

超伝導相転移 - ごくごく低温で魅せる超現象 -

ごくごく低温の物質が見せる**超伝導**という現象のすごさを、2つの実験とともにご紹介します。

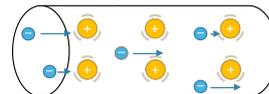
実験① 電気抵抗の降下を見る

演示実験では、4端子法という手法で超伝導体 (BISSCO と呼ばれる物質を使っています) の電気抵抗を測定します。低温に冷やした時の抵抗の値の変化を見てみましょう。

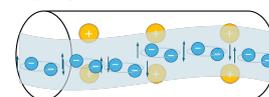
常伝導、超伝導

導体には原子核から離れて運動する自由電子があります。通常物質ではこれらの電子は単独で運動しますが、このとき物質中で振動する原子核によって流れが妨げられ、電流が減衰します。これが電気抵抗 (常伝導) です。一方、ごく低温まで冷やすと、電子はペア (Cooper 対) を作るようになります。すると、この電子ペアたちはごくごく低温で一つに集まって運動するようになり、この時減衰のない流れが生じて電気抵抗が0になります。

通常(常伝導)



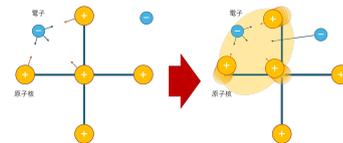
超伝導になると.....



どうしてペアをつくるの？

電子はマイナスの電荷を帯びているため普通は反発します。一方、物質中の電子は結晶格子状にたくさん並んだ原子核と引き合います。この引力によって結晶格子がゆがみ、ゆがんだ部分の+電荷の密度が大きくなるためそこに別の電子が引きつけられます。これは格子のゆがみ (格子振動) を介した電子どうしの相互作用、ということができます。

温度が下がると電子や原子核の熱によるゆらぎは小さくなり、この相互作用の効果が大きくなります。この効果が電子の反発力を超えて十分大きくなると、電子がペアを組んで超伝導への相転移が起こるのです。

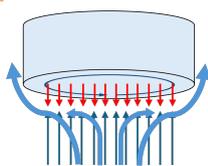


格子が歪んで、電子を引き付ける

実験② 超伝導体に磁場をかけると？

マイスナー効果

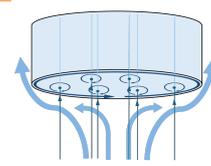
物質に磁場を近づけると、その磁場を打ち消す方向に磁場を生じさせるような渦状の電流が流れます。これを誘導電流と言います。ふつうの物質ではこの誘導電流は極めて小さいですが、超伝導体では電気抵抗0で電流が流れるため、大きな渦電流を作って外からくる磁場を排除することができます。これは**マイスナー効果**と呼ばれます。しかし、マイスナー効果で排除できる磁場の強さには限界があり、強すぎる磁場をかけると超伝導が壊されてしまいます。



渦電流が磁場を排除する

ピン留め

超伝導体の中には、不純物など一部に超伝導体とはならない領域を含むもの (第二種超伝導体) もあります。演示実験で使用している BISSCO もそのひとつです。この時磁場は超伝導でない領域のみに少しずつ侵入し、超伝導体はこのわずかに侵入した磁場に「刺された」ようになります (超伝導体内部で磁束が量子化される、といいます)。すると、磁場は超伝導の領域には入ることができないため超伝導体は動けなくなります。これが超伝導体の**ピン留め**です。



侵入磁場に「刺される」

謝辞

この実験では、超伝導体の提供から実験計画の立案に至るまで、東京大学理学系研究科物理学専攻の小林研介先生のご協力のもと行われました。また、安全管理の面において物理学専攻技術室の寺山様および物理学専攻事務室の皆様にお世話になりました。心より感謝申し上げます。