



Superleder og Meissner-effekten

Fusion og Plasma Road Show
Filip Anselm Rasmussen, Risø, 10. oktober 2007

Introduktion

Dette eksperiment illustrerer hvordan superledning giver anledning til Meissner-effekten, der bl.a. kan få en magnet til at svæve.

Emner: Superledning, magnetisme.

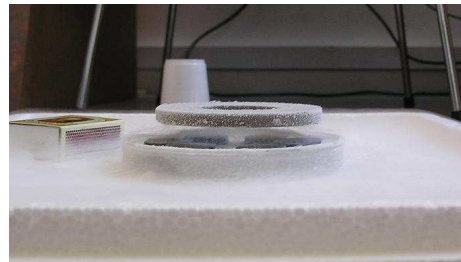
Materialer

- Kraftig magnet (fx Neodymium)
- Højtemperatursuperleder
- Flydende nitrogen
- Skål til at holde superleder og nitrogen
- Tang
- Isolerende handsker
- Beskyttelsesbriller

Forsøgsbeskrivelse

Superlederen lægges i en skål og den permanente magnet holdes ca. 1 cm over superlederen, fx med en tang eller et par tændstikæsker. Hvis en tang anvendes bør man holde denne med en isolerende handske og under alle

omstændigheder bør man bruge beskyttelsesbriller. Herefter køles superlederen ved at hælde flydende nitrogen over den. Nitrogenen vil begynde at koge voldsomt når det kommer i kontakt med den varme skål og superleder og vil derfor oftest hurtigt fordampe væk. Bliv derfor ved med at hælde flydende nitrogen over superlederen indtil at fordampningen er meget lille og man ikke længere kan høre væsken koge og boble. Når det vurderes at superlederen er kold nok slippes magneten eller tændstiksæskerne trækkes vandret væk under magneten med en tang. Man vil nu opleve at magneten forbliver i sin position og svæver et stykke over superlederen, som det kan ses på figur 1. Det kan også lade sig gøre at få magneten til at svæve uden at holde denne fast et stykke over superlederen under nedkølingen. Hvis først superlederen køles ned under dens kritiske temperatur kan man p.g.a. højtemperatursuperlederens unikke egenskaber få magneten til at svæve ved at mase denne ned mod superlederen. Man vil da først mærke en stærk frastødning og man skal passe på at magneten eller superlederen ikke smutter fra én, men efter et passende tryk kan man slippe magneten hvorefter den forbliver i sin position et stykke over superlederen.



Figur 1: Ringformet magnet, der svæver ca. 1 cm over en superleder nedkølet til -192°C med flydende nitrogen.

Sikkerhed

Den stærke neodymiummagnet kan nemt klemme fingre og hud hvis man ikke sørger for at holde den i forsvarlig afstand til andre magneter eller magnetiske materialer. Flydende nitrogen skal altid håndteres med varsomhed, da man kan få slemme forfrysninger ved kontakt med den kolde væske. Man bør altid anvende sikkerhedsbriller når man hælder væsken ud for at forhindre at ens øjne bliver ramt af sprøjt, hvilket kan være ganske alvorligt. Det anbefales ikke at anvende fx strikhandsker i situationer, hvor man kan komme til at røre ved væsken, da strikhandskerne vil suge denne og bringe den i tæt kontakt med ens hud.

Teori

En superleder er et materiale, der når det køles ned under en bestemt kritisk temperatur, slet ikke yder nogen elektrisk modstand. Det er derfor muligt at få en strøm til at løbe i materialet uden at den teoretisk set nogensinde vil blive mindre eller forsvinde. Superledere kan deles ind i to grupper: type I og type II, idet der er to forskellige fysiske fænomener bag deres superledningsevne. Type I er den klassiske type superledere og samtidig nogle af de første der blev opdaget. Type I superledere er hovedsageligt rene grundstoffer som fx tin og deres kritiske temperatur er typisk meget tæt på det absolute nulpunkt, hvorfor man i lang tid tvivlede på superledernes anvendelse. Type II superledere består hovedsageligt af legeringer og keramiske materialer, selvom nogle enkelte grundstoffer hører til denne kategori (bl.a. niobium, technetium, vanadium og kulstofnanorør). Efterhånden har man desuden fundet en del type II superledere, der har en kritisk temperatur, som er mange gange større end dem for type I superlederne, hvorfor man kalder dem højtemperatursuperledere. Der er fundet en fulstændig forklaring på type I superlederfænomenet, der kaldes BCS-teorien. Denne går kort fortalt ud på, at en elektron, der bevæger sig hurtigt gennem metalgitteret, vil tiltrække de nærliggende positivt ladede atomkerner, men da disse bevæger sig meget langsomt, vil de nærme sig elektronens bane med en lille smule forsinkelse. Når elektronen har passeret atomkernerne vil disse imidlertid søge tilbage til deres ligevægtsposition, men dette foregår igen så langsomt, at de danner en kort positiv ladet hale efter elektronen. Den positive hale vil så tiltrække en anden elektron, der så vil bevæge sig lige efter den første, og tilsammen danner de to elektroner et såkaldt Cooper-par, der medfører nogle andre kvantemekaniske egenskaber. Et Cooper-par kan nemlig opfattes som en boson ¹, hvorimod en enkelt fri elektron er en fermion. Det specielle ved bosoner er, at når de køles ned under en bestemt temperatur, sker der en faseovergang, den såkaldte Bose-Einstein-kondensation, hvorefter de udgør en såkaldt superfluid. En superfluid er kendetegnet ved, at den ingen viskositet, dvs. mekanisk modstand, har. Når elektronerne overgår til denne tilstand møder de altså ingen modstand på deres vej og kan dermed bevæge sig frit i hele krystalstrukturen, og herved opstår superlederen.

Et af de andre fænomener superledning medfører er Meissner-effekten. Når man bevæger en magnet mod en leder, vil der i lederen, jf. Faradays induktionslov samt Lenz' lov, blive induceret et modsatrettet magnetfelt, der vil udligne det påstrykte magnetfelt og derved frastøde magneten. Dette gælder for alle ledere og ligeså superledere. Det specielle ved superledere er, at når de køles ned under deres kritiske temperatur mens de er udsat for et konstant magnetfelt, vil de ekskludere alle magnetfeltlinjer fra deres indre og

¹Alle elementarpartikler kan inddeles i to grupper: fermioner, der har halve spin og bosoner, der har hele spin

kun tillade et svagt magnetfelt at eksistere få nanometer ind i deres overflade. Dette skyldes egentlig blot Lorentz-kraften, samt deres superledende evne. I et magnetfelt vil ladede partikler, såsom elektroner, pga. Lorentz-kraften bevæge sig i cirkelbaner, og for superledere vil cirkelbanerne give anledning til en cirkulær strøm. Strømmen skaber et magnetfelt, der har netop samme størrelse men modsat retning som det ydre magnetfelt. Dette resulterer i at der ikke vil være noget magnetfelt inde i superlederen, hvilket er det fænomen, der kaldes Meissner-effekten. Da superlederen hele tiden vil forsøge at modvirke ændringer i den ydre magnetfelt kan man få en magnet til at svæve over superlederen, som vist i dette eksperiment.

De superledere man normalt anvender til dette eksperiment er dog ofte højtemperatursuperledere, der er af type II. Disse udviser samme fænomener som type I, såsom superledningsevne og Meissner-effekt, men har desuden nogle andre egenskaber. Udover en kritisk temperatur, har superledere ligeledes en kritisk feltstyrke; en grænse for hvor stort et magnetfelt materialet kan udsættes for, før det mister sin superledningsevne. Det specielle ved type II superledere, er at de har to kritiske feltstyrker. Når den laveste kritiske feltstyrke overskrides ophører Meissner-effekten til dels, men materialet fortsætter med at være superledende. Når den anden kritiske feltstyrke overskrides ophører stoffet med at være superledende. Mellem de to kritiske feltstyrker kan et magnetfelt godt trænge igennem superlederen, men dette gælder kun for nogle små tynde kanaler gennem stoffet. Fysikken bag type II superledere er langt mere kompleks end den for type I og er endnu ikke fuldt ud forstået, men faktum er at disse har vist sig langt mere anvendelige og har nogle meget interessante egenskaber.

Yderligere information

<http://ntserv.fys.ku.dk/nysyn/forenede.html>

Let forståelig, men samtidig dybdegående forklaring på superledere samt deres historie. Meget anbefalesværdig.

<http://en.wikipedia.org/wiki/Superconductivity>

Wikipedias forklaring på superledningsfænomenet.