

Prof. dr hab. Marek Rogatko  
Katedra Fizyki Teoretycznej  
Grupa Astrofizyki i Teorii Grawitacji  
Uniwersytet Marii Curie-Skłodowskiej  
w Lublinie

*Lublin, 25.03.21*

Recenzja pracy doktorskiej Artura Miroszewskiego pt.  
“Quantum Corrections and Singularity Problem in Cosmology”.

Rozprawa doktorska zawiera 55 stron druku, składa się ze wstępu, pięciu rozdziałów, podsumowania oraz spisu literatury. Rozprawa napisana została w języku angielskim.

Rozdział I dotyczy teorii, która dalej będzie wykorzystywana w rozprawie, a mianowicie kanonicznego opisu jednorodnego i izotropowego modelu kosmologicznego wypełnionego płynem doskonałym. W dalsze części przedstawione zostały podstawy teorii uogólnionych stanów koherentnych. W końcowej części autor proponuje zastosowanie opisanego formalizmu do kwantowej kosmologii, przy pomocy afinicznego kwantowania, użytego do płaskiego modelu FLRW, w wyniku czego uzyskuje brak klasycznego punktu osobliwego dla uogólnionej współrzędnej  $q = 0$ .

Na początku drugiego rozdziału autor porównuje status czasu w ogólnej teorii względności traktowanej jako teoria niezmiennicza ze względu na grupę dyfeomorfizmów, z pojęciem czasu wynikającym ze sformułowania mechaniki kwantowej. Bazując na pojęciu rozmaitości kontaktowej mgr Miroszewski wprowadza wewnętrzne zegary, przez które wskazywane zmiany czasu wynikają z zastosowania specjalnej pseudokanonicznej transformacji. Dwuznaczność interpretacji zegarów znika gdy ograniczymy się do obserwacji związanych z klasycznymi stopniami swobody. Przedstawiony formalizm rozszerza i uogólnia dotychczas znany z klasycznego sformułowania mechaniki kwantowej. Pozwala on na opis mechaniki kwantowej przy pomocy wewnętrznych zegarów. Materiał rozdziału drugiego został opublikowany w Phys. Rev. D96, 046003 (2017).

W rozdziale III autor przedstawia nowy formalizm opisu ruchu w mechanice kwantowej. Konstrukcja bazuje na uogólnionych koherentnych stanach oraz ewolucji wektora odniesienia. Stany koherentne typu Weyla-Heisenberga umożliwiają na rozdzielanie stopni swobody kwantowych i klasycznych. Nowością jest to, że wszystkie stany koherentne stanowią dokładne rozwiązania równania Schrödingera. Rozważania przedstawione w rozdziale drugim bazują na preprincie umieszczonym w arxiv.

W rozdziale IV, opartym na pracy opublikowanej w Phys. Rev. D98, 02600 (2018), rozwijana jest teoria kwantowej dynamiki w oparciu o przestrzeń fazową trajektorii kwantowych. Kwantowa przestrzeń fazowa zbudowana jest z unitarnej nieredukowalnej reprezentacji grupy symetrii odpowiedniej klasycznej przestrzeni położeń i pędów. Funkcjonał kwantowego działania, zdefiniowany na trajektoriach w przestrzeni Hilberta, został użyty do znalezienia równań ruchu. Przedstawione podejście autor stara się zastosować do opisu kwantowej kosmologii, badając takie efekty jak zmianę skali wielkiego odbicia spowodowaną większym rozmiarem przestrzeni odniesienia czy też asymetryczne odbicie będące efektem rozplywania się funkcji falowej Wszechświata.

Rozdział V poświęcony jest studiom wpływu efektów kwantowego odbicia i kwantowych nieoznaczoności na geometrię oraz na naturę pierwotnych fal grawitacyjnych. Pokazano, że w erze bardzo wczesnego Wszechświata, gdy efekty kwantowe odgrywały istotną rolę, prędkość rozchodzenia się fal grawitacyjnych i potencjał, który wzmacnia perturbacje, są silnie zależne od funkcji falowej. Wskazano także potencjalne efekty obserwacyjne wyżej opisanego zjawiska.

W rozdziale VI autor podsumowuje opisane wcześniej rozważania i problemy związane z zastosowaniem stanów koherentnych w kosmologii kwantowej i formalizmem wewnętrznych zegarów, oraz przedstawia przyszłe problemy badawcze, którymi zamierza się zająć. Między innymi planuje rozważenie bardziej złożonych modeli kosmologicznych, w tym kosmologii Wszechświata anizotropowego oraz potencjalnej analizy pierwotnych fal grawitacyjnych.

Uwagi:

1. w pracy 'hamiltonian' i wszelkie odmiany tego wyrazu pisane są z małej litery. W języku angielskim z reguły powinno być 'Hamiltonian', 'Hamiltonians etc.' Chociaż są odstępstwa od tej reguły np. w książce Arnolda- 'Mathematical Methods of Classical Mechanics',
2. pojawiają się drobne błędy edytorskie np. na str. 1, str.16 po 'the following' powinien być dwukropek, itp.

3. podczas czytania rozprawy zabrakło mi dokładnej definicji rozmaitości kontaktowej i kinetycznej przestrzeni fazowej,
4. co dzieje się z członami powierzchniowym Hamiltonianu, w opisywanej przez autora konstrukcji przestrzeni fazowej typu ADM?

Podsumowując stwierdzam, że mgr Artur Miroszewski wykazał się dobrą znajomością zaawansowanych metod mechaniki kwantowej i kosmologii relatywistycznej, uzyskał ciekawe wyniki dotyczące problemu czasu i formalizmu tzw. wewnętrznych zegarów. Treści zawarte w rozprawie doktorskiej odnoszą się częściowo do oryginalnych rezultatów badań doktoranta uzyskanych we współpracy z dr. hab. Przemysławem Małkiewiczem (jego promotorem pomocniczym), które jak już wspomniano zostały opublikowane bądź są dostępne w postaci preprintów przyjętych do druku. Z tego względu moja pozytywna ocena pracy doktorskiej ma swoje potwierdzenie w opiniach specjalistów redakcyjnych przyjmujących prace do druku.

Mój końcowy wniosek jest oczywiście pozytywny i wnoszę o dopuszczenie mgr. Artura Miroszewskiego do dalszego postępowania w przewodzie doktorskim.