

光子渦の生成と原子核による光渦吸収反応の理論研究

日本大学生物資源科学部

丸山智幸

近年、軌道角運動量を持つ光、渦光に対し、基礎科学、応用科学の両分野から多くの関心が集まっている。天体系においても、ブラックホールの強い重力中や中性子星での強磁場中において、様々なエネルギー領域での光渦が天体系で発生することが示唆されている。それらが物質との間で平面波とは異なる相互作用を行うため、従来の理解と異なる天体反応が起こる可能性に興味もたれている。原子核物理学との関連として、超新星爆発や中性子合体で MeV のエネルギー領域の光子渦（ガンマ線渦）が発生し、元素合成に強い影響を与えるのではないかと可能性が指摘されている[1]。

このような中、国内外において、ガンマ線渦を実験室で生成する実験が進行中であるが、日本においては、高速に加速した電子に円偏極した2個以上の光子を吸収させて1個の光子を放出させる非線形コンプトン散乱を用いて、ガンマ線エネルギー領域の光子渦を生成する実験が進められている[2]。

我々は、 10^{12} G 以上の非常に強い磁場中でガンマ線渦が作られることを相対論的量子論の枠組みで理論的に指摘し[3]、光子のエネルギーは可視光領域になるが、同様の現象が実験室内で確認することが可能であることをも示した[4]。

この研究で用いた円筒座標系で電子、光子の波動関数（ベッセル波）を、非線形コンプトン散乱の理論計算に導入することで、摂動論の範囲ではあるが、吸収光子の個数を固定した、相対速度量子力学の枠組みでの正確な理論形式を確立することに成功した。

図1に、1 GeV の電子に逆方向から 1.2 eV の円偏向光子を正面衝突させたときに生成される光子の密度分布を示した。各パネルは左から、2光子吸収、3光子吸収、4光子吸収の結果を表し、それぞれの光子角運動量の進行方向成分は $2\hbar$, $3\hbar$, $4\hbar$ となっている。

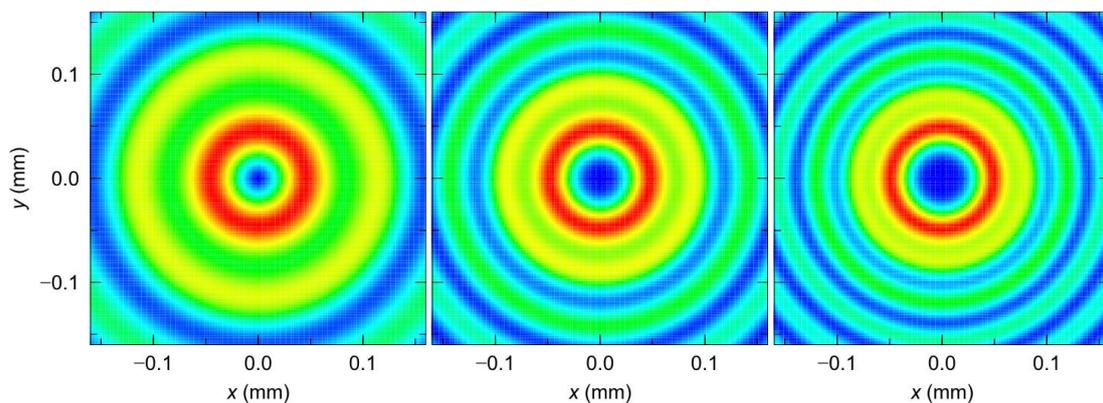


図1：1 GeV の電子と 1.2 eV の光子の非線形コンプトン散乱より生成された光子の、進行方向に垂直な平面内の密度分布。左から、2光子吸収、3光子吸収、4光子吸収の結果を表す。

さらに、我々はベッセル波光子渦と原子核の光核反応による原子核励起に研究を進めた。光子渦の波導関数は中心軸を持つため、中心軸と標的核との距離が重要な要素となる。我々

は、平面波とベッセル波との比をとることで、具体的な原子核の光吸収強度のモデルに依存せずに、ベッセル波による光反応の特徴を計算できることを発見した。この手法で、入射光子が平面波であるときとベッセル波であるときの光核反応の比較を行い、渦波を用いたときの反応の特徴を議論することが可能となった。

本講演において、ガンマ線渦の生成と原子核標的に関するガンマ線渦の光吸収反応理論計算について、具体的な計算結果を示しながら、より詳しい理論研究についての説明を行う。

[1] Z.W. Lu, et al. Phys. Rev. Lett. **131**, 202502 (2023).

[2] Y. Taira., T. Hayakawa, M. Katoh, Sci. Rep. **7**, 5018 (2017) .

[3] T. Maruyama, et al., Phys. Lett. **B826**, 136779 (2022).

[4] T. Maruyama, et al., Phys. Rev. Res., **5** 043289 (2023).