

論文審査の結果の要旨

氏名 北原鉄平

本論文は6章からなり第4章および第5章が主題である。第1章はイントロダクションであり、博士論文の背景となる超対称性標準模型についての動機、および論文の構成についての説明を行っている。第2章では超対称標準模型の構成および現在までに分かっている実験からの制限等についてのレビューを行っている。第3章では本論文で議論するゲージ重項超対称場を導入することで拡張した超対称標準模型についてのレビューを行っている。ゲージ重項超対称場によって拡張されたモデルには様々なバリエーションがあるが、本論文では特に Panagiotakopoulos & Pilaftsis (2001)によって提案された nearly minimal supersymmetric Standard Model (nMSSM 模型)を考察している。

以上のレビューの元に第4章では主題の一つである nMSSM 模型における Singlino (ゲージ重項超場のフェルミオン成分) が暗黒物質になる可能性について議論されている。nMSSM 模型において Singlino は Higgsino や Gaugino といった Higgs boson や Gauge boson の超対称パートナーと比べ軽く暗黒物質の候補となりうる。しかしながら Singlino は標準模型の粒子とは主に Higgs boson との相互作用を通じて行われるため通常は対消滅断面積が小さい。そのため宇宙における残存量が多くなりすぎ観測された暗黒物質の量を再現できないと考えられてきた。

この論文では超対称の破れのスケールが比較的大きい場合には Singlino の対消滅過程が Higgs の共鳴条件を満たしうることを示し、実際に断面積が増大することで Singlino 残存量が観測と矛盾しないパラメータ領域が存在することを示した。この際に注意すべきなのは Singlino の対消滅過程が Higgs の共鳴条件を満たすためには Singlino の質量が Higgs の質量の約半分である必要があるという点である。この要請は通常摂動の第0近似で予言される Singlino の質量は非常に軽いため一般に困難であると考えられてきた。しかしながら本論文では超対称の破れのスケールが大きい場合には Singlino の質量が高次の摂動である輻射補正からくる質量のほうが支配的になることを示し、共鳴条件を満たす質量が実現可能であることを示した。

さらに本論文では Singlino の対消滅をもたらす Higgs boson との相互作用を通じた暗黒物質の直接検出実験での信号強度を予言することで Singlino 暗黒物質となる nMSSM 模型が XENON1T といった現在計画されている実験を通してほぼ全域探索可能であることを示した。また当該の相互作用を通じた Higgs boson の Singlino 対への崩壊率を調べ、将来 ILC 実験によって広いパラメータ領域が探索可能であることを示した。

第5章では nMSSM 模型における新たな宇宙の物質反物質非対称性生成機構について議

論されている。標準模型における宇宙の物質反物質非対称性生成機構の可能性の一つに電弱対称性の一次相転移の際に生じるバブルとバリオン対称性の量子的破れを用いたいわゆる Electroweak Baryogenesis が長い間知られてきた。しかしながら一次相転移は LHC で発見された Higgs 粒子の質量では起きないことがわかっている。そのため Electroweak Baryogenesis を実現するには模型の拡張が必要となる。本章ではその困難を踏まえ、nMSSM における Electroweak Baryogenesis の可能性、特に 1 次相転移の有無について議論されている。その結果 nMSSM にさらにゲージ重項超場と相互作用する新たなゲージ相互作用をもつ超対称粒子を導入することで宇宙の熱史における電弱対称性の相転移の様相が標準模型および MSSM の場合とは大きく異なることを示し、一次相転移が可能であることを示した。Electroweak Baryogenesis の実現にはさらに CP 対称性の破れが十分大きい必要がありその点については今後さらなる考察を要するが一次相転移が可能であることを示した点は大きな前進である。

以上のように本論文では nMSSM の Singlino 暗黒物質の新たな可能性を示し、さらに近い将来十分検証可能であることを示しており十分な学術的価値を有している。また nMSSM における Electroweak Baryogenesis の試みも独創的であり評価に価する。なお、本論文第 4 章および第 5 章は石川氏・滝本氏(東大)との共同研究に基づいているが、論文提出者が主体となって解析を行ったもので論文提出者の寄与が十分であると判断する。

従って、博士(理学)の学位を授与できると認める。