

外部磁場なしでのランダウ準位の理論解析

[1] 要旨

固体中の電子が空間的に非一様な摂動を感じると外部磁場なしでもランダウ準位が形成され量子振動などが観測される可能性がある。本研究ではその現象が最も顕著に現れるディラック電子系の理論解析を行い、観測可能な非外部磁場由来のランダウ準位の数を与える簡潔な公式を導出している。その簡潔な公式は該当する現象の本質の理解を助けるほか、非外部磁場由来のランダウ準位による新奇現象のための物質設計に有用である。

[2] 本文

一様磁場下でのエネルギー準位の量子化、すなわちランダウ準位の生成は量子力学の基本的かつ典型的な問題である。一方ある系に空間的な変調を伴う摂動を与えると、バンド構造を記述する有効モデルの中で摂動がゲージ場の形で現れることがある。このゲージ場を適切にデザインすると、外部磁場を模倣する「擬磁場」を印加することができ、外部磁場なしでのランダウ準位の形成が可能となる。これは本来外部磁場下特有の現象と考えられている量子振動などを実現する別の機構を与える。また、外部磁場と擬磁場の協調による新たな電子状態や電子制御方法の発見にもつながる。擬磁場の効果は固体中の電子が相対論的に振る舞うディラック電子系において特に顕著に現れる。そのため、これまでの擬磁場に関する研究は典型的なディラック電子系であり空間変調を歪みとして比較的容易に与えられるグラフェンを舞台に発展してきた。

最近、物質・材料研究機構国際ナノアーキテクトゥクス研究拠点の荻宿俊風氏はディラック電子系における擬磁場の効果の詳細な理論解析を行った。まず擬磁場を実現する最も簡単なセットアップを必ずしも歪みに頼らない形で導入し、エネルギースペクトル中に現れる観測可能なランダウ準位の数を導出する公式を与えた。公式は非常に簡潔な表現を持ち、擬磁場によるランダウ準位形成の本質の理解を助けるほか、物質設計の指針としても使い勝手の良いものである。この成果は、日本物理学会が発行する英文誌 *Journal of the Physical Society of Japan (JPSJ)* の2019年8月号に掲載された。

ディラック電子系で外部磁場を模倣する擬磁場を生成するにあたっては、電子状態の空間変調の強さと長さスケールが重要な物理量となる。本研究では、相対論的電子に伴うディラックコーンの波数空間内でのずれを電子状態の変調の強さとして適切にパラメータ化することで、観測可能なランダウ準位の数を予想する簡明な公式を導出している。公式は簡単な強束縛モデルに適切な空間変調を加えた場合のエネルギースペクトルにおいて数値的に確かめられている。さらに、

数値解析の中で次のような興味深い波動関数の振る舞いが示された。教科書的にはランダウゲージにおいて波動関数の重心位置と波数が比例関係にあることが知られているが、本研究の処方箋で生

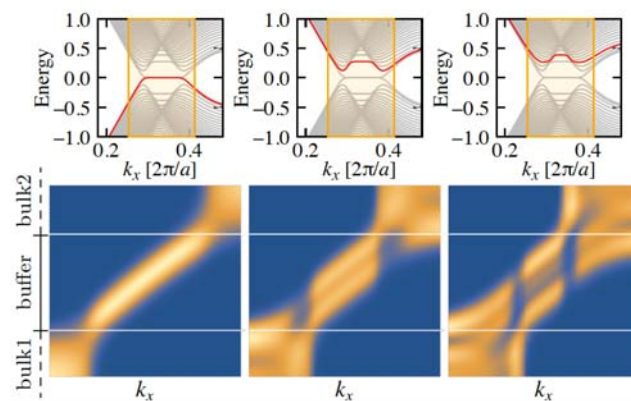


図1：擬磁場由来のランダウ準位の波動関数。下段の縦軸は実空間の座標、横軸は波数、濃淡で波動関数の重みを表す。

成される擬磁場はいわゆるランダウゲージの形で与えられ、その擬磁場由来のランダウ準位でもこの位置と波数の関係が成り立つことが見出された (図 1)。この他、本研究では公式を異方性のある場合に拡張することで、擬磁場由来の量子振動の観測には異方的なディラック電子系の方が有利になる場合があることも指摘している。また、アンチペロブスカイト系を例に実験的に知られているディラック電子系における擬磁場の強度の見積もりも行われている。

全体として本研究はディラック電子の新しい制御方法を与えうる現象について見通しのよい理論の構築を行っており、今後の発展が期待される。

原論文

[Counting Pseudo Landau Levels in Spatially Modulated Dirac Systems](#)

T. Kariyado, J. Phys. Soc. Jpn. **88**, 083701 (2019).

<情報提供：苅宿俊風（物質・材料研究機構 国際ナノアーキテクトニクス研究拠点）>