

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

Lublin, 20.11.18

Recenzja pracy doktorskiej Aleksandra Stachowskiego pt.
“Cosmological models with running cosmological constant”.

Rozprawa doktorska została napisana w języku angielskim, jest rodzajem przewodnika omawiającego główne tezy prac Autora. Składa się z 58 stron druku oraz dodatku zawierającego opublikowane przez mgr. Aleksandra Stachowskiego prace, na których rozprawa doktorska bazuje. Jest ich jedenaście. Prace zostały opublikowane w prestiżowych czasopiśmie o dużym impact factorze, JCAP, Phys.Rev.D, czy Eur. Phys.J C. Prace w większości są dwuautorskie, doktoranta z jego promotorem, profesorem Markiem Szydłowskim.

Ideą przewodnią badań mgr. Stachowskiego jest problem zmiennej w czasie stałej kosmologicznej oraz problem koincydencji w modelach kosmologicznych gdy ciemna energia opisywana jest przez zmienną w czasie stałą kosmologiczną. Badany jest także proces inflacji i wpływ zmienności stałej na ten proces.

W rozdziale pierwszym przedstawione zostały główne cele i założenia dotyczące modeli kosmologicznych oraz wprowadzono konwencję dotyczącą stosowanych jednostek. W analizie statystycznej modeli mgr Stachowski używa swojego oryginalnego skryptu CosmoDarkBox, do estymacji parametrów analizowanych modeli. Opisane są także źródła danych obserwacyjnych używanych w dalszej analizie.

Rozpatrywane są modele rozpadu metastabilnego ciemnej energii z kwantowej próżni, późno-czasowej aproksymacji zawierający oddziaływanie pomiędzy ciemną materią i ciemną energią,

model typu radioaktywnego rozpadu oraz model, w którym ciemna energia jest parametryzowana funkcją typu $\sim \frac{1}{t^2}$. Z analizy ostatniego z modeli Autor otrzymał ciekawy rezultat, iż preferowany jest rozpad cząstek ciemnej energii niż ich powstawanie. Innym ciekawym rezultatem był wniosek, że model rozpadu ciemnej energii pokazuje mechanizm przejścia od wartości początkowej tego iluzorycznego składnika naszego Wszechświata do obecnej wartości stałej kosmologicznej. Modelem ten w sposób naturalny wprowadzają oddziaływania w obrębie ciemnego sektora, które pozwalają określić gęstość ciemnej energii poprzez prawo wykładnicze, gdzie w wykładniku mamy do czynienia z funkcją zależną od czasu. Co ciekawe z analizy mgr. Stachowskiej wynika, że dla wczesnych etapów ewolucji Wszechświata funkcja ta jest wielkością stałą.

Każdy z tej klasy modeli był poddany gruntownej analizie statystycznej w celu jak najlepszego dopasowania do danych obserwacyjnych.

W rozdziale trzecim, dyskutowane są wnioski z prac dotyczących problemu dyfuzji ciemnej materii i ciemnej energii w modelu oddziaływania. Autor rozważa opis zawierający oddziaływanie pomiędzy ciemną materią i ciemną energią, przy założeniu że całkowita liczba cząstek jest wielkością zachowaną. Całkowity tensor energii pędu jest sumą tensorów pochodzących od ciemnego sektora. Model ten opisuje transfer ciemnej materii do ośrodka opisywanego jako płyn doskonały, za pomocą mechanizmu dyfuzji. Przy tego typu opisie udało się uniknąć trudności matematycznych i koncepcyjnych znanych z literatury przedmiotu, a mianowicie niefizycznych trajektorii przechodzących przez punkt gdzie $\rho_m = 0$. Mgr Stachowski traktował też równania teorii jako równania typu dynamicznego co pozwoliło na znalezienie punktu krytycznego, dla którego gęstość ciemnej materii równa jest gęstości ciemnej energii (znalezienie mechanizmu dorozwiązania problemu koicydencji).

Analizowane były także podejścia relatywistyczne i nierelatywistyczne do problemu dyfuzji. W analizie statystycznej parametrów modeli w porównaniu do danych obserwacyjnych, okazało się że preferowany jest jednak model typu Λ CDM.

Ciekawą analizę dynamiczną przedstawił Autor w rozdziale czwartym opisującym rezultaty prac nad problemem zależności czasowej stałej kosmologicznej $\Lambda(t)$. Rozważane były dwie klasy przedstawiające parametryzację czasową. Parametryzacja niekowariantna za pomocą zależności od czasu parametru Hubble'a, oraz zależności czasowej czynnika skali $a(t)$ oraz parametryzacja

kowariantna. W tej ostatniej, Λ zależała od tensora Ricciego, skalarne go pola ϕ lub energii kinetycznej skalarne go pola. Znalaziono między innymi, że w ewolucji $\Lambda(a(t))$ mamy $\Omega_{\Lambda,0} < 3 \cdot 10^{-7}$, oraz trajektorie reprezentujące rozwiązanie skalujące $\rho_{\Lambda}(a) \sim \rho_m(a)$ (rozwiązanie problemu koincydencji). Pokazano także, iż w kosmologicznej ewolucji typu $\Lambda(H(t))$, znane z literatury rozwiązanie typu Alcaniza-Limy, jest rozwiązaniem $\rho_{\Lambda}(a) \sim \rho_m(a)$.

Rozdział szósty stanowi opis badań modeli kosmologicznych typu Starobinskiego w formalizmie Palatiniego. Formalizm Palatiniego rozważany był zarówno w układzie Jordana jak i Einsteina, później następowało porównanie rezultatów uzyskanych w tych układach. Jednym z ciekawszych rezultatów był wniosek, że w układzie typu Einsteina zachodzi proces oddziaływania pomiędzy ciemną energią a ciemną materią, natomiast te interakcje nie widać w układzie Jordana. Analizowane były także portrety fazowe w obu układach oraz rodzaje osobliwości w nich występujących.

Podsumowując stwierdzam, że mgr Aleksander Stachowski wykazał się bardzo dobrą znajomością relatywistycznej kosmologii i uzyskał ciekawe wyniki dotyczące teorii zmiennej w czasie stałej kosmologicznej. Każdy model prezentowany przez Autora był skrupulatnie weryfikowany statystycznie i porównywany z danymi z najnowszych obserwacji. Treści zawarte w rozprawie doktorskiej odnoszą się do oryginalnych rezultatów badań doktoranta uzyskanych pod kierunkiem i we współpracy z prof. Markiem Szydłowskim (jego promotorem), które jak już wspomniano zostały opublikowane w 11 pracach w renomowanych czasopismach. Z tego względu moja pozytywna ocena pracy doktorskiej ma swoje potwierdzenie w opiniach specjalistów redakcyjnych przyjmujących prace do druku.

Uwagi i komentarze:

Ciekawym byłoby wyjaśnienie na gruncie fizycznym aproksymacji stałej $\Lambda \sim 1/t^2$.

Ze względu na ciekawą problematykę badawczą stanowiącą aktualne światowe zainteresowania w dziedzinie kosmologii relatywistycznej, ilość uzyskanych przez magistra Stachowskiego nietrywialnych rezultatów opublikowanych w aż w 11 pracach w czołowych czasopismach o wysokich impact factorach, chciałbym postawić wniosek o wyróżnienie jego rozprawy doktorskiej.

Mój końcowy wniosek jest oczywiście pozytywny i wnoszę o dopuszczenie Aleksandra Stachowskiego do dalszego postępowania w przewodzie doktorskim.

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'M. Rogalski', with a horizontal line underneath.