

Supraledare – kalla dem oemotståndliga

Det finns många drömmar om hur den supraledande teknologin skall revolutionera vår vardag. Datorer som är miljontals gånger snabbare än dagens, förlustfria eltransporter, svävande tåg och energisnål utrustning. Än är vi inte framme vid dessa drömmar, men forskningen inom detta område tar hela tiden små, men avgörande steg mot målet. En motståndsfri ledare vid rumstemperatur.

Vad innebär supraledning?

När det material som används till supraledning kyls under en viss kritisk temperatur får materialet plötsligt helt nya egenskaper. De temperaturer det handlar om är i vanligaste fall mycket låga. En av de nya egenskaperna visar sig vara, att ström kan flyta i materialet utan något som helst elektriskt motstånd. Till skillnad från vanliga metaller där resistansen gör att en del av den elektriska energin försvinner i form av värme.

En annan viktig egenskap är att magnetfält inte kan tränga igenom en supraledare, den så kallade Meissnereffekten. Meissnereffekten ses alltså, när en magnet svävar över en supraledare.

Supraledarnas historia

Supraledarens historia började 1911 i Leiden. Den holländske fysikern Heike Kammerling-Onnes hade några år tidigare vunnit tävlingen mellan de olika lågtemperaturlaboratorierna: nämligen att uppnå en så låg temperatur att heliumgas övergår i vätskeform.

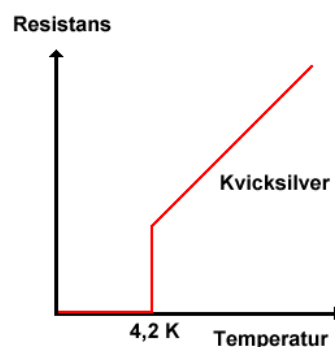
Efter denna upptäckt började Kammerling-Onnes med att försöka avgöra hur det elektriska motståndet i metaller skulle uppträda när temperaturen närmade sig den absoluta nollpunkten¹ 0 K. Att resistansen ökade när temperaturen ökade visste han, men hur blev det när temperaturen gick mot 0 K.

På den tiden fanns det två helt motsatta teorier: (1) det elektriska motståndet blev oändligt stort, eller (2) det elektriska motståndet försvann gradvis och närmade sig 0. Teori (1) grundade sig på att alla elektroner hade frusit fast, vilket nu är bevisat att inte vara sant. Teori (2) antog att all rörelse som motverkade elektronernas rörelse hade avstannat vid 0 K.

Kammerling-Onnes ville arbeta med så rena material som möjligt, då föroreningar kunde göra resultaten svårtolkade. Så han valde kvicksilver eftersom det kunde destilleras så att nästan alla föroreningar försvann. Experimentet med kvicksilver visade att båda ovanstående teorier var felaktiga. För vid 4,2 K förlorade kvicksilvret plötsligt all sin resistans, se figur 1. Den första supraledaren var född, och 1913 fick han Nobelpriset för sin upptäckt av supraledning och flytande helium.

Forskning efter nya supraledare med högre kritisk temperatur fortsatte eftersom det flytande heliumet var både svårframställt och dyrt.

Under 1940-70-talen blomstrade forskningen och man lyckades höja den kritiska temperaturen till 23 K. Många forskare trodde i då att det fanns ett övre tak för supraledning på cirka 30 K.



Figur 1 Resistansen för kvicksilver när temperaturen går mot 0 K.

¹ Absoluta nollpunkten 0 K (Kelvin), motsvarar $-273,15\text{ }^{\circ}\text{C}$

Det var först 1986 det kom ett genombrott, när två forskare i Schweiz kunde påvisa supraledning vid cirka 35 K. Den magiska gränsen var bruten.

Det riktigt stora genombrottet kom dock 1987. Då två oberoende forskare lyckades påvisa supraledning redan vid 92 K ($\approx 180^\circ\text{C}$) i en legering av yttrium, den så kallade YBCO.

Det mest sensationella med denna supraledare var att den var enkel att tillverka och den gick att kyla ned med det billiga flytande kvävet.

Sedan 1987 har nya supraledande material hittats vid ännu högre kritiska temperaturer: tallium- och vismutlegeringar vid 125 K och kvicksilver under högt tryck vid 164 K. Även organiska material har påvisats supraledande, till exempel C^{60} .

En forskargrupp i Grenoble påvisade 1994 supraledning vid -3°C i ett prov, som framställdes av koppar, barium, kalcium och kvicksilver i kombination med syre. Deras kollegor i Paris använde en annan sammansättning och uppnådde supraledning vid en temperatur vid -23°C . Kan man, som Grenobleforskarnas experiment antyder, nå ända upp till det symboliska tröskelvärdet 0°C , är vägen öppen för en explosiv framtida utveckling.

Det finns ännu inga säkra bevis för den nya upptäckten, men jorden runt ser forskare optimistiskt på de möjligheter den nya teknologin kommer att ge. Det återstår dock ännu mycket arbete, både med att fastslå om de är frågan om supraledning, och med att bestämma atomstrukturen i de material som framställts.

Så fungerar en supraledare

När det passerar ström genom våra vanliga kopparledningar bildas det värme på grund av att elektronerna kolliderar och stöter mot atomerna i ledaren. Ledaren har alltså en resistans.

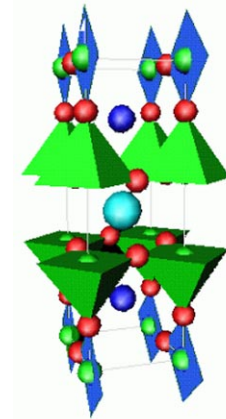
I en supraledare uppför sig elektronerna på ett helt annorlunda sätt. De atomer som förut hindrade elektronens framfart finns fortfarande kvar, men elektronerna betar sig på ett mer ordnat sätt. Elektronerna kan ta sig fram med hög fart utan att kollidera med ledarens atomer.

En av de första teorierna om hur supraledning uppför sig, kom först 1957. De tre forskarna Bardeen, Cooper och Schrieffer kom med grundidén. BCS-teorin sa att elektronerna bildar par, som gör att de lättare kan ta sig fram i det supraledande materialet, utan att krocka med materialets atomer.

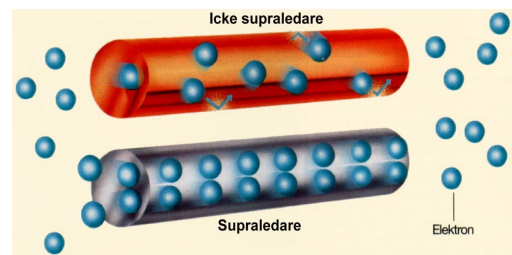
Det motsägelsefulla i denna teori är att två partiklar med samma laddning kan bilda ett par. Borde de inte repelleras? Svaret på denna fråga är inte självklart.

När en elektron passerar förbi en atom i ledningsmaterialet förvrängs atomen. På grund av atomens förvrängning och elektronens snabbhet bildas det ett positivt laddat område som attraherar en annan förbipasserande elektron. Det sägs att ett Cooper-par har bildats.

Det är inte alla material som kan bli lämpliga supraledare. Att ett vanligt material är en bra ledare, betyder inte att det är en bra supraledare. Vid rumstemperatur krävs mycket låga temperaturer för att hindra den stora rörelsen i materialets atomer. Detta är en av de stora anledningarna till att rena metaller ofta är olämpliga.



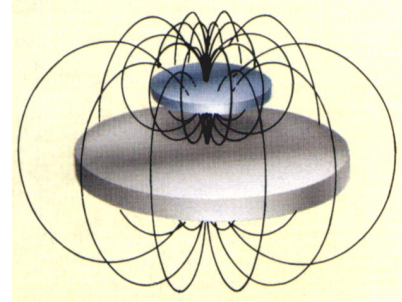
Figur 2 Struktur för supraledaren $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$ (YBCO).



Figur 3 Elektronerna i vanlig ledare studsar mot atomerna, men i supraledaren bildar elektronerna par och tar sig igenom obehindrat.



Figur 4 Den svävande magneten beror på Meissnereffekten i supraledaren.



Figur 5 Magneterna lyfter sig precis så långt över supraledaren att dess magnetfältslinjer inte tränger in i supraledaren.

Meissnereffekten

Något man ofta får se när det talas om supraledning är just figur 4, en magnet som svävar. Då kan man ju fråga sig vad det har med supraledning att göra.

För att få kallas supraledare räcker det inte bara med att sakna elektriskt motstånd under den kritiska temperaturen, den måste även uppvisa Meissnereffekt.

Meissnereffekten är just det som visas i figur 4 och 5. Där har en magnet placerats ovanför en supraledare. Ju närmar magneten kommer supraledaren desto mer sammanpressade blir magnetens fältlinjer. Till slut blir de så sammanpressade att de bär upp hela magnetens tyngd. Det är supraledarens förmåga att stöta bort de magnetiska fältlinjerna som kallas Meissnereffekt.

Det supraledande materialet

I dagsläget finns det massor med olika material som blir supraledande. Bland dessa material finns rena metaller, till exempel bly och tenn. Nackdelen med de rena metallerna är att det oftast behövs extremt låga temperaturer för att de skall bli supraledande.

De supraledare med högre kritisk temperatur är i regel oftast en legering av olika metaller och kopparoxid. Dessa supraledare är än så länge ganska svåra att forma då de är ganska spröda. Högtemperatursupraledarna tål än så länge inte höga magnetfält och stor strömtäthet. Men forskarna säger lite reserverat att detta problem kommer att kunna överbryggas i framtiden.

Vanligaste kylmedlet för supraledare är kväve

När man lyckades påvisa supraledning vid 92 K innebar det att man kunde börja använda det billiga flytande kvävet. Kvävet har sin kokpunkt vid 77 K, och kunde ersätta det mycket dyra flytande heliumet.

I praktiken är det ändå inte fullt praktiskt med dessa kylmedel. Att placera ut supraledande sensorer på havsbotten och sedan vara tvungen att åka och fylla på flytande kväve skulle vara mycket ineffektivt. Forskarna försöker därför utveckla mekaniska kylanläggningar. Först när dessa kylanläggningar blir tillräckligt små, billiga och effektiva som supraledarna kan slå igenom.

Förhoppningar finns också att man skall hitta supraledare som fungerar vid 0 °C eller högre. Detta skulle leda till att kylningen skulle vara ett ganska litet problem. Den teknik som finns för frysboxar och kylar skulle räcka för sensorerna på havsbotten.

Så används supraledarna idag

Tack vare de starka och konstanta magnetfält som kan alstras av supraledarna har bland annat sjukvården fått nya hjälpmedel. Det starka magnetfältet används vid en magnetisk resonansavbildning (MRI). Patienten placeras i ett kraftigt magnetfält som slås av och på ett antal gånger. Atomer i de delar som skall undersökas rör sig med magnetfältet och skickar ut signaler. Signalerna samlas upp och tolkas i en dator. Resultatet presenteras i form av en bild från den del av kroppen som befann sig i fältet, till exempel vår hjärna.

Supraledarna används även för att göra mycket känsliga sensorer, för att uppfatta extremt svaga signaler. Dessa små sensorer kallas SQUID (Superconducting Quantum Interference Device) och upptäcktes på 1960-talet. Den klarar av att registrera ändringar motsvarande 100 miljarder gånger svagare än jordens magnetfält.



Figur 6 Magnetisk resonansavbildning, MRI.

Partikelacceleratorer med supraledande magneter

Principen för en partikelaccelerator är att man försöker accelerera partiklar till nära ljusets hastighet¹, och låter dem sedan kollidera. För att nå upp i dessa enorma hastigheter krävs gigantiska magneter.

De traditionella elektromagneterna var enorma energislukare. Man var hela tiden tvungen att tillföra energi för att de skulle upprätthålla ett konstant magnetfält.

Till detta ändamål är de supraledande magneter idealiska. Det räcker med att man startar en ström i den supraledande magneten för att ett konstant magnetfält skall uppstå. Sedan behöver man inte tillföra mer energi, supraledningen ser till att ingen energi går förlorad i magneten.

Högre kvalitet på radiokommunikationen

I nästan all kommunikationsutrustning finns det något slags filter. Filtret skall kunna plocka fram den eftersökta signalen ur ett hav av andra signaler och brus. Vid allt högre frekvenser blir det svårare att få ut en ren signal. Mycket beroende på att ledningsmaterialets resistans tar mer och mer energi från den elektriska signalen vid högre frekvenser.

De dåliga filtren gör det svårt för satellitkommunikation och radioteleskop att få ut rena signaler. Men tack vare de supraledande filtren kan man få ut en mycket bättre signal hos mottagaren.

Supraledarens framtid

Sökandet efter en supraledare som kan fungera vid rumstemperatur ligger inte allt för långt in i framtiden. Forskarna strävar också efter att hitta supraledande material som kan formas till en tråd. Om man kan tillverka tunna supraledande trådar skulle man genast kunna göra mycket mindre och energisnålare elmotorer. Detta tack vare att trådarna saknar resistans och kan alstra starkare magnetfält. Dessa motorer skulle innebära en rejäl knuff framåt för elbilarna

¹ Ljusets hastighet $\approx 300\,000\,000$ km/s



Figur 7 Modell av det japanska maglevtåget MLX-01.

Snabba och tysta tåg med supraledning

Magnetdrivna tåg börjar bli ett intressant alternativ tack vare supraledarteknologin. Den forskning som har utförts i Japan har resulterat i maglevtåget (MAGnetically LEvitated Vehicle) MLX-01. Tåget använder sig av Meissnereffekten för att både sväva över de specialbyggda rälsen och för att drivas fram i en hastighet runt 350 km/h.

Eftersom tåget svävar ovanför rälsen blir resan mycket bekvämare för tågets resenärer, då skakningar och ljud är minimala.

Snabbare datorer

Processortillverkarna har redan börjat utveckla avancerade kylsystem för sina produkter. En Alpha-processor från Digital Equipment fick sin hastighet ökad från 600 MHz till 800 MHz efter nedkylning.

Detta är dock ej riktig supraledning. Man har förutspått att när supraledning tar sig in i CMOS-kretsarna kommer datorerna att bli flera miljoner gånger snabbare. I ett extremfall kommer ljusets hastighet att vara det som begränsar datorns hastighet. Ljus och elektriska signaler går 300 000 km/s vilket motsvarar 30 cm på en period av 0,000 000 001 sekunder (1GHz). Vill man göra en dator som klarar en elementär operation under denna tid så måste den vara mindre än 30 cm.

Referenser:

- *Rapp, Östen* "Forskningens frontlinjer: Supraledning"
Almqvist & Wiksell, Göteborg 1992.
ISBN 91-22-01521-3
- *Dahl, Per Fridtjof* "Superconductivity"
American Institute of Physics, New York 1992.
ISBN 0-88318-848-1
- *Krane, Kenneth* "Modern Physics"
John Wiley & Sons, New York 1983
ISBN: 0-471-89242-4
- *Sønderberg, Leif* "Nu flyttar supraledarna in i värmen"
Illustrerad Vetenskap Nr 12/1994 sid. 54-57.
- *Folger, Tim* "Call Them Irresistible"
Discover magazine, September 1995
<http://coldfusion.discover.com/output.cfm?ID=553>
- *Cedervall, Gittan* "Snabbare PC med nedkyld processor"
Elektroniktidningen, Nr 19/1997
<http://www.et.se/elektronik/arkiv/1997/9719/40.html>
- Bonniers lexikon band 18.
Ytterlid 1997.
ISBN 91-632-0056-2