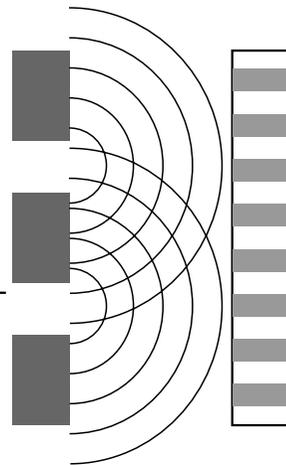


目で見て学ぶ 量子力学

第16回

実験でひもとく量子の不思議



磁力線の観察から超伝導を考える

マイスナー効果，ゲージ対称性とその破れ

外村 彰



16.1 はじめに

第二種超伝導体に磁場を印加すると，磁力線が超伝導体内部から排除される．磁場がさらに強くなると，排除しきれずに，細い糸の形の磁力線が内部に取り残される．この場合，超伝導電流の渦や磁束は量子化される．これが“磁束量子”である．今回は，電子波で見た磁力線の振舞いから，超伝導の内部で，どんなことが起こっているのかを考えてみたい．



16.2 超伝導体内部で何が起きているのか？

超伝導体に磁場を印加しながら，外部に出てきた磁力線を電子波で観察すると，内部の“クーパー・ペアの波”が温度や磁場に依存して，様々な振舞いをする事が分かる．

超伝導体の内部には，巨視的なクーパー・ペアの波が生じ，シュレディンガー方程式と類似の式に従う．その波動関数を $\Psi = R \exp(i\theta)$ とおき，磁場をかけたときの反応を考えよう． R と θ は，いずれも実数値をとる関数である． $|\Psi|^2 = R^2$ は，もはや電子の場合のように“電子の存在確率”ではない．たくさんのクーパー・ペアが同じ状態に凝縮した超伝導では， $|\Psi|^2$ は“電子密度” ρ そのものになる．

θ は，波動関数の“位相”で，波の挙動を決める上で，最も重要な量である． θ は，第12回で考えた電子波の場合と同様の式で求められる．ただし $\theta = \frac{S}{\hbar}$ である．

$$j = \frac{\hbar}{m^*} \left(\text{grad}\theta + \frac{e^* \mathbf{A}}{\hbar} \right) \rho. \quad (16.1)$$