

Prof. dr hab. Jerzy Jurkiewicz
Instytut Fizyki im. Mariana
Smoluchowskiego
UNIwersytet Jagielloński
30-348 KRAKÓW, Łojasiewicza 11



plus ratio quam vis

Kraków, 25 maj 2015 r.

tel. +48 12 664 46 60

jerzy.jurkiewicz@uj.edu.pl

Dziekanat Wydziału Fizyki UW
Seksja ds. pracowniczych
Wpłynęło dn. 29.05.2015
podpis *af*

Recenzja rozprawy doktorskiej pana mgr Marcina Grzegorza Domagały p.t.
„Kwantowy model bezmasowego pola Kleina-Gordona sprzężonego z polem grawitacyjnym”

Rozprawa doktorska pana mgr Domagały została wykonana na Uniwersytecie Warszawskim pod kierunkiem prof. dr hab. Jerzego Lewandowskiego. Praca napisana jest w języku polskim, ma 117 stron. Całość podzielona jest na 5 rozdziałów oraz jeden dodatek matematyczny. Bibliografia zawiera 46 pozycji. W pracy wykorzystano wyniki własne autora, zawarte w dwóch publikacjach, których pan Domagała jest autorem lub współautorem. Wśród prac cytowanych w rozprawie znajduje się wcześniejsza praca współautorstwa mgr Domagały z roku 2004 z bardzo dużą liczbą cytowań (243) oraz dwa komunikaty w materiałach konferencyjnych.

Pierwszy rozdział rozprawy przedstawia w skrócie najważniejsze wyniki, uzyskane w pracy. Taka redakcja rozprawy jest bardzo przydatna dla oceny wkładu autora w przedstawianą dziedzinę naukową. Tematem pracy jest wyprowadzenie kwantowego modelu pola grawitacyjnego oddziałującego z polem skalarnym. Autor opiera się na metodzie zaproponowanej przez Kuchara i Romano.

Rozdział drugi rozprawy przeprowadza analizę kanonicznego formalizmu klasycznego modelu, zawierającego pole grawitacyjne oddziałujące z polem skalarnym. Punktem wyjścia jest funkcjonal działania, z którego autor wyprowadza klasyczne równania pól. Zakłada, że czaso-przestrzeń jest globalnie hiperboliczna, a w konsekwencji dopuszcza globalną foliację czasową. Opis ewolucji czasowej charakterystyk geometrycznych prowadzi do wyprowadzenia równań Einsteina oraz wyrażeń na więzy, generujące transformacje cechowania. Znanym problemem jest tzw. problem czasu w ogólnej teorii względności, gdyż kanoniczny hamiltonian układu jest liniową kombinacją więzów, w konsekwencji generuje wyłącznie transformacje cechowania. Autor wprowadza definicje zmiennych Ashtekara i wyraża w tych zmiennych funkcjonal działania oraz wyrażenia na więzy. Przekształcenia formy więzów, zawarte w podrozdziale 2.3.4, wydają się niedopracowane, zawierając jakby niedokończone pierwsze zdanie i szereg „równań”, w których jednak nie pojawia się znak „=”.

„Równanie” (2.135) w szczególności nie jest równaniem, lecz wyrażeniem matematycznym. Rozdział drugi kończy omówienie pojęcia deparametryzacji teorii względności i klasyfikację obszarów przestrzeni fazowej oraz wprowadza pojęcie zdeparametryzowanego klasycznego modelu grawitacji sprzężonej z bezmasowym polem skalarnym.

Konstrukcji modelu kwantowego poświęcony jest rozdział trzeci rozprawy. Autor wybiera tu podejście Diraca. Kinematyczna przestrzeń Hilberta zawiera stany kwantowe, opisywane zestawem zmiennych opisujących pole skalarne oraz zmiennych opisujących geometryczne stopnie swobody. W przestrzeni kinematycznej autor definiuje operatory kwantowe dla części geometrycznej i połowej. Formalne rozwiązania dla więzów gaussowskich i wektorowych definiują nową przestrzeń Hilberta niezmienniczych stanów kwantowych. Najciekawsza część tego rozdziału zawarta jest w podrozdziale 3.3, gdzie autor dyskutuje postać i rozwiązanie zdeparametryzowanych więzów skalarnych dla funkcji, określonych w tej przestrzeni. Wykazuje, że używając prostego Ansatzu dla postaci tych funkcji można zredukować problem rozwiązania więzów skalarnych do postaci, w której rola pola skalarnego zawarta jest w prostym operatorze działającym na dowolną funkcję zmiennych geometrycznych spełniających więzy gaussowskie i dyfeomorficzne. W przestrzeni takich funkcji można w prosty sposób zdefiniować iloczyn skalarny, a także kwantowe obserwable Diraca. Obserwable uzyskane są poprzez relacyjne związki z odpowiednimi obserwablami geometrycznymi. Sprzężenie z polem skalarnym pozwala zdefiniować nietrywialną ewolucję takich obserwabli, przy czym rolę czasu odgrywa stała przestrzennie składowa pola skalarnego. W naturalny sposób pojawia się odpowiednik fizycznego hamiltonianu, zdefiniowanego w przestrzeni dyfeomorficznie niezmienniczych funkcji geometrycznych. Przedstawione rozwiązanie pozwala na odseparowanie problemu więzów w układzie pola skalarnego sprzężonego z polem grawitacyjnym do problemu kwantowania części geometrycznej modelu oraz określenia w jaki sposób hamiltonian działa w tej przestrzeni Hilberta. Jest to bardzo ciekawy i fizycznie znaczący wynik, który uważam za bardzo istotne osiągnięcie mgr Domagały.

Kolejny, czwarty rozdział przedstawia zastosowanie omówionej wcześniej konstrukcji w przypadku, gdy geometryczna część teorii opisana jest w formalizmie pętlowej grawitacji kwantowej. Autor krótko przedstawia pojęcia funkcji cylindrycznych oraz elementarne operatory kwantowe w przestrzeni tych funkcji. Dyskutuje następnie realizacje więzów gaussowskich i dyfeomorficznych oraz pojęcie niezmienniczych sieci spinowych. Końcowa część rozdziału zawiera dyskusję postaci fizycznego hamiltonianu w języku grafów. Ostatni rozdział piąty rozprawy zawiera podsumowanie uzyskanych wyników.

Rozprawa napisana jest bardzo jasno, zawiera szczegółowe definicje używanych pojęć i przejrzyste omówienia uzyskanych wyników. Mgr Domagała wykazał się znakomitą orientacją w tematyce dotyczącej problemów klasycznej i kwantowej grawitacji. Uzyskane wyniki są bardzo interesujące i otwierają szerokie pole dla zastosowań w ramach formalizmu Pętlowej Grawitacji Kwantowej.

Niestety autor nie ustrzegł się drobnych błędów edytorskich. W wielu miejscach brakowało sprawdzenia pisowni niektórych *polskich* wyrazów (przestawione litery itp.). Jak wspomniałem wcześniej cały podrozdział 2.3.4 wydaje się nieprzemyślany, być może zabrakło końcowej korekty tekstu. Mało czytelne i niezbyt zrozumiałe są też rysunki, wykonane ręcznie i wklejone do pracy. Pewnym utrudnieniem w lekturze było wklejenie ostatniego rozdziału pracy „do góry nogami”. Niezbyt istotnym, ale symptomatycznym elementem było wydrukowanie str. 3 pracy na innym tekście, pochodzącym z firmowej strony firmy XEROX. Te usterki nie umniejszają mojej pozytywnej oceny rozprawy doktorskiej.

W podsumowaniu mojej opinii: uważam, że pan mgr Marcin Grzegorz Domagała wykazał się znaczącym dorobkiem naukowym, opanowaniem bardzo zaawansowanego aparatu matematycznego i zdolnością jasnej i kompletnej prezentacji swoich wyników i wnioskuję o dopuszczenie go do dalszych etapów przewodu doktorskiego.



Prof. dr hab. Jerzy Jurkiewicz