

氏 名	実藤 俊史
博士の専攻分野の名称	博士 (理学)
学位記号番号	博理工甲第 724 号
学位授与年月日	平成 21 年 3 月 24 日
学位授与の条件	学位規則第 4 条第 1 項該当
学位論文題目	Big-bang nucleosynthesis and properties of stau (ビッグバン元素合成とスタウの性質)
論文審査委員	委員長 准教授 佐藤 丈 委員 教授 鈴木 健 委員 教授 谷井 義彰 委員 教授 吉永 尚孝

論文の内容の要旨

In this thesis we investigate a problem of the big-bang nucleosynthesis in the minimal supersymmetric standard model. We find a solution to the problem and favored parameters of the supersymmetry.

Firstly we review the standard scenario of the big-bang nucleosynthesis. In the scenario there is a discrepancy of the abundance of ${}^7\text{Li}$ between the observation and the prediction of the big-bang nucleosynthesis. The discrepancy is called the lithium 7 problem. We find that a solution to the ${}^7\text{Li}$ problem can be given by a supersymmetric particle, stau.

Secondly we study the nature of the stau in a scenario in the minimal supersymmetric standard model. In our work the lightest supersymmetric particle (LSP) is a neutralino and the next lightest supersymmetric particle (NLSP) is a stau. The mass difference between the LSP and NLSP is expected as less than 1 % of neutralino mass since the abundance of dark matter is explained by this small mass difference. We evaluate the stau lifetime by calculating three decay modes; (1) the stau decay into the neutralino and tau, (2) the stau decay into the neutralino, tau-neutrino and pion, (3) the stau decay into the neutralino, tau-neutrino, electron(muon) and electron(muon)-neutrino, and discuss various parameters dependence of the stau lifetime. We find that the stau can survive until the big-bang nucleosynthesis era if the mass difference is less than 100 MeV.

At last we study a modification of the standard big-bang nucleosynthesis in this model to resolve the excessive theoretical prediction of the abundance of the primordial lithium 7 and beryllium 7. The stau provides a number of additional decay processes of lithium 7 and beryllium 7. A particularly important process is the internal conversion in the stau-nucleus bound state, which destroy the lithium 7 and beryllium 7 effectively. We calculate the internal conversion process with knowledge of nuclear physics. We show that the modification can lead to a prediction consistent with the observed abundance of lithium 7. Furthermore the solution to the lithium 7 problem gives favored properties of stau; the mass difference is (100 – 120) MeV and the yield value of stau is $(7 - 10) \times 10^{-10}$ by taking the mass of the neutralino as 300 GeV.

論文の審査結果の要旨

本学位論文審査委員会は当該論文の発表会を平成21年2月4日に公開で開催し、詳細な質疑により論文の審査を行った。以下に、学位論文の審査結果を要約する。

本論文では、現在宇宙に存在する元素の量をほぼ説明するビッグバン元素合成の理論において、スタウといわれる長寿命の粒子が与える影響について考察している。

ビッグバン元素合成の理論は非常に良い精度で、現在観測されている元素の量を説明する。この計算での仮定は、宇宙がビッグバンから始まったことと、素粒子の現在の標準模型が厳密に正しいということである。実際素粒子の標準模型は今のところ実験的なほころびが見つかっていない。

しかし、観測が精緻になるにつれてリチウムの観測量については従来の元素合成の理論ではどうやっても説明しきれないずれが見つかった。このずれが何に由来するのかいろいろな考え方があるが、この論文では、その中の一つの処方を与えている。

一方、素粒子の標準模型は非常によくできた模型で、今のところほころびはみられていないが、研究者はこれが究極の理論だとは考えておらず、さらに統一的な模型があると考えて日々研究を重ねている。そのような模型の候補として最も有力だと思われるのが、標準理論に超対称性を導入した超対称標準模型といわれる理論である。この理論のあるパラメタ領域では、この理論で新たに導入されるスタウといわれる粒子が長寿命化するため、元素合成に影響を与え可能性がある。本論文ではこのことに注目して、リチウム問題が確かに解決しうる有力な処方であることを示し、そのことが逆に、現在のところは観測されていない未知の粒子であるスタウの性質を予言することを確かめた。

リチウム問題とは、従来の元素合成の理論の予言値に対して、現在のリチウムの残存量が3分の1しかないというものである。したがって、宇宙の初期において、作られすぎているリチウム（厳密にはリチウム+ベリリウム）を壊す機構があったと考えるのが最も自然である。スタウというのは電荷をもっているため、もし長寿命であれば、これらの原子核と宇宙の初期において束縛状態をもつ。裸のスタウは長寿命だが、いったん束縛状態を組むと、この束縛状態の量子状態に固有な性質によって、非常に短時間のうちに相方の原子核を壊しつつ自らも崩壊するという現象が起きる。しかも束縛状態を組む確率は原子核の電荷のおおよそ3.5乗で大きくなるため、ベリリウムやリチウムのような原子核を効率よく壊すことができる。

逆に、程よく壊せという要請から、スタウの性質について一定の制限がつく。この性質は従来考えられているスタウの性質とはかけ離れているため、今年欧州で開始されるLHC実験にて標準理論を超える素粒子の模型を探る上で非常に重要な帰結をもたらす。つまり非常に時機を得たものとなっている。

内容的にも、素粒子の枠内にとどまる話ではなく、宇宙論との学際的な研究となっていて、この研究の成果は広く参照されている。

さらに、完全には安定でない粒子がビッグバン元素の時期にどれだけ残っているかの評価も行っている。これは、非平衡系の物理現象を扱ったもので、素粒子論の枠組みにとどまらず、広い枠組みでの物理を扱っていて、その意味でも重要なものとなっている。

このように、緻密な理論の考察と、そこから非常に重要な結果を得ている。また、本論文の内容は、査読制度のある国際的学術誌に4編にわたり掲載されている。このほかに、本論文提出者は本論文の内容以外の研究もしており、査読制度のある国際的学術誌に1編が掲載、1編が投稿済み審査中である。また、国際会議における口頭発表は5回以上、国内会議の口頭発表は10回以上行っている。以上のように、本論文は十分学位論文に値すると認め、合格と判定した。