

水素のトンネル振動を利用した超伝導ギャップの検出 ～中性子による金属電子状態の解明に向けて～

KEK 物構研¹、東工大元素セ²、東工大応セラ³、CROSS 東海⁴、JAEA⁵、東工大フロンティア⁶
 平賀晴弘¹、平石雅俊¹、小嶋健児¹、門野良典¹、村上洋一¹、山田和芳¹、
 山浦淳一²、飯村壮史³、池内和彦⁴、中村充孝⁵、梶本亮一⁵、松石聡²、細野秀雄^{2,3,6}
 hiraka@post.j-parc.jp

電気的中性な中性子は原子核と直接相互作用するため、X線では見えづらい水素のような軽元素の検出や構造解析を可能とする。また、中性子が持つスピンは磁場に敏感に反応することから、物質内部の磁性を解明する強力なプローブとして用いられている。

電子材料の一つである鉄系超伝導体では鉄の磁性が高温超伝導に深く関与すると考えられることから、中性子散乱はその磁気構造と磁気励起（例えば、 T_c 以下で発達する「磁気共鳴ピーク」）の調査に多く用いられてきた。一方、超伝導を特徴づける重要な物理量の超伝導ギャップ 2Δ は、多くの場合、バンド構造を直接観測する角度分解光電子分光 ARPES や電子状態密度を与える走査トンネル分光 STS によって決定されている。中性子散乱と ARPES や STS で用いる試料が違っているのがほとんどのケースで、実験プローブによって異なる試料状態（表面、バルク）を対象とすることもあり、磁気励起と 2Δ を別々に求めた結果から磁性と伝導の相関を議論する際に大きな不確定性を伴っていた[1]。

最近我々は、鉄系超伝導体 $\text{LaFeAs}(\text{O},\text{D})$ の粉末試料を用い、格子間サイトを占める微量軽水素のトンネル振動を介して、中性子で 2Δ を決定することに成功した。図1に、トンネル励起線幅（寿命の逆数）の温度変化を示す。 T_c よりも低い温度で長寿命化する実験結果は、超伝導ギャップが開いたことで 2Δ 以下の電子励起が抑制され、水素と伝導電子との相互作用が小さくなったためと考えられる。これにより、同時に決めていた磁気励起スペクトルへ 2Δ が及ぼす効果を詳細に議論することが可能となった。この手法は、 $\alpha\text{-Fe}$ の金属強磁性や Cr の電荷・スピン密度波といった伝導と磁性の相関が重要な役割を果たす金属磁性にも有効と考えられ、中性子による電子材料・磁性材料の新しい評価方法になりうる。

当日のポスター講演では $\text{LaFeAs}(\text{O},\text{D})$ を例に挙げ、水素の力を借りて電子励起の情報（超伝導ギャップ）を取得する方法の詳細と、磁気励起スペクトル（磁気共鳴ピーク）との同時測定によって得られた超伝導と磁性の相関について議論する。

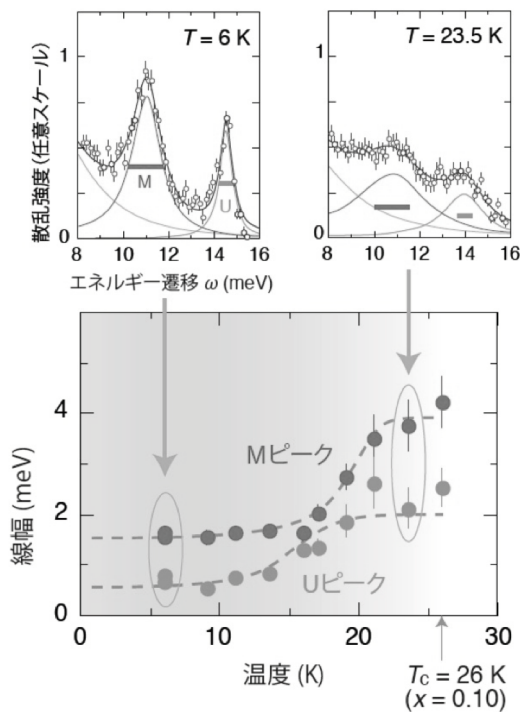


図1. $\text{LaFeAsO}_{0.9}\text{D}_{0.1}$ (格子間H $\sim 0.1\text{ mol \%}$) における2種類のトンネル励起 (M, U ピーク) の線幅。下図中の破線は、得られた 2Δ に基づいて計算した線幅。

[1] D. S. Inosov *et al.*, Phys. Rev. B **83**, 214520 (2011).