

学位申請論文公開講演会

日時：2025 年 1 月 30 日(木) 13:00~

申請者：神田 行宏 (E 研)

開催場所：物理会議室 (C207)

題目：SU(N)×U(1)ヒッグス模型における宇宙ひもの古典的安定性と標準模型を超える素粒子模型への応用

主論文の要旨

素粒子物理学は、自然界の最小構成要素である素粒子の性質を調べることで、自然界を記述する根源的な理論の解明を目指す学問である。現在までの研究により、数百 GeV 程度のエネルギースケールの現象を記述する素粒子模型として標準模型が知られているが、暗黒物質や物質・反物質非対称性など、標準模型では説明できない事象も確認されている。

これらの標準模型が抱える問題を解決するため、様々な素粒子模型が提案されている。模型の多くは高エネルギースケールでの真空の相転移を予言し、このうち特定の相転移では、宇宙ひもというひも状の物体が形成される。宇宙ひもは重力波観測を通して探索可能であるため、標準模型を超える物理を検証する手段の 1 つとして注目されている。本研究の目的は、宇宙ひもの 1 つである「埋め込みひも」が相転移で形成されるための条件を調べることである。先行研究では、埋め込みひもの形成条件は特定の模型でしか調べられておらず、申請者はより一般的な相転移を仮定して研究を行った。

申請者はまず、電弱相転移における埋め込みひも (Z ひも) を拡張し、SU(N)×U(1)ゲージ対称性が SU(N-1)×U(1)ゲージ対称性に破れる相転移をもつ模型 (SU(N)×U(1)ヒッグス模型) において、埋め込みひも (一般化 Z ひも) が形成される条件を調べた。一般化 Z ひもの形成条件は、それを記述する古典解の古典的安定性を調べることで評価される。申請者は、古典解まわりの摂動を群の表現論の観点から分類することで、一般化 Z ひもの古典的安定性が模型中の粒子の質量比のみを用いて表されることを示した。さらに、古典的に安定になる具体的な条件を数値的に調べ、粒子の質量比を用いて近似的に示した。

次に申請者は、標準模型を超える素粒子模型でよく仮定される状況に対し、一般化 Z ひもの古典的安定性の議論を応用した。まず、SU(N)×U(1)ヒッグス模型が超対称性をもつ場合に議論を拡張し、古典的安定性が同様に粒子の質量比によって評価されることを明らかにした。さらに、SU(N)と U(1)が同一の群に統一されていた場合も考え、統一群での粒子の表現によって古典的安定性が決まることを示した。

また、申請者は一般化 Z ひものトンネル効果による崩壊率を近似的に評価した。崩壊する宇宙ひもは、2023 年に公表されたパルサー・タイミング・アレイ実験の結果を説明するものとして注目されている。申請者は、一般化 Z ひもが古典的に安定である条件下で、同実験から示唆される崩壊率を達成するパラメータ領域があることを示した。

本研究では、先行研究で調べられたよりも一般的な相転移で埋め込みひもの古典的安定性を評価し、標準模型を超える素粒子模型へ応用した。また、埋め込みひもの崩壊率を評価して最新の観測結果と比較し、埋め込みひもが標準模型を超える物理を検証する手段の 1 つとなる可能性を示した。