

アクシオン暗黒物質探索のための光リング共振器の製作と制御

東大理, JAXA 宇宙研^A, MPAB, 京大理^C, 東大宇宙線研^D

大島 由佳, 渡邊 泰平, 道村 唯太, 長野 晃士^A, 小幡 一平^{B,C}, 藤田 智弘^D, 安東 正樹

The manufacture and control of the ring cavity for dark matter axion search

University of Tokyo, ^AISAS/JAXA, ^BMPA, ^CKyoto University, ^DICRR

Y. Oshima, T. Watanabe, Y. Michimura, K. Nagano^A, I. Obata^{B,C}, T. Fujita^D, M. Ando

本研究では、重力波望遠鏡の光共振器の技術を応用し、アクシオン暗黒物質を探索する。そのための光リング共振器を製作し、性能を評価した。また、レーザー周波数のフィードバック制御を行った。

これまでに行われた複数の観測から暗黒物質が存在することが明らかになったが、その正体は未だにわかっていない。暗黒物質の有力な候補にアクシオンが挙げられている。アクシオンは、量子色力学における強い CP 問題の解決策として提唱された仮説上の粒子である。特に、軽い質量 ($m_a \ll 1 \text{ eV}$) のアクシオンは非相対論的にふるまうことから、暗黒物質の候補になっている。

アクシオンは、光子、電子、陽子などと微小に相互作用する。本研究では、重力波望遠鏡の光共振器の技術を応用し、最も扱いやすい光子との相互作用を検出することにより、アクシオン探索を行う。現在進行中のプロトタイプ実験でも太陽アクシオン探索実験 CERN Axion Solar Telescope (CAST) による上限値を超えることができる。大型化した最終的な設計では、アクシオンの質量が $m_a \leq 10^{-10} \text{ eV}$ における領域で現在の上限値を数桁超える感度の測定が可能となる。

アクシオンと光子の相互作用により、左円偏光と右円偏光に速度差が生じる。光共振器を用いて、円偏光の速度差を共振周波数の差として測定する。ボウタイ型の光リング共振器に左円偏光を入射し、共振させる。鏡での反射によって円偏光が反転するため、線形共振器の場合は光速の差がキャンセルしてしまうが、ボウタイ型にすることで右円偏光より左円偏光の光路を長くすることができ、この問題を解決できる。また、透過光を鏡で打ち返し、同一の共振器で右円偏光も共振させるダブルパス構成を用いることで、共振周波数差をヌル測定することが可能となる。

現在、共振器長 1 m、フィネス 3×10^3 、光強度 1 W のプロトタイプ実験が進行中である。光リング共振器の設計と製作を行い、光学系を調整した結果、共振器を共振させることに成功した。共振状態を長時間保持するためにレーザー周波数のフィードバック制御を行った。講演では、実験の経過を報告し、今後の展望を述べる予定である。