

論文審査の結果の要旨

氏名 洪 正平

初期宇宙の進化にはさまざまなスカラー場が重要な役割を果たしている。宇宙がなぜ大きく、長命で、豊かな階層構造を持っているか、という基本的な問題に答えるインフレーション宇宙論、そして、人体や天体を構成する元素の起源を与えるメカニズムの一つである、Affleck-Dine baryogenesis、いずれもスカラー場が本質的な役割を果たしている。本学位論文はこうしたスカラー場の凝縮によって生成する可能性のある、トポロジカルな安定性を持たないソリトンに関する複数の研究の成果を纏めたものである。本論文は全10章と付録からなり、各章の構成は以下の通りである。

第1章はイントロダクションであり、上述のような本論文の背景が述べられている。第2章は古典標準宇宙論のレビューである。第3章は古典標準宇宙論の問題点とそれを解決するインフレーション宇宙論の概要を論述している。そして、第4章は超対称性理論における Affleck-Dine 機構によるバリオン非対称生成、第5章はトポロジカルな安定性を持たないソリトンの一種である Q ボールのレビューにあてられている。複素スカラー場のポテンシャルが場の振幅の自乗よりも緩やかな勾配を持つとき、振動スカラー場は安定な凝縮体となることができ、それを Q ボールと呼ぶのである。さらに、第6章では電荷を持った Q ボールが導入されている。

続く第7章が著者のオリジナルな研究の一番目であり、電荷を持った Q ボールが宇宙を構成するダークマターになっている場合についての解析結果が報告されている。電荷を持った Q ボールは、例えばスカラークォーク3個とスカラール電子1個の組み合わせからなる、スカラールポテンシャルの平坦方向の振動によって生成することが可能である。スカラークォークは重い荷電バリオンに崩壊できない一方、スカラール電子は軽い電子を放出し、 Q ボールが全体として電荷を持つことが可能になるからである。著者はこのような理論のモデルとして、それぞれバリオン数とレプトン数を持った二つの複素スカラー場を用意し、そのポテンシャルの準平坦方向の振動によって Q ボールが形成される場合について解析している。その結果、シュビンガー効果を引き起こさないため、 Q ボールの持つ電荷は素電荷のたかだか100倍程度までに抑えられること、正電荷を持つ Q ボールは電子を捕獲したり、負電荷を持つ Q ボールは原子核を捕獲したりするものの、ダークマターとなる程度の分量の荷電 Q ボールでは、初期宇宙の元素合成に悪影響を及ぼすようなことはないことを示した。そして、その存

在量に対してもっとも強い制限を与えるのが、地層上で数十億年に亘る観測時間の得られる雲母結晶中の飛跡であることを示し、この制限をインフレーション後の再加熱温度等の初期宇宙のパラメタに対する制限に焼き直し、荷電 Q ボールが宇宙のダークマターとなり得る範囲があることを示した。

続く第8章は次の研究テーマである I ボール(日本ではこのように呼ばれているが、欧米ではオシロンと呼ばれることが多い) に関するレビューである。 Q ボールは複素スカラー場によって構成されるが、 I ボールは断熱不変量を持つ実スカラー場の振動によって生成する可能性のあるものである。第9章では、 α アトラクターと総称されるインフレーションモデルにおける I ボール形成が解析されている。 α アトラクターには反転対称な T 型ポテンシャルと非対称な E 型ポテンシャルがあるが、双方の場合について、ポテンシャルの勾配を表すパラメタ α がどの程度の値まで I ボール形成が実現するかを、線形解析及び格子上の数値シミュレーションによって明らかにした。そして、 I ボール形成が起こる場合には、再加熱機構がやや複雑になるものの、その衝突による重力波は観測に罹るほど大きくはなり得ないことを示した。

第10章は以上の研究の纏めと結論である。

なお、本論文の内容はいくつかの共同研究として刊行されているが、いずれも論文提出者が中心となって行ったものであり、本委員会は同人の貢献を十分と認めた。

さらに、本学博士に相応しい学識を持っているかを口頭にて試問したが、その結果審査員全員一致にて合格と認定した。

したがって、博士(理学)の学位を授与できると認める。