

担当:18.1

1. 前回、およそひと月前にあてられたときの担当が17.1で、今回18.1になるのですずっと概要と後ろの人に任せるばかりなところになって、なんか人任せな人みたいな印象を持たれる損な役回りなんですけども...
2. 役割当てるときにもう少し考えられなかったかなあ...なんて思っていないですけども。あ、悪口言っていないですよ〜

超電導の歴史

超電導の発見

1. 超電導の始まりは1911年、カマリンオンネスによって水銀で発見された
2. 水銀を冷やしていったら4.2Kまで冷やしていくと急激に手前では0.12Ω電気抵抗が急激に減少し、測定不可能になることを発見した。
3. 1911年以来、25種類以上の金属と1000以上の合金で見つかってて、歴史の変遷は図2に示す
4. 図2より1980年以前では3ニオブゲルマニウムが最も高い臨界温度(23.3K)を有していた。
5. 1911年に4.2Kだったのが1980年23.3Kなので70年で6倍程度しか上がってない。このまま指数関数的な挙動をするならば、2025年現在73K程度になると予測される。
6. 工業的に超電導を扱うとなると液体窒素でひやすことが予想されるので、77Kは超えておきたい。

酸化銅超電体

1. 1986年に、ニランタン四酸化銅にバリウムをドーピングしたものが超電導体であることが発見される(30K程度)。
2. このような酸化銅系の超伝導体をそのまま銅酸化物超電導体という
3. 同年ニランタン四酸化銅に「バリウム」ではなくストロンチウムをドーピングすれば40Kに達し、逆にランタンをイットリウムに変えたものは臨界温度が93Kに達した。
4. それから、ランタン部分とドーピングする材料を変えると100Kを超えるのが標準的になった。詳しい値に関しては下の表を参照
5. なので、無事に液体窒素の沸点77Kを超えることができたので、近代ではMRI、リニアモーターカーに利用することができた。

その他の超伝導体

1. ちょっと道筋からずれるが、有機超電導についても触れておく。
2. 皆さんがご存じの通り、常温では導電性があることは明らかである。
3. コンセントにシャー芯を入れるあれです。
4. 低温にするとバイエルス転移が起き、軌道が変形されてしまうので、導電性が失われてしまう。
5. しかし、1991年フラーレンにアルカリ金属をドーピングしたものが超伝導体になることが発見され、カリウムをドーピングしたフラーレンは18Kで超電導になることがわかった。これで有機超電導の道も開いた形になった。

6. また、二ホウ化マグネシウムが臨界温度40Kを記録し、さっきの表にあったようなぐちゃっとした化合物ではなく、二成分のきれいな超電導体が発見された。

超電導の理論

従来型と非従来型

1. 次に超電導の理論に立ち入っていきます。
2. 超電導の理論は大きく二つに分かれ、従来型超電導と非従来型超電導になる
3. 従来型超電導はフェルミエネルギー付近の電子の引力相互作用によって、
4. 非従来相互作用はほかのメカニズムによって引き起こされるものになります。
5. 先ほどの三ニオブゲルマニウムが従来型超電導であり、酸化銅超電導体が非従来型超電導です。
6. どちらにしろ、バーディーン、クーパー、シュリーファーが発見したBCS理論によって説明が可能である。
7. 詳しい話はおそらく後ろの方々がやってくれると思いますのでここでは割愛します。

マイスナー効果概要

1. 超電導体は抵抗がないというだけでなく、完全反磁性体という特徴を持ちます
2. この特徴は1933年にマイスナートオクセンフェルトによって発見されて、マイスナー効果と言われる
3. よく動画で見るような、磁石が浮くやつですねw
4. この効果は根本的にはゼロ抵抗の話と同一で、表面層を流れる反磁性遮蔽電流と、無損失の超電流にあります。
5. 詳しくは付録2にあるので時間があれば触れたいと思います

マイスナー効果の計算理論

1. 内部磁場は磁化と外部磁場の和によってあらわされる。
2. 下の式の 4π はGCSによってついています。
3. 超電導内部では磁場が0になるマイスナー効果があるので、磁化は外部磁場と逆向きで大きさは $1/4\pi$ であることがわかります。
4. よって磁化率が $-1/4\pi$ になる。これはだいたい-0.1程度であり、通常の磁化率 10^{-6} に比べて大きい値を持つことがわかります。
5. 元のテキストにはone milion timesと書かれていたが、0.1から 10^{-6} であれば10万倍な気がするんですけどね...まあ、それはいいとしてw

臨界磁場について

1. 小さい磁場ではこのような強い磁化率を持つが、磁化が強くなると超電導状態は破壊される。
2. この破壊されるのと、破壊されないのの境界の磁場を臨界磁場という
3. 臨界磁場は試料の特性と形状によって決定され、特性は第一種超伝導体と第二種超伝導体に分けられる
4. 下の図4を見てもらえば差がわかると思うんですけど、第一種超電導はある臨界磁場を境にきっかり別れ、第二種超電導ではグラデーションのように磁束が貫かれている。

第一種超伝導体

1. では詳しく第一種超伝導体から
2. 第一種超電導体では臨界磁場が一つであり、この磁場を超えると常磁性体になる。
3. この臨界温度は温度依存性を持ち、多くの第一種超伝導体では放物線状になる。
4. これはネタバレになりますが、18章の5節くらいまではこの式の証明を進めていく感じになります。
5. 第一種超電導の磁化は内部磁場が0になることより、直線上になり、グラフは図6になります。
6. 常磁性体になった後は、まったくの0であるわけではないが、先ほどもやったとおり、10万分の一の傾きしか持たないのでほぼ0になってしまう。

第二種超電導体

1. 第二種超伝導体には臨界温度が二つあり、それぞれを上限臨界磁場、下限臨界磁場という
2. 下限臨界磁場より低い場合は超電導状態であり、磁化は直線上になる
3. 臨界磁場の間にいる間は磁束が部分的に貫通し、それぞれの磁束は三角格子状に分布する。
4. それらの貫いた磁束は渦と読まれ、各渦は等しい量子磁束 $2.0679 \times 10^{-7} \text{gauss.cm}^3$ になる
5. 貫通している磁束の図をここに載せたかったのですが、集合体恐怖症じゃない自分でもうわっとなったので、クリックしたら一番下においてある、ところまで飛ぶようにしています。
6. 興味が出ればクリックしてみてください。
7. では続きに行きます。外部磁場を増やしていくと渦の密度が増え、磁化が減少していく。
8. この状態の事を混合状態といい、あぶりこそふの理論計算によると、以下の式になることがわかっています。
9. 上限磁場を超えるときは常磁性体になるので磁化はほぼ0になります。
10. 今までの話をまとめると以下のグラフになります。

まとめ

1. 今日のまとめをしていきます。
2. 1911年に水銀が超電導になることが発見されてから、超電導の研究がすすめられて、現在では液体窒素の沸点を超えることができ、実用化がかなっている。
3. 超電導には二種類が存在し、外部磁場によって磁化のふるまいが変わる。