

NASTAVNO-NAUČNOM VEĆU FIZIČKOG FAKULTETA UNIVERZITETA U BEOGRADU

Na 10.sednici Nastavno-naučnog veća Fizičkog fakulteta Univerziteta u Beogradu održanoj 11.9.2019.godine, određeni smo za članove komisije za pregled i ocenu doktorske disertacije „FIELD THEORY IN $SO(2, 3)$ MODEL OF NONCOMMUTATIVE GRAVITY (,TEORIJA POLJA U $SO(2, 3)$ MODELU NEKOMUTATIVNE GRAVITACIJE) Dragoljuba Gočanin, studenta doktorskih studija Fizičkog fakulteta Univerziteta u Beogradu. Nakon pregleda disertacije, podnosimo sledeći

IZVEŠTAJ

1 Biografski podaci

Dragoljub Gočanin je rođen 10. marta 1991.godine u Beogradu. Po završetku opšte Gimnazije u Vrnjačkoj Banji 2009.godine, započeo je osnovne akademske studije na Fizičkom fakultetu Univerziteta u Beogradu, smer Teorijska i eksperimentalna fizika. Diplomirao je 2013.godine, sa prosečnom ocenom 9,84. Iste godine otpočinje Master studije na Fizičkom fakultetu Univerziteta u Beogradu i završava ih 2014.godine sa prosečnom ocenom 10, odbranivši tezu „*Funkcionalna renormalizaciona grupa u teoriji gradijentnih polja*”, koja je sastavljena pod rukovodstvom prof.dr Voje Radovanovića. Od marta 2015.godine zaposlen je na Fizičkom fakultetu Univerziteta u Beogradu 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 računске vežbe iz Teorijske mehanike, Osnova teorijske mehanike, Statističke fizike 1 i 2. Doktorske studije na Fizičkom fakultetu Univerziteta u Beogradu otpočinje 2015.godine pod rukovodstvom prof.dr Voje Radovanovića.

Uža naučna oblast istraživanja Dragoljuba Gočanina je teorija gravitacije, klasična i kvantna teorija polja na nekomutativnim prostorima. Ova oblast je jedna od značajnih oblasti istraživanja u fizici visokih energija. Dragoljub Gočanin je do sada objavio četiri rada u međunarodnim časopisima i to: dva M21, i dva M23. Učestvovao je na više škola i konferencija i aktivno sarauje sa grupom za teorijsko zasnivanje kvantne mehanike Univerziteta u Beču.

2 Opis doktorskog rada

2.1 Predmet, ciljevi i osnovne metode

Centralna oblast istraživanja Dragoljuba Gočanin je teorija polja na nekomutativnim (NK) prostorima. Ova teorija tretira problem kvantne gravitacije koristeći tehnike deformacione kvantizacije, prevashodno razvijene za potrebe kvantne mehanike u faznom prostoru. Neusaglašenost Kvantne mehanike i Opšte teorije relativnosti (OTR) na Plankovoj skali $l_P \sim 10^{-35}$ i neadekvatnost metoda Kvantne teorije polja (renormalizacioni program) u slučaju gravitacije, navode nas da prisпитamo neke duboko ukorenjene pretpostavke koje se tiču samog prostor-vremena. Jedna od njih je i pretpostavka da je prostor-vreme kontinualno na svim skalama i da se, u skladu s tim, može prikladno opisati matematičkom strukturom glatke mnogostrukosti. NK teorija polja odbacuje ovu pretpostavku, a time i geometrijski pojam tačke kao osnovnog elementa prostor-vremena. Umesto običnih koordinata x^μ , za koje važi $[x^\mu, x^\nu] = 0$, u NK teoriji polja geometriju prostor-vremena opisujemo deformisanom algebrom nekomutirajućih koordinata $[\hat{x}^\mu, \hat{x}^\nu] \neq 0$. Osnovni tip deformacije je kanonska (ili θ -konstantna) deformacija $[\hat{x}^\mu, \hat{x}^\nu] = i\theta^{\mu\nu} \sim \Lambda_{NC}^2$, gde je Λ_{NC} skala dužine na kojoj efekti nekomutativnosti postaju značajni. Ekvivalentan način da se uvede nekomutativna struktura prostor-vremena je deformacija komutativne C^* -algebre funkcija definisanih na klasičnom (nedeformisanom) prostor-vremenu. Pritom se umesto običnog, komutativnog proizvod funkcija (polja) definiše nekomutativni \star -proizvod koji zavisi od tipa deformacije. Kanonskoj deformaciji odgovara Mojalov \star -proizvod, i upravo on je zastupljen u ovoj disertaciji. NK teorija polja je dobro definisana i razvijena oblast istraživanja u fizici visokih energija i predstavlja glavni predmet istraživanja ove disertacije.

Glavni cilj disertacije Dragoljuba Gočanina je nadogradnja $SO(2,3)_\star$ modela čiste NK gravitacije uvoenjem polja materije i definisanje konzistentne teorije NK Elektrodinamike, NK Jang-Milsove (Yang-Mills) teorije kao i uvođenje supersimetrije. Klasičnu osnovu modela čini anti-de Sitter (AdS) gradijentna teorija gravitacije koja se svodi na OTR sa negativnom kosmološkom konstantom pri određenom kalibracionom uslovu. U okviru ovog modela moguće je konzistentno definisati klasična dejstva za Dirakovo spinorsko polje, $U(1)$ gradijentno polje i Jang-Milsovo gradijentno polje. Deformacija klasičnih modela je izvršena Sajberg-Vitenovom (Seiberg-Witten) tehnikom konstrukcije NK gradijentnih teorija sa Mojalovim \star -proizvodom koja podrazumeva razvijanje NK dejstva po stepenima deformacionog parametra $\theta^{\mu\nu}$. Prva nenulta NK korekcija čiste NK gravitacije je drugog reda po $\theta^{\mu\nu}$, i izuzetno

ju je teško izračunati. Zbog toga je bilo naročito značajno konstruisati modele NK teorije polja koji imaju nenultu NK korekciju prvog reda. Posebno je analiziran model nekomutativne $N = 2$ AdS_4 supergravitacije koja se zasniva na ortosimplektičkoj $Osp(4|2)$ supergrupi. Još jedno značajano pitanje koje je tretirano u ovoj disertaciji je odnos kanonske NK deformacije i Vigner-Inonuove (Wigner-Inönü) kontrakcije.

2.2 Sadržaj i rezultati

Doktorska disertacija „Teorija polja u $SO(2,3)_*$ modelu nekomutativne gravitacije” Dragoljuba Gočanina na 120 strana sadrži devet poglavlja, četiri dodatka i listu od 132. reference.

U prvom poglavlju je predstavljen širi kontekst u kome će biti sagledana glavna tema disertacije, uz sažet istorijat razvoja deformacionog pristupa problemu kvantizacije kao i pregled osnovne literature. Koncept Mojalovog \star -proizvod je elaboriran u drugom poglavlju. Definisana je najpre u kontekstu kvantizacije faznog prostor a potom je po analogiji uveden u NK teoriju polja, gde se koristi za definisanje nekomutativne geometrije prostor-vremena. Treće poglavlje sadrži pregled Sajberg-Vitenove tehnike konstrukcije NK gradijentnih teorija. Ova tehnika podrazumeva korišćenje gradijentnih polja koja pripadaju univerzalno obavijajućoj algebri čime se razrešava problem zatvorenosti infinitezimalnih NK gradijentnih transformacija u okviru Lijeve algebre nedeformisane gradijentne grupe. Pritom se u NK teoriju uvodi beskonačan broj novih polja (novih stepeni slobode). Ovi neželjeni stepeni slobode se eliminišu Sajberg-Vitenovim preslikavanjem koje omogućava da se NK polja predstave u vidu perturbativnih razvoja po stepenima deformacionog parametra $\theta^{\mu\nu}$ sa koeficijentima izgraenim od polja klasične teorije. Ovom tehnikom se NK gradijentna teorija u potpunosti definiše preko njoj-odgovarajuće klasične teorije. U drugom i trećem poglavlju je definisana tehnika deformacije koja će biti primenjivana u narednim poglavljima. U četvrtom poglavlju je dat pregled klasične AdS gradijentne teorije gravitacije i njena NK deformacija koja daje $SO(2,3)_*$ model NK gravitacije. Ovaj model je analiziran u literaturi i ovde su komentarisani samo glavni rezultati - intrpretacija nekumutativnosti kao izvora krivine i trozije i objašnjenje porekla narušenja opšte kovarijantnosti u kanonski deformisanoj NK teoriji polja. Sadržaj naredna tri poglavlja, petog, šestog i sedmog, čini glavni deo disertacije. U njima je uvedeno Dirakovo spinorsko polje, $U(1)$ i Jang-Milsovo gradijentno polje, respektivno, na kanonski deformisanom prostor-vremenu, kao nadogradnja $SO(2,3)_*$ modela šiste NK gravitacije. Time je definisana konzistentna teorija NK Elektrodinamike. Najznačajnije fenomenološke posledice ove teorije su

efekat dvojnog prelamanja u NK prostor-vremenu (zavisnost energije elektrona od stanja njegovog heliciteta usled nekomutativnosti prostor-vremena) i NK deformacija Landauovih nivoa. Osmo poglavlje je posvećeno uvodjenju lokalne supersimetrije. Predstavljen je nekomutativni model $N = 2$ AdS_4 supergravitacije koji se zasniva na ortosimplektičkoj $OSp(4|2)$ grupi. Linearna NK korekcija je izračunata i diskutovan je njen niskoenergetski limes. Diskutovana je i Vigner-Inonuova kontrakcija svakog od pomenutih NK dejstava. U poslednjem, devetom poglavlju dat je sažet pregled glavnih rezultata disertacije, komentarisani su izvesni problemi i ponudjen niz novih pravaca istraživanja. Dodaci A i B sadrže neke relevantne međjurezultate koji se tiču NK korekcija klasičnih modela iz petog i šestog poglavlja. U dodatku C je predstavljena eksplicitna matricna reprezentacija ortosimplektičke $osp(4|2)$ superalgebre. U dodatku D su sakupljeni relevantni identiteti koji se tiču Majorana spinora i AdS algebre.

Provera originalnosti ove teze izvršena je primenom odgovarajućeg programa Univerziteta u Beogradu. Najveći deo prepokrivanja je iz radova koje je objavio kandidat u saradnji sa mentorom.

2.3 Naučni radovi kandidata

Spisak radova koje je Dragoljub Gočanin do sada objavio.

- (A1) D. Gočanin, V. Radovanović, Dirac field and gravity in NC $SO(2, 3)_*$ model, Eur. Phys. J. C 78 (2018) no.7, 195; **IF: 5.297, M21.**
- (A2) M. Dimitrijević Ćirić, D. Gočanin, N. Konjik and V. Radovanović, Noncommutative Electrodynamics from $SO(2, 3)_*$ Model of Noncommutative Gravity, Eur. Phys. J. C 78 (2018) no.7, 548; **IF: 5.297, M21.**
- (A3) M. Dimitrijević Ćirić, D. Gočanin, N. Konjik and V. Radovanović, YangMills theory in the $SO(2, 3)_*$ model of noncommutative gravity, Int. J. Mod. Phys. A 33 (2018) no.34, 1845005; **IF: 1.291, M23.**
- (A4) M. Dimitrijević Ćirić, D. Gočanin, N. Konjik and V. Radovanović, $SO(2, 3)_*$ Noncommutative Gravity: Coupling with Matter Fields, Phys. Part. Nucl. 49 (2018) no.5, 904; **IF: 0.549, M23.**
- (A5) D. Gočanin, V. Radovanović, Canonical Deformation of $N = 2$ AdS_4 SUGRA, arXiv:[1909.01069]; **Na recenziji u Phys. Rev. D.**

(A6) A. Dimić, M. Milivojević, D. Gočanin & Č. Brukner, Simulating spacetime with indefinite causal order via Rindler observers, arXiv:[1712.02689].

Radovi (A1), (A2), (A3), (A4) i (A5) su direktno vezani za doktorsku disertaciju Dragoljuba Gočanina.

Na osnovu prethodne analize doktorske disertacije, Komisija donosi sledeći

ZAKLJUČAK

Doktorska disertacija „Teorija polja u $SO(2, 3)_*$ modelu nekomutativne gravitacije, koju je sastavio Dragoljub Gočanin, diplomirani fizičar, predstavlja značajan i originalan naučni doprinos u izučavanju teorije polja na nekomutativnim prostorima. Uzimajući u obzir aktuelnost teme doktorske disertacije, njen sadržaj i rezultate, kao i kvalitet radova na kojima se disertacija zasniva, predlažemo Nastavno-naučnom veću Fizičkog fakulteta Univerziteta u Beogradu da usvoji ovaj izveštaj i odobri javnu odbranu disertacije.

Beograd, 11. 9. 2019.

Prof. dr Voja Radovanović
Fizički fakultet, Univerzitet u Beogradu

Prof. dr Marija Dimitrijević Ćirić
Fizički fakultet, Univerzitet u Beogradu

dr Branislav Cvetković, naučni savetnik
Institut za fiziku u Beogradu