

Braid group, gauge invariance and topological order

東京大学物性研究所 佐藤昌利

E-mail: msato@issp.u-tokyo.ac.jp

最近、量子秩序相 (quantum order) とよばれる新しい相構造が強相関係において注目されている。これは、局所的なオーダーパラメーターで表わすことのできない、つまり伝統的な自発的対称性の破れの概念では取り扱えない相である。本講演では、量子秩序相のうち特にトポロジカル秩序相 (topological order) と呼ばれている相に関する我々の最近の仕事を紹介した。

トポロジカル秩序相とは、基底状態 (あるいは真空) が縮退しており、その縮退度が系のトポロジに依存している相として定義される。この相の概念は、元々、分数量子ホール効果の特徴づけるために導入されたが、現在では、より普遍的な系で成り立っていることが明らかになっている。分数量子ホール効果は、磁場中の 2 次元電子系という特殊な系で観測されているが、トポロジカル秩序相は、磁場のない系や、(空間が) 3 次元以上の系、またボソン系においても実現できることが知られている。

2 次元系において、トポロジカル秩序相を実現する条件の 1 つは、その相の励起子がエニオンであることである。つまり、エニオン統計に従う励起子が存在すると、基底状態が系のトポロジに依存してしまう事が知られている。また最近、励起子が分数電荷をもつこと、つまり系を構成する物質の分数倍の電荷を持つ励起子が存在することも、トポロジカル秩序相を実現するための条件の 1 つである事が明らかになった。ところが、励起子がエニオンでかつ分数電荷を持つ場合に、基底状態の縮退度がどのようになるかは、一部の場合を除いて明らかでなかった。今回、我々は、トポロジカル秩序相の背後に、ある代数構造 - トポロジカル代数 (topological algebra) - が隠れていることを見出し、これを用いて、上記 2 つの条件が共存する場合の基底状態の縮退度を求めた。

2 次元空間として、種数 g のリーマン面を考えたとき、トポロジカル代数は、励起子をリーマン面のサイクルにそって 1 周させる操作とリーマン面の穴に単位磁束を通す操作 (いわゆるラージゲージ変換) からなる。我々は、ブレイド群の代数構造と表現論、それからアハラノフボーム効果に関する考察により、その代数が、励起子の統計パラメーター、分数電荷の他に、もう 1 つパラメーターを持つことを示した。更に、そのパラメーターが分数量子ホール係数と密接に関連しており、リーマン面の異なる穴に関する異なるラージゲージ変換が互いに非可換となることが分数量子ホール効果の必要条件であることを明らかにした。より詳しい内容については、以下の文献を参照してください。

References

- [1] Masatoshi Sato, Mahito Kohmoto, and Yong-Shi Wu, *Phys. Rev. Lett.* **96**, 010601 (2006).