

これまでの研究成果のまとめ

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解が存在することが知られている。特に球対称ノントポロジカルソリトンは電荷 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。 Q -ボール解が存在するためのスカラー場の理論では、これまでポテンシャルとして人為的なものが仮定されてきたが、私は Q -ボールを、より自然な古典場の理論において構成するべく研究を行ってきた[1][2]。私はさらに、上記の理論に重力の影響を考慮することで、ソリトン星と呼ばれる解も構成した。

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

Friedberg, Lee, and Sirlin のノントポロジカルソリトン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[1][2]。このモデルでは2つの複素スカラー場は共に大域的 $U(1)$ ゲージ不変性を持つために、それぞれ独立に保存する電荷を誘起する。こうして誘起される2つの場の電荷密度は、共に $U(1)$ ゲージ場の源となる。このモデルから得られる場の運動方程式に対して無限遠が真空となるべく境界条件を課すと、対称性は自発的に破れ、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。このことを別の視点から捉えると、2つの複素スカラー場がそれぞれ符号が逆の電荷密度を誘起し、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。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、電荷が遮蔽されるという Q -ボールの性質はダークマターとして望ましい。

これまでのゲージ場と結合した Q -ボールでは電荷量が増大するにつれて、クーロン斥力も増していくため、大きな質量の Q -ボールを構成することは困難であった。しかし本研究の Q -ボールは電荷の遮蔽効果のために、巨大な質量を有することが可能である。本研究における巨大質量の Q -ボールは場の配位によって状態方程式の異なる3種類に分類することが出来る。私はダストボール、シェルボール、ポテンシャルボールと名付け、それぞれ異なった性質を有することを示した。

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

私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、ボソン場と重力場の結合系におけるソリトン解はボソン星と呼ばれ、特に Q -ボールに重力場が結合したような解は、ソリトン星とも呼ばれる。

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いつでも起こっていることが確かめられた。また、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。本研究は現在も継続中である。