

バンド間磁場効果

東京理科大学理学部応用物理学科

福山秀敏

1. 周期性を持った固体中の電子状態は Bloch バンドで記述される。このような固体中電子に有限の外部磁場がかかったらどうなるか？この一見初歩的に見える問題の奥は大変深い。それは磁場を表現するベクトルポテンシャル、 A 、が結晶の周期性を持たないために、理論的な取り扱いにおいて大変な数学的困難を引き起こすからである。とりわけ A はバンド間行列要素を持つ（これを「バンド間磁場効果」(Inter-band effects of magnetic field) という) ために磁場の影響を特定のバンド内のみで考察することは一般には許されない。
2. この効果が「劇的」に現れるのが弱磁場軌道磁化率である。この問題は量子力学誕生間もない 1930 年代初頭から認識されており、固体電子論の『悩みの種』であった。それは単結晶 Bi が巨大かつ強い空間異方性のある軌道反磁性を持つこと、さらにそれがランダウ反磁性を固体電子に拡張したとされるランダウ・パイエルス (LP) 公式によっては全く理解できないという事実が知られていたからである。
3. このような経緯を踏まえて多くの固体物理学者が「軌道磁性」の問題に取り組み、その結果 1960 年代中葉には固体中電子の持つ軌道磁化率の「厳密な公式」が得られた。しかし、その「公式」は厳密ではあるが複雑すぎて役に立たなかった。この複雑さは固体中電子状態の記述を Bloch 表示ではなく Kohn-Luttinger 表示[1]に基礎を置くことによって克服された。KL 表示によって波数空間の局所的な電子状態の詳細な記述が可能となり ($k \cdot p$ 摂動) 後の半導体テクノロジーの基礎となっている。同時にこの表示によって軌道磁性における「バンド間磁場効果」を正しく考慮することが出来、上記 Bi の異常軌道磁性の問題が解決され[2]、さらに厳密かつ簡単な公式の導出[3]を可能とした。
4. 軌道磁性は磁場によって誘起された「永久電流」に起因する。この電流がホール効果にも関与するのであろうか？これも古くから意識されながら現在でも明確な答えのない問題である。
5. 以上の観点から、弱磁場における軌道磁化率とホール係数の関係を zero-gap グラフェン系について調べた[4]。

[1] J. M. Luttinger and W. Kohn, Phys. Rev. 97 (1955) 869.

[2] H. Fukuyama and R. Kubo, J. Phys. Soc. Jpn 28 (1970) 570.

[3] H. Fukuyama, Prog. Theor. Phys. 45 (1971) 879.

[4] H. Fukuyama, J. Phys. Soc. Jpn 76 (2007) 043711.