

超音波による伝導電子系の研究

後藤輝孝, 根本祐一, 赤津光洋, 三本啓輔¹, 栗原綾佑²
新潟大理, 富山県立大工¹, 物性研究所²

私に与えられたテーマは、超音波による Bi の研究に関連して「わかっていること、今後明らかにしていかなければならないこと」を述べよとのことである。根本研究室では、数年前に超音波による Bi の磁場中の弾性定数と吸収係数の量子振動の実験を行った。結果は、半世紀ほど前の Bi の超音波実験と基本的に同じであった。これを踏まえて、解明すべき事項は何かであるかについて、私見を述べたい。

Bi の少数キャリアとその特有の小さな Fermi 面や、電子励起が波数 k に比例するディラック電子がやはり重要である。超音波実験からこれらの物性の解明に迫るには、「伝導電子と超音波との相互作用の正確な記述」が必要不可欠である。しかし、現状では電子-格子相互作用の理解がうまくできていない。

音響フォノン（超音波）には縦波と横波が存在する。縦波は、体積を変える対称性不変の歪みと、体積を一定に保つが対称性を低下させる歪みを励起する。他方、横波は、体積を一定に保つが対称性を低下させる歪みと、格子を僅かに回す回転を励起する。このような音響フォノンによって結晶中に誘起された歪みや回転は、伝導電子系と相互作用をする。特に Bi の磁場中の弾性定数と吸収係数の量子振動の解明には、Landau 状態と音響フォノンの歪みや回転と相互作用ハミルトニアンが必要であるが、最近になりその導出を行った。対称ゲージを用いれば、Landau 状態のハミルトニアンには、磁場に依存せずフェルミ面の形状に依存する項、磁場の 1 次に比例する軌道運動の項、磁場の 2 次に比例する反磁性の項が現れる。Landau 状態と歪みや回転との相互作用ハミルトニアンにも、それぞれに対応する項が現れる。これらの内で磁場の 1 次及び 2 次に比例する項は、Bi, CeCoIn₅, Ce_{1-x}La_xB₆ における横波超音波の吸収係数の強磁場中での異常な増大の原因ではないかと推察している。Laguerre 多項式で書かれた Landau 状態の 1 体電子波動関数を使えば、摂動計算がもちろん可能で、応答関数を求めることができる。また、もともと 1 体波動関数で書かれていた Landau 状態は、音響フォノンの歪みや回転の場を介して相互に結合し、新しい多体状態が現れると期待でき、興味もたれる。

最近になり、音響フォノンと電子系との相互作用を導く一般的な方法を研究している。音響フォノンが誘起する 6 個の歪みと 3 個の回転を扱い、電子系に作用する 9 個の変形演算子を導入し、電子系を記述するハミルトニアンとの交換子をとることで、音響フォノンと電子系との相互作用を導くことができる。この方法は、局在電子系だけではなく伝導電子系にも適用可能であり、最近の鉄ヒ素超伝導体 Ba(Fe_{1-x}Co_x)₂As₂ での臨界減速の研究で用いた取り扱いの自然な拡張になっている [1]。また、この方法を本 WS でのテーマであるスピン軌道結合系に作用させると、スピン系と超音波との相互作用を導くことができる。多様な電子系が示す量子振動や磁性を解明することで、超音波による物性物理の発展が大いに期待できる。

参考文献

[1] R. Kurihara, K. Mitsumoto, M. Akatsu, Y. Nemoto, T. Goto, Y. Kobayashi, and M. Sato, J. Phys. Soc. Jpn. **86**, 064706 (2017).