

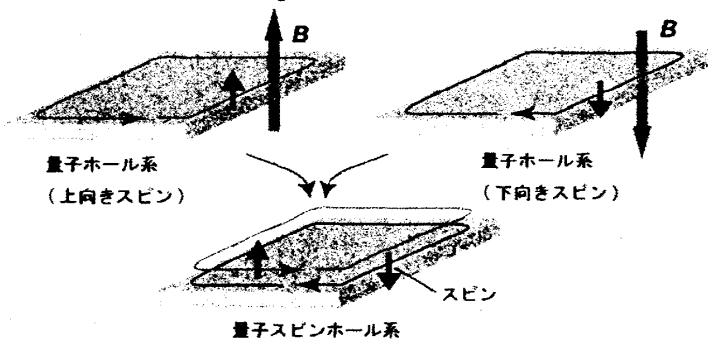
トポロジカルな絶縁体とエッジ状態

村上 修一

東京工業大学大学院理工学研究科物性物理学専攻； さきがけ、JST

スピンホール効果[1, 2]の研究から派生して、量子スピンホール効果[3]と呼ばれる新しい現象が理論・実験の両面から最近注目を集めている。これは量子ホール効果のスピン版であるが、量子ホール効果と異なり強磁場は必要なく、むしろゼロ磁場の場合を考えている。これはバルクでは絶縁体であるが、試料境界（2次元系のエッジや3次元系の表面）においてギャップレスな状態が存在するというものであり、量子ホール効果のカイラルエッジ状態を上向きスピン、下向きスピンの互いに反対向きに回るように重ね合わせたものと思えばよい（下図）。例えば2次元の場合には、このエッジ状態がスピン流を担い、非磁性不純物や相互作用に対して安定に存在する。こうした効果は、スピン軌道相互作用がスピンに依存した「有効磁場」の役割を果たすことで起こる。物質によっては、スピン軌道相互作用はこのような効果を出すのに十分な大きさを持つため、多くの非磁性絶縁体の中にも、（外部から場を加えたりせずに）こうした相が実現している物質がありうる。

こうした状態を特徴づけるのが「 Z_2 トポロジカルナンバ」 ν であり、 $\nu=1$ なら量子スピンホール相、 $\nu=0$ なら通常の（ギャップレスエッジ状態を持たない）絶縁相である。この Z_2 トポロジカルナンバはバルクの波動関数を用いて計算できるものであり、バルクのトポロジカルな性質がエッジ状態の存在として顕在化しているとみなせる。こうした相の候補として、最近我々は半金属Biを薄膜にしてギャップを開けると量子スピンホール系になると理論的に予言した[4]。これを第一原理計算と組み合わせ、 Z_2 トポロジカルナンバの計算を行っているのをそれを紹介する。こうした特異な秩序が非磁性の絶縁体に存在しうるということは興味深い[5]。講演では他のグループによる2次元・3次元量子スピンホール系の研究[6]にも簡単に触れる。



[1] S. Murakami, N. Nagaosa, and S. C. Zhang, Science 301, 1348 (2003).

[2] 村上修一、日本物理学会誌 62,2 (2007)

[3] C. L. Kane and E. J. Mele, Phys. Rev. Lett. 95, 146802, 226801 (2005); B. A. Bernevig, S. -C. Zhang, Phys. Rev. Lett. 96, 106802 (2006).

[4] S. Murakami, Phys. Rev. Lett. 97, 236805 (2006).

[5] S. Murakami et al., Phys. Rev. B 76, 205304 (2007); S. Murakami, New J. Phys. 9, 356 (2007); S. Murakami and S. Kuga, arXiv:0806.3309 (2008).

[6] B. A. Bernevig et al., Science 314, 1757 (2006); M. König et al., Science 318, 766 (2007); D. Hsieh et al., Nature 452, 970 (2008).