

論文審査の結果の要旨

氏名 難波俊雄

アクシオンは量子色力学における強いCP問題を解決するために提唱された「アクシオンモデル」に附随して生じる擬南部ゴールドストーンボゾンである。これまでの実験ではアクシオンは発見されいない。このことからアクシオンは存在したとしても相互作用は非常に弱いと考えられている。しかし、アクシオンは弱いとはいえ光子や核子、あるいはモデルによってはレプトンともとの結合を持つ。このため、高温高密度の天体現象からは強いアクシオンの放射が期待できる。これまで、天体からのアクシオン放射を検出する試みは、最も近傍のアクシオン天体候補である太陽についてのみ行われてきた。本学位論文は、「アクシオン望遠鏡」によって太陽以外の天体からのアクシオン放射を検出しようという史上初めての試みである。

論文は12章からなり、第1章は問題定義、第2章から第4章は、それぞれ、アクシオンモデルと質量/相互作用パラメータへの制限についてのレビュー、天体からのアクシオン放射の予測、その観測の現状が述べられている。第5章で本論文で用いられたアクシオン望遠鏡の検出原理と検出感度が議論され、続く第6章から第8章においてアクシオン望遠鏡の詳細が述べられている。

アクシオン望遠鏡はアクシオンをプリマコフ過程によってX線光子に変換する超伝導電磁石とその冷却系、変換されたX線を検出するシリコンPIN X線検出器、望遠鏡を天体に向ける方向制御系からなる。論文提出者は、研究グループの一人としてこの望遠鏡システムの構築を行ったが、特に、X線検出器部分は論文提出者が主体となって開発を行った部分で特に大きな寄与がある。本章ではX線検出器の設計、検出効率や有効面積などの校正実験について詳しく述べられている。また、本論文の観測ではアクシオン望遠鏡は約20日間にわたって連続運転されているが、これを実現するためには機械式冷凍機による超伝導電磁石の冷却が必要であった。論文提出者は、機械式冷凍機が発生する機械的な振動の影響をX線検出器が受けないようにするために、機械的取り付け方法とデータ処理に特別な工夫を行っている。第7章では、そのX線検出器の、観測期間中のX線応答と検出効率のモニターの方法とその結果得られたと安定性について詳しい議論を行っている。第8章は、アクシオン望遠鏡のバックグラウンドのカウントレートの見積もりと、その起源について、実験的な検証と議論を行っている。バックグラウンドのカウントレートを見積もるための最良の実験データは超伝導電磁石の磁場を0にしたデータである。しかし、このような実験パラメータの変化によりバックグラウンドの計数率も変化する可能性を否定することができない。そこで、以下の、観測結果の解釈においては磁場0のデータに基づくバックグラウンド差し引きを行った場合と、これを行わず全体をアクシオン放射強度の上限とする二通りの結果を示している。

観測は約20日間にわたって連続的に行われた。第9章では、この間に行われた全天の約10%の領域をカバーするスキャン観測と、銀河中心方向、さそり座X-1、帆座X-1、かに星雲方向のポインティング観測とその結果について詳細が述べられている。第10章では、観測結果からアクシオン放射の上限を求め、その結果に基づいた議論を行っている。

第11章は、以上の結果から将来への展望を議論し、第12章で全体のまとめを行っている。

本論文で得られたアクシオン放射強度の上限値は、標準的なアクシオンの相互作用定数を仮定して得られる各天体からのアクシオン放射強度の予想値にくらべると残念ながら何桁も高い。しかし、本論文の結果は、史上初めてアクシオン放射強度の上限を観測的に与え、それが標準的なアクシオンモデルと矛盾しないことを示している。本望遠鏡で観測できるような予想もしない明るいアクシオン天体が存在しなかったことは残念ではあるが、将来の新しい観測的天文学、すなわちアクシオン天文学可能性への第一歩として、本論文は十分に意義の大きなものである。

以上の理由から、本研究内容とその結果は博士（理学）の学位に相応しいものである。

なお、本論文の研究は、蓑輪真、井上慶純、森山茂栄、高須ゆう子、堀内貴史、山本明との共同研究であるが、論文提出者は実験装置の重要部分の開発を担当し、また本論文の主題となった観測を主体となって遂行し、解析および議論を行った。したがって論文提出者の寄与が十分であると判断する。

したがって、本論文提出者に博士（理学）の学位を授与できると認める。