

Kosmologiczna produkcja cząstek w tłach zależnych od czasu

Streszczenie pracy doktorskiej

Jednym z najciekawszych i jednocześnie najbardziej złożonych problemów współczesnej fizyki jest ustalenie, jak wygląda przeszłość i przyszłość Wszechświata. Szczególnie interesuje nas jego wczesna ewolucja, ponieważ znajduje się ona obecnie poza naszym zasięgiem eksperymentalnym, ale wpływa na późniejszą historię Wszechświata, którą już możemy obserwować. Ogólnie przyjęty model kosmologiczny zaczyna się od Wielkiego Wybuchu i zakłada, że Wszechświat na początku był jednorodny i izotropowy z bardzo wysoką temperaturą i ciśnieniem, po czym zaczął stopniowo się ochładzać i rozszerzać, kończąc jako Wszechświat, w którym żyjemy. Poza tym zakłada się, że bardzo wcześnie w ewolucji Wszechświata nastąpił proces eksponencjalnego rozszerzania się, który nazywamy inflacją i w którym fluktuacje gęstości zostały wzmocnione, dając początek wszystkim strukturom wielkoskalowym - gwiazdom, galaktykom itp. Po zakończeniu inflacji miały miejsce dwa procesy bardzo istotne dla przedstawionych badań - reheating i preheating, podczas których z inflatonu, czyli pola napędzającego inflację, powstały cząstki elementarne obecnie wypełniające Wszechświat.

Rozprawa opisuje procesy kosmologicznej produkcji cząstek w teoriach zależnych od czasu i skupia się na trzech głównych tematach: grawitacyjny reheating z błyskawicznym procesem tworzenia cząstek oraz wieloetapowa i nieperturbacyjna produkcja zarówno w przybliżeniu adiabatycznym, jak i w teorii oddziałującej. Wszystkie opierają się na fakcie, że stan próżni zmienia się w czasie i że w przestrzeni parametrów istnieje obszar, w którym wytwarzanie cząstek jest energetycznie korzystne i wystarczająco wydajne, aby mogło nastąpić.

W rozdziale dotyczącym reheatingu grawitacyjnego cząstki są wytwarzane wyłącznie ze względu na zmianę ewolucji obserwowanego Wszechświata w czasie opisywaną przez zależący od czasu czynnik skali. W naszych badaniach rozważamy w bardzo ogólny sposób tego rodzaju produkcję cząstek tuż po zakończeniu inflacji, co pozwala wyciągnąć ogólne wnioski na temat dostępnych obserwacji dotyczących inflacji, obserwowanego spektrum fal grawitacyjnych, a nawet własności ciemnej materii lub ciemnej energii.

Główna część pracy koncentruje się na ogólnym opisie wielofazowej nieperturbacyjnej produkcji cząstek, w szczególności w przypadku inflacji. Istota tych badań polega na tym, że produkcja cząstek może się powtarzać dopóki jest dozwolona energetycznie, a poprzedni jej etap może wpłynąć na następny. Badamy rolę mas cząstek i wartości sprzężeń w różnych scenariuszach motywowanych standardowymi rozważaniami kosmologicznymi z uwzględnieniem i bez supersymetrii. Ponadto koncentrujemy się na roli stanów bezmasowych w teorii, dowodząc, że nawet bezmasowe stany niesprężone bezpośrednio z inflatonem mogą być produkowane ze względu na poprawki kwantowe, a także, że dodatkowy bezmasowy sektor może zatrzymać całkowicie produkcję po inflacji.

Cosmological particle production in time-dependent backgrounds

Abstract

One of the most interesting and at the same time complex problems of modern physics is to determine how does the past and the future of our Universe look like. Especially, we are interested in the first moments of its history as they are beyond our experimental reach at present but they influence later stages of the evolution of the Universe we are able to observe. Generally accepted cosmological scenario starts with the Big Bang, we speculate that the Universe was homogeneous and isotropic with very high temperature and pressure at the beginning, after which our Universe starts to gradually cool down and expand ending up as the Universe we live in. We assume that very early in the evolution of the Universe the process of exponential expansion occurred which we call inflation. During this period density fluctuations were amplified giving the origin to the seeds that would form all the large scale structure in the Universe – stars, galaxies etc. After inflation we distinguish two periods important for the presented research – preheating and reheating, during which out of the inflaton – the field that drives inflation, elementary particles that fill the Universe now were produced.

The thesis describes the processes of cosmological particle production in the time-dependent theories and it focuses on three main subjects: gravitational reheating with an instant period of particle creation, multi-stages non-perturbative production in both adiabatic approximation and interacting theory. All of them are based on the fact that the vacuum state changes in time and that in the parameter space there exist a region where particle production is energetically favourable and efficient enough to be observed.

In the chapter concerning gravitational reheating particles are produced solely due to the change in the evolution of the observed Universe in time, which is described by the scale factor that depends on time. In our research we assume this kind of particle production right after the end of inflation in a very general way. From our analysis we can draw generic conclusions about available observables involving the features of inflation, observed spectrum of gravitational waves and even characteristics of dark matter or dark energy.

The main part of the thesis concentrates on the general description of the multiphase non-perturbative production of particles, especially in case of inflation. The essence of my research in this matter lies in the fact that production of particles can repeat itself until it is energetically possible and the previous stage can affect the next one. We investigate the role of the masses of particles and values of couplings in various scenarios motivated by the usual cosmological considerations with and without supersymmetry. In addition, we focus on the role of light states in the theory proving that in general even massless states not coupled to inflaton can be efficiently produced due to effects of quantum physics and also that additional light sector present in the theory can quench the production after inflation completely due to backreaction.