

これまでの研究成果のまとめ

古典場の理論では、場そのものが空間的に局在化した、ソリトンと呼ばれる解が存在することが知られている。ソリトン解は大きく、「トポロジカルソリトン」と「ノントポロジカルソリトン」と呼ばれる解に分けることが出来る。応募者はゲージ理論の枠組みで自然な理論を考え、このトポロジカルソリトンとノントポロジカルソリトンを構成し、その性質について調べてきた。これまでは特にノントポロジカルソリトンについての研究を行ったが、以下その解の詳細について述べる。

対称性が自発的に破れた U(1)ゲージ理論におけるノントポロジカルソリトン

大域的位相回転 U(1)不変性を持つある種のスカラー場には、ノントポロジカルソリトンと呼ばれる、電荷を有する解が存在することが知られている。特に球対称解は電荷 Q を持つことにちなんで“Q-ボール”と呼ばれ、宇宙に広く存在するダークマターの候補の一つと考えられている。応募者は Friedberg, Lee, and Sirlin のモデルを一般化して、複素スカラー場、複素ヒッグススカラー場、及び U(1)ゲージ場の結合系において Q-ボール解を構成した。このモデルはゲージ理論の枠組みにおいて自然な理論と言える。本研究の理論では対称性の自発的破れに伴い、ゲージ場は質量を得る。その結果、ゲージ場の影響はコンプトン波長程度の長さスケールの範囲に留まる。その結果として Q-ボール内の電荷密度は完全に遮蔽される、という解釈が可能となる。それゆえに本研究で得られた Q-ボールを遠方から観測すると、Q-ボールは電氣的に中性なオブジェクトとして観測されることになる。本研究で新しく得られた Q-ボールの性質は、ダークマターの候補として望ましいものと言える。

対称性が自発的に破れた U(1)ゲージ理論におけるソリトン星

応募者は上記のモデルに加え、重力場を考慮することでソリトン解を構成した。このような、Q-ボールに重力場が結合したような解はソリトン星と呼ばれる。数値計算によって、これまで考えてきた Q-ボールと同様に、ソリトン星内部において電荷の遮蔽が起こっていること、安定なソリトン星に対して上限質量が現れることを明らかにした。また、対称性の破れるエネルギースケールによる、様々な物理量の依存性についても調べた。その結果として、本研究におけるソリトン星は、相対論的効果が十分現れること、宇宙論的スケールの質量を持ち得ることなどが明らかとなった。また同様のモデルで、内部が宇宙定数で満たされ、その結果としてド・ジッター時空とシュワルツシルト時空がつけられているような星、いわゆる“グラバスター”と呼ばれる解をソリトン星として構成することに成功した。