

dr hab. inż. Piotr Zalewski
Narodowe Centrum Badań Jądrowych

Warszawa, 27 stycznia 2019

Recenzja rozprawy doktorskiej mgr Olgi Czerwińskiej

Przedstawiona rozprawa doktorska nosi tytuł "Cosmological particle production in time-dependent backgrounds". Składa się ze streszczeń, siedmiu rozdziałów (wliczając wstęp i podsumowanie), bibliografii oraz pięciu dodatków. Praca jest zredagowana po angielsku.

Praca przedstawia oryginalny wkład doktorantki w tematykę produkcji cząstek w przypadku zmiennego tła. Oczywistym zastosowaniem badań doktorantki jest opis produkcji cząstek w trakcie wyhamowywania inflacji, ale użyteczność uzyskanych wyników nie ogranicza się do tej, nadal hipotetycznej, fazy ewolucji wszechświata.

Po ogólnym wprowadzeniu i nakreśleniu planu dysertacji doktorantka, w rozdziale drugim, w pedagogiczny sposób przedstawia teoretyczne podstawy i „narzędzia” użyte w pracy. W szczególności opisuje transformację Bogoliubowa (wiążącą operatory kreacji i anihilacji przed i po zmianie tła), która jest w pracy wykorzystywana do wyznaczania gęstości liczbowej odpowiadającej intensywności produkcji cząstek.

Rozdział trzeci jest zdecydowanie najdłuższym rozdziałem pracy (prawie 50 stron). Opisana jest w nim nieperturbacyjna produkcja cząstek w liniowo zmiennym polu tła. Ogólna metoda została zaprezentowana za pomocą modelu z zespolonym polem skalarnym oddziałującym z dodatkowym rzeczywistym polem skalarnym. Uwzględniony został wpływ produkcji cząstek na pole tła. Następnie zaprezentowany jest opis produkcji fermionów Weyla, Diraca i Majorany. W podrozdziale 3.3 zostają włączone poprawki kwantowe umożliwiające wzięcie pod uwagę oddziaływań w procesie produkcji cząstek. Podstawą rozważań staje się model supersymetryczny z pojedynczym sprzężeniem. Ta część pracy, a konkretnie podrozdziały 3.3 oraz 3.4.2 stanowiły podstawę publikacji [16]¹. Za pomocą opisanej metody wyznaczania gęstości liczbowej poprzez rachunek z wykorzystaniem asymptotycznego przybliżenia funkcji falowej i rozpatrywanie analitycznej kontynuacji z wykorzystaniem zespolonego czasu, zostało pokazane, że stany bezmasowe mogą być produkowane w porównywalnej obfitości do stanów masowych po uwzględnieniu poprawek kwantowych. Formalizm jest jeszcze rozszerzony do supersymetrycznego modelu z dwoma sprzężeniami. Na końcu, w podrozdziale 3.6 zasadnicze kroki rozumowania zostały powtórzone dla przypadku rozszerzającego się wszechświata.

¹W recenzji zachowano numerację odpowiadającą spisowi literatury zamieszczonemu w pracy

W rozdziale czwartym rozpatrywany jest przypadek produkcji cząstek w przybliżeniu adiabatycznym dla masywnego pola tła. Na początku rozdziału znalazł się opis podejść wykorzystujących inflację do opisu historii wszechświata w kontekście produkcji cząstek przy wyhamowywaniu inflacji. Zaprezentowany został model inflacji z powolnym „staczania się” do minimum potencjału (ang. *slow roll*), przewidywane następnie odgrzanie wszechświata (ang. *reheating*) wraz z jego nieadiabatyczną i nieperturbacyjną fazą (ang. *preheating*)². W pozostałej części rozdziału znalazła się wersja rachunków z rozdziału poprzedniego z uwzględnieniem masywności tła.

W rozdziale piątym uwzględniony został kolejny element. Została w nim rozpatrzona teoria oddziałująca (z masywnym polem tła). Główne wyniki tego rozdziału zostały upowszechnione w publikacji [18]. Na końcu rozdziału zamieszczone zostało porównanie wyników uzyskanych w rozdziale trzecim i piątym wskazujące na usunięcie pewnych niedoskonałości przybliżeń stosowanych w pierwszym z opisanych podejść. Obliczenia numeryczne zostały bogato zilustrowane graficznie. Zostało pokazane w szczególności, że nieperturbacyjna produkcja cząstek może zostać stłumiona w przypadku dużej liczby stopni swobody lekkich pól pośrednio sprzężonych z polem tła.

Ostatnim (nie licząc podsumowania) rozdziałem jest rozdział szósty. Wprowadzona w nim została koncepcja ciemnej inflacji, w której napędzające ją pole jest sprzężone z polami Modelu Standardowego tylko grawitacyjnie i przedstawiony został jej wpływ na historię wczesnego wszechświata. Podane zostały wzory na szereg parametrów modeli inflacyjnych takich jak temperatura przy której gęstość energii promieniowania zaczęła dominować (spec. ang. *reheating temperature*), czy intensywność promieniowania grawitacyjnego w porównaniu do wielkości skalarnych zaburzeń (spec. ang. *tensor-to-scalar ratio*). przedstawionych jest szereg wykresów obrazujących dozwolone, z punktu widzenia doświadczenia, zakresy parametrów. Wskazane są również warunki, które umożliwiłyby detekcję fal grawitacyjnych w przygotowywanych eksperymentach. Rozdział ten stanowił podstawę publikacji [19].

Praca kończy obszernym podsumowaniem.

W rozumieniu recenzenta przedstawiona dysertacja w pełni spełnia wymogi stawiane takim pracom. Jest napisana poprawnym i zrozumiałym językiem, choć nie jest pozbawiona nielicznych składniowych niedoskonałości. Pewną wadą jest posługiwanie się specjalistyczną terminologią bez systematycznego jej wprowadzenia. W opinii recenzenta niektóre z terminów i odpowiadających im pojęć, mogłyby zostać przybliżone np. w jeszcze jednym dodatku. Tym bardziej, że przygotowanie takiego materiału pozwala na sprawdzenie, na ile samemu rozumie się pojęcia, których się używa.

²Według recenzenta nie przyjęły się, w kontekście inflacji, żadne polskie określenia rozróżniające angielskie terminy *reheating* oraz *preheating*

Kolejnym drobnym mankamentem jest nieczytelność niektórych rysunków w wersji odcieni szarości

Recenzent chciałby uzyskać wyjaśnienia lub informacje na temat trzech rzeczy.

W podrozdziale 2.3.1 został zamieszczony „bardzo pedagogiczny przykład ilustrujący czysto grawitacyjną produkcję cząstek w kontekście transformacji Bogoliubowa”. W podanych dwóch przypadkach (skokowa zmiana czynnika skali oraz zmiana typu studnia) wyniki nie odpowiadają sobie nawzajem w granicy zerowej różnicy między dnem studni, a wartością końcową ($a_2 = a_3$), a z zamieszczonego podsumowania wynika, że największy efekt, w przypadku progu, występuje gdy progę w ogóle nie ma.

Druga sprawą są dodatkowe informacje o modelu, w którym efektywna liczba produkowanych skalarów N_{eff} mogłoby być dużo niższa od 1, czyli sytuacji, która jest przedstawiona na rysunku 6.6 jako obiecująca, z punktu widzenia detekcji fal grawitacyjnych przez planowane eksperymenty.

Ostatnie pytanie dotyczy wkładu doktorantki w trzy wspomniane w recenzji publikacje [16,18,19].

Fragmety pracy stanowiły podstawę publikacji w recenzowanych czasopismach, sygnowanych przez zespoły złożone z doktorantki jej promotora oraz: Seishi Enomoto w dwóch przypadkach [16,18], Michała Artymowskiego i Marka Lewickiego w trzecim [19]. Porównanie tekstu dysertacji z tekstami tych publikacji pozwoliło recenzentowi na uznanie, że wkładu doktorantki w te publikacje był znaczący. Tym samym istotna część dysertacji została poddana wymogom uzyskania pozytywnych recenzji i temu sprostała.

Podsumowując, w opinii recenzenta, należy uznać przedstawioną rozprawę doktorską za w pełni spełniającą kryteria stawiane takim pracom.

Wnioskuje o dopuszczenie mgr Olgi Czerwińskiej do publicznej obrony doktoratu.



Piotr Zalewski