

強相関電子系の熱電応答

理研 CMRG、小椎八重 航

固体の熱電応答を特徴付ける物理量として、ゼーベック係数がある。まずは、この係数の持つ意味を詳らかにしよう。

固体の電流と熱流は、電場勾配と温度勾配に対し、それぞれ独立に応答するだけでなく、交差効果も示す。すなわち、電流を駆動するものは電場勾配だけではなく、温度勾配もまたその役割を果たす。この固体の熱電応答を記述する輸送法則は、線形応答の範囲で以下のように表される[1] (簡単のために問題を一次元で考えるが、以下の考察は一般性を失わない):

$$\begin{cases} j_e = \sigma \left[-\frac{\partial}{\partial x} (V - \mu/e) \right] + \sigma Q \left(-\frac{\partial T}{\partial x} \right), \\ j_h = T Q j_e + \kappa \left(-\frac{\partial T}{\partial x} \right), \end{cases} \quad (1)$$

ここで、 σ は電気伝導率を、 Q はゼーベック係数を、そして κ は熱伝導率をそれぞれ表す。電位を V 単位電荷を e 、化学ポテンシャルを μ 、そして温度を T として、(1)の最初の式は、電流(j_e)が電気化学ポテンシャルの勾配と温度勾配に応答することを示している。温度勾配は、もちろん熱流(j_h)を駆動するが、電流もまた熱を運ぶことができる。これを表現しているのが、(1)の第2式である。この式は直ちに、熱電系のエントロピー流(j_S)に対する表現を与える:

$$j_S (= j_h/T) = Q j_e + \frac{\kappa}{T} \left(-\frac{\partial T}{\partial x} \right), \quad (2)$$

式(2)が教えるように、ゼーベック係数は電流の担うエントロピー流を意味している。

電流は電子の流れであり、電子は電荷とスピン、そして固体中では軌道の自由度を担う。電流とともに運ばれる電子の自由度は、エントロピー流に、すなわちゼーベック係数に直接寄与することができる。しかし、この寄与を著しく抑制する物質群がある。それは、20世紀のエレクトロニクスを支えてきた、1電子近似に基づく従来の電子論に支配される電子材料である。その熱電応答では電子の電荷の自由度のみが基本的であり、従来の電子論が教える「ゼーベック係数はキャリアの符号を反映する」という理解は、この電子材料の特殊性を表現したものである。この特殊な物質群にとられることなく、熱起電力の本来の姿、電流の担う「エントロピー流」の発現における電子のスピンと軌道の自由度の役割を調べたとき、電子間相互作用の重要性が浮き彫りになる。

本講演では、強相関電子系の熱電応答の理論的研究を通して、固体の熱電応答における電子のスピンと軌道の自由度の役割を議論する。

【参考文献】

- [1] S. Maekawa, T. Tohyama, S. E. Barnes, S. Ishihara, W. Koshibae, and G. Khaliullin, "Physics of Transition Metal Oxides" (ISBN: 3-540-21293-0), Springer Series in Solid-State Sciences, Vol. 144 (2004).