

博士論文の要旨及び審査結果の要旨

氏名 武田 一浩
学位 博士 (理学)
学位記番号 新大院博 (理) 第 406 号
学位授与の日付 平成 28 年 3 月 23 日
学位授与の要件 学位規則第 4 条第 1 項該当
博士論文名 Violation of Lepton Universality by Heavy Neutral Leptons
(重い中性レプトンによるレプトン普遍性の破れ)

論文審査委員 主査 准教授・浅賀 岳彦
副査 教授・大原 謙一
副査 教授・小池 裕司
副査 准教授・中野 博章
副査 准教授・江尻 信司

博士論文の要旨

現在素粒子の基礎となる理論は、ゲージ対称性に基づく場の量子論として定式化されている標準模型である。この模型の様々な理論的予言は加速器実験での精密測定と一致しており、エネルギーが約 100 GeV までの素粒子現象を説明する成功した模型として広く知られている。特に、2012 年の Higgs 粒子の発見により、標準模型の予言する素粒子はすべて実験的に確認された。

しかし一方で、標準模型では説明できない観測結果が報告されている。その一つが、1998 年に発見されたニュートリノ振動現象である。この現象は、ニュートリノが質量を持つことが必要であり、標準模型が予言するゼロ質量ニュートリノとは矛盾する。よって、ニュートリノ質量獲得機構の解明は、現代物理学における最大の課題の一つである。さらに、宇宙背景放射の精密測定により、標準模型では説明のつかない、宇宙暗黒物質の存在、および宇宙バリオン数非対称性の問題が指摘され、標準模型を超えた新しい素粒子の理論体系があることが判明している。

このような背景のもと、本論文では、標準模型に 3 つに右巻きニュートリノを導入したい模型、The Neutrino Minimal Standard Model (nMSM) に対する研究を行った。この模型では、右巻きニュートリノによるシーソー機構を通じて極微のニュートリノ質量を自然に説明する。さらに、最も軽い右巻きニュートリノが宇宙暗黒物質となり、残り二つの右巻きニュートリノの世代間振動を通じて宇宙バリオン数非対称性が生成される。また、導入する右巻きニュートリノの質量が 100 GeV 以下と軽いために、地上実験による検証が可能となっているため、魅力的な模型として活発に研究が行われている。

本論文では、この模型での宇宙バリオン数非対称性の起源を説明する右巻きニュートリノの実験検証を目指した理論研究を行った。特に、右巻きニュートリノが存在することによって生じるレプトン普遍性の破れに着目し、今後の実験計画での検証可能性を検討した。

本論文では、K 中間子のレプトン対への崩壊の世代間比の普遍性の破れに着目した。解析の結果、普遍性の破れの標準模型の予言からのずれは、 10^{-3} 以上になる可能性が判明した。この大きさは、CERN や J-PARC 実験施設での探索感度内であるため、近い将来に右巻きニュートリノの間接検証が得られる可能性を指摘した。この結果は、実験グループに対して大きなインパクトを与えた。

さらに、本論文では、今後の実験で上記のレプトン普遍性の破れが確認された場合の理論的帰結についても考察している。特に、破れのずれを大きくするためには、レプトンセクターの CP 対称性を破る位相パラメータの許される領域が非常に限定されることが示された。特に、今後のニュートリノ振動実験により、CP 位相パラメータの一つであるディラック位相が測定されると、別種のマヨラナ位相の大きさを特定できることを示した。これまでの研究では、マヨラナ位相を特定することは困難と考えられて来たため、本研究の成果は大変重要である。

審査結果の要旨

本論文では、素粒子標準模型が抱えるニュートリノ質量の問題、宇宙暗黒物質の問題、宇宙バリオン数非対称性の問題を同時に解決する新しい模型、 ν MSM 模型を考え、模型が予言する新しい素粒子右巻きニュートリノの検証について理論研究を行った。

K 中間子のレプトン対への崩壊の世代間比に対する普遍性の破れの大きさが標準模型から有意にずれることを示し、さらに近未来の CERN、J-PARC 実験施設での観測可能性を指摘した点は、当該実験グループへのインパクトも大きく、高く評価される。

さらに、今後レプトン普遍性の破れが確認されたときの理論的帰結を導き出した。つまり、これまで測定が困難と考えられて来たマヨラナ CP 位相の大きさを特定できる事を示した。マヨラナ CP 位相の特定は、レプトンセクターの CP 対称性の破れのパターンを解明するため、さらには、自然界におけるレプトン数保存則の運命を決定づける為にも重要な知見となる。

よって、本論文で導き出された結論は、ニュートリノ分野にとどまらず、幅広い物理分野への影響を与える結論と判断される。また、本論文は理論物理だけでなく、実験・観測物理にも影響を与えた点も高く評価される。なお、本研究の成果は、査読付き論文である *Physics Letters B* にすでに発表されている。

よって、本論文は博士（理学）の博士論文として十分であると認定した。