

論文審査の結果の要旨

氏名 ボロンス アドリアン イザク

本論文でボロンス氏は、電子のハバード模型の光学応答を扱っています。ハバード模型がモット絶縁体であるとき、基底状態の上には大きな電荷ギャップがあり、通常は少々の電場に対しては反応を示しません。しかしスピン軌道相互作用がある場合や、クーロン相互作用が強い場合には、電場が間接的に磁気モーメントに影響するため、スピントリプルなどの磁気モーメント遷移の寄与によって電場に対する応答が生まれます。これが本論文で議論している光学伝導です。

統計物理学の計算手法の観点から見て、本論文の最も著しい点は、強相関の領域において、ハバード・ハミルトニアンをクーロン相互作用の逆数に関して展開して有効ハミルトニアンを得るだけでなく、分極演算子もクーロン相互作用の逆数に関して展開して、その有効演算子を光学伝導度の計算に用いた点です。結果の観点から見て最も著しい点は、有効ハミルトニアンとして得られるキタエフ模型において計算した光学伝導度が、実験結果と定性的に一致した点です。

まず前者の計算手法の点を説明します。ハバード・ハミルトニアンは電子の生成消滅演算子で記述されています。それをハーフフィルドの条件下でクーロン相互作用の逆数について展開すると、電子のスピン自由度に起因して、ハイゼンベルグ・スピン模型が得られます。ボロンス氏は、電子の演算子で書かれている分極演算子についても、クーロン相互作用の逆数についての展開を工夫して定義し、有効的に分極演算子をスピン演算子で書き下しました。これによって、電子のハミルトニアンの系で電子の演算子を計算する問題が、強相関の領域で、スピン・ハミルトニアンの系でスピン演算子の行列要素を計算するという問題に帰着しました。この計算手法は利用価値が高いと予想され、高く評価できます。

次に後者のキタエフ模型における計算を説明します。キタエフ模型は、多バンド・ハバード模型の強相関極限の有効ハミルトニアンとして得られます。マヨラナ・フェルミオンで書くこともできますが、ここではスピン演算子で表したハミルトニアンを用いています。近年はマヨラナ・フェルミオンを検出するための実験が盛んに行われています。本論文でボロンス氏は、キタエフ模型で計算した光学伝導度を、キタエフ模型の候補物質である α - RuCl_3 における2つの実験結果 S. Reschke et al., arXiv (2018) および A. Little et al., Phys. Rev. Lett. (2017) と比較して、定性的な一致を見ました。最先端の興味ある物質における実験結果を再現する理論計算は高く評価できます。

本論文は6章と2つの補遺からなり、第1章には研究動機の説明と、本論文で使う物理

量やスピン軌道相互作用の説明が含まれています。第2章では、スピン軌道相互作用から生じる光学伝導度の計算が示されています。相互作用のない場合として1次元電子ガス、相互作用のある場合として朝永ラッティンジャー流体およびハバード模型、最後に2次元電子ガスに対する計算がまとめられています。ハバード模型の金属相に交流電場をかけると、スピン軌道相互作用とゼーマン分裂項の結合のためにスピントリプルが起こることを示しています。

第3章では上述のハバード・ハミルトニアンと分極演算子の展開がまとめられており、第4章と第5章の導入部にもなっています。第4章では多バンド・ハバード模型に対する光学伝導度の計算が、第5章ではキタエフ模型に対する光学伝導度の計算が述べられています。特に第5章では、上述のように実験結果との比較が述べられています。第6章で論文全体が要領よくまとめられています。2つの補遺には、本文で用いた複雑な計算が掲載されています。

なお、第2章と第5章は桂法称氏・小形正男氏・宮下精二氏との共著論文に基づいていますが、アイデアから具体的な計算までボロンス氏が主体となって行なったものと認められ、ボロンス氏の寄与が大半を占めると判断します。第4章はボロンス氏の単著論文に基づきます。

以上のことから、ボロンス氏は物理学、特に統計物理学に新しい知見を与える業績を上げ、博士（理学）の学位を授与するにふさわしいと認めます。