

アクシオン位相欠陥とアクシオン暗黒物質生成のシミュレーション

Simulation of axion topological defects and production of axion dark matter

関口豊和

東京大学理学系研究科附属ビッグバン宇宙国際研究センター

1. 研究目的

本研究の目的は、アクシオン宇宙紐のダイナミクスを解明することである。アクシオンは暗黒物質の最有力候補の一つであり、アクシオン宇宙紐はその主要な生成機構である。一方で、アクシオン宇宙紐のダイナミクスは定性的にも定量的にも十分理解されてはおらず、そのことによりアクシオン宇宙紐から生成されるアクシオン暗黒物質には理論的不訂正が大きい。我々は過去に例をみない大規模数値計算と、さまざまなシミュレーションデータの解析手法とを組み合わせ、アクシオン宇宙紐のダイナミクスの詳細を明らかにし、生成されるアクシオン暗黒物質の正確な予言を与える。

2. 研究成果の内容

我々は先行研究と比較して8倍程度長期間にわたり、アクシオン宇宙紐ネットワークのダイナミクスを追った。その結果、先行研究では知られていなかった、アクシオン宇宙紐の長期ダイナミクスを発見した。それは、ホライズン体積あたりの紐の平均本数が、時間の対数関数的に増加するというものである。これまでの宇宙紐からのアクシオン暗黒物質の生成量の見積もりにおいては、ホライズンあたりの紐の平均本数が一定であると仮定されていたため、本研究によりそのような過去の見積もりを一新する必要があることが示された。我々の研究から、アクシオン暗黒物質の生成量は最大で10倍程度過去の研究より増え得る。これは現在進行・計画中のさまざまなアクシオン暗黒物質直接探査実験に対し、そのターゲットとすべきアクシオン質量がこれまで考えられていたよりも重い可能性を示唆するという重要な知見を与えた。

3. 学際共同利用として実施した意義

アクシオン宇宙紐の非線形なオブジェクトであり、そのダイナミクスを正しく追うためには、場の理論的なシミュレーションに基づく第一原理計算が不可欠である。我々が今回見つけたような長期ダイナミクスを見るためには力づくではあるが、格子数を増やすことでシミュレーション時間を増やすことが有効である。COMAやOakforest-PACSは非常に大規模な並列計算が可能であり、さらにメニーコアシステムを利用することで並列効率を向上することができた。

4. 今後の展望

本年度の研究で見つかったアクシオン宇宙紐の長期ダイナミクスの物理を解明することが今後の最も重要な課題である。そのために、他の宇宙紐の記述に有効であった **one-scale** モデルなどを拡張することや、ネットワークではなく一本の宇宙紐ループのダイナミクスなどを詳細に調べることなど、いくつかの手法を組み合わせることでアクシオン宇宙紐の **consistent** な描像を構築していくことを行いたいと考えている。その上で、アクシオン宇宙紐から生成されるアクシオン暗黒物質の正確な見積もりを行い、直接検出実験に対し、信頼できる理論予言を提供していくことを目指す。

5. 成果発表

(1) 学術論文

・ M. Kawasaki, T. Sekiguchi, M. Yamaguchi and J. Yokoyama, “Long-term dynamics of axion strings,” *PTEP*, **2018**, no. 9, 091E01 (2018)

(2) 学会発表

・ T. Sekiguchi, “Long-term dynamics of axion strings,” Resceu summer school, Hakodate, Japan, Jul 29 (2018)

・ T. Sekiguchi, “Long-term dynamics of axion strings,” JGRG28, Rikkyo Univ, Tokyo, Japan, Nov 5 (2018)

(3) その他

使用計算機	使用計算機 に○	配分リソース*	
		当初配分	追加配分
COMA	○	57,000	
Oakforest-PACS	○	245,000	
※配分リソースについてはノード時間積をご記入ください。			