

NASTAVNO-NAUČNOM VEĆU FIZIČKOG FAKULTETA UNIVERZITETA U BEOGRADU

Na IX sednici Nastavno-naučnog veća Fizičkog fakulteta, Univerziteta u Beogradu održanoj 26.6.2019. godine određeni smo za članove komisije za pregled i ocenu doktorske disertacije „FENOMENOLOGIJA NEKOMUTATIVNOG SKALARNOG POLJA U RAVNOM I ZAKRIVLJENOM PROSTORU”, koju je napisao Nikola Konjik, student doktorskih studija Fizičkog fakulteta. Posle pregleda disertacije podnosimo sledeći

I Z V E Š T A J

1 Biografski podaci

Nikola Konjik je rođen 9. marta 1990. godine u Banjoj Luci. Po završetku Gimnazije u Banjoj Luci 2009. godine započeo je osnovne studije na Fizičkom fakultetu Univerziteta u Beogradu, smer Teorijska i eksperimentalna fizika. Ove studije je završio 2013. godine, sa prosečnom ocenom 9.66. Master studije na Fizičkom fakultetu završio je 2014. godine sa prosečnom ocenom 10. Završni rad, pod nazivom „Linearizovana masena gravitacija”, je uradio pod rukovodstvom prof. dr Marije Dimitrijević Ćirić.

Od marta 2015. godine zaposlen je na Fizičkom fakultetu na projektu 171031 „Fizičke implikacije modifikovanog prostor-vremena” Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja. U septembru 2018. godine je izabran za istraživača saradnika na Fizičkom fakultetu. Drži vežbe iz Aplikativnog softvera, Fizike elementarnih čestica, Elektrodinamike 1, Elektrodinamike 2 i Teorije elementarnih čestica.

Naučna oblast istraživanja Nikole Konjika je klasična i kvantna teorija polja i gravitacija na nekomutativnim prostorima. Ova oblast je jedna od vrlo aktuelnih oblasti istraživanja u fizici visokih energija. Nikola Konjik je do sada objavio 6 radova u međunarodnim časopisima i to: dva M21 rada, jedan M22 rad i tri M23 rada. Učestvovao je na više škola i konferencija i do sada ima 3 saopštenja na ovakvim skupovima. Osim toga, Nikola Konjik je, koristeći program ERASMUS+KA1, od 15. januara 2018. do 15. aprila 2018. godine bio na studijskom boravku na Univerzitetu „Università di Napoli Federico II” u Napulju.

2 Opis dokorskog rada

2.1 Predmet, ciljevi i osnovne hipoteze

Osnovna oblast istraživanja Nikole Konjika je klasična i kvantna teorija polja i gravitacija na nekomutativnom (NK) prostorvremenu. Motivacija za proučavanje NK prostorvremena je dvojaka. Kvantna teorija polja (KTP), iako vrlo uspešno opisuje jake, slabe i elektromagnetne interakcije, ima problema na jako visokim energijama (jako malim rastojanjima). Ti

problemi su vezani za ultravioletno ponašanje ovih interakcija. Oni ukazuju na nekompletnost teorije ali mogu biti uspešno rešeni metodama renormalizacije. Sa druge strane, opšta teorija relativnosti (OTR), koja je klasična teorija gravitacije, ne može da se konzistentno kvantuje. Dobijena teorija nije renormalizabilna, a ni unitarna, pa je samim tim fizički neprihvatljiva. Kombinacija ova dva problema dovodi do ideje da fizika na Plankovoj skali $l_P \sim 10^{-35}m$ mora biti modifikovana, bilo promenom osnovnih svojstava prostor-vremena, bilo uvodjenjem dopunskih stepeni slobode, odnosno novih čestica. Jedna od mogućih modifikacija je pretpostavka da prostor-vreme na Plankovoj skali nije diferencijabilna mnogostrukost, već da koordinate postaju nekomutativne. Na nekomutativnim prostorima su analizirani mnogi modeli teorije polja: skalarni ϕ^4 model, kalibracione teorije, kvantna elektrodinamika, standardni model i mnogi drugi. Ispitivane su osobine modifikovanih modela, ali naročita pažnja je posvećena kvantnim svojstvima dobijenih teorija.

Cilj doktorske disertacije Nikole Konjika je proučavanje nekih fenomenoloških aspekata na NK prostorima, koji su dobijeni primenom angularnog tvista. Zadatak Nikole Konjika se može podeliti u tri dela. U prvom delu je konstruisan angularni tvist i ispitane su osnovne osobine NK prostora koje se dobije primenom angularnog tvista. Konstruisan je odgovarajući diferencijalni račun i diskutovana je NK (tvistovana) Poenkare Hopfova algebra. U drugom delu su analizirane kvantne osobine NK skalarnog polja sa ϕ^4 interakcijom, u ravnom prostoru u tri i četiri dimenzije. U poslednjem, trećem delu, proučavana je dinamika NK skalarnog polja u fiksiranoj pozadinskoj geometriji Rajsner-Nordstromove crne rupe. Posebna pažnja je posvećena izračunavanju spektra skalarnih kvazi-normalnih moda, koje predstavljaju oscilacije materije oko perturbovane crne rupe.

2.2 Sadržaj i rezultati

Doktorska teza „Fenomenologija nekomutativnog skalarnog polja u ravnom i zakrivljenom prostoru” Nikole Konjika ima 131 stranu, sadrži osam poglavlja, četiri dodatka i spisak literature sa 133 reference.

Prvo poglavlje disertacije sadrži opšti uvod. Dat je pregled postojeće literature i ukazano je na probleme i pravce rešavanja. U drugom poglavlju je dat detaljan opis formalizma Vajlove kvantizacije i \star -proizvoda. Nakon toga su analizirane neke od osobina nekomutativne kvantne teorije polja deformisane \star -proizvodom kao što su UV/IC mešanje, nelokalnost, neunitarnost, kao i renormalizacione osobine. Iako ideja \star -proizvod formalizma potiče iz Vajlove kvantizacije, \star -proizvod može da se implementira i putem tvist formalizma, što ima određene prednosti. Osnovna ideja tvist formalizma je da se 2-kociklom, koji se naziva tvist, deformiše Hopfova algebra simetrija fizičkog sistema, koja kao takva deluje na algebre funkcija, formi, tenzora, to jest fizičkih polja. Zbog svog značaja u \star -proizvod pristupu, Hopfove algebre, kao i glavni primeri NK prostora dobijenih tvist formalizmom, Mojalov i κ -Minkovski NK prostori, su razmatrani u trećem poglavlju. U narednim poglavljima su dati glavni, originalni rezultati ove teze. U četvrtom poglavlju je konstruisan model angularne nekomutativnosti koji je tipa Lijeve algebre u Dekartovim koordinatama. Angularna nekomutativnost je dobijena iz angularnog tvista koji jednostavno može da se adaptira na sferne ili cilindrične koordinate, što je veoma značajno za fenomenološke aspekte teorija sa takvim simetrijama. Nakon definisanja angularnog tvista i analiziranja posledica deformacije angularnim tvistom na diferencijalnu geometriju, Poenkareovu Hopfovu algebru i kinematiku raspada čestica,

u petom poglavlju su razmatrane osobine kvantne teorije nekomutativnog skalarnog polja dobijene deformacijom angularnim tvistom. Akcenat je na deformisanom zakonu održanja impulsa i na UV/IC mešanju u tri i četiri dimenzije. Nakon kvantne teorije, klasična teorija nekomutativnog skalarnog polja u fiksiranoj pozadinskoj zakrivljenoj geometriji, dobijena deformacijom angularnim tvistom, predstavljena je u šestom poglavlju. Definirano je geometrijsko dejstvo za skalarno polje koje interaguje sa $U(1)$ gradijentnim poljem. Dejstvo je deformirano angularnim tvistom uz pomoć rezultata dobijenih u četvrtom poglavlju, uz uslov da su samo polja materije i gradijentna polja deformisana, dok geometrija (gravitacija) ostaje klasična (semiklasičan pristup). Nakon toga je dejstvo razvijeno uz pomoć Sajberg-Vitenovog preslikavanja i izračunate su jednačine kretanja. Jednačina za skalarno polje je izračunata u Rajsner-Nordstromovoj geometriji. Dobijena jednačina je rešena u sedmom poglavlju sa graničnim uslovima za kvazinormalne mode. U slučaju neekstremalne crne rupe primenjeni su WKB metod i metod verižnih razlomaka, dok je u slučaju približno ekstremalne crne rupe pronađeno rešenje u analitičkom obliku. Poslednje, osmo poglavlje je zaključak. On uključuje analizu rezultata, kao i pravce daljih istraživanja.

Na kraju su data četiri dodatka. Dodatak A se odnosi na \star -proizvode ravnih talasa. U dodatku B je dat detaljan račun iz koga se dobijaju šestočlane rekurentne relacije metodom verižnih razlomaka. Dodatak C sadrži detaljan opis Gausove procedure. U poslednjem dodatku je dat kod iz programa „Wolfram Mathematica” kojim se računaju frekvencije kvazinormalnih moda i crtaju grafici.

2.3 Naučni radovi kandidata

Spisak radova koje je Nikola Konjik do sada publikovao:

- [A1] M. Dimitrijević Ćirić, N. Konjik and A. Samsarov, “Noncommutative scalar quasi-normal modes of the Reissner–Nordström black hole”, *Class. Quant. Grav.* **35** (2018) no.17, 175005; **IF: 3.283, M22.**
- [A2] M. Dimitrijević Ćirić, D. Gočanin, N. Konjik and V. Radovanović, “Noncommutative Electrodynamics from $SO(2, 3)_\star$ Model of Noncommutative Gravity”, *Eur. Phys. J. C* **78** (2018) no.7, 548; **IF: 5.297, M21.**
- [A3] M. Dimitrijević Ćirić and N. Konjik, “Landau levels from noncommutative $U(1)_\star$ gauge theory in κ -Minkowski space-time”, *Int. J. Geom. Meth. Mod. Phys.* **15** (2018) no.08, 1850141; **IF: 1.068, M23.**
- [A4] M. Dimitrijević Ćirić, N. Konjik, M. A. Kurkov, F. Lizzi and P. Vitale, “Noncommutative field theory from angular twist”, *Phys. Rev. D* **98** (2018) no.8, 085011; **IF: 4.394, M21.**
- [A5] M. Dimitrijević Ćirić, D. Gočanin, N. Konjik and V. Radovanović, “ $SO(2, 3)_\star$ Noncommutative Gravity: Coupling with Matter Fields”, *Phys. Part. Nucl.* **49** (2018) no.5, 904; **IF: 0.549, M23.**
- [A6] M. Dimitrijević Ćirić, D. Gočanin, N. Konjik and V. Radovanović, “Yang–Mills theory in the $SO(2, 3)_\star$ model of noncommutative gravity”, *Int. J. Mod. Phys. A* **33** (2018) no.34, 1845005; **IF: 1.291, M23.**

- [A7] M. Dimitrijevčić, N. Konjik and A. Samsarov, “Noncommutative scalar field in the non-extremal Reissner-Nordström background: QNM spectrum”, arXiv:1904.04053 [hep-th]; **Na recenziji u Eur. Phys. J. C.**

Radovi [A1], [A3], [A4] i [A7] su direktno vezani za doktorsku disertaciju Nikole Konjika.

Na osnovu prethodne analize doktorskog rada Komisija donosi sledeći

Z A K L J U Č A K

Doktorska disertacija „Fenomenologija nekomutativnog skalarnog polja u ravnom i zakrivljenom prostoru“, koju je napisao Nikola Konjik, diplomirani fizičar, predstavlja važan i originalan naučni doprinos u izučavanju fenomenoloških aspekata skalarnog polja nekomutativnim prostorima. Uzimajući u obzir aktuelnost teme doktorata, sadržaj i rezultate teze, kao i kvalitet radova koji su iz nje proizašli, predlažemo Nastavno-naučnom veću Fizičkog fakulteta Univerziteta u Beogradu da usvoji ovaj izveštaj i odobri javnu odbranu disertacije.

Beograd, 1. 7. 2019.

Prof. Voja Radovanović
Fizički fakultet, Univerzitet u Beogradu

Prof. Marija Dimitrijević Ćirić
Fizički fakultet, Univerzitet u Beogradu

dr Anđelo Samsarov, naučni saradnik,
Institut Ruđer Bošković, Zagreb