

NASTAVNO-NAUČNOM VEĆU FIZIČKOG FAKULTETA UNIVERZITETA U BEOGRADU

Pošto smo na VI sednici Nastavno-naučnog veća Univerziteta u Beogradu održanoj 29.03.2017. određeni za članove komisije za pregled i ocenu doktorske disertacije Luke Nenadovića, diplomiranog fizičara, “OSOBI NE KLASIČNE I KVANTNE TEORIJE POLJA NA ZAKRIVLJENOM NEKOMUTATIVNOM PROSTORU”, posle pregleda disertacije podnosimo sledeći

I Z V E Š T A J

1 Biografski podaci

Luka Nenadović je rođen 1979. godine u Šapcu. Diplomirao je 2007. godine na Fizičkom fakultetu Univerziteta u Beogradu, smer Teorijska i eksperimentalna fizika, sa prosečnom ocenom 9.11. Na Fizičkom fakultetu je na istom smeru završio master studije 2009. sa prosečnom ocenom 9.17. U toku studija je kao stipendista nemačke vlade obavio stručnu praksu na RWTH u Aachen-u, gde je radio na poboljšanju Monte Carlo simulacija elektronskih snopova na tankim slojevima metala. Doktorske studije Luka Nenadović je upisao 2008. godine na Fizičkom fakultetu Univerziteta u Beogradu, smer Fizika jezgra, čestica i polja, i položio sve predviđene ispite. Od 2011. godine je spoljni saradnik na projektu ON171031 “Fizičke implikacije modifikovanog prostor-vremena” Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije.

U periodu od 2005. do 2007. godine Luka Nenadović je radio u Šabačkoj gimnaziji kao nastavnik fizike. Od 2008. godine radi na Visokoj tehnološkoj školi strukovnih studija u Šapcu u zvanjima saradnik u nastavi i asistent. Angažovan je na izvođenju računskih i eksperimentalnih vežbi iz predmeta Fizika, Termodinamika, Elektrotehnika, Fizičke štetnosti i Osnovi biofizike i radiologije. U anonimnim studentskim anketama do sada je ocenjen prosečnom ocenom 4.7. U okviru stručnih aktivnosti bavi se uticajem termalnog stresa na organizam, efektima elektromagnetnog polja na životnu sredinu i monitoringom koncentracije radona u životnoj sredini. Koautor je projekta merenja koncentracije radona na teritoriji grada Šapca koji je finansirala lokalna samouprava 2011. godine.

Naučna aktivnost Luke Nenadovića odvija se u oblasti teorijske fizike visokih energija, odnosno preciznije, teorija polja na nekomutativnom prostoru.

2 Opis doktorskog rada

2.1 Tema i ciljevi

Najvažniji konceptualni, do sada nerešeni, problem savremene teorijske fizike je kvantovanje gravitacionog polja. Zbog činjenice da pravolinijsko kvantovanje Ajnštajnovе teorije gravitacije daje nerenor-

malizabilnu teoriju, kao i postojanja (generičkih) klasičnih singularnih rešenja u gravitaciji (teoreme Hokinga i Penrouza), vladajuća paradigma među teorijskim fizičarima je da rešenje problema kvantovanja gravitacije mora da uključi neku vrstu nelokalnosti. Sledeći ovu ideju sedamdesetih godina dvadesetog veka je formulisana teorija struna i teorija brana, a devedesetih, nekomutativna geometrija i nekomutativna gravitacija. Nekomutativna geometrija polazi od ideje da se nelokalnost koja postoji na Plankovoj skali može efektivno ili čak fundamentalno opisati formalizmom nekomutativnih algebri. U ovom pristupu koordinate su nekomutirajući operatori, pa su njihove relacije neodređenosti zapravo mera nelokalnosti prostor-vremena. Istraživanje nekomutativne geometrije i teorije polja na nekomutativnim prostorima predstavlja veliki istraživački program na kome se intenzivno radi u poslednjih dvadeset godina i to u različitim aspektima, od čisto matematičkih do fenomenoloških.

Cilj doktorske disertacije Luke Nenadovića je analiza klasičnih i kvantnih osobine teorija polja definisanih na tzv. modifikovanoj Hajzenbergovoj algebri. Ova algebra može se opisati kao trodimenzioni nekomutativni prostor koji ima, što je posebno interesantno, i diskretne i kontinualne reprezentacije. U prethodnim radovima beogradske grupe¹ pokazano je da je ovaj prostor zakrivljen i opisana su njegova geometrijska svojstva u nekomutativnom tetradnom formalizmu. Drugi važan rezultat vezan za ovaj prostor je da, ako se skalarno polje na njemu redukuje sa tri na dve dimenzije, dobija se Grosse-Vulkenharovo dejstvo koje je renormalizabilano. Grosse-Vulkenharov model je prvi potpuno renormalizabilan model u nekomutativnim teorijama polja i njegovo uopštenje na polja višeg spina (fermione, gradijentna polja) je veoma važan problem koji je u proteklih deset godina intenzivno ispitivan u nekoliko istraživačkih grupa, izmedju ostalog, u grupama u Beču, Orseju i Munsteru.

2.2 Sadržaj i rezultati

Doktorska teza “Osobine klasične i kvantne teorije polja na zakrivljenom nekomutativnom prostoru” Luke Nenadovića napisana je na 137 strana, sadrži 7 poglavlja, 5 dodataka i spisak literature od 99 referenci.

Prva dva poglavlja daju uvod u probleme koji se u tezi rešavaju: prvo poglavlje je opšti fizički uvod, a drugo daje konkretnu teorijsku motivaciju time što daje detaljniji pregled rezultata vezanih za kvantovanje skalarnog, spinorskog i gradijentnog polja na Mojalovom (ravnom) nekomutativnom prostoru, kao i modela sa harmonijskim potencijalom.

U trećem poglavlju opisan je matematički formalizam koji se u tezi koristi, a to je nekomutativna diferencijalna geometrija u tetradnom formalizmu. Definisane su osnovne veličine: diferencijalne forme, koneksija, krivina i torzija, kao i različiti uslovi konzistentnosti. Zatim je u četvrtom poglavlju analizirana modifikovani Hajzenbergov prostor i određene njegove algebarske kao i diferencijalno-geometrijske karakteristike. Napravljen je i pregled poznate formulacije skalarnog polja na ovom prostoru.

U poglavljima pet i šest dati su glavni originalni rezultati ovog rada. Prvi rezultat, dat u petom poglavlju, odnosi se na spinorsko polje na modifikovanom Hajzenbergovom prostoru. Prvo je definisano Dirakovo dejstvo na zakrivljenom komutativnom prostoru, a zatim uopšteno na nekomutativni prostor i izračunato u specijalnom slučaju modifikovane Hajzenbergove algebre. Pokazano je da se, ako se dejstvu doda neminimalna interakcija spinora sa torzijom, dobija se odranije poznat renormalizabilni

¹M. Burić and M. Wohlgenannt, JHEP **1003** (2010) 053, M. Buric, H. Grosse and J. Madore, JHEP **1007** (2010) 010, M. Buric, M. Dimitrijevic, V. Radovanovic and M. Wohlgenannt, Phys. Rev. D **86** (2012) 105024.

Vinj-Turneretov model, pri čemu dodatna interakcija sa torzijom narušava parnost time što na različit način renormalizuje masu levih i desnih spinora.

U šestom poglavlju analizirana je renormalizabilnost $U(1)$ modela gradijentnih polja. Postoji više lokalnih i nelokalnih modela gradijentnog $U(1)$ polja koji su formulisani po analogiji sa skalarnim modelom u harmonijskom potencijalu (Grose-Vulkenharovim modelom) i koji svi imaju probleme vezane za postojanje vakuumskih rešenja ili za renormalizaciju. Model koji je analiziran u tezi je formulisani kao geometrijski, na modifikovanom Hajzenbergovom prostoru. Iako ima komplikovaniju matematičku strukturu jer sadrži gradijentno polje i skalarno polje koja medjusobno interaguju, model ima dobre klasične osobine: ima trivijalan vakuum, invarijantan je na BRST transformacije. Njegova perturbativna kvantizacija bila je veliki tehnički izazov. Skalarno i dve komponente gradijentnog polja mešaju se u kinetičkom članu, tako da propagator ima matičnu strukturu (i sem toga, eksplicitnu zavisnost od koordinata). Interakcija ima 10 različitih članova tj. interakcionih verteksa. Teorija perturbacija koja je razvijena bazira se na tzv. Melerovom kernelu, koji u dijagramima sa jednom petljom daje integrale Gausovog tipa. Ovi integrali u ultraljubičastom sektoru imaju, u principu, osobine bolje nego analogni dijagrami u komutativnoj teoriji. Medjutim kod dijagrama sa dve petlje račun se komplikuje i, da bi se njihov doprinos pojedinih integrala ocenio, bilo je potrebno definisati nove tehnike regularizacije i analize. Ukupni rezultat, posle analize dijagrama sa jednom i dve petlje, je da u teoriji postoji mešanje ultraljubičastih i infracrvenih divergencija, i shodno tome divergentni članovi se ne regularizuju nego zapravo premeštaju u infracrveni sektor. To znači da se divergentni doprinosi pojavljuju za male vrednosti impulsa: njihov oblik je u tezi eksplicitno određen: postoje nelokalne divergencije tipa $\phi(1/\square)\phi$ i $\phi(1/\square^2)\phi$. Ovo znači da teorija nije renormalizabilna.

Gradijentni model i njegove ekstenzije analizirane su u zaključnoj glavi, a najvažniji detalji računa, koji je u celini iznosio više stotina strana, ispisani su u dodacima.

2.3 Naučni radovi kandidata vezani za doktorsku disertaciju

- [1] M. Burić, J. Madore and L. Nenadović, *Spinors on a curved noncommutative space: coupling to torsion and the Gross-Neveu model*, Class. Quant. Grav. **32** (2015) 18, 185018.
- [2] M. Burić, L. Nenadović, D. Prekrat, *One-loop structure of the $U(1)$ gauge model on the truncated Heisenberg space*, Eur. Phys. J. C **76** (2016) 672.

2.4 Ostali radovi kandidata

- [3] S. Lazarev and L. Nenadović, *Measuring the electromagnetic fields in urban areas*, Proceedings, III International conference "Ecology of Urban Areas" **3** (2013) 657-662.
- [4] J. Djuričić-Milankovic, S. Lazarev and L. Nenadović, *Thermal comfort in classrooms and laboratories*, Proceedings, II Naučno-stručni skup "Politehnika-2013" (2013) 287-292.

Na osnovu izloženog Komisija donosi sledeći

Z A K L J U Ć A K

Na osnovu prethodne analize vidi se da doktorska teza “Osobine klasične i kvantne teorije polja na zakrivljenom nekomutativnom prostoru” Luke Nenadovića, diplomiranog fizičara, predstavlja važan i originalan naučni doprinos izučavanju teorija polja na nekomutativnom prostoru kao i nekomutativnoj geometriji. Uzimajući u obzir aktuelnost teme doktorata, sadržaj i rezultate teze kao i kvalitet radova koji se iz nje proizašli predlažemo Nastavno-naučnom veću Fizičkog fakulteta Univerziteta u Beogradu da usvoji ovaj izveštaj i odobri javnu odbranu disertacije.

Beograd, 24. 04. 2017.

Prof. Maja Burić

Fizički fakultet, Univerzitet u Beogradu

Prof. Voja Radovanović

Fizički fakultet, Univerzitet u Beogradu

dr Branislav Cvetković, viši naučni saradnik

Institut za fiziku, Univerzitet u Beogradu