

論文審査の結果の要旨

氏名 柳 圭祐

本論文は 6 章からなる。第 1 章は序章として、中性子星の熱的進化を用いて素粒子の標準模型を超える理論を探索することの意義が述べられ本研究の物理的動機付けがなされている。特に、強い相互作用における CP の問題を解決するために導入されたアクシオンと現在の宇宙の物質の大半を占めているがその正体が不明の暗黒物質が中性子星の冷却・加熱に寄与することから、中性子星の観測からこれらの粒子に対する知見が得られることが強調されている。第 2 章は第 3 章以降で必要とされる中性子星の冷却過程理論の基礎に関して、中性子星の構造、内部物質の熱力学的状態、ニュートリノ放出による中性子星の冷却過程と核物質の超流動性についてレビューされている。中性子星の冷却過程の初期段階は Urca 過程によるニュートリノ放出によって起こるが、核子の超流動性によって放出が抑制されること、その後、超流動を引き起こす核子のクーパーペアが生成・崩壊することによる比較的急速な冷却が起こることが説明されている。さらに、これらに基づいた中性子星の標準冷却理論について記述され、この理論が中性子星の表面温度の観測をよく説明できることが述べられている。

第 3 章以降は論文提出者が行なった研究について述べられ、第 3 章では第 2 章で説明された中性子星の標準冷却理論を用いて、カシオペア A の中性子星の観測データからアクシオン模型に対する制限が得られることが述べられている。カシオペア A は西暦約 1680 年に起こったと考えられる超新星によってできた中性子星でその表面温度の減少が十数年にわたって観測され、観測された中性子星表面温度の進化は標準冷却理論でよく説明されることが説明されている。アクシオンが存在すると、アクシオンと核子の相互作用を通じて中性子星内部でアクシオンが生成され星の外に放出されるため、アクシオンは中性子星の冷却に余分に寄与することが述べられ、アクシオン放出率の詳しい計算結果と観測を比較することによって、アクシオンを特徴付ける重要な理論パラメーターであるアクシオン崩壊定数に対して厳しい制限が得られることが示されている。

第 4 章は論文提出者が行なった **Rotochemical** 加熱に関する研究について述べられている。標準冷却理論は中性子星内部で中性子、陽子、電子の間にベータ平衡が成り立つことを仮定しているが中性子星の回転速度が減速することによってベータ平衡からのズレが生じ、それを解消する際にエネルギーが放出され **Rotochemical** 加熱と呼ばれることが述べられている。陽子と中性子の両方の超流動性を取り入れた加熱過程の計算を行うことによって **Rotochemical** 加熱が標準冷却理論で予言されるよりも暖かいことが観測されている古い中性子星の表面温度を説明できることが示されている。

第 5 章は暗黒物質による中性子星の加熱に関する研究について述べられている。まず、弱い相互作用しかない暗黒物質粒子が中性子星との散乱によって束縛され、エネルギーを失って中性子星の中心のコアに溜まり、対消滅することによって中性子星を加熱し、最終的な中性子星の表面温度を約 2000 度に保つことが説明されている。しかし、**Rotochemical** 加熱の効果を考慮するとそれが暗黒物質による効果を隠してしまう可能性があり、実際、初期の中性子星の回転周期が数ミリ秒の場合には **Rotochemical** 加熱の効果が上回ることが説明され、暗黒物質の加熱の効果は初期周期が数十秒以上であれば検出可能であることが示されている。最後に第 6 章で全体のまとめがなされている。

このように本論文は中性子星の熱的進化を用いることによってアクシオン模型に対する新たな天体物理的制限を与え、暗黒物質による中性子星の加熱に関して、**Rotochemical** 加熱過程を新たに考慮して暗黒物質を探索できるための条件を求めるなど中性子星を用いた素粒子の標準模型を超える理論の探究をする上で重要な新しい知見を得ておりその学問的意義は非常に高いと考えられる。なお、本論文の第 3 章から第 5 章は濱口氏らとの共同研究であるが、論文提出者が主体となって解析および考察を行ったもので、論文提出者の寄与が十分であると判断する。

したがって、博士（理学）の学位を授与できると認める。