

量子スピン液体で発現する創発準粒子の トポロジカル特性の安定性とその制御

那須 謙治 / 横浜国立大学 大学院工学研究院 准教授

前回は引き続き、D02 班として公募研究に参加させていただいております。今回は、「量子スピン系に内在するマヨラナダイナミクスとそのトポロジー」ということで、最近注目を集めている量子スピン系であるキタエフ模型で現れるマヨラナ準粒子のトポロジカルな性質が物性に与える影響を明らかにするために、特に熱輸送特性に焦点を当てて研究を行ってきました。ここでは、キタエフ模型の縦及び横成分の熱伝導度の温度変化を数値計算によって計算し、量子スピンの分数化して生じた遍歴するマヨラナ準粒子のトポロジカルなバンド構造と局在する Z_2 ゲージ場の揺らぎが物性に与える影響を調べました。

次の段階として、磁場をはじめとした様々な外場によるマヨラナ準粒子の持つトポロジカル特性の制御や、乱れや不純物などによるその安定性を解明することが必要と考え、本研究課題に取り組むことにしました。その中で、最近得られた成果に関してご紹介いたします。

キタエフ模型は磁場を導入すると可解性が失われてしまうため、これまで磁場は摂動的に扱われてきました。最近私たちは、摂動論を超えた磁場依存性を議論するために、マヨラナ形式を用いた平均場近似などを用いて、キタエフ模型の磁化過程を調べました [1]。その結果、磁場による量子スピン液体の安定性は、強磁性的な場合と反強磁性的な場合で大きく異なり、特に後者では、量子スピン液体と強制強磁性状態の間に中間相があることを見つけました。この中でも、量子スピン液体と中間相の間では、マヨラナ準粒子のバンド構造のトポロジカル転移を伴うことがわかりました。最近、f 電子系を用いることで反強磁性的なキタエフ相互作用を実現できることを示唆する理論研究もあり、今後、実験的な検証も可能になるかもしれません [3]。

キタエフ模型は、2次元蜂の巣格子上で定義されていますが、実際の物質との対応を議論する上では、3次元性による量子スピン液体の安定性を



なす・じょうじ

1983 年生まれ 山形県出身。
2006 年東北大学理学部卒業。
2011 年博士(理学)(東北大学)
取得。その後、東北大学大学院
理学研究科助教、日本学術振興
会特別研究員、東京工業大学理
学院助教を経て、2018 年 12 月
より現職。

明らかにすることも重要です。それを調べるために、キタエフ模型の層間をハイゼンベルグ相互作用で 3 次元的に接続した場合を考えましたが、この場合は、磁気秩序が実現しないことを示すことができました [2]。より詳細な解析をするために、蜂の巣格子を 2 枚重ねた系を考えると、量子スピン液体は、層間の相互作用を導入したとき Z_2 ゲージ場の励起エネルギー程度まで安定的に存在することがわかりました。

実は上記 2 つの研究は、私たちが arXiv 投稿した後に、海外の別のグループから類似した内容の研究結果が arXiv にアップされ、国際的な競争の激しさを実感しました [4,5]。今後は、新しい視点から研究に取り組み、本学術領域に寄与できるよう努めていきたいと思っております。

本研究は、求幸年氏、加藤康之氏、紙屋佳知氏、古賀昌久氏、富重博之氏との共同研究によって得られたものです。この場をお借りして感謝申し上げます。

- [1] JN, Y. Kato, Y. Kamiya, and Y. Motome, Phys. Rev. B **98**, 060416(R) (2018), arXiv:1805.02423.
- [2] H. Tomishige, JN, and A. Koga, Phys. Rev. B **97**, 094403 (2018), arXiv:1712.09050.
- [3] S.-H. Jang, R. Sano, Y. Kato, and Y. Motome, arXiv:1807.01443.
- [4] U. F. P. Seifert, J. Gritsch, E. Wagner, D. G. Joshi, W. Brenig, M. Vojta, and K. P. Schmidt, Phys. Rev. B **98**, 155101 (2018), arXiv:1806.01852.
- [5] S. Liang, M.-H. Jiang, W. Chen, J.-X. Li, and Q.-H. Wang, Phys. Rev. B **98**, 054433 (2018), arXiv:1806.04184.