

超伝導体/強磁性体接合の最近の話題

北海道大学工学研究科 浅野泰寛

超伝導体に接合した金属へクーパー対が染み出す現象は近接効果と呼ばれている。ペアの侵入する距離は金属の拡散定数 D と温度 T を用いて $\xi_T = \sqrt{D/2\pi T}$ のように表わされる。金属を強磁性体で置き換えるとペアの侵入長は強磁性体の交換ポテンシャル h を用いて $\xi_h = \sqrt{D/h}$ で表わされる短い距離に限られる。元々クーパーペアはスピン上向きの電子と下向きの電子から出来ており、交換ポテンシャルがペアを壊してしまうからである。ペアを組む電子の波数も、 $(k, -k)$ から $(k+q/2, -k+q/2)$ のように変更を受け、重心運動量 q を持つ。その結果ペアの波動関数は ξ_h の距離で減衰するとともに同じく ξ_h の周期で符号を変えながら振動することが知られている。講演ではまずこれによって起きる強磁性体/超伝導体 (FS) 2 層膜の転移温度の変化や、超伝導体/強磁性体/超伝導体 (SFS) 接合のゼロ・パイ転移を説明する。

次に、接合界面でスピン反転散乱が起きると同種スピン 3 重項ペアが強磁性体に侵入し長距離近接効果を可能にする事、またこのペアが奇周波数対称性を持つことを示したうえで、ハーフメタル強磁性体を介したジョセフソン電流の研究を紹介する。2006 年デルフト工科大の実験を発端として、多くの理論研究がおこなわれてきた。ハーフメタルは一方のスピンの電子に関して金属であるが、他方のスピンの電子に関しては絶縁体として振る舞う強磁性体である。奇周波数ペアがジョセフソン電流を担うという理解のほかに、ボーズ凝縮を起こしたスピン波を伴ったペアが電流を担うという考え方もある。その後、ヘリカルな磁気構造をもつ強磁性体の近接効果などが議論されている。

最後にグラフェン上の FS 接合や SFS 接合における量子輸送現象に関して我々が行った最近の研究を紹介する。グラフェンは理想的な 2 次元物質で、電子は質量のないディラックの方程式で記述できるなど、理論的にも注目される物質である。強磁性グラフェンではフェルミエネルギーが交換ポテンシャルよりも十分小さいという、通常の金属強磁性体では不可能な極限が実現できる。我々はこの極限で、FS 接合のアンドレーエフ反射率が極めて大きくなることを見出している。その結果 SFS 接合のジョセフソン電流に奇妙な性質が現れる。