

ԱՌԱՋԱՏԱՐ ԿԱԶՄԱԿԵՐՊՈՒԹՅԱՆ ԿԱՐԾԻՔ

Վարդագար Քոթանջյանի «Վակուումային քվանտային երևույթներ ոչ-իններցիալ համակարգերում և գրավիտացիոն դաշտերում» ատենախոսության վերաբերյալ, ներկայացված Ա.04.02 - «Տեսական ֆիզիկա» մասնագիտությամբ ֆիզիկամաթեմատիկական գիտությունների թեկնածուի գիտական աստիճանի հայցման համար

Ժամանակակից գեր-բարձր էներգիաների տեսական ֆիզիկայում, «գեր-համաչափ լարերի» տեսությունների շրջանակներում, ինչը «քվանտային գրավիտացիայի» տեսության առավել հավանական թեկնածուն է, ակտիվորեն հետազոտվում են մեծ չափողականությամբ, ոչ-տրիվիալ տոպոլոգիայով տարածությամբ ֆիզիկական մոդելները: Վերջին տասնամյակում նկատվում է հետաքրքրության կտրուկ աճ տարածություն-ժամանակի նկատմամբ, որն ասիմպտոտիկորեն մոտենում է «անտի-դե-Սիտտեր» տարածությանը (AdS), ինչը Էյնշտեյնի վակուումային հավասարումների միակ, առավելագույն սիմետրիկ, լուծումն է «կոսմոլոգիական բացասական ($\Lambda < 0$) հաստատունով»: Դա հիմնականում պայմանավորված է 1998 թ-ին տեսական ֆիզիկայում ներմուծված «anti-de Sitter spaces/conformal field theories» (AdS/CFT)- դուալության համապատասխանությամբ և «բրան» աշխարհի մոդելներով: Մինչդեռ, քվանտային գրավիտացիայի տեսության բացակայության պայմաններում, գրավիտացիոն դաշտի ազդեցությունը քվանտային երևույթների վրա հետազոտվում է կիսադասական մոտեցման շրջանակներում, որտեղ գրավիտացիան դիտարկվում է դասական՝ որպես անընդհատ տարածա-ժամանակային բազմաձևության կորացում: Քվանտային նյութական դաշտերի համատեքստում նման մոտեցումը հայտնի է որպես «դաշտի քվանտային տեսություն կորացած տարածություններում»: Նկատի ունենալով, որ գրավիտացիոն դաշտի համար քվանտային երևույթները ամենայն հավանականությամբ կարևոր են դառնալու պլանկյան մասշտաբներում, նշված կիսադասական տեսությունը ունի կիրառությունների բավական լայն տիրույթ: Ստացված հետաքրքիր արդյունքներից են մասնիկների ծնումը և վակուումի բևեռացումը գրավիտացիոն դաշտերում: Դրանք կարևոր կիրառություններ ունեն վաղ Տիեզերքի կոսմոլոգիայում և սև խոռոչների ֆիզիկայում:

Ատենախոսությունում հետազոտված են քվանտային վակուումի հատկությունները սկայյար, էլեկտրամագնիսական և Դիրակի դաշտերի համար հաշվարկման ոչ-իններցիալ համակարգերում և գրավիտացիոն դաշտերում: Խնդիրների մի մասում տարածության տոպոլոգիան ոչ տրիվիալ է և առկա են սահմաններ: Ատենախոսությունը բաղկացած է ներածությունից, հեղինակի աշխատանքները ներկայացնող երեք գլուխներից, հավելվածներից, եզրակացությունից և օգտագործված գրականության ցանկից: Ատենախոսության ծավալը կազմում է 172 էջ և ներառում է թվով 31 նկար:

Ներածությունում բերված է քննարկվող թեմայի հետ կապված գրականության ակնարկ, հիմնավորվում է թեմայի արդիականությունը և կիրառական նշանակությունը: Համառոտ շարադրված է ատենախոսության բովանդակությունը ըստ գլուխների:

Առաջին գլխի առաջին մասում դիտարկվել է լիցքավորված սկալյար դաշտ կոմպակտ ենթատարածությամբ Ռիմոնի տարածա-ժամանակում: Նկատի ունենալով կիրառությունները Կալուցա-Քլայնի տիպի բազմաչափ տեսություններում, քննարկվել է տարածական չափողականության ընդհանուր դեպքը՝ ենթադրությամբ, որ դաշտը գտնվում է Ֆուլինգ-Ռիմոնի վակուումում: Վերջինս հավասարաչափ արագացող դիտորդի վակուումային վիճակն է, որը իր հատկություններով տարբեր է իներցիալ դիտորդի (Մինկովսկու) վակուումից: Օգտվելով դաշտի մոդերի լրիվ դասից արտածվել է Հադամարի երկկետային ֆունկցիան, որում բացահայտ կերպով առանձնացվել է Մինկովսկու վակուումին համապատասխանող ֆունկցիան: Օգտագործելով Հադամարի ֆունկցիան, որպես քվանտային վակուումի բնութագրեր, ուսումնասիրվել են սկալյար դաշտի քառակուսու և հոսանքի խտության վերաչափարկված միջինները: Հետազոտվել է դրանց վարքը խնդրի պարամետրերի արժեքների սահմանային տիրույթներում: Ստացված արդյունքները կիրառվել են գլանային սև խոռոչի հորիզոնին մոտ տիրույթներում սկալյար քվանտային վակուումի հատկությունների հետազոտման համար:

Առաջին գլխի երկրորդ մասում հետազոտված է զանգվածեղ Դիրակյան դաշտը կամայական չափողականությամբ Ռիմոնի տարածա-ժամանակում: Դաշտը գտնվում է Ֆուլինգ-Ռիմոնի վակուումային վիճակում, սակայն, ի տարբերություն սկալյար դաշտով խնդրի, տարածության տոպոլոգիան տրիվիալ է: Գտնված է Դիրակի հավասարման լուծումների լրիվ դասը: Օգտագործելով այդ լուծումները արտածված է ֆերմիոնային Հադամարի ֆունկցիան, ինչը կիրառված է վակուումային վիճակի լոկալ բնութագրերի հետազոտման համար: Որպես այդպիսիք դիտարկվել են ֆերմիոնային կոնդենսատը և էներգիա-իմպուլսի թենզորի վակուումային միջինը: Ֆերմիոնային կոնդենսատը զրոյանում է զրոյական զանգվածով դաշտի համար և բացասական է զանգվածեղ դաշտի համար: Էներգիայի խտությունը Ֆուլինգ-Ռիմոնի վակուումում բացասական է: Զրոյական զանգվածով Դիրակյան դաշտի համար վակուումի վիճակի հավասարումը ճառագայթման վիճակի նմանակն է, մի տարբերությամբ, որ էներգիայի խտությունը և ճնշումները այս դեպքում բացասական են:

Երկրորդ գլխում հետազոտվել է կամայական տարածական չափողականությամբ դե Սիտտերի տարածա-ժամանակում կոսմիկական լարի ազդեցությունը էլեկտրամագնիսական վակուումի հատկությունների վրա: Լարի միջուկից մեծ հեռավորությունների վրա նրա ազդեցությունը տարածա-ժամանակի երկրաչափության վրա բերում է անկյան պակասորդի մակաձմանը, որը համեմատական է լարի վրա էներգիայի խտությանը: Միջուկից դուրս կետերում լոկալ երկրաչափությունը դե Սիտտերյան է, սակայն տոպոլոգիան ոչ տրիվիալ է: Ենթադրվում է, որ դաշտը գտնվում է Բանչ-Դեիսի վակուումային վիճակում: Կոսմիկական լարի բացակայությամբ խնդրում այդ վիճակը մաքսիմալ համաչափ է: Հետազոտվել են էներգիա-իմպուլսի թենզորի բաղադրիչների վակուումային միջինները: Ստացված արտահայտություններում բացահայտ առանձնացված են միջինները կոսմիկական լարի բացակայությամբ խնդրում:

Արդյունքում, վերաչափարկումը բերում է առանձին այդ մասերի վերաչափարկմանը, ինչը գրականության մեջ հետազոտված է: Կոսմիկական լարի առկայությունը հանգեցնում է գրոյից տարբեր ոչ-անկյունագծային բաղադրիչի մակաձմանը, որը համապատասխանում է լարի նկատմամբ շառավղային ուղղությամբ էներգիայի հոսքի: Էլեկտրամագնիսական դաշտի կոնֆորմ ինվարիանտության շնորհիվ այդ հոսքը գրոյանում է քառաչափ տարածա-ժամանակում: Ավելի բարձր չափողականություններում այն գրոյից տարբեր է և ուղղված է դեպի կոսմիկական լարը: Հետազոտվել է գրավիտացիոն դաշտի ազդեցությունը էներգիա-իմպուլսի թենզորի վակուումային միջինի բաղադրիչներում տոպոլոգիայով պայմանավորված ներդրումների վրա: Մասնավորապես, ցույց է տրվել, որ կոսմիկական լարի միջուկի մոտակայքում գրավիտացիոն դաշտի ազդեցությունը թույլ է: Այդ տիրույթում անկյունագծային բաղադրիչներում տոպոլոգիական ներդրումների վերլուծության գլխավոր անդամները համընկնում են Մինկովսկու տարածա-ժամանակում համապատասխան միջինների հետ: Լարի միջուկից հեռու տիրույթներում, որտեղ լարից եղած սեփական հեռավորությունը գերազանցում է դե Միտտերի կորության շառավիղը, գրավիտացիոն դաշտի ազդեցությունը քվանտային վակուումի հատկությունների վրա դառնում է էական: Ստացված արդյունքները համեմատված են Մինկովսկու տարածա-ժամանակում համապատասխան խնդրի վակուումային միջինների հետ: Տոպոլոգիական ներդրումների նվազումը մեծ հետավորությունների վրա աստիճանային օրենքով է ինչպես Մինկովսկու, այնպես էլ դե Միտտերի տարածա-ժամանակում: Սակայն, ի տարբերություն Մինկովսկու դեպքի, որտեղ անկյունագծային բաղադրիչների մարման ցուցիչը կախված է տարածա-ժամանակի չափողականությունից, դե Միտտերի տարածա-ժամանակում մարումը տեղի է ունենում հեռավորության չորրորդ աստիճանին հակադարձ համեմատական օրենքով բոլոր չափողականություններում: Էներգիայի հոսքը դե Միտտերի տարածա-ժամանակում նվազում է սեփական հեռավորության հինգերորդ աստիճանին հակադարձ համեմատական:

Երրորդ գլուխը նվիրված է անտի-դե Միտտերի տարածա-ժամանակում դրա սահմանին ուղղահայաց երկու բրաններով մակաձված վակուումային քվանտային երևույթների ուսումնասիրմանը սկալյար դաշտի համար: Զանգվածեղ սկալյար դաշտի մոդերի լրիվ դասի միջոցով արտածվել է Վայթմանի երկկետային ֆունկցիան կորության հետ կապի գործակցի ընդհանուր արժեքի դեպքում: Օգտագործելով Աբել-Պլանայի ընդհանրացված բանաձևը, Վայթմանի ֆունկցիան վերլուծվել է ըստ առանձին բրաններով մակաձված ներդրումների և ինտեֆերենցիոն անդամի: Օգտագործելով Վայթմանի ֆունկցիան արտածվել են դաշտի քառակուսու և էներգիա-իմպուլսի թենզորի վակուումային միջինները: Ցույց է տրվել, որ էներգիայի խտության նշանը կախված է բրանների վրա դրված եզրային պայմաններից, ինչպես նաև բրանների միջև եղած հեռավորությունից: Էներգիայի-իմպուլսի թենզորի համապատասխան բաղադրիչներից ստացվել են Կազիմիրի ուժերի արտահայտությունները: Ի տարբերություն Մինկովսկու տարածա-ժամանակում համապատասխան խնդրի, անտի-դե Միտտերի տարածա-ժամանակում Կազիմիրի ուժերը բացի բրանների ուղղահայաց բաղադրիչից ունեն նաև շոշափող բաղադրիչ: Աշխատանքում ուսումնասիրվել է ուժերի բրաններին ուղղահայաց և զուգահեռ բաղադրիչների կախումը խնդրի պարամետրերից (բրանների միջև հեռավորությունից, բրանների վրա եզրային պայմաններից և այլն):

Վերոնշյալից կարող ենք եզրակացնել, որ ատենախոսության մեջ ստացված են կարևոր արդյունքներ քվանտային դաշտերի վակուումային վիճակի հատկությունների վրա լոկալ երկրաչափության, տարածական տոպոլոգիայի և սահմանների ազդեցության վերաբերյալ:

Ատենախոսության բովանդակության հետ կապված դիտողությունները հետևյալն են.

1. Հայտնի է, որ դե Սիտտերի տարածա-ժամանակում, բացի Բանչ-Դևիսի վակուումային վիճակից, գրականությունում քննարկվում են նաև այլ մաքսիմալ համաչափ վիճակներ, որոնք հայտնի են ալֆա-վակուումներ անվամբ: Կարծում ենք աշխատանքը կշահեր, եթե թեկուզ համառոտ քննարկվեին այդ վիճակների համապատասխան բնութագրերը:

2. Անտի-դե Սիտտերի տարածա-ժամանակի ֆոնի վրա խնդրում սկայյար դաշտը բավարարում է Դիրիխլեի եզրային պայմանին անտի-դե Սիտտերի տարածական սահմանի վրա: Ցանկալի կլիներ խոսվեր նաև այլ հնարավոր եզրային պայմանների և վակուումային միջինների դրանցից կախվածության մասին:

3. Ատենախոսության մեջ լայնորեն կիրառվում է AdS տարածությունը, ուստի ցանկալի կլիներ քննարկել «AdS-ի կայունության» կարևորագույն հարցը: Բացասական կոսմոլոգիական Λ -հաստատունի շնորհիվ առաջացած լրացուցիչ ձգողական ուժը կամայական փոքր խոտորումների դեպքում կարող է առաջացնել գրավիտացիոն կոլապս: Վերջին տարիներին այդ հարցը հետազոտվել է մի շարք հեղինակների կողմից: Օրինակ, (P. Bizon and A. Rostworowski. Physical Review Letters, 107(3):031102, 2011)-աշխատանքում, $3 + 1$ չափողության համար, ուսումնասիրվել են թույլ խոտորված AdS₄ տարածության ոչ գծային էվոլյուցիան՝ թվայնորեն լուծելով Էյնշտեյն-գրոյական զանգվածով սկայյար դաշտի հավասարումները բացասական Λ -ով: Արդյունքները ցույց են տվել, որ AdS₄ տարածությունը անկայուն է կամայակ փոքր խոտորումների հանդեպ: Հեղինակները պնդում են, որ նույն անկայունությունը առկա է նաև AdS₅-ի, $4 + 1$ չափողությամբ վակուումային Էյնշտեյնի հավասարումների համար: Մոսչիդիսը (G. Moschidis, arXiv:1704.08681; arXiv:1704.08685) ապացուցել է, որ կենտրոնական համաչափության առկայությամբ, «AdS-ի անկայունությունը» առկա է «ներքին հայելիով Էյնշտեյն-գրոյական զանգվածով փոշու համակարգի» (2017) և «Էյնշտեյն-Վլասովի գրոյական զանգվածով համակարգի» (2018) համար:

Բերված դիտողությունները կրում են առավելապես առաջարկների բնույթ ապագա ուսումնասիրությունների համար և չեն նսեմացնում ատենախոսական աշխատանքի ընդհանուր բարձր գնահատականը: Ատենախոսության թեմայի արդիականությունը կասկած չի հարուցում: Ստացված արդյունքները կարող են կիրառվել վաղ Տիեզերքի ընդարձակման ինֆլյացիոն մոդելներում և լրացուցիչ չափողականություններով բրան աշխարհների մոդելներում: Ներկայացված արդյունքները և ամբողջությամբ ներառված են հայցորդի կողմից հրապարակումներում:

Ատենախոսության սեղմնագիրը ամբողջապես համապատասխանում է ատենախոսության բովանդակությանը: Միջազգային (թվով 4) և տեղական (թվով 1, առանց համահեղինակների) գիտական ամսագրերում տպագրված հոդվածները լիովին արտացոլում

են ատենախոսության հիմնական արդյունքները: Դրանք ներկայացվել են տարբեր միջազգային գիտաժողովներում, քննարկվել են Երևանի Պետական Համալսարանի Ֆիզիկայի ամբիոնի սեմինարներում և INFN Ֆրասկատիի (Իտալիա) ազգային լաբորատորիայում:

Սույն ատենախոսությունը գիտական թեմայի արդիականությամբ, ստացված հետազոտական արդյունքների ծավալով և կարևորությամբ, բավարարում է Հայաստանի Բարձրագույն Որակավորման Կոմիտեի կողմից՝ ֆիզիկա-մաթեմատիկական գիտությունների թեկնածուի աստիճանի համար ներկայացրած բոլոր պահանջներին, և հեղինակը արժանի է այդ կոչմանը՝ Ա.04.02 - «Տեսական ֆիզիկա» մասնագիտությամբ:

Ատենախոսությունը զեկուցվել և քննարկվել է ՀՀ ԳԱԱ Վ. Համբարձումյանի անվան Բյուրականի աստղադիտարանի 2024 թ. փետրվարի 12-ին կայացած գիտական սեմինարում: Ներկա էին տնօրեն Ա.Միքայելյանը, բաժնի վարիչները, Բյուրականի աստղադիտարանի այլ աշխատակիցներ և ասպիրանտներ:

Կարծիքը ձևավորեց և ամփոփեց՝
Ֆիզիկամաթեմատիկական
գիտությունների դոկտոր

Գ.Տ. Տեր-Ղազարյան

Գ.Տ. Տեր-Ղազարյանի ստորագրությունը հաստատում են
ՀՀ ԳԱԱ Վ. Համբարձումյանի անվան Բյուրականի
աստղադիտարանի գիտական քարտուղար,
__26_ փետրվարի, 2024 թ.



Լ. Ա. Համբարձումյան