

久富さんのご講演を聞いて

文責：川手里桜 (FOS'24)

本レポートでは、久富隆佑さんのご講演「『回転』にまつわる物理～渦無し磁石から光渦を作る～」を通じて学んだことをまとめる。なお、筆者は他分野の研究を行う学生であり、誤った表現や理解が浅い部分があるかもしれない。何卒ご容赦いただきたい。

はじめに

角運動量は、回転の大きさを特徴づける物理量である。角運動量には 2 種類あり、それぞれ軌道角運動量、スピン角運動量と名付けられている。光も軌道角運動量とスピン角運動量をもつことが知られている。特に、軌道角運動量をもつ光は「光渦」と呼ばれている。その名から想像がつく通り、光の位相が渦巻いており、その中心には位相の特異点が存在する。光渦は発見から 30 年ほどしか経過しておらず、物質との相互作用の仕方については明らかになっていないことが多く残されている。

回転に由来する機能性

光と物質との相互作用に関連して、久富さんは「光を用いて磁石の温度を下げられるか」というテーマに関して研究を行い、5 年前に光の回転方向を変えることで磁石の加熱・冷却が選択可能であることを発見した。

磁石の温度

強磁性絶縁体であるイットリウム鉄ガーネット単結晶の球状磁石を考える。0 ケルビン下では、球状磁石内で多数の電子がスピンを揃えて存在している。¹ 個々のスピンは磁場中に置かれると、磁場の方向を回転軸としてスピンの首を振りながら運動する。歳差運動と呼ばれる本現象は、スピンの集団全体に波のように伝わっていく。このように、スピンが回転しながら空間を伝播する波動のことをスピン波といい、スピン波を量子化したものはマグノンと呼ばれている。0 ケルビンから温度が上昇すると、スピンがばらついて磁力が弱まると共にマグノンが増えていくため、マグノンを奪うことで磁石の冷却が行われることが知られている。

マグノン誘起ブリルアン散乱

¹ スピンは電子のもつ自転的な性質。0 ケルビン下では、スピンが同じ方向を指して整列している。

光とマグノンが共鳴せずに相互作用し、入射した光が変調される非線形現象を「マグノン誘起ブリルアン散乱」という。特に、散乱光のエネルギーが入射光と比較したときに、1 マグノン分変化している散乱過程のことを「1 マグノン散乱」と呼ぶ。久富さんは1 マグノン散乱, 2 マグノン散乱について実験的に調べる中で、角運動選択則をもつ散乱過程が存在することを発見した。その後、強磁性体を用いたマグノン誘起ブリルアン散乱において、回転対称な系の角運動量選択則に関する研究を行い、久富さんは以下の実証結果を得た。

$$\Delta s = \Delta s_p + \Delta s_m = 0$$

s : Spin AM (スピン角運動量), p : Photon (光子), m : Magnon (マグノン)

本研究より、入力光の円偏光状態によって磁石の冷却と加熱の選択が可能であることが明らかになった。

現在の研究目的

5年前の研究でスピン角運動量保存を示したため、現在は(全角運動量) = (スピン角運動量) + (軌道角運動量) の成立、そして全角運動量保存に起因する選択則の実証、光 - マグノン間での新しい角運動転写の探索、新しい相互作用の開拓を目指して久富さんは研究に取り組んでいるようだ。

最近発見した新現象

久富さんたちは最近、渦構造をもたない磁石によっても光渦が生成できることを発見した。そこで得られた実験結果は、磁石のもつスピン角運動量が光の軌道角運動量に直接変換されるという新しい物理の存在を示唆している。今後は本現象の理論構築、電磁界シミュレーションを行うとのことだ。