



平成 29 年 7 月 25 日

報道機関 各位

マヒドン大学物理学科
東北大学多元物質科学研究所

反強磁性体におけるマグノン偏光の非相反性 -マグノン旋光性とスピントロニクス素子への応用-

【発表のポイント】

- 反強磁性体においてスピン揺らぎの波(マグノン^{*1})の伝搬が方向に依存することを観測しました。
- この効果は光に対する旋光性と同様の効果であるが、マグノンに対しては初めての観測です。
- マグノンファラデー効果を利用したマグノン電界効果トランジスタ等への応用が期待されます。

【概要】

タイ王国マヒドン大学 Matan グループ、米国標準技術研究所 Yang グループおよび東北大学多元物質科学研究所佐藤卓グループからなる国際共同研究チームは、反強磁性体を伝わるスピン揺らぎの波(スピン波もしくはマグノン)の非相反性を明らかにしました。反強磁性体では回転方向が逆の 2 種類のマグノンが存在することが知られています。これらは光に例えると右円偏光・左円偏光に対応します。通常の反強磁性体ではこれらのマグノンは同じ振動数を持ちますが、今回研究対象とした銅バナジウム酸化物ではこれらが方向に依存する異なる振動数を持つことが明らかになりました。振動数の違いはマグノン偏光角の回転に伝搬方向依存性(旋光性)をもたらしますが、このようなマグノン旋光性を示す磁性体は今回初めて見出されたものです。今回の研究結果から、旋光性を電場で制御する可能性(マグノンファラデー効果)も期待され、マグノン電界効果トランジスタなどの新奇なスピントロニクス素子の応用の可能性が拓かれました。

本研究成果は、2017 年 7 月 24 日米国物理学会誌「Physical Review Letters」オンライン版に掲載されました。

【詳細な説明】

(背景)

近年、電子の持つ電荷の自由度だけではなくスピンの自由度を利用する新しいエレクトロニクス(スピントロニクス)の研究が活発に行われています。なかでも、磁性体中を伝わるスピンの揺らぎの波(スピン波もしくはマグノン)を情報伝達に用いる試みは広く研究されています。しかしながら、これまでの研究はマグノン自体の伝搬方向制御に注目するものがほとんどで、マグノンが持つ「偏光角」の伝搬方向依存性に着目した研究はありませんでした。

(研究手法・成果)

今回本研究グループは、反強磁性体中のマグノンに対して偏光角回転の伝搬方向依存性を世界で初めて観測しました(図 1)。

光を例にとると、ある種の物質を直線偏光が透過する際、その偏光角が回転することがあります。これは旋光性として古くから知られている効果です。この効果は、物質中で右円偏光および左円偏光の速度に差があることから生じます。磁性体においては偏光角が磁場に依存することがファラデー効果として知られていますが、この効果は数々の光素子に使用されています。

同様の効果は反強磁性体^{*2}中のスピン波(マグノン)に対しても考えることができます。反強磁性体では磁気モーメントがお互いに反対方向を向いて配列していますが(図 2)、この2種類の磁気モーメントの向きに対応して2種類のマグノンが存在します(図 3)。これらは光で例えると右円偏光および左円偏光に対応します。通常の磁性体ではこの2種類のマグノンは同じ波長で同じ振動数を持ちます。しかし、空間反転対称性を持たない磁性体ではこれらが異なる振動数を持つことが理論的に予想されていました[1]。このことはマグノンの右円偏光状態と左円偏光状態の速度が異なることを意味するため、両者を合成した直線偏光マグノン(図 4)においてはその偏光角が回転します。このようなマグノンに対する旋光性を直接観測した研究はこれまでありませんでした。

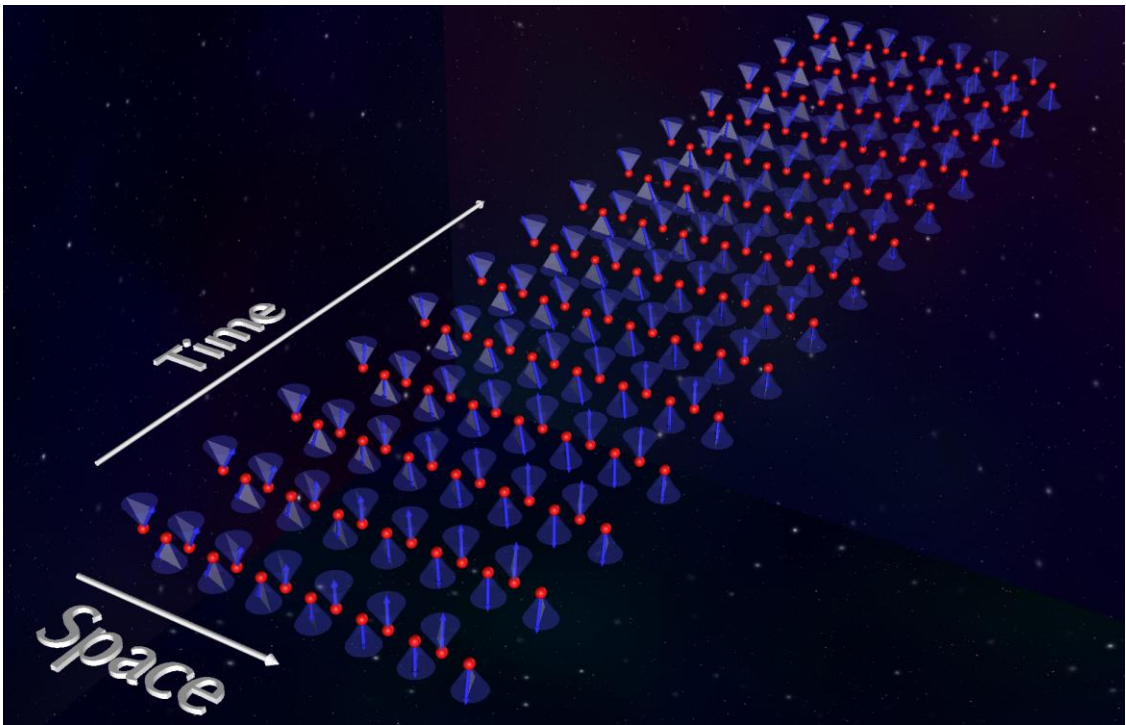


図 1: 今回観測された反強磁性非相反マグノンの模式図。

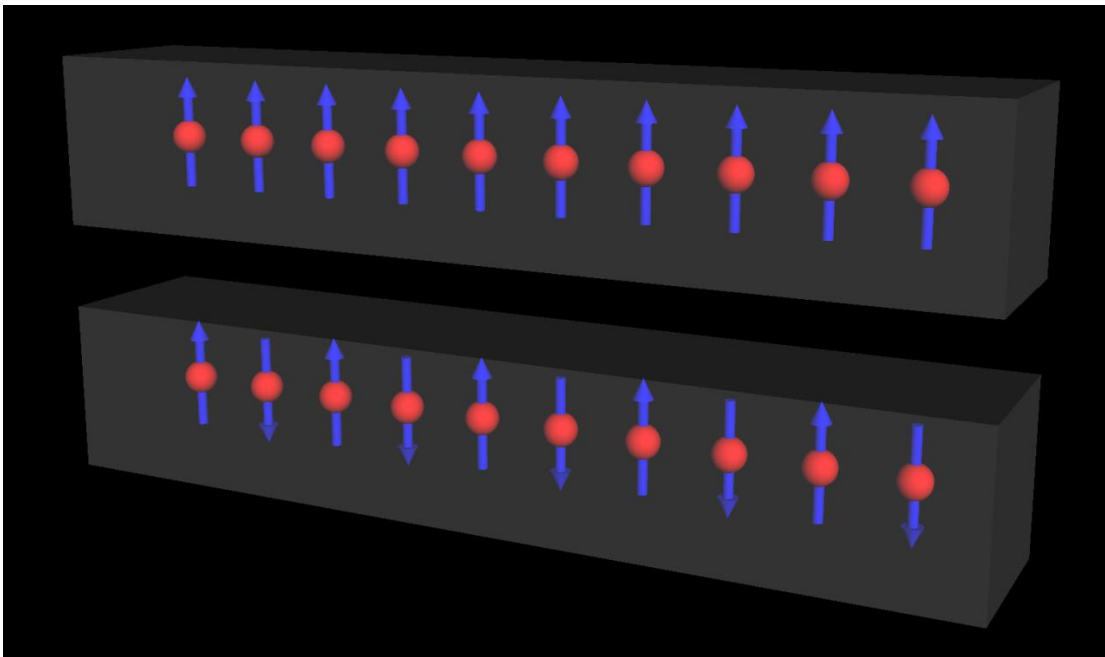


図 2: (上段)強磁性体の磁気モーメント配置。全ての磁気モーメントが同じ方向を向いている。(下段)反強磁性体の磁気モーメント配置。隣り合った磁気モーメントが互い違いに配列している。

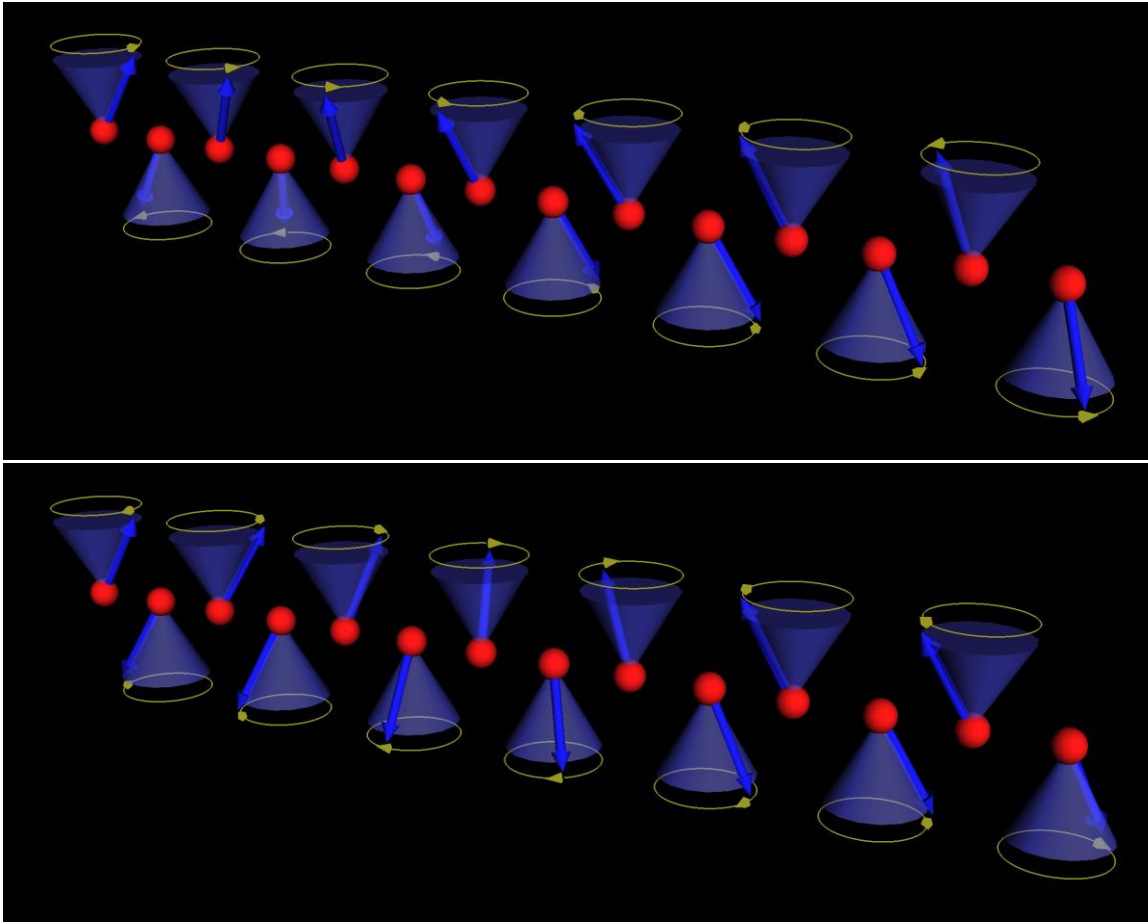


図 3: 反強磁性体における同じ波長をもつ 2 種類のマグノン。黄色い矢印は時間進行に伴うスピンの回転方向を示す。上段のマグノンにおいては上向きスピンの反時計回りに回転しているが、下段のマグノンにおいては上向きスピンは時計回りに回転している。本研究で銅バナジウム酸化物においてはこの 2 種類のマグノンが異なる振動数を持つことが明らかになった。

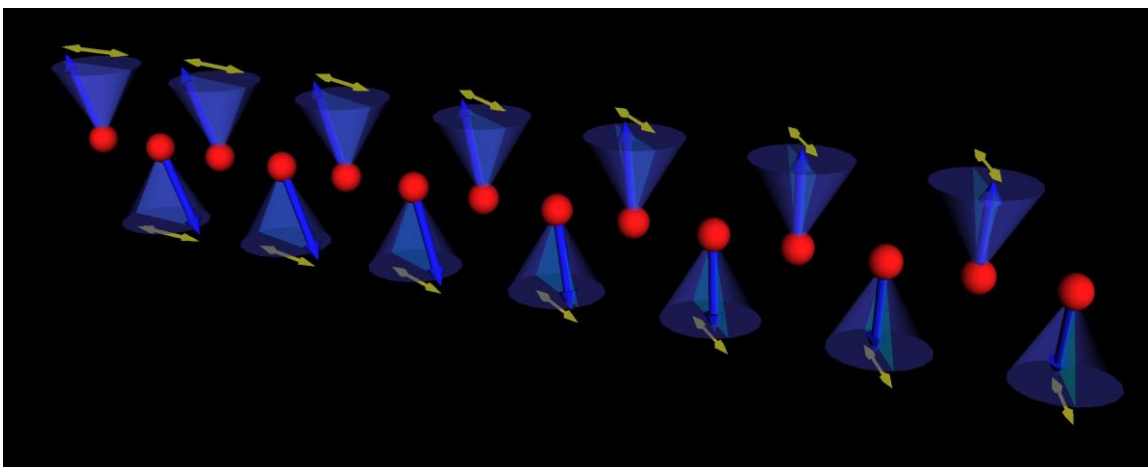


図 4: 2 種類のマグノンを合成して得られる直線偏光マグノンの振る舞い。マグノン伝搬に伴い偏光角が回転している。光の旋光性に対応する現象。

私たちは銅バナジウム酸化物 ($\alpha\text{-Cu}_2\text{V}_2\text{O}_7$) の反強磁性相において中性子非弾性

散乱^{*3}を用いてマグノン分散関係^{*4}を精密に測定しました。その結果、マグノンの右円偏光状態と左円偏光状態の分散関係が大きく分裂していることを発見しました(図5)。この結果は右円偏光状態および左円偏光状態のマグノンの速度に大きな違いがあることを示しており、マグノン旋光性を明確に確認した初めての例と言えます。実験結果は空間反転対称性の欠如の効果をジャロシンスキー・守谷相互作用^{*5}として取り入れた線形スピン波計算結果と極めて良い一致を示しましたが、このことは空間反転対称性の欠如がマグノン旋光性の起源であることを如実に示しています。

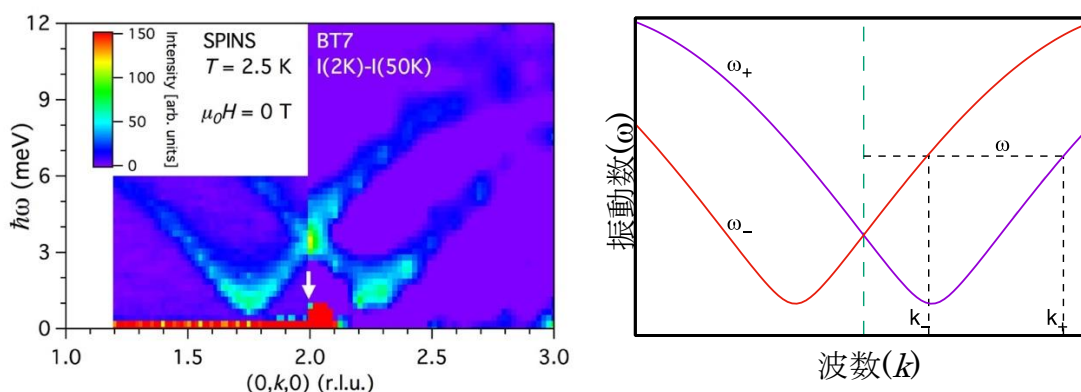


図 5: (左)実験で観測された $\alpha\text{-Cu}_2\text{V}_2\text{O}_7$ のマグノン分散関係。(右)空間反転対称性が欠如した場合に予想されるマグノン分散関係。ある振動数(ω)で同一方向に進行するマグノンとしては、波数 k_+ および k_- の 2 種類のマグノンが存在する。これらの位相速度はそれぞれ ω/k_+ , ω/k_- となり、異なる位相速度を持つ。

(今後への期待)

反転対称性の欠如は電気分極とも結びついているため、本効果は電場によるマグノン旋光性の制御の可能性、すなわちマグノンファラデー効果を示唆します。マグノンファラデー効果はマグノン電界効果トランジスタ等に応用できるとされており[2]、今後の本研究のさらなる発展が期待されます。

(参考文献)

- [1] S. Hayami, H. Kusunose, and Y. Motome, J. Phys. Soc. Jpn. 85, 053705 (2016).
- [2] R. Cheng, M. W. Daniels, J.-G. Zhu, and D. Xiao, Sci. Rep. 6, 24223 (2016)

(論文情報)

Title: Nonreciprocal Magnons and Symmetry-Breaking in the Noncentrosymmetric Antiferromagnet

ジャーナル名: Physical Review Letters

DOI: <https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.119.047201>

(用語説明)

***1 スピン波・マグノン**

磁性体中では磁気モーメントの揺らぎが磁気モーメント間の相互作用を通して波として伝わると考えられている。磁気モーメントの起源は電子のスピンであり、本質的に量子化されているため、この波も量子化されている。スピン揺らぎの波をスピン波と呼び、その量子(準粒子)をマグノンと呼ぶ。

***2 反強磁性体**

磁石として広く知られている磁性体はおもに強磁性体であり、構成する磁性原子の磁気モーメントの方向は揃っている。一方、磁性体には構成する磁性原子の磁気モーメントが互い違いに配列し、合計として打ち消しあっているものもある。このような磁性体を反強磁性体と呼ぶ。

***3 中性子非弾性散乱**

原子炉や加速器で作られた中性子を物質に入射し、散乱される中性子のエネルギーや運動量を調べることにより物質中のスピンの運動を調べる手段。中性子はスピン持つが電荷を持たないため、物質中の電子スピンを選択的に観測することができる。

***4 マグノン分散関係**

マグノンの振動数 ω の波数 k 依存性。多くの場合中性子非弾性散乱により測定される。

***5 ジャロシンスキー・守谷相互作用**

物質中の磁性原子間に空間反転対称性がない場合に現れる特殊な磁気相互作用。磁性原子の入れ替わりに対して符号を入れ替えるため反対称相互作用とも言われる。日本の守谷とロシアのジャロシンスキーが独立に発見した。

【問い合わせ先】

マヒドン大学物理学科

Assistant Professor Kittiwit Matan

Tel: +66 2201 5774

E-mail: kittiwit.mat@mahidol.ac.th

東北大学 多元物質科学研究所

教授 佐藤 卓 (さとう たく)

Tel: 022-217-5348

E-mail: taku@tohoku.ac.jp

【報道関連】

東北大学 多元物質科学研究所 広報情報室

Tel: 022-217-5866

E-mail: press.tagen@grp.tohoku.ac.jp