

超伝導現象の基礎的理論

青木瑠也

大阪府立大学 工学域 電気電子系学類 電子物理工学課程 3 年

2015 年 6 月 13 日

1 Abstract

超伝導現象とは、特定の物質を極低温に冷却したときに電気抵抗が急激に消失する現象である。この興味深い現象が発見されたのは 1911 年のことであり、当時の科学者たちはこの現象を理論的に解明しようと躍起になった。いくつかの現象を手がかりにして、1935 年に London 兄弟による理論が発表され、1950 年には Ginzburg と Landau による理論が完成し、超伝導の現象論の基礎が確立した。また、1956 年には Bardeen, Cooper, Schrieffer の 3 名による微視的理論により、超伝導現象の基本的なメカニズムは解明された。

超伝導現象を室温程度で実現させることは現代の科学ではまだ実現しておらず、超伝導現象の発見から 100 年近く経った現在でもなお盛んに研究されている。もちろん、電力を始めとしたエネルギー問題への関心が高まっている昨今の状況を鑑みても、電気抵抗がゼロになるという超伝導現象が夢のような現象であることは言うまでもない。また、超伝導現象を記述する理論体系は非常に高い完成度を誇り、物性物理学にとどまらず、素粒子物理学等にも大きな影響を及ぼしている。したがって、超伝導現象の理論に触れることは我々にとって有意義なものだと思われる。

1.1 超伝導

超伝導現象の特徴的な性質は、電気抵抗の消失のほかに磁束の排除などがある。この磁束の排除は Meissner 効果と呼ばれる。また、超伝導はマクロなスケールで生じる量子的な現象と考えられており、磁束の量子化や Josephson 効果などはそれを端的に表している。他にも、超伝導体には第 I 種超伝導体と第 II 種超伝導体の 2 種類が存在することがわかっている。第 II 種超伝導体には、磁束の排除が完全ではない状態 (渦糸状態または混合状態という) が存在する。

超伝導に特有の現象は、電磁気学の基礎方程式である Maxwell 方程式からは説明できない。歴史的には現象論的な理論が始めに作られ、1935 年に London 理論、1950 年に Ginzburg-Landau 理論 (GL 理論) が登場した。そして、1956 年に超伝導のミクロなメカニズムを解明した BCS 理論が与えられた。

2 講演内容

まず、超伝導現象に関する一般的な性質や特徴について述べる。そして、簡単な電磁気学の知識から超伝導現象の理論的な記述について考えていく。その中で、超伝導に関する3つの理論についてその概要を述べる。

London 理論では、電流密度が磁場のベクトルポテンシャルに比例するという仮定から、簡単な方程式を得る。そして、その解から Meissner 効果を説明する。

GL 理論では、秩序パラメータがマクロ波動関数であるという仮定から、自由エネルギーを表す。その自由エネルギーが極小をとるという条件から、変分を用いて GL 方程式を得る。そして、GL 方程式が簡単に解ける場合について考えていく。

BCS 理論では、2つの電子がフォノンを介した引力相互作用により電子対を形成すると考える。BCS 理論により多くのことがわかるのだが、本公演では具体的な理論には触れず、要点を述べるだけにとどめておく。

参考文献

- [1] 丹羽雅昭, 『超伝導の基礎』, 第3版, 東京電機大学出版局 (2012).
- [2] 家泰弘, 『超伝導』, 朝倉書店 (2005).
- [3] Charles Kittel, 『キッテル固体物理学入門 上』 (宇野良清, 津屋昇, 他共訳), 第8版, 丸善出版 (2013).
- [4] 中嶋貞雄, 『超伝導 (岩波新書)』, 岩波書店 (1980).
- [5] 恒藤敏彦, 『超伝導・超流動』, 岩波書店 (1993).
- [6] 猪木慶治, 川合光, 『量子力学 II』, 講談社サイエンティフィク (2013).
- [7] 沢新之輔, 小川英一, 小野和雄, 『エース電磁気学』, 朝倉書店 (2007).