

学位論文要旨

Search for sub-eV scalar and pseudoscalar fields via four-wave mixing with tabletop lasers

(テーブルトップレーザーを用いた四光波混合による
sub-eV スカラー・擬スカラー場の探索)

氏 名 長谷部 孝

この宇宙全体のエネルギー密度のうち、通常の物質が占める割合は 5%程で、残り 90% 以上を暗黒エネルギー・暗黒物質といった未知の要素が占めていると考えられている。

暗黒エネルギー源や暗黒物質の候補として、低質量のスカラー場・擬スカラー場が挙げられる。例えば、ディラトンと呼ばれる質量 $10^{-9} - 10^{-6} \text{ eV}$ のスカラー場が予言されており、これは暗黒エネルギー源の候補になり得る。また擬スカラー場のアクシオンは有力な暗黒物質の候補として考えられており、これまでの探索結果から、その質量は $10^{-6} - 10^{-3} \text{ eV}$ 程度と考えられる。

準平行光子散乱系(Quasi parallel colliding system : QPS) は集光レーザー中で生じる低エネルギーの光子光子散乱によって、低質量スカラー・擬スカラー場の共鳴状態を生成する散乱系である。QPS では 2 色のレーザーを同軸上で集光することによって、波長シフトした光が共鳴生成の信号として発生する。これは電場と物質の非線形相互作用である四光波混合が、真空中の未知の場を介して生じると見なすことができる。

本論文では、波長 800nm・パルスエネルギー $9.3 \mu\text{J}$ ・パルス幅 0.9ps のレーザーと、波長 1064nm・パルスエネルギー $100 \mu\text{J}$ ・パルス幅 9ns のレーザーを用いた QPS 光学系を構築し、圧力 $2.3 \times 10^{-2} \text{ Pa}$ で真空内四光波混合測定による未知のスカラー・擬スカラー場の探索実験を行った。

探索の結果、統計的に有意な信号光は観測されなかったものの、スカラー・擬スカラー場の質量と結合力の関係について制限を与えることに成功した。

本測定系では、真空容器内の残余ガスとの相互作用によって生じる四光波混合光が測定的主要なバックグラウンドとなる。そこでバックグラウンド定量化のため、大気圧付近においてガス起因の四光波混合光を発生させ、その圧力依存性を測定した。その結果、探索実験の圧力下ではガス起因の四光波混合光の期待値は無視できるほど微量であることを示した。

本論文で確立された実験手法は、今後のより高強度レーザーを用いた探索実験においても適用可能であると期待される。