

НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ ФИЗИЧКОГ ФАКУЛТЕТА УНИВЕРЗИТЕТА У БЕОГРАДУ

Пошто смо на **VII** седници Наставно-научног Већа Физичког факултета Универзитета у Београду одржаној **26. априла 2023.** одређени за чланове Комисије за припрему извештаја о докторском раду Илије Иванишевића **“Courant algebroids in bosonic string theory”** (Курантови алгеброиди у бозонској теорији струна), подносимо следећи

ИЗВЕШТАЈ

1 Основни подаци о кандидату

1.1 Биографски подаци

Илија Иванишевић рођен је 17. 07. 1991. године у Мостару, Република Босна и Херцеговина. Завршио је Математичку гимназију 2010. године. Дипломирао је на Физичком факултету Универзитета у Београду, смер Теоријска и експериментална физика, 2014. године са просечном оценом 9.66. Наредне године на истом факултету завршио је мастер студије физике одбраном рада *“Т-дуализација у закривљеном простору”*. Током школовања био је стипендиста града Београда (2007-2010), Министарства просвете, науке и технолошког развоја Републике Србије (2010-2013, 2015-2016) и Фонда за младе таленте (2014-2015).

Илија Иванишевић је докторске студије физике на Физичком факултету Универзитета у Београду из научне области Квантна поља, честице и гравитација уписао 2015. године. Положио је све испите, а пред Колегијумом докторских студија Физичког факултета децембра 2021. године одбранио је тему докторске дисертације под називом *“Courant algebroids in bosonic string theory”*.

1.2 Научна активност

Од 2018. Илија Иванишевић је запослен као истраживач приправник на Институту за физику, где под менторством др Љубице Давидовић ради на изучавању теорије струна. У звање истраживач сарадник изабран је 2022. године. Био је активан у оквиру пројекта Министарства просвете, науке и технолошког развоја ОН171031 “Физичке импликације модификованог простор-времена” до његовог окончања. Од септембра 2022. до јануара 2023. учествовао је на пројекту из програма ИДЕЈЕ “Quantum Gravity from Higher Gauge Theory” који је финансиран од стране Фонда за науку Републике Србије.

2. Опис предатог рада

2.1 Основни подаци

Докторска теза *“Courant algebroids in bosonic string theory”* урађена је под руководством др Љубице Давидовић, вишег научног сарадника Института за физику. У дисертацији се уз помоћ генералисане геометрије испитују симетрије у бозонској теорији струна и њихове везе са Т-дуалношћу. Генералисана геометрија се испитује у стандардном приступу, и у дуплој теорији. Теза има 128 страна, садржи 86 референци, 15 поглавља и 3 додатка.

2.2 Предмет и циљ рада

Неизоставни део теорије струна је Т-дуалност. Она успоставља еквивалентност између наизглед различитих теорија струна, које могу бити дефинисане у различитим геометријама а предвиђати исте физички опсервабилне величине. Постоји пет конзистентних теорија суперструна које су међусобно повезане дуалностима, међу којима је и Т-дуалност.

Кретање бозонске струне у класичној теорији описује се дејством у којем фигуришу метрика и антисиметрично Калб-Рамоново поље. Овакво дејство инваријантно је на дифеоморфизме и локалне градијентне трансформације. Симетрије се описују генераторима који делују на хамилтонијан Поасоновим заградама. Генератори дифеоморфизама у једној теорији одговарају генераторима локалних градијентних трансформација у Т-дуалној теорији.

Предмет тезе је примена генералисане геометрије за изучавање симетрија класичне бозонске теорије струна. Циљ је одређивање алгебре генератора симетрија, у стандардном приступу, као и у приступу дупле теорије у којој су почетна и Т-дуална теорија обједињени у једну теорију. Такође, циљ је изучавање веза Т-дуалности између различитих структура генералисане геометрије које се могу јавити у алгебри генератора.

Генералисана геометрија представља геометрију генералисаног тангентног раслојења које обухвата тангентно и котангентно раслојење над многострукости. Елементи пресека генералисаног раслојења су генералисани вектори, који се састоје од компоненти вектора и компоненти 1-форме. На простору генералисаних вектора се може на природан начин увести Курантова заграда између два генералисана вектора, која на тангентном раслојењу постаје Лијева заграда. Поред Курантове заграде, дефинишу се и твистоване (уврнуте, или твист-деформисане, на енглеском *"twisted"*) Курантове заграде које садрже чланове са флуксевима.

Уопштење Лијевог алгеброида на генералисано тангентно раслојење је Курантов алгеброид који се састоји од векторског раслојења, заграде на глатком пресеку векторског раслојења, скаларног производа и пројекције на тангентно раслојење, при чему елементи Курантовог алгеброида морају да задовољавају одређене услове компатибилности. Теза се бави конструисањем различитих Курантових алгеброида из релација симетрије генератора, испитивањем њихових особина и њиховим међусобним везама са Т-дуалношћу.

2.3 Публикације

Публикације директно проистекле из тезе Илије Иванишевића су [1-4] у списку публикација, и до сада имају 6 аутоцитата.

2.4 Преглед научних резултата изложених у тези

У првом делу дисертације посматран је обједињени генератор дифеоморфизама и локалних градијентних трансформација. Показано је да овакав генератор има облик симетричног скаларног производа два генералисана вектора, од којих је један дефинисан преко извода координате и канонског импулса, а други помоћу параметара симетрија. Одређена је алгебра генератора помоћу Поасонових заграда и тако је добијена Курантова заграда. Узимајући у обзир Т-дуалне везе између две разматране симетрије, Курантова заграда је интерпретирана као екстензија Лијеве заграде инваријантна на Т-дуалност.

Затим је у тези показано да се генератор може дефинисати и у другом базису, који је повезан са почетним елементом $O(D, D)$ групе. Када се одреди Поасонова заграда овако представљених генератора, добија се твистована Курантова заграда, чиме је дефинисана процедура њеног одређивања.. У дисертацији је показано и да твистована Курантова заграда на природан начин дефинише Курантов алгеброид.

Дата процедура је најпре примењена за случај B -трансформација. Са канонског базиса пређено је на базис неканонских струја у чијим алгебрама се јавља флуks једнак јачини Калб-Рамоновог поља. Генералисана метрика у овом базису има дијагонални облик, а хамилтонијан је представљен у форми неинтерагујућег хамилтонијана. Тако је добијена је B -твистована Курантова заграда.

Затим је разматрана је θ -трансформација. Генералисана метрика и у овом случају има дијагонални облик али су овог пута матрични елементи дати преко T -дуалне метрике. У базису струја у овом случају добијају се Q и R флуksеви, а у алгебри генератора је добијена θ -твистована Курантова заграда. Базиси у којима су изражени генератори који дају Курантове заграде твист-деформисане пољима B и θ се могу добити међусобном заменом величина са њиховим T -дуалним аналогонима. Тиме је у дисертацији показано да су одговарајуће твистоване Курантове заграде међусобно T -дуалне.

Додатно, у тези се дефинише и трансформација која у исто време доводи до твист-деформације Курантове заграде пољима B и θ . Показано је да је оваква трансформација инваријантна на T -дуалност и да садржи све флуksеве. Одређена је Курантова заграда твист-деформисана пољима B и θ . Показано је да она може садржати све флуksеве чак и на Дираковим структурама, односно подраслојењима максималне димензије на којима Курантов алгеброид постаје Лијев алгеброид.

У другом делу дисертације добијени резултати се уопштавају на случај дупле теорије, која обједињује почетну и T -дуалну теорију. Алгебра обједињеног генератора дифеоморфизама и T -дуалних дифеоморфизама даје C -заграду. Уколико се у члановима израза за C -заграду занемари зависност од T -дуалних координата, добија се Курантова заграда.

И у дуплој теорији генератори имају облик скаларног производа инваријантног на $O(D, D)$ трансформације, па се метода којом се одређују твистоване Курантове заграде може применити и за одређивање твистованих C -заграда. У тези је израчуната C -заграда твист-деформисана пољем B . Показано је да пројекцијом на почетни фазни простор ова заграда даје B -твистовану Курантову заграду, док пројекцијом на T -дуални фазни простор даје θ -твистовану Курантову заграду. На аналоган начин, добијена је C -заграда твист-деформисана пољем θ , која на почетном фазном простору постаје θ -твистована Курантова заграда, док на T -дуалном фазном простору постаје B -твистована Курантова заграда.

3. Списак публикација кандидата

3.1 Радови у међународним часописима

1. I. Ivanišević, Lj. Davidović and B. Sazdović,
“Courant bracket found out to be T -dual to Roytenberg one”
European Physical Journal **C 80**, (2020) 571, M21, IF 4.994.
2. Lj. Davidović, I. Ivanišević and B. Sazdović
“Courant bracket as T -dual invariant extension of Lie bracket”
Journal of High Energy Physics **03** (2021) 109, M21, IF 6.376.
3. Lj. Davidović, I. Ivanišević and B. Sazdović
“Courant bracket twisted both by a 2-form B and by a bi-vector θ ”
European Physical Journal **C 81** (2021) 685, M21, IF 4.994.
4. Lj. Davidović, I. Ivanišević and B. Sazdović
“Twisted C -brackets”
Fortschritte der Physik **71** (2023), M21, IF 5.532.

3.2 Радови на међународним скуповима

1. Lj. Davidović, I. Ivanišević and B. Sazdović
“*Courant and Roytenberg bracket and their relation via T-duality*”
Proceedings of 10th MATHEMATICAL PHYSICS MEETING: School and Conference on
Modern Mathematical Physics: Belgrade, Serbia, September 9 - 14 2019 (2020), 87-96.

4. ЗАКЉУЧАК

На основу изложеног комисија закључује да докторска теза Илије Иванишевића “Courant algebroids in bosonic string theory” даје значајан допринос теорији струна и тиме теоријској физици високих енергија, и да су задовољени сви прописани услови за одбрану тезе. Зато предлажемо Наставно-научном већу Физичког факултета Универзитета у Београду да одобри њену одбрану.

Београд, 10. мај 2023.

проф. др Воја Радовановић
редовни професор Физичког факултета

проф. др Маја Бурић
редовни професор Физичког факултета

др Бојан Николић
виши научни сарадник Института за физику
