

論文審査の結果の要旨

氏名 浅井 健人

本論文は8章からなり第5、6、7章が主題である。第1章はイントロダクションであり、本博士論文の研究対象である $U(1)_{L_{\mu-L_{\tau}}}$ ゲージ対称性を含む新物理模型の背景について述べられている。第2章では $U(1)_{L_{\mu-L_{\tau}}}$ 模型を議論するのに必要な基礎的事項、および標準宇宙論のレビューが与えられている。第3章では第7章で重要となる WIMP 暗黒物質のレビューが与えられている。第4章では第6章で重要となる宇宙の物質反物質非対称性の起源、特に右巻きニュートリノの崩壊による物質反物質非対称性生成機構であるレプトジェネシスについてのレビューが与えられている。第8章では全体のまとめがなされている。

主題の一つである第5章では $U(1)_{L_{\mu-L_{\tau}}}$ 模型におけるニュートリノ質量のフレーバー構造およびニュートリノ振動パラメータへの予言についての議論がなされている。 $U(1)_{L_{\mu-L_{\tau}}}$ 模型では $U(1)_{L_{\mu-L_{\tau}}}$ ゲージ対称性によりレプトンの湯川相互作用および右巻きニュートリノ質量行列が非常に制限されている。この章の議論によって $U(1)_{L_{\mu-L_{\tau}}}$ ゲージ対称性を自発的に破るヒッグス場が一つしか存在しない最小模型においてはニュートリノ混合角と Dirac CP 位相およびニュートリノ質量和の間に強い相関があることが示された。その結果、将来の質量和の観測、ニュートリノを伴わない二重ベータ崩壊、ニュートリノ振動パラメータの精密測定によって最小 $U(1)_{L_{\mu-L_{\tau}}}$ 模型が検証可能であることを示した。なお本章の結果は $U(1)_{L_{\mu-L_{\tau}}}$ ゲージ対称性の破れのスケールには依存しない普遍性のある結果であり、最小 $U(1)_{L_{\mu-L_{\tau}}}$ 模型の検証において重要な結果である。

第6章では最小 $U(1)_{L_{\mu-L_{\tau}}}$ 模型におけるいわゆる比熱的レプトジェネシス機構による宇宙の物質反物質非対称性の生成についての議論がなされている。比熱的レプトジェネシス機構では右巻きニュートリノがインフレーションを引き起こすインフラトン場の崩壊によって生成されるシナリオになっている機構で、本章では比熱的レプトジェネシス機構と矛盾しないインフレーション模型の具体的な提案もなされている。上述のように最小 $U(1)_{L_{\mu-L_{\tau}}}$ 模型ではレプトンの湯川相互作用や右巻きニュートリノ質量行列が非常に制限されており、CP の破れのパラメータ間に強い相関がある。その結果本章の議論から現在 T2K 実験で示唆されている Dirac CP 位相と最小 $U(1)_{L_{\mu-L_{\tau}}}$ 模型における比熱的レプトジェネシス機構で生成される物質反物質非対称性の符号が整合していることを示した。Dirac CP 位相の測定は今後のニュートリノ実験の大きな目標の一つであり、その測定によって最小 $U(1)_{L_{\mu-L_{\tau}}}$ 模型におけるレプトジェネシスが部分的にはあるが検証可能であるということを示したことは重要である。

第7章は $U(1)_{L_{\mu-L_{\tau}}}$ 模型を用いた軽い暗黒物質模型の提案となっている。現在宇宙の小規模構造の観測の進展などから GeV 程度以下の質量を持つ暗黒物質の可能性に興味を持た

れている。しかしながらそのような軽い暗黒物質の場合、現在観測されている暗黒物質質量密度を自然に説明することは一般に難しい。特に WIMP 暗黒物質のように熱的に生成されて対消滅した後の残存量で質量密度を説明する機構は宇宙背景放射の観測からの厳しい制限によって GeV 程度以下の暗黒物質に適応することが難しい。しかし本章の議論によって GeV 程度以下の暗黒物質の対消滅先が $U(1)_{L_{\mu}-L_{\tau}}$ ゲージ粒子であれば最終的に暗黒物質のエネルギー密度の殆どがニュートリノに持ち去られるため、WIMP に対する宇宙背景放射からの制限を逃れられることを示した。さらに暗黒物質が持つ $U(1)_{L_{\mu}-L_{\tau}}$ 電荷がレプトンの電荷の大きさよりも大きい場合暗黒物質の残存量と μ 中間子の異常磁気能率の実験と標準模型の乖離の問題を同時に解決可能であることを示した。さらに本章では、この暗黒物質模型の Super-Kamiokande や Hyper-K 実験による検証可能性も議論されている。本章の結果は $U(1)_{L_{\mu}-L_{\tau}}$ 模型に対する新たな動機付けを与えるものであり今後の発展につながると期待される。

なお、本論文第 5 章は津村氏(九州大)・永田氏(東京大)・濱口氏(東京大)・Tseng 氏(東京大)との共同研究、第 6 章は永田氏(東京大)・濱口氏(東京大)・Tseng 氏(東京大)との共同研究、第 7 章津村氏(九州大)・大川氏(Victoria 大学との共同研究をもとにしている。これらの共同研究は、論文提出者が主体となって進めた研究であり、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。