

精密高圧磁化測定技術により量子磁性相探索をスピードアップ

[1] 要旨

SQUID 磁気計とそれに挿入する高圧セルを利用する高圧磁化測定は、興味深い磁性相を物質スクリーニングするための迅速・簡便な手段である。ただし、その適用例は磁化測定の精度の問題からこれまでは比較的大きな磁化率を示す物質に限られてきた。今回、磁化測定の精度を向上させるための高圧セル装置の改良と磁化抽出手法の開発が行われ、さらにそれらを用いた磁化測定がなされた。開発された手法では圧力 6.3 万気圧以下での量子スピン物質の常磁性磁化率測定に足る精度が得られており、このような超高圧下における殆ど全ての磁性相の評価に適用可能であることを示している。

[2] 本文

磁性材料研究は、磁化を測る試みから始まる。磁化測定では電子スピンの揃い方を観測しているが、今日注目されている量子効果の大きな磁性現象では、スピンの揺らいだり打ち消し合ったりするために磁化が小さくなることが多く、精密な磁化測定が求められている。また、物体に圧力を加えることで、常圧とは異なる量子スピン状態を生じさせ新物質相の発現が期待される。そこで、高圧印加と精密磁化測定の組み合わせは、新しい量子磁性相を極めて効率的に探索するメソッドとなりうる。

1990 年代に超伝導量子干渉計 (SQUID: Superconducting Quantum Interference Device) を用いる高感度な磁化測定装置が開発されて以来、市販の装置に挿入して用いることのできる種々の高圧装置が開発されてきた。そこで用いられる磁化測定の手法はファラデーの電磁誘導の法則に基づいており、検出される信号 (SQUID 応答) は、試料の磁化由来の信号と高圧装置の磁化由来の信号が足し合わされたものになる。高圧装置を用いた磁化測定の精度は、検出器の感度よりも、むしろ試料由来の信号と高圧装置由来のバックグラウンド信号の比 (S/B 比) によって制限されることが多かった。このため、磁気モーメントの値が小さいスピン 1/2 の量子磁性体の振る舞いを 2 GPa (万気圧) を超える圧力下まで追跡するためには、さらなる高精度な手法が必要とされていた。

最近、東京大学大学院理学系研究科物理学専攻のメンバーを中心とする研究グループは、高圧装置を構成する部品のうち、同じ素材でできた部品同士の信号の打ち消し合いを利用することで、温度・磁場条件を問わずゼロに近いバックグラウンド信号を実現できる原理に気がついた。数値計算による高圧装置構造の最適化と、構成部品への新非磁性材料の採用、高圧発生部の形状変更による容積効率の向上などの工夫を重ねることによって、従来のものに比べて高い S/B 比が得られる高圧装置を開発した。さらに、圧力印加時の高圧装置の形状変化を考慮に入れてバックグラウンド信号を推定し、推定誤差の影響を受けにくい線形変換によって SQUID 応答から磁化を抽出することで、磁化率 3.3×10^4 emu/mol のバンプレック常磁性体 K_2RuCl_6 の磁化を 6.3 GPa まで測定することに成功した。この成果は、日本物理学会が発行する英文誌 *Journal of the Physical Society of Japan (JPSJ)* の 2021 年 7 月号に掲載された。

今回開発された手法は、たとえば 300 K においてスピン 1/2 のキュリー常磁性による磁化を検出するのに十分な精度を持つ。本研究成果は、相探索のための手段として磁性に興味を持つ研究者に広く利用されることが期待される。

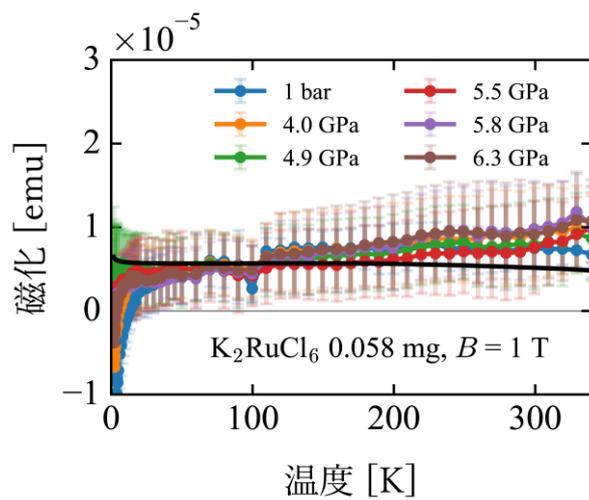


図 1 高压磁化測定で得られた K_2RuCl_6 の磁化-温度曲線 (左) と測定に使用した高压装置 (右). 左図で様々な圧力・温度範囲で得られた測定結果は高压装置を使用せずに得られた参照データ (黒線、 Ru^{4+} のバンブレック常磁性は圧力に殆ど依存しない) と誤差内で一致している.

原論文(6月3日公開済)

[Design of Opposed-Anvil-Type High-Pressure Cell for Precision Magnetometry and Its Application to Quantum Magnetism](#)

N. Hiraoka, K. Whiteaker, M. Blankenhorn, Y. Hayashi, R. Oka, H. Takagi, K. Kitagawa: J. Phys. Soc. Jpn. **90**, 074001 (2021).

<情報提供 平岡 奈緒香 (東京大学大学院理学系研究科)
北川 健太郎 (東京大学大学院理学系研究科) >