

トポロジカル超伝導マヨラナ準粒子励起の操作と新奇機能の理論探索

胡 暁 / 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 ユニット長

近年トポロジカル超伝導のゼロエネルギー準粒子励起を用いたトポロジカル量子計算が注目を集めています。これらの励起は電子とホールとの1対1の重ね合わせで、粒子と反粒子が等価になるため、マヨラナ準粒子と呼ばれています。マヨラナ準粒子が非アーベル量子統計に従い、縮退した基底状態を持つので、量子ビットに利用できます。この場合、マヨラナ準粒子の位置交換は縮退部分空間内での状態のユニタリ変換に相当し、ビット演算になります。

我々は量子渦を含むトポロジカル超伝導サンプルのエッジに現れるマヨラナ準粒子に着目し、そのトポロジカル的な操作方法を考案しました。奇数個の量子渦を含むトポロジカル超伝導体では、量子渦のコアだけでなく、サンプルエッジにも必ずマヨラナ準粒子が励起されます。図1のように、超伝導サンプルを繋ぐくびれ部分にゲート電圧を印加して、サンプル間の電子ホッピングを遮断することで、サンプル間の連結及び連結されたサンプルに含まれる量子渦数の奇・偶を実効的に制御できます。我々はこの性質を利用して、エッジマヨラナ準粒子の高速な移動及び位置交換方法を見出しました [1]。これによって、非アーベル統計が実現できることも明らかになりました。

本年度の研究活動の一つとして1次元トポロジカル超伝導についても調べました。超伝導ワイヤの両端にあるマヨラナ準粒子を利用すれば、空間的に離れた二つの量子ドット間の量子絡み合い状態を生成できます。我々は二つの量子ドットがそれぞれ電子によって占められる確率と量子絡み合いの度合いを示す物理量 concurrence の間の定量的関係を明らかにしました [2]。既に確立されている実験方法を用いて量子ドットの電子占有率を測定すれば、量子ドット間の非局所的絡み合いが正確に分かります。この性質はマヨラナ準粒子存在の検証にも利用できます。

[1] Q.-F. Liang, Z. Wang, and X. Hu, Europhys. Lett. **99**, 50004 (2012) [Editors' choice].

[2] Z. Wang, X. -Y. Hu, Q. -F. Liang and X. Hu, Phys. Rev. B **87**, 214513 (2013).



ふ・しおー

1961年中国安徽省生まれ。1979年中国北京大学物理系に入学。中退して1981年に東京大学に入学、1990年東京大学大学院理学系研究科物理学専攻博士課程修了。東北大学金属材料研究所助手・助教授、旧科学技術庁金属材料技術研究所主任研究員を経て、2007年から現職。筑波大学連携大学院教授も兼務。

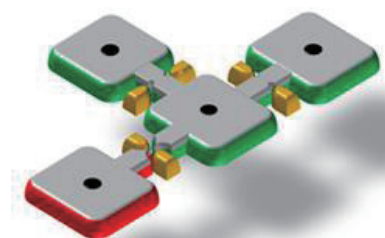


図1：マヨラナ準粒子の位置交換を行うデバイス