

Warszawa, 14 stycznia 2019

DZIEKANAT WYDZIAŁU FIZYKI
WPŁYNĘŁO
2019 -02- 05 MBW

Recenzja rozprawy doktorskiej mgr Olgi Czerwińskiej
„Cosmological particle production in time-dependent backgrounds”

Przedstawiona do recenzji rozprawa, napisana pod kierunkiem prof. dr. hab. Zygmunta Lalaka, oparta jest na badaniach opublikowanych w trzech artykułach naukowych których mgr Czerwińska jest współautorem, opublikowanych w wiodących czasopismach w dziedzinie fizyki cząstek elementarnych i kosmologii (JCAP, JHEP i Physical Review D).

Tematyka rozprawy

Badania przedstawione w rozprawie dotyczą jednego z kluczowych zagadnień kosmologicznych, jakim jest produkcja cząstek w niestatycznych geometriach czasoprzestrzeni i ich termalizacja na wczesnych etapach ewolucji wszechświata, a konkretnie, po etapie inflacji kosmologicznej poprzedzającej ewolucję opisywaną w ramach tradycyjnego modelu Wielkiego Wybuchu. Wyjaśnienie mechanizmów produkcji cząstek i zrozumienie proporcji występowania ich rodzajów to jedno z podstawowych pytań na które odpowiedź dać powinna kosmologia w połączeniu z teorią cząstek elementarnych. Istnieje wiele powodów by wierzyć, że wszechświat ma za sobą etap inflacji. Modele inflacyjne same w sobie nie wyjaśniają jednak tego, jak przebiega produkcja materii po ustaniu quasi-eksponencjalnej ekspansji, w związku z czym zagadnienie to jest przedmiotem intensywnych badań. Autorka przedstawia szereg wyników dotyczących tej problematyki, wykazując się przy tym bardzo dobrą orientacją w literaturze naukowej i aktualnie rozwijanych podejściach do omawianych zagadnień. Ważnymi elementami omawianej dysertacji jest podejście do tego problemu inspirowane znaną pracą Kofmana et al. (pozycja [25] w bibliografii) dotyczącą kosmologicznej interpretacji dynamiki D-bran w teorii strun, a także badania nad scenariuszami, gdzie inflaton poziomie klasycznym sprzęga się wyłącznie do metryki czasoprzestrzeni.

Konstrukcja i główne wyniki rozprawy

Praca napisana jest w sposób bardzo przystępny. Zawiera też sporo elementów o charakterze pedagogicznym i wiele szczegółów technicznych - dotyczy to zarówno oryginalnych wyników, jak i szeregu przytaczanych rezultatów, z których Autorka korzystała. Rozprawa napisana jest w języku angielskim w sposób czytelny. Używa poprawnego słownictwa i poza sporadycznymi trywialnymi usterkami robi bardzo dobre wrażenie. Składa się siedmiu rozdziałów, pięciu dodatków i spisu bibliografii, która zawiera 94 pozycje.

Pierwsze dwa rozdziały to krótki wstęp i obszerne, szczegółowe wprowadzenie pojęć i technik wykorzystywanych w przedstawianej dalej analizie. Rozdział drugi zawiera w szczególności przegląd kwantyzacji pól skalarnych w geometriach Friedmana-Robertsona-Walkera i omówienie tych geometrii, a także aktualny stan wiedzy na temat termicznej historii wszechświata. Omawia także ogólne techniki stosowane do opisu produkcji cząstek w przypadku pola skalarnego z masą zależną od czasu.

Rozdział trzeci bada nieperturbacyjną produkcję cząstek w konsekwencji liniowo zależnej od czasu wartości oczekiwanej pól skalarnych. Autorka stosuje tu przedłużenie analityczne zmiennej czasowej i asymptotyczne przybliżenie funkcji falowej. Głównym wynikiem tej części jest pokazanie, że poprawki kwantowe prowadzą do znacznej produkcji cząstek nawet jeśli nie sprzęgają się one bezpośrednio do inflatonu, także w przypadku bezmasowym. Autorka nie ogranicza się tu do przypadku cząstek bezspinowych, omawiając także produkcję fermionów. Rozważane są tu także modele supersymetryczne.

Rozdział czwarty ma głównie charakter przeglądowy: omawia ideę inflacji i szereg modeli inflacyjnych. Autorka przedstawia tu także rozważane dalej mechanizmy „reheating” i „preheating”, a w szczególności proste modele produkcji cząstek sprzężonych bezpośrednio do pola inflatonu.

Rozdział piąty jest kontynuacją rozważań zawartych w rozdziale trzecim. W szczególności rozważane są tu układy wielu pól skalarnych i występowanie efektu tłumienia produkcji cząstek.

Rozdział szósty poświęcony jest produkcji cząstek wyłącznie w konsekwencji dynamiki metryki. W takich modelach pole inflatonu nie sprzęga się bezpośrednio do pól Modelu Standardowego, a między epoką inflacji i epoką zdominowaną promieniowaniem występuje etap gdy inflaton nadal dominuje gęstość energii. Autorka omawia produkcję cząstek w takim scenariuszu i wyprowadza ograniczenia na jego parametry wynikające z danych obserwacyjnych.

Rozdział siódmy zawiera podsumowanie rozprawy.

Pracę uzupełnia pięć dodatków zawierających szereg szczegółów technicznych.

Uwagi krytyczne

Po pierwsze, moim zdaniem mogłoby być zrzęczniejsz, gdyby cały materiał o charakterze wprowadzającym skupić w początkowej części rozprawy (tzn. w rozdziale 2). W szczególności, omawianie podstaw inflacji w rozdziale 4 wydaje mi się nie sprzyjać spójności tekstu, jako że rozdziały 3 i 5 (zawierające nowe wyniki Autorki) są tematycznie dość bliskie sobie, a obecnie są rozdzielone rozdziałem w dużej mierze przeglądowym.

Po drugie, rozprawa chwilami operuje skrótami myślowymi, które może warto było wyjaśnić lub zastąpić bardziej jednoznacznymi sformułowaniami. Jeden taki przykład to używanie terminu „przybliżenie adiabatyczne”. Określenie to pojawia się zarówno w tekście jak i w tytule rozdziału 4. Ponieważ produkcja cząstek wymaga złamania warunku adiabatyczności (co autorka wyjaśnia w rozdziale 2, w sekcji 2.2.1), to dosłowne odczytanie określenia „przybliżenie adiabatyczne” jest nieco mylące, bo sugeruje faktycznie brak produkcji cząstek. Ponadto, rozdział 3 jest we wstępie przedstawiony jako rozdział analizujący produkcję cząstek w przybliżeniu adiabatycznym, co poza okolicznościami wspomnianymi powyżej nie bardzo też pasuje do tytułu tego rozdziału, który brzmi „Non-adiabatic particle production for massless background field”. Spodziewam się, że we wstępie mamy do czynienia z nieumyślnym pominięciem przedrostka „non”, a geneza terminu „adiabatic approximation” wiąże się z samym faktem wykorzystania próżni adiabatycznej, a nie z zachowaniem warunku adiabatyczności. Niemniej, pozostaje wrażenie, że to określenie jest używane w znaczeniu, które zależy od kontekstu trochę bardziej, niż by się chciało.

Inny przykład, o nieco odmiennym charakterze, to stwierdzenie, że „temperatura istotnie maleje podczas inflacji” (rozdział 4.1.3). Jasne jest, co Autorka miała tu na myśli, lecz temperatura jest pojęciem równowagowym, a trudno się spodziewać nawet przybliżonej równowagi podczas inflacji. Poza tym nie jest jasne, czy nawet stan poprzedzający inflację można określić jako termalny – np. w scenariuszach „inflacji chaotycznej” Lindego nie wydaje się to mieć racji bytu. Oczywiście można rozważać wiele różnych scenariuszy pre-inflacyjnych, ale z punktu widzenia recenzowanej rozprawy chyba jedyne co istotne to stwierdzenie, że inflacja sama w sobie nie generuje stanu o temperaturze zgodnej z wiarygodnymi scenariuszami dalszej ewolucji.

Powyższe uwagi nie mają oczywiście charakteru poważnej krytyki i dotyczą wyłącznie prezentacji, nie sugerując istotnych mankamentów rozprawy, którą uważam za zdecydowanie ciekawą i wartościową.

Podsumowanie

Po zapoznaniu się z przedstawioną pracą doktorską mgr Olgi Czerwińskiej stwierdzam, że spełnia ona ustawowe i zwyczajowe wymogi stawiane pracom doktorskim i wnoszę o dopuszczenie mgr Czerwińskiej do dalszych etapów przewodu doktorskiego.


Prof. dr. hab. Michał Spaliński