

ミュオンは超伝導の研究にどう役立ってきてどう役立っていくか

上智大学理工学部機能創造理工学科

足立 匡

物性物理学の研究に欠かせない量子ビームの一つであるミュオン。我々、超伝導の研究者にとってなくてはならないプローブです。本コロキウムでは、ミュオンが超伝導研究の進展にどのように貢献してきたか、これからどう役立っていくそうかについて、我々の研究結果も含めてお話しします。トピックスを以下に示します。

【ミュオンは超伝導体の磁気的な情報を与えてくれる】

銅酸化物、鉄系の高温超伝導の研究では、物性相図をいち早く決定してくれました。また、どちらの超伝導体も反強磁性体にキャリアをドーピングすると超伝導が発現するので、超伝導とスピンゆらぎの関連の研究にも役立ちました。キャリアを過剰にドーピングすると現れる強磁性ゆらぎ[1]の研究にも威力を発揮しています。最近ホットな Ni 酸化物超伝導に関しても、母物質での短距離磁気秩序の観測などの成果[2]も得られています。

【ミュオンは超伝導の磁場侵入長を教えてくれる】

超伝導電子密度や超伝導電子対の対称性に関わる磁場侵入長、ミュオンはその絶対値まで議論できるほぼ唯一のプローブです。銅酸化物において、超伝導電子密度と超伝導転移温度が比例する、過剰ドーピング領域では不均一な超伝導状態が実現している[3]などの重要な知見が得られました。カイラル超伝導に関しては、電子の軌道運動による自発磁化を検出するとともに電子対の対称性を決定して、特異な超伝導状態の議論に貢献しています[4]。

【ミュオンは薄膜の磁性と超伝導についても教えてくれる】

低エネルギーミュオンを用いると薄膜試料の磁性と超伝導について調べることができます。T'型銅酸化物におけるノンドーピング超伝導[5]、鉄カルコゲナイド超伝導体における磁性、超伝導、電子ネマティック状態の関連[6]などのトピックがあります。

【今後のミュオンと超伝導】

J-PARC MLF の超低速ミュオン、最表面 1 ナノメートルの状態や界面の状態を調べられるプローブで、まもなく実験が開始されます。絶縁体と金属の 2 つの銅酸化物の界面で現れる超伝導[7]などのメカニズムに迫れます。また、超高压力下での水素化物室温超伝導に関しては、鍵を握っていると予想されている水素の状態を J-PARC の大強度ミュオンビームを用いた極限環境下での実験から明らかにできるかもしれません。

[1] K. Kurashima *et al.*, Phys. Rev. Lett. **121**, 057002 (2018). [5] K. M. Kojima *et al.*, Phys. Rev. B **89**, 180508(R) (2014).

[2] T. Adachi, T. Takamatsu *et al.*, in preparation.

[6] F. Nabeshima *et al.*, Phys. Rev. B **103**, 184504 (2021).

[3] Y. J. Uemura, Solid State Commun. **126**, 23 (2003).

[7] A. Gozar *et al.*, Nature **445**, 782 (2008).

[4] T. Adachi, K. Kudo *et al.*, in preparation.