

博士論文の要旨及び審査結果の要旨

氏名 吉田 貴裕
学位 博士 (理学)
学位記番号 新大院博 (理) 第 461 号
学位授与の日付 令和3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 地上ニュートリノ実験で探る右巻きニュートリノによる宇宙バリオン数生成

論文審査委員 主査 教授・浅賀 岳彦
副査 教授・宮田 等
副査 教授・松尾 正之
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

本博士論文では、現代物理学における重要な課題である、ニュートリノ質量の起源および宇宙物質反物質非対称性の起源の解明に向けた研究を行った。

素粒子物理の基礎理論である標準模型では、ニュートリノは質量を持たないことが予言される。しかし、スーパー神岡実験での発見に始まり様々な実験で、ニュートリノ振動現象が観測され、ニュートリノが極微の質量を持つことが判明した。さらに、我々の宇宙では、物質 (バリオン) と反物質 (反バリオン) の数に違いがあり、宇宙発展の中で、物質がより多く生成されなければならないことが知られている。この機構はバリオン数生成と呼ばれるが、標準模型ではバリオン数生成が実現できないことも判明した。

これらの問題を同時に解決する方法が、標準模型に右巻きニュートリノと呼ばれる新粒子を導入したシーソー機構である。右巻きニュートリノが重いマヨラナ型質量を持つことにより、ニュートリノは質量を獲得し、さらにクォークや荷電レプトンと比較して極微のニュートリノ質量が自然に説明される。一方、右巻きニュートリノの初期宇宙の反応によりレプトン数を生成し、標準模型におけるスファレロン過程を通じてバリオン数に転換することにより、宇宙物質反物質非対称性の起源も同時に説明することができる。このように右巻きニュートリノによる理論拡張は大変魅力的であるが、許される質量領域が 100MeV 程度から 10^{15}GeV と非常に広範囲であり、バリオン数の生成機構も質量領域によって異なる。よって、ニュートリノ質量領域、およびバリオン数の生成機構を特定することが、現在の重要な課題となっている。

このような背景のもと、本論文では、地上ニュートリノ実験によって、右巻きニュートリノによるバリオン数生成機構をどのように判別するかについて探究した。特に、実験で観測可能なニュートリノの CP 対称性の破れの効果が宇宙物質生成量とどのような相関を持つかを解析し、物質が反物質にくらべ優勢となるニュートリノの特性を見出した。

本研究では、最初に将来加速器実験で探索可能な TeV スケールの質量領域に着目した。この領域では、共鳴レプトン数生成機構により宇宙バリオン数が生成される。吉田氏は、世界で初めて、観測可能なニュートリノの CP 対称性の破れと宇宙バリオン数の相関を提示し、現在の観測値を説明できる理論のパラメータ空間を示した。

次に本研究では、フェルミオンの質量階層性、混合パターン、CP 対称性の破れを支配できるフレーバー対称性に着目し、右巻きニュートリノによる宇宙バリオン数生成に対する帰結を探究した。特に、近年余剰次元のトーラスコンパクト化に伴うモジュラー対称性がフレーバー対称性の起源となることが示され、活発に研究が行われている。そこで、モジュラー対称性を課したシーソー機構における宇宙バリオン数生成を世界に先駆けて検討した。その結果、観測された宇宙バリオン数生成量を説明するためには、右巻きニュートリノの質量領域が特定され、振動実験で観測可能なニュートリノ混合角、および CP 対称性が厳しく制限されることが判明した。よって、今後のより精密な振動実験により、モジュラー対称性を課したシーソー機構における宇宙バリオン数生成機構が検定できることを示した。

審査結果の要旨

本博士論文では、素粒子物理学のニュートリノ質量の起源、および宇宙物理学の物質反物質非対称性の起源を同時に説明する、右巻きニュートリノによるシーソー機構について研究を行った。想定されている右巻きニュートリノの質量領域は幅広く、各質量領域において物質反物質非対称性を説明する機構、つまりバリオン数を生成する機構は異なるため、地上のニュートリノ実験でこれらをどのように判別するか検討した。特に、バリオン数の生成量とニュートリノに関する観測量との相関を示し、今後の実験での判別可能性を具体的に示した。これらの結果は、今後のニュートリノ実験に対して貴重な提言となっており、素粒子ニュートリノや宇宙物質に関する未解決問題に対して重要なインパクトを与えた。

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。