

## **Recenzja dorobku naukowego oraz pracy habilitacyjnej dr Ewy Czuchry p.t. „Big Bounce and inflation in modified quantum theories of gravity”**

Na pracę habilitacyjną pani dr. E. Czuchry składa się 6 prac, w tym 3 prace samodzielne opublikowane w latach 2009-2017. Prace te zostały opublikowane w renomowanych czasopismach z bazy Web of Science. Prace mają charakter teoretyczny i dotyczą klasycznych i kwantowych aspektów dynamiki modeli kosmologicznych. Dwa modele są poddane szczegółowej analizie dynamicznej. Pierwszym modelem jest model Hořavy-Lifshitz a drugim model kosmologiczny Mixmaster — B(IX) w klasyfikacji Bianchi jednorodnych modeli kosmologicznych.

Prace oznaczone jako H2 oraz H3 dotyczą pierwszego z modeli oraz jego uogólnieniu. Nowość tych prac polega na zredukowaniu modelu Hořavy-Lifshitz do postaci trzywymiarowego autonomicznego układu dynamicznego i zbadaniu struktury przestrzeni fazowej. W porównaniu ze standardowym modelem kosmologicznym odnajdujemy w przestrzeni fazowej nowe ścieżki ewolucyjne jak istnienie odbicia (bounce). Jak zauważa autorka odnalezione odbicie nie jest generyczną cechą układu ponieważ jest on warunkowany przez szczególnie dobór warunków początkowych. Dyskusja rozwiązań typu bounce jest kontynuowana w pracy H3.

W badaniach dynamiki modeli kosmologicznych zwanych przez autorkę modelami zmodyfikowanej teorii grawitacji autorka w poprawny sposób stosuje metody teorii układów dynamicznych i poprawnie interpretuje możliwe ścieżki ewolucyjne tych modeli. W tych badaniach autorka ogranicza się do badania klasycznych aspektów dynamicznych (odbicie, inflacja) jednorodnych i izotropowych modeli kosmologicznych o symetrii Robertsona-Walkera.

Druga część prac H4-H6 dotyczy już modelu o obniżonej symetrii — modelu jednorodnego i izotropowego o numerze B(IX). Jest to względnie prosty model kosmologiczny, który może posłużyć jako modelowy do badania efektów anizotropii. Model ten jako podklasę zawiera zamknięty model FRW. Model ten odgrywa ważną rolę w teoretycznych badaniach kosmologicznych od czasów sformułowania przez Misnera koncepcji chaotycznej kosmologii. Dynamika tego modelu redukuje się do postaci układu dynamicznego i stąd

możemy badać w nim możliwość wystąpienia złożonego zachowania chaotycznego.

Dr. Czuchry koncentruje się nie tyle na badaniach klasycznej dynamiki co na jego aspektach kwantowych. Nowe w tych badaniach jest zastosowanie dobrze znanej aproksymacji w fizyce molekularnej a mianowicie aproksymacji Borna-Huanga-Oppenheimera. W tych pracach dr. E. Czuchry jest współautorką.

Jeśli idzie o wkład w tych pracach E. Czuchry to oceniam go bardzo pozytywnie

Zapoznałem się też z dorobkiem naukowym i dydaktyczno-organizacyjnym dr. Czuchry i sprawia on bardzo pozytywne wrażenie. Autorka potrafi pracować w grupie i uzyskiwać wartościowe wyniki. Potrafi komunikować swoje wyniki na konferencjach międzynarodowych.

Z obowiązku recenzenta poniżej w punktach wymienię moim zdaniem słabe strony habilitacji co jednakże nie zmienia mojej pozytywnej konkluzji. Są one następujące:

1. Analiza dynamiczna modelu BIX w sformułowaniu jako układu Tody jest pobieżna i niekonkluzywna co zresztą sama autorka przyznaje w autoreferacie. Pojawiają się w przestrzeni zdegenerowane punkty krytyczne co w konsekwencji prowadzi do faktu, że taka analiza jest w zasadzie bezwartościowa. W rozdziale II monografii O.I. Bogoyavlenskigo „Methods in the Qualitative Theory of Dynamical Systems in Astrophysics and Gas Dynamics” (Springer, Berlin 1985), autorka może znaleźć jakościowe badania modelu Mixmaster, gdzie zastosowana została metoda usuwania degeneracji.
2. W rozdziale VIII powyższej monografii Bogoyavlenskigo został sformułowany model Mixmaster jako zaburzony układ Tody. Autorka znajdzie tam oryginalny dowód chaotycznego zachowania w tym modelu przy zastosowaniu aproksymacji przez separatrysy. Wydaje się, że w powyższym kontekście jest też ważna praca M. Biesiada, M. Szydłowski, Mixmaster cosmological models as disturbed Toda lattices, Physics Letters A160 (1991) 123-130.
3. W pracy pojęcia „inflation”, „bounce” są wyłącznie rozumiane jako terminy ściśle teoretyczne. Przykładowo o inflacji możemy mówić, gdy produkowana jest dostateczna liczba  $N$ -foldów, którą możemy otrzymać z obserwacji.
4. Za wadę pracy uważam nie tyle brak konfrontacji prezentowanych modeli z obserwacją co brak jakichkolwiek uwag co do relacji modelu do obser-

wowalnego Wszechświata. Przykładowo badany model Hořawy-Lifshitz'a bardzo kiepsko wypada w konfrontacji z obserwacjami (zob. A. E. Gümrükçüoğlu, M. Saravani, T. P. Sotiriou, Hořava gravity after GW170817, Phys. Rev. D97 (2018) 024032 [gr-qc 1711.08845]).

5. Jeśli model, który kwantujemy zawiera w przestrzeni fazowej zdegenerowane punkty krytyczne (dlaczego autorka nazywa te punkty niehiperboliczne zamiast wprost zdegenerowane!?) to taki model jest strukturalnie niestabilny i stąd małe zaburzenie spowoduje dramatyczną zmianę jego struktury przestrzeni fazowej. Mam problem ze zrozumieniem kwantowania modelu, który jest od samego początku i od urodzenia zdegenerowany. Czy nie można się w kwantowaniu quasi klasycznym posłużyć innym modelem dynamiki?

Reasumując oceniam pracę habilitacyjną i dorobek naukowy pozytywnie jako spełniający wymogi pracy habilitacyjnej w sensie ustawy i wnioskuję o jej dopuszczenie do dalszych etapów postępowania habilitacyjnego.

prof. dr hab. Marek Szydłowski  
Obserwatorium Astronomiczne  
Uniwersytetu Jagiellońskiego



