

研究概要

「アクシオンの運動機構に関する宇宙論研究」

理学研究科 物理学専攻 中川翔太

素粒子標準模型は多数の実験結果を精度良く予言することができ、この宇宙を正しく記述する有効理論であることに疑念の余地はない。しかし、近年の観測技術の著しい発展によって、標準模型を超えた物理の必要性が次第に明るみに出てきた。例えば、暗黒物質や暗黒エネルギーの存在、インフレーション機構、物質反物質非対称性等が挙げられる。

以上で列挙した未解決課題を解決する可能性がある未知の素粒子として、アクシオンが近年注目されている。アクシオンは周期的なポテンシャルを持つ擬スカラー粒子であり、量子色力学 (QCD) と関連する QCD アクシオンや、超弦理論から予言されるストリングアクシオンがある (以下、総称として“アクシオン”を用いる)。本研究課題においては特に暗黒物質に焦点を当て、アクシオン自身が暗黒物質として振る舞う場合と、アクシオンは暗黒物質ではないがそれと密接な関係を持つ場合の宇宙論について詳細な研究を行った。

アクシオン宇宙論において中心となる課題の一つは、その運動機構の理解を深めることである。アクシオンが暗黒物質となる場合、アクシオンの場がポテンシャル周りを振動し、その振動エネルギーが暗黒物質のエネルギー密度に寄与する。従って、観測で判明している暗黒物質のエネルギー密度を説明する際、アクシオンのポテンシャルの形と初期振幅が重要な要素となる。これまでの研究 [1] では、インフレーション中のアクシオン場のダイナミクスを確率的に評価することで得られる初期振幅を使って、アクシオンのエネルギー密度を評価し、インフレーションとアクシオン暗黒物質との連関について新たな理解を得た。また、[2, 3] においては、アクシオンが素粒子標準模型の枠外にある相互作用を持つ場合を考え、そのポテンシャルの変化による運動機構とエネルギー密度の非自明な変化を明らかにし、従来とは異なる性質を持ったアクシオン暗黒物質の可能性を予言した。

一方で、アクシオンは暗黒物質ではない場合にも宇宙論的に重要な役割を果たし得る。2020年11月にCMBの偏光面が僅かに回転している兆候があることが報告された。[3]においては、暗黒物質がアクシオンと特殊な相互作用を持つ場合、アクシオンの振動を誘起することによって、CMBの偏光面を回転させる機構を世界で初めて提唱した。将来のCMBの高精度観測や暗黒物質探索実験によって我々の説の正しさが確認されると、素粒子・宇宙分野に重大なインパクトを与えるだろう。

[参考文献]

- [1] S. Nakagawa, F. Takahashi, W. Yin, JCAP 05 (2020) 004
- [2] S. Nakagawa, F. Takahashi, M. Yamada, JCAP 05 (2021) 062
- [3] K. S. Jeong, K. Matsukawa, S. Nakagawa, F. Takahashi, JCAP 03 (2022) 026
- [4] S. Nakagawa, F. Takahashi, M. Yamada, Phys. Rev. Lett. 127 (2021) 18, 181103