

## **Recenzja rozprawy doktorskiej mgr. Marcina Grzegorza Domagały pt. „Kwantowy model bezmasowego pola Kleina—Gordona sprężonego z polem grawitacyjnym”**

Tematem rozprawy doktorskiej mgr. Marcina Grzegorza Domagały, wykonanej w Instytucie Fizyki Teoretycznej Uniwersytetu Warszawskiego pod kierunkiem prof. dr. hab. Jerzego Lewandowskiego jest zastosowanie metod wypracowanych w ramach programu pętłowej kwantowej grawitacji do nieperturbacyjnego kwantowania pola grawitacyjnego sprężonego do pola skalarnego. Materiał pracy oparty jest na wynikach dwóch artykułów naukowych: pierwszy napisany został przez mgr. Domagałę wspólnie z K. Giesel, W. Kamińskim i J. Lewandowski i opublikowany w *Physical Review D*, zaś drugi powstał we współpracy z M. Dziędzikowskim i J. Lewandowskim.

Oprócz tych dwóch artykułów mgr Domagała jest współautorem dwóch prac, z których jedna, poświęcona obliczeniu entropii czarnych dziur w formalizmie pętłowej kwantowej grawitacji zgromadziła imponującą liczbę niemal 250 cytowań.

Recenzowana rozprawa doktorska liczy 117 stron, i składa się z 5 rozdziałów, dodatku oraz liczącej 46 pozycji bibliografii. Rozdział 1 poświęcony jest uwagom wstępnym oraz zapoznaje czytelnika z kręgiem tematycznym, któremu poświęcona jest rozprawa. W rozdziale 2 Autor prezentuje analizę kanoniczną pola grawitacyjnego sprężonego z polem skalarnym. W rozdziale tym przedyskutowane jest zagadnienie deparametryzacji ogólnej teorii względności. Zaprezentowana jest tu również istotna w perspektywie kolejnych rozdziałów iloczynowa postać więzów oraz związany z taką formą więzów rozkład przestrzeni fazowej na obszary, z których jeden jest przedmiotem dalszej analizy. Rozdziały 3 i 4 prezentują kwantyzację modelu omówionego w rozdziale 2 metodami pętłowej kwantowej grawitacji, zaś rozdział 5 poświęcony jest konkluzjom i wnioskom.

Rozprawa doktorska mgr. M. Domagały została starannie zredagowana, choć autor nie ustrzegł się w niej pewnej liczby błędów interpunkcyjnych, językowych, czy wręcz ortograficznych. W

rozprawie pojawiają się też niezręczne neologizmy jak np. „wylistowane” (str. 49). Pomimo tych drobnych usterek rozprawę bardzo dobrze się czyta, a prezentowane argumenty i wyniki wyłożone zostały w sposób jasny i klarowny, niemalże pedagogiczny.

Najważniejszymi, oryginalnymi wynikami pracy, szczegółowo opisanymi w rozdziałach 3 i 4 są:

1. Sformułowanie kwantowego, kanonicznego opisu układu pola grawitacyjnego sprzęgniętego do pola skalarnego, rozwiązanie więzów i znalezienie postaci obserwabli Diraca oraz hamiltonianu tego układu.
2. Dyskusja kwantowej teorii swobodnego pola grawitacyjnego (bez źródeł), w tym nowe wyprowadzenie kwantowego operatora, odpowiadającego więzowi skalarnemu.

Wyniki te stanowią znaczący i interesujący wkład w rozwój teorii kwantowej grawitacji w sformułowaniu pętlowym. Ich uzyskanie dowodzi, w moim przekonaniu, szerokiej i głębokiej wiedzy mgr. Domagały w dziedzinie klasycznej i kwantowej teorii grawitacji, szczególnie jej kanonicznego sformułowania, i w dziedzinie matematycznych metod fizyki teoretycznej oraz biegłości w zastosowaniu zaawansowanych technik rachunkowych. Spełnia więc ustawowe wymagania stawiane rozprawom doktorskim.

Chociaż w moim przekonaniu rozprawa doktorska mgr. M. Domagały nie nasuwa większych zastrzeżeń merytorycznych, w niektórych miejscach pojawiają się w niej stwierdzenia nie dość precyzyjne lub budzące pewne wątpliwości.

Na str. 55 Autor pisze, że „[...] obecność więzów gaussowskich [...] jest wynikiem wyboru zmiennych Ashtakara”. Nie jest to do końca prawdą, ponieważ więz gaussowski pojawia się w kanonicznym sformułowaniu grawitacji w formalizmie tetradowym, niezależnie od wyboru zmiennych.

Na str. 46 i 47 Autor dyskutuje obszary przestrzeni fazowej twierdząc, że obserwowanemu rozszerzającemu wszechświatowi odpowiada jedynie obszar 1. Ponieważ wybór obszaru przestrzeni fazowej jest kluczowy dla rozważań prezentowanych w dalszych rozdziałach rozprawy, wydaje mi się, że argument odwołujący się jedynie do wyników uzyskanych w ramach modelu jednorodnego i izotropowego jest w tym przypadku niewystarczający. Chciałbym np.

dowiedzieć się, jakim efektem fizycznym w pełnej teorii odpowiada wybór innych obszarów przestrzeni fazowej i znaleźć przynajmniej krótką dyskusję opisującą jak, nawet na poziomie jakościowym, zmieniłyby się wyniki uzyskane w rozprawie, gdyby wybrano inny obszar przestrzeni fazowej.

Jednym z najważniejszych wyników uzyskanych w rozprawie jest znalezienie postaci funkcjonału, będącego rozwiązaniem więzów w przypadku teorii pola grawitacyjnego sprzężonego do bezmasowego pola skalarnego. Okazuje się (wzór (3.31) na str. 60), że pole skalarne występuje jedynie w czynniku fazowym. Jest to wynik niezwykle prosty, ale zarazem zadziwiający, wygląda bowiem na to, że jedyną rolę, jaką pole skalarne odgrywa w teorii jest „przesunięcie” argumentu funkcji  $\psi(A)$  (ponieważ operatory  $\hat{h}(x)$  komutują można je utożsamić z pędami, a wtedy czynnik fazowy jest operatorem przesunięcia). W moim przekonaniu wzór (3.31) aż prosi się o szczegółową dyskusję interpretacyjną.

Wymienione powyżej drobnych potknięcia i pytania, które nasunęły mi się przy czytaniu rozprawy nie wpływają na jej pozytywną ocenę.

Stwierdzam, że rozprawa doktorska mgr. Marcina Grzegorza Domagały spełnia wszelkie ustawowe, formalne i zwyczajowe wymagania stawiane rozprawom doktorskim z dziedziny fizyki teoretycznej. Wnoszę o dopuszczenie mgr. M. G. Domagały do dalszych etapów przewodu doktorskiego.

  
Prof. dr hab. Jerzy Nowakowski-Glikman

Warszawa, 5 marca 2015