

**Recenzja rozprawy doktorskiej mgr. Tomasza Krzysztofa Krajewskiego
pt. „Ewolucja niejednorodnych rozkładów pól Higgsa”**

Celem rozprawy doktorskiej mgr. Tomasza Krzysztofa Krajewskiego, wykonanej w Instytucie Fizyki Teoretycznej Uniwersytetu Warszawskiego pod kierunkiem prof. dr. hab. Zygmunta Lalaka jest zbadanie kosmologicznych konsekwencji pojawiania się ścian domenowych, będących efektem istnienia dodatkowego, wysokoenergetycznego minimum w potencjale efektywnym pola Higgsa.

Recenzowana rozprawa doktorska liczy 97 stron i składa się z 11 rozdziałów, 3 dodatków prezentujących szczegóły niektórych obliczeń oraz liczącej 75 pozycji bibliografii.

Rozdział 1 poświęcony jest uwagom wstępnym i prezentuje, w skrótovej formie, najważniejsze motywacje przyświecające Autorowi w badaniu zaprezentowanych w rozprawie zagadnień. Punktem wyjścia tych badań jest konstatacja, że w świetle wyników uzyskanych w LHC uprawniona jest hipoteza, iż Model Standardowy nie jest zastępowany przez inną (np. supersymetryczną) teorię, tak jak tego oczekiwano na początku wieku, ale że istnieją przesłanki, by wierzyć, że jego przewidywania mogą opisywać fizykę mikroświata aż do skali Plancka. Z tego względu poprawki promieniste do potencjału Higgsa, a w szczególności pojawienie się drugiego, głębszego minimum tego potencjału efektywnego oraz jego maksimum przy natężeniu pola Higgsa rzędu 10^{11} GeV mogą mieć istotne znaczenie fizyczne. Zjawiska z tym związane mogą znacząco wpływać na wczesne etapy ewolucji wszechświata i prowadzić do obserwowalnych efektów. Rozprawa doktorska mgr. T.K. Krajewskiego poświęcona jest dogłębnemu zbadaniu jednego z takich możliwych efektów: dynamice ścian domenowych i jej możliwym konsekwencjom obserwacyjnym.

W rozdziale 2 Autor opisuje znane w literaturze wyniki dotyczące postaci potencjału efektywnego Higgsa. Jeśli dobrze rozumiem, jest to potencjał obliczony w przypadku płaskiej

czasoprzestrzeni i nie jest dla mnie jasne, czy w przypadku analizy modeli kosmologicznych wpływ krzywizny można zaniedbać. Wpływ ten zapewne może, w przypadku wszechświata zdominowanego przez promieniowanie, być, przynajmniej w pewnym stopniu, modelowany przez poprawki termiczne i myślę, że warto byłoby pokusić się o analizę tej możliwości w podrozdziale poświęconym tym poprawkom.

Rozdział 3 poświęcony jest analizie procesów, które prowadzić mogą do powstawania niejednorodnych rozkładów pola Higgsa. Autor wspomina tutaj o poważnym problemie, spowodowanym faktem, iż wysokoenergetyczne minimum potencjału efektywnego ma ujemną energię. Jest to fakt wysoce niepokojący, wskazujący, być może, nawet na wewnętrzną niespójność modelu: w przestrzeni płaskiej energia określona jest z dokładnością do stałej; w przypadku „włączonej” grawitacji każda forma energii jest źródłem pola grawitacyjnego, zaś obecność materii o ujemnej gęstości energii powoduje powstawanie różnorodnych patologii. Oczywiście można przyjąć, że energia wysokoenergetycznego minimum jest zero, ale wtedy niskoenergetyczne minimum odpowiadałoby dodatniej energii, a więc olbrzymiej stałej kosmologicznej. Myślę, że problem ten zasługuje na głębszą analizę, niż ta przedstawiona w rozprawie (nawet – a może szczególnie – gdy jest to problem dotychczas nierozwiązany).

W rozdziale 4 Autor bada szerokość ścian domenowych, podając najpierw rozwiązanie analityczne tego problemu w przypadku potencjału $\lambda\phi^4$, a następnie przechodząc do krótkiego opisu wyników numerycznych uzyskanych w przypadku potencjału efektywnego. W końcowych fragmentach podrozdziału 4.1 Autor odwołując się do wyniku uzyskanego w dodatku A o nieistnieniu niezależnych od czasu rozwiązań płaskiej ściany domenowej w przypadku niezdegenerowanego potencjału, konkluduje że ściany domenowe są nietrwałe. Wydaje mi się, że jest to konkluzja przedwczesna (przynajmniej na tym etapie): zależność od czasu nie oznacza, że ściana musi po jakimś czasie zniknąć. Poza tym, w kontekście kosmologicznym, ściana, której czas życia jest większy niż wiek wszechświata jest z fizycznego punktu widzenia po prostu trwała.

Rozdziały 5-8 poświęcone są analizie pół-analitycznej i numerycznej ewolucji ścian domenowych w przypadku różnych modeli. Rozdział 5 zawiera uwagi wstępne, zaś rozdziały 6 i 7 prezentują oryginalne wyniki autora uzyskane w pracy *Domain walls and gravitational waves in the*

Standard Model. Symulacje te wskazują, że rzeczywiście powstanie długożyciowych ścian domenowych jest wysoce nieprawdopodobne. Podobnie rzecz się ma w przypadku ścian domenowych powstałych w tle termicznym – są one też wysoce nietrwałe.

Rozdziały 9 i 10 opisują możliwą produkcję fal grawitacyjnych przez rozpadające się ściany domenowe, prezentując wyniki oryginalnych symulacji numerycznych Autora. Chociaż, zgodnie z oczekiwaniami, fale takie są o wiele rzędów wielkości słabsze niż czułość istniejących i planowanych detektorów fal grawitacyjnych, badania te potwierdzają wielkie perspektywy, jakie stoją przed nową astronomią wykorzystującą fale grawitacyjne do badania wczesnego wszechświata.

Rozdział 11 jest syntetycznym podsumowaniem wyników uzyskanych przez Autora i zaprezentowanych w rozprawie doktorskiej.

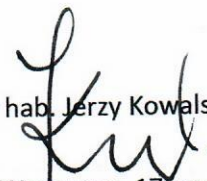
Rozprawa doktorska mgr. T.K. Krajewskiego jest napisana jasno i klarownie. Zawiera ona dobre, pedagogiczne wprowadzenie do problematyki ścian domenowych oraz przejrzysty opis wyników uzyskanych w trakcie badań własnych Autora. Rozprawa przygotowana została niezwykle starannie zarówno pod względem redakcyjnym, jak i merytorycznym. Do rzadkości należą drobne pomyłki i błędy, a układ pracy jest bardzo przejrzysty.

Wyniki zaprezentowane w rozprawie doktorskiej mgr. T.K. Krajewskiego są, w moim przekonaniu, interesujące, a ich uzyskanie wymagało od doktoranta wielkiego nakładu pracy. Stanowią one oryginalny wkład doktoranta do rozwoju kosmologii, w szczególności do badania konsekwencji kosmologicznych hipotezy, że Model Standardowy może być adekwatną teorią opisującą fizykę mikroświata aż do skali energii Plancka. Wyniki zaprezentowane w rozprawie świadczą też o znakomitym opanowaniu przez mgr. T.K. Krajewskiego zaawansowanych metod klasycznej i kwantowej teorii pola, jego zrozumieniu problemów pojęciowych współczesnej kosmologii oraz teorii cząstek elementarnych oraz doskonałej praktycznej znajomości skomplikowanych metod numerycznych.

Mgr. T.K. Krajewski jest współautorem 6 prac naukowych, z których 3 zostały opublikowane w czołowych czasopismach o zasięgu międzynarodowym, 2 w materiałach pokonferencyjnych, a

jedna w Arxiv (i zostanie, jak miemam, opublikowana niebawem). Jest to liczba publikacji nieco wyższa od tej, której oczekuje się doktorantów w dziedzinie fizyki teoretycznej.

Stwierdzam, że rozprawa doktorska mgr. Tomasza Krzysztofa Krajewskiego spełnia ustawowe, formalne i zwyczajowe wymagania stawiane rozprawom doktorskim z dziedziny fizyki teoretycznej. Wnoszę o dopuszczenie mgr. T. K. Krajewskiego do dalszych etapów przewodu doktorskiego.


Prof. dr hab. Jerzy Kowalski-Glikman
Warszawa, 17 września 2018