flavor-changing neutral currents (FCNC)) ոսումնասիրումը ժամանակակից բարձր էներգիաների ֆիզիկայի կարևորագույն ուղղություններից է: Այդ հետազոտությունները հնարավորություն են տալիս մեծ ճշտությամբ ստուգելու Ստանդարտ մոդելի կանխատեսումները, ինչպես նաև սահմանափակումներ դնելու դրա շրջանակներից դուրս հնարավոր «նոր» ֆիզիկայի վրա: Մասնավորապես, ակտիվ տեսական և փորձարարական հետազոտությունների առարկա է B մեզոնի տրոհումը տարօրինակ քվարկ պարունակող հադրոնի (X_s) և ֆոտոնի ($B \rightarrow X_s \gamma$ տրոհում): Ստանդարտ մոդելում այդ տրոհումը արգելված է ծառային մոտավորությամբ և իրականացվում է ֆեյնմանյան դիագրամների օղակային մակարդակում: Ներկայումս կատարվում են ակտիվ աշխատանքներ բարձր ճշտությամբ նոր փորձերի ուղղությամբ (Belle-II փորձ): Դրա հետ կապված՝ հրատապ է դառնում տրոհման տեսական կանխատեսումների ճշտության բարձրացումը, ինչը պահանջում է

առաջատար լոգարիթմի հաջորդի-հաջորդ կարգի (NNLO) հաշվարկներ՝ c-քվարկի զանգվածի ֆիզիկական արժեքների համար: Ստանդարտ մոդելի կարևոր բաղկացուցիչ տարր են զանգվածեղ վեկտորական դաշտերը: Ներկայացվող ատենախոսության մաս է կազմում այդ դաշտերի քվանտային վակուումի հատկությունների ուսումնասիրումը քվանտացման ծավալը սահմանափակող սահմանների առկայությամբ: Նախկինում նման հետազոտությունները հիմնականում կատարվել են զրոյական զանգվածով վեկտորական դաշտերի համար՝ նկատի ունենալով կիրառությունները էլեկտրադինամիկայում:

Քննարկման առարկա ատենախոսության առաջին մասը նվիրված է $b \rightarrow s\gamma$ հազվագյուտ ռադիացիոն տրոհման մեջ ուժեղ փոխազդեցությունների ներդրումների հաշվարկին՝ $O(\alpha_s^2)$ կարգում: Աշխատանքում օգտագործվում են ինչպես անալիտիկ, այնպես էլ ժամանակակից թվային և կիսաթվային մեթոդներ, որոնց միջոցով հաշվարկվել են նշված տրոհման մեջ երեք-օղականի Ֆեյնմանյան դիագրամների ներդրումները: Երկրորդ մասում դիտարկված են զանգվածեղ վեկտորական դաշտի վակուումի լոկալ բնութագրերը հարթ զուգահեռ սահմանների առկայությամբ՝ դրանց վրա երկու տիպի եզրային պայմանների դեպքերում: Ատենախոսությունը կազմված է ներածությունից, երեք գլուխներից, եզրակացությունից և օգտագործված գրականության ցանկից: Այն ներառում է 21 նկար և 3 աղյուսակ:

Ատենախոսության **առաջին գլխում** կատարվել է բարձր-օղականի Ֆեյնմանյան դիագրամների հաշվարկի ժամանակակից մեթոդների համեմատություն: Գլխի սկզբում նկարագրված է անալիտիկ մեթոդը, որը երկար ժամանակ հանդիսացել է ոսկե ստանդարտ բարձր-օղականի դիագրամների հաշվարկի համար: Մանրամասն ներկայացված է դիագրամների բերումը փոքր թվով վարպետ (master) ինտեգրալների, դրանց համար դիֆերենցիալ հավասարումների կառուցումը և այդ դիֆերենցիալ հավասարումների լուծման վերլուծական սխեման: Գլխի երկրորդ մասում ցույց է տրվել, որ $b \rightarrow s\gamma$ տրոհման մեջ ներդրում ունեցող որոշ դիագրամների դեպքում այս մեթոդը կիրառելի չէ: Այս համատեքստում՝ կատարվել է ժամանակակից ծրագրային փաթեթների

(AMFlow, DiffExp, PySecDec) խորը ուսումնասիրություն: Ուսումնասիրության արդյունքում մշակվել է նոր մեթոդ՝ բարձր ճշտությամբ հաշվելու բարձր օղականի Ֆեյնմանյան դիագրամներ դիֆերենցիալ հավասարումների միջոցով՝ օգտագործելով AMFlow և DiffExp փաթեթները:

Երկրորդ գլխում ներկայացված է մշակված մեթոդաբանության կիրառումը $b \rightarrow s\gamma$ տրոհման O_1 և O_2 օպերատորների հետ կապված ներդրումների հաշվարկի համար c -քվարկի զանգվի ամբողջ ֆիզիկական սպեկտրում՝ $O(\alpha_s^2)$ կարգում: Կառուցվել է վերլուծություն ըստ $z = m_c^2 / m_b^2$ հարաբերության, որը զուգամիտում է c -քվարկի զանգվածի ֆիզիկական տիրույթին համապատասխանող ամբողջ միջակայքում: Արդյունքները ստուգվել են նաև այլ փաթեթներով հաշվարկների միջոցով, ինչպես նաև կատարվել է համեմատություն անկախ հետազոտական խմբի աշխատանքների հետ՝ ստուգելով արդյունքները $z \rightarrow 0$ սահմանային սահմանում: Բոլոր համեմատությունների արդյունքում ստացվել է բարձր ճշտության համաձայնություն:

Երրորդ գլուխը նվիրված է զանգվածեղ վեկտորական դաշտի (Պրոկայի դաշտ) վակուումային ֆլուկտուացիաների հետազոտմանը հարթ սահմանների առկայությամբ՝ տարածության չափողականության ընդհանուր դեպքում: Սահմանների վրա դիտարկված են երկու տիպի եզրային պայմաններ, որոնք ընդհանրացնում են Մաքսվելյան էլեկտրադինամիկայում իդեալական էլեկտրական (PEC) և մագնիսական (PMC) հաղորդականությունների սահմանային պայմանները: PMC-պայմանը ազդում է ինչպես լայնական այնպես էլ երկայնական բևեռացումներով մոդաների վրա, մինչդեռ PEC-պայմանը երկայնական բևեռացմամբ մոդաների վրա սահմանափակում չի դնում: Երկու տիպի պայմանների համար էլ որոշված են դաշտի մոդաների լրիվ դասերը: Դրանց հիման վրա կառուցված են վեկտորական պոտենցիալի և դաշտի թենզորի երկկետային ֆունկցիաները: Դրանք բնութագրում են քվանտային կորելացիաները տարածա-ժամանակային տարբեր կետերում: Օգտագործելով երկկետային ֆունկցիաները, հետազոտված են էլեկտրական ու մագնիսական դաշտերի քառակուսիների և էներգիա-

իմպուլսի թենզորի վակուումային միջինները: Դրանց համար ստացված են անալիտիկ արտահայտություններ և հետազոտված է վարքը պարամետրերի արժեքների սահմանային տիրույթներում: Կատարված է նաև մանրամասն թվային վերլուծություն: Ցույց է տրված, որ երկու եզրային պայմանների համար էլ սահմանների վրա ազդող Կազիմիրի ուժերը ձգողական են: Ստացված արդյունքները համեմատված են գրոյական զանգվածով վեկտորական դաշտի համար համապատասխան արդյունքների հետ: Ցույց է տրվում, որ PMC-պայմանի դեպքում, գրոյական զանգվածի սահմանում էներգիա-իմպուլսի թենզորի վակուումային միջինը Պրոկայի դաշտի համար տարբերվում է գրոյական զանգվածով վեկտորական դաշտի համար միջինից: Այդ տարբերությունը պայմանավորված է լայնական բևեռացմամբ մոդաների ներդրումով:

Ամփոփելով վերը ասվածը, կարող ենք եզրակացնել, որ ատենախոսությունում ներկայացված են կարևոր արդյունքեր դաշտի քվանտայի տեսության շրջանակներում: Հատկապես կցանկանայինք նշել կարևորությունը Ստանդարտ մոդելի փորձարարական ստուգման տեսակետից՝ նկատի ունենալով մոտ ապագայում պլանավորվող բարձր ճշտությամբ փորձերը B մեզոնի տրոհման վերաբերյալ:

Միևնույն ժամանակ կարելի է նշել հետևյալ նկատառումները:

1. Երկրորդ գլխում ստացված արդյունքների ֆենոմենոլոգիական կիրառությունների քանակական քննարկումը կարող էր ներկայացվել ավելի ծավալուն ձևով՝ հատկապես անդրադառնալով դրանց ազդեցությանը $B \rightarrow X, \gamma$ տրոհման տեսական կանխատեսման վրա:
2. Ատենախոսության երրորդ գլուխը թեմատիկորեն տարբերվում է առաջին երկու գլուխներից և վերաբերում է այլ ֆիզիկական խնդրի: Թեև այդ ուսումնասիրությունն ինքնին գիտական հետաքրքրություն է ներկայացնում, աշխատանքի կառուցվածքային ամբողջականության տեսանկյունից նպատակահարմար կլիներ ավելի մանրամասն հիմնավորել այդ մասի ընդգրկումը տվյալ ատենախոսության ընդհանուր շրջանակում:

3. Կազմիրի էֆեկտին վերաբերող խնդրում սահմանների վրա ազդող ուժերը ձգողական են քննարկված երկու տիպի եզրային պայմանների դեպքերում: Այդ ուղղությամբ արդի հետազոտություններում կարևորվում են այնպիսի եզրային պայմանները կամ սահմանների երկրաչափությունները, որոնց համար ուժերը վանողական են: Այդ տեսակետից, հետաքրքիր կլիներ դիտարկել այն դեպքը, երբ երկու սահմանների վրա դրվող եզրային պայմանները տարբեր են:

Այս նկատառումները չեն նսեմացնում ատենախոսությունում ստացված արդյունքների կարևորությունը և գիտական նշանակությունը: Թեմայի արդիականությունը կասկած չի հարուցում: Ստացված արդյունքները հավաստի են և լրիվությամբ արտացոլված են բարձր վարկանիշով հանդեսներում հրատարակված գիտական հոդվածներում: Սեղմագրում ամբողջությամբ ամփոփված է ատենախոսության բովանդակությունը:

Հրաչյա Ասատրյանի ատենախոսական աշխատանքը լիովին համապատասխանում է ՀՀ ԿԳՄՍ Բարձրագույն կրթության և գիտության կոմիտեի կողմից թեկնածուական ատենախոսություններին ներկայացվող պահանջներին, իսկ հեղինակը՝ արժանի է Ա.04.02 - «Տեսական ֆիզիկա» մասնագիտությամբ ֆիզիկամաթեմատիկական գիտությունների թեկնածուի գիտական աստիճանի շնորհման:

Ատենախոսությունը զեկուցվել և քննարկվել է ՀՀ ԳԱԱ Ֆիզիկայի կիրառական պրոբլեմների ինստիտուտի 2026 թ. մարտի 3-ին կայացած գիտական սեմինարում:

Կարծիքը ձևավորեց և ամփոփեց՝

Ֆիզիկամաթեմատիկական գիտությունների

դոկտոր, պրոֆեսոր՝

Լ.Շ. Գրիգորյան

Լ.Շ. Գրիգորյանի ստորագրությունը հաստատում եմ՝

ՀՀ ԳԱԱ Ֆիզիկայի կիրառական պրոբլեմների ինստիտուտի գիտական քարտուղար՝



Ա.Ա. Նահապետյան