

論文審査の結果の要旨

氏名 鈴木 資生

本論文は7つの章及び8つのAppendixからなる。まず第1章では、本学位論文の研究に至る背景、すなわちStrong CPの問題とその標準的な解決法としてのPeccei-Quinn (PQ) 機構、そして量子重力の効果による同機構の破綻が述べられる。これに対する対応策として、Kim-Shifman-Vainstein-Zakharov (KSVZ) による不可視axionモデルにおけるゲージ対称性の導入が紹介され、研究の目的が、この構想に基づいてさらにゲージ対称性の維持(量子異常の相殺)やdark radiationによる多種のニュートリノ生成の可能性等、素粒子論の理論的整合性や宇宙論的な制限を考慮した解決策を探るものであることが述べられる。本論文では、これらを満たす解としてB-L対称性をゲージ化するモデルが提案されるが、それが素粒子の大統一理論(GUT)に埋め込まれた場合に、実際に現時点での観測事実とも齟齬の無い、現実的な素粒子相互作用のモデルとなることが言明されている。

続く第2章ではStrong CPの問題について簡潔な説明が与えられ、さらに第3章ではその解決法としてのPQ機構、すなわちU(1)PQ対称性の導入とその自発的破れによるaxionの生成のシナリオが説明されている。その上で、生成されたaxionが不可視になるKSVZモデルその他のモデルが紹介され、これらのaxionモデルに課せられた宇宙論的な観測事実の制限が議論されている。これらの結果を受けて、第4章ではinflationの時期とPQ対称性の破れや回復の時期の前後関係によるいくつかのケースが具体的に考察され、これらの場合に応じてどのような条件がaxionモデルに附加されるかの説明が与えられている。一方、第5章では量子重力の影響が議論され、特にwormholeの効果により大域的なU(1)対称性が破れるとするColemanやGiddings-Stromingerらの機構が紹介されている。

第6章は本学位論文の根幹を成す部分である。まず、KSVZモデルで導入する複素スカラー場と2種のスピノル場のセットを2組用意し、それらに内在する2つの大域的なU(1)対称性からゲージ化するU(1)とそうしないU(1)とを構成した場合には、モデルの粒子の埋め込む統一理論のゲージ群における表現を適宜、選択(割り振る荷電の量)することによって、前者のU(1)PQ対称性が量子重力によって生じる対称性の破れの項の大きさを抑制できることを明らかにしている。その上で、ゲージ化したPQ対称性を持つモデルにおける対称性の離散的な破れ方と、宇宙論的な観点から問題となるdomain wallの生成パターンに関

する関係が詳細に考察される。超対称性を組み込んだモデルでは、超対称性の力学的な破れに伴ってPQ対称性を破ることができることが知られている。そこで、これをSU(5)GUTに埋め込んだ場合の理論的な整合性について、これらのモデルで生成される粒子のスペクトルや、ゲージ対称性を破るアノマリーの相殺の問題、任意パラメーターに対する宇宙論的な制限を詳しく検討した結果、これらには問題が生じないが、dark radiationによって過度に多くの種類のニュートリノが生成される問題があることを指摘している。そこで、この問題を避けることのできる単純なモデルとして、最後にゲージ重項のスピノル粒子を持たないような、B-L対称性をゲージ化したPQ対称性と同定するモデルが考察される。このモデルでは、粒子のSU(5)表現や荷電を適宜、調整することによって、先のゲージアノマリーの相殺やdomain wall生成に問題が生じないことや、さらに本来の目的であったStrong CPの破れ (θ パラメーター) の大きさも現在の観測事実と矛盾の無いことを確認している。このモデルは、ニュートリノ質量やバリオン数の生成等においても宇宙論的な整合性があることから、拡張されたGUTモデルの現実的な一例として、今後の素粒子相互作用と宇宙物理学の研究に重要な役割を果たすものと期待できる。

最後の第7章ではこれらの結果がまとめて提示されており、さらに8つのAppendixでは、Strong CP問題の背景を成すインスタントン配位や θ 真空、さらに本文で援用した超対称性モデルの構築技法や対称性の破れに関する技術的な補足が与えられている。

本論文の目的は、上述のように量子重力の影響下でもStrong CPの問題が生じないような素粒子の相互作用理論をPQ対称性をゲージ化することによって構成し、さらに宇宙論的な観測事実とも整合的である現実的なモデルを具体的に提案することであった。この目的は、B-L対称性をゲージ化したPQ対称性と同定するという極めて自然な構想に基づいて、見事に達成されている。また、今後の宇宙物理学と整合性のある素粒子の理論を模索する上で、本論文の研究は十分な貢献を行ったものと評価できる。

なお、本論文の第6章の内容の内容は既に専門誌に発表されたものであり、それらは提出者と伊部昌宏、福田朝、柳田勉の各氏との共同研究の成果であるが、具体的なモデル構築や宇宙論的な整合性の検証など、その根幹部分は論文提出者が主体となって確立したものであることから、全体として論文提出者の寄与が十分であると判断する。

以上の理由により、論文提出者に博士（理学）の学位を授与できるものと認める。