

Supraleiter - Widerstand ist zwecklos!!!

Gliederung:

1. Geschichte des Supraleiters
2. BCS-Theorie
3. Supraleiter Typ 1
4. Supraleiter Typ 2
5. Anwendungsgebiete

1. Die Geschichte des Supraleiters



1911 untersuchte der niederländische Physiker Heike Kamerlingh Onnes die elektrische Leitfähigkeit von Quecksilber bei Temperaturen nahe des absoluten Nullpunktes. Dabei nahm er an, dass sich die Elektronen fest an die Atome binden würden und darum kein Stromfluss möglich wäre. Zu seinem Erstaunen musste er allerdings feststellen, dass wenn er Quecksilber auf weniger als 4 Kelvin abkühlte, es seinen elektrischen Widerstand vollkommen verlor und Strom verlustfrei leitete. Diesen Zustand nannte er „supraleitend“. Es brach eine Welle der Euphorie

aus, da man glaubte, einen Weg gefunden zu haben, um Strom über große Strecken verlustfrei transportieren zu können. Nach und nach wurde festgestellt, dass mehrere Elemente, wie zum Beispiel Blei, Zinn und Zink, und über hundert Legierungen ein ähnliches Verhalten aufzeigten. Die Temperatur, bei denen die Leiter zu Supraleitern werden, wird als Sprungtemperatur bezeichnet. Diese liegt bei den bisher gefundenen Supraleitern unter 7 Kelvin. Aufgrund dieser niedrigen Temperaturen benötigte man flüssiges Helium zur Kühlung. Da dieses flüssige Helium jedoch ziemlich aufwendig war, wurde die Supraleitung relativ unrentabel.

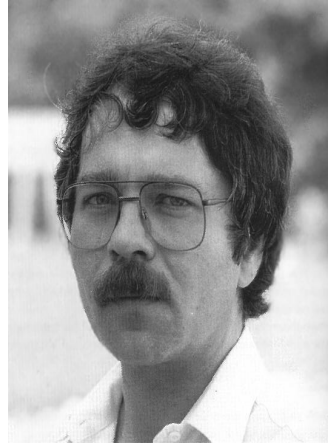
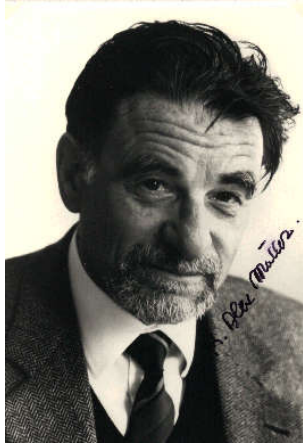


Bis heute gibt es keine einheitliche Theorie die besagt, wie genau Supraleitung entsteht. 1957 schlugen die drei Physiker John Bardeen, Leon Cooper und Robert Schrieffer eine quantenmechanische Theorie vor, die das Entstehen der Supraleitung

erklären sollte. Die Theorie wurde nach den Anfangsbuchstaben der Physiker BCS-Theorie genannt, für die sie 1972 den Nobelpreis erhielten. Diese besagt, dass sich die Elektronen unterhalb der Sprungtemperatur zu Paaren zusammenfindet, den sogenannten Cooper-Paaren. Diese Cooper-Paare kommen zwar in normalen Leitern auch vor, jedoch nur zu einem sehr geringen Anteil.

Da alle Cooper-Paare Teil desselben quantenmechanischen Zustandes sind, sind sie voneinander abhängig. Wenn nun eine Spannung angelegt wird, so bewegen sie sich in gleicher Weise, sodass ein Strom aus Cooper-Paaren ohne Widerstand fließt.

Weil wie bereits beschrieben die notwendige Kühlung für die Supraleiter sehr kostspielig war, schien das Thema Supraleitung ausgereizt und geklärt. Aus diesem Grund war die Aufregung groß und eine neue Euphoriewelle geweckt,



als es dem Schweizer K. Alexander Müller und dem Deutschen J. Georg Bednorz 1986 nach langwierigen Experimenten gelang, ein Material zu finden, das bereits bei 35 Kelvin supraleitend wurde. Dieses Material war die keramische Verbindung Lanthan-Barium-Kupferoxid. 1987 erhielten sie den Nobelpreis dafür. Nun begann die Suche nach Substanzen mit noch

höheren Sprungtemperaturen. Bald darauf wurde man auch mehrmals fündig. Der Rekord hält zurzeit Quecksilber-Barium-Kalzium-Kupferoxid mit einer Sprungtemperatur von 135 Kelvin. Die Temperaturen dieser Hochtemperatursupraleiter sind nun deutlich höher, als die von flüssigem Stickstoff, wodurch eine Stickstoffkühlung möglich wird und auf das teure Helium verzichtet werden kann.

Das Ziel ist es nun, Materialien zu finden, die bereits bei normaler Umgebungstemperatur supraleitend werden.

2. Die BCS-Theorie

1957 schlugen die drei Physiker John Bardeen, Leon Cooper und Robert Schrieffer eine Theorie vor, die das Phänomen der Supraleitung erklären sollte.

Nach dem Gesetz von Ohm weist ein Strom, der durch einen normalleitenden Draht fließt einen Widerstand auf. Wenn nun der selbe Draht in den supraleitenden Zustand gebracht wird, verschwindet der Widerstand vollständig. Wie dies genau geschieht versucht die BCS-Theorie zu erläutern.

In einem Metall besteht das Kristallgitter aus Atomrümpfen, also aus Ionen. Wenn nun ein Elektron an diesen Ionen vorbeiwandert, kann es deren Lage durch elektromagnetische Anziehung kurzfristig verschieben. Diese zeitlich bedingten Verzerrungen werden in der Quantenphysik Phononen genannt. Durch diese Phononen werden kleine Bereiche geschaffen, die eine positive Ladung enthalten und somit ein weiteres Elektron anziehen. Dieses zweite Elektron, das vom Bereich des ersten angezogen wurde, bewirkt wiederum eine Verformung des Gitters, sodass das erste Elektron angezogen wird. Dies führt

dazu, dass sich die beiden Elektronen zu einem Cooper-Paar zusammenschließen. Bei diesen Cooper-Paaren haben beide Elektronen entgegengesetzte Impulse, sodass der Gesamtimpuls Null ergibt. Dies ist der Grund, dass es kein Impuls- bzw. Energieverlust gibt. Dieser Effekt dehnt sich über das gesamte Metall aus, wodurch der elektrische Widerstand auf Null sinkt. Da die Bindungsenergie der Elektronen aufgrund ihrer Abstoßung sehr gering ist, setzt das supraleitende Verhalten der Materialien erst ein, wenn diese Bindungsenergie größer als die thermische Energie ist.

Die drei Forscher erhielten für ihre Theorie 1972 den Nobelpreis.

Es gibt jedoch zwei Arten von Supraleitern. Der sofortige Übergang vom Normalzustand in den supraleitenden Zustand ist nur dann möglich, wenn die Substanz nicht von einem Magnetfeld umgeben wird. Taucht das Material in ein Magnetfeld, so durchläuft es beim Zustandswechsel einen Zwischenzustand, in dem es Schichten aufweist, die entweder supraleitend oder normalleitend sind. Verbindungen, die diesen Zustand aufzeigen, gehören zu den Supraleitern des Typ 1. Bei Supraleitern vom Typ 2 gibt es eine andere Übergangsstruktur: Das Material wird von dünnen, röhrenförmigen Fasern, die normalleitend und parallel zum Magnetfeld sind, durchzogen.

3. Supraleiter vom Typ 1

Wie schon geschildert haben Supraleiter vom Typ 1 einen Zwischenzustand. Dieser kann erreicht werden, wenn man die Temperatur des Supraleiters bei Anwesenheit eines Magnetfeldes erhöht. Wenn man die Temperatur konstant beibehält, kann man den Supraleiter in den Normalzustand oder Zwischenzustand bringen, indem man das Magnetfeld verstärkt. Andersherum kann man ein normalleitendes Material in den Zwischenzustand oder in den supraleitenden Zustand bringen, indem man das Magnetfeld schwächt oder die Temperatur erniedrigt. Ein direkter Übergang vom supraleitenden in den normalen Zustand, oder umgekehrt ist nur dann möglich, wenn kein Magnetfeld vorhanden ist. Entscheidende Faktoren sind also die Magnetfeldstärke, bei der Supraleitung möglich ist, welche als kritische Magnetfeldstärke bezeichnet ist, und die Sprungtemperatur, welche auch als kritische Temperatur benannt ist. Wenn nun eine supraleitendes Material in den Übergangszustand eintritt, so steigt sein elektrischer Widerstand auf ungefähr $\frac{4}{5}$ des Widerstandes im Normalzustand, und steigt weiter an, bis der Normalzustand erreicht ist.

4. Supraleiter vom Typ 2

Auch Typ 2 Supraleiter weisen einen Zwischenzustand auf. Jedoch bilden sich nicht wie beim Typ 1 dünne Schichten, sondern kleine Fasern, die normalleitend

sind. Diese Fasern liegen parallel zum Magnetfeld und führen zu Feldlinien. Geht das Material vom supraleitenden Zustand in den Zwischenzustand über, so steigt die Kraftflussdichte innerhalb des Materials an. Dieser Übergang findet bei einer äußeren Feldstärke statt. Wenn nun die innere Kraftflussdichte gleich der Kraft außerhalb wird, betritt das Material den normalleitenden Zustand. Die Fasern beginnen sich gegenseitig zu beeinflussen und ihre Anzahl nimmt zu, bis die supraleitenden Bereiche verschwunden sind und das Material schließlich normalleitend ist.

5. Anwendungsgebiete

Eine für die Anwendung interessantere Art von Supraleitern sind die Hochtemperatursupraleiter. Sie gehören zum Supraleiter Typ 2 und sind keramische Oxide. Die höchste Sprungtemperatur besitzt zurzeit Quecksilber-Barium-Kalzium-Kupferoxid mit 136 K. Dadurch dass es bereits mit flüssigem Stickstoff gekühlt werden kann, wird es um einiges günstiger und somit rentabler bei der Anwendung. Die Hochtemperatursupraleiter (HTSL) könnten in vielen Bereichen eingesetzt werden. Zum Beispiel als Magnete: HTSL-Magnete sind kompakter und effizienter, benötigen einen im Vergleich zu den konventionellen Supraleitern geringen Kühlaufwand und sind flexibel einsetzbar. Nützlich wäre auch die Anwendung von HTSL im Elektrizitäts- und Energiebereich. Elektrischer Strom könnte über weite Strecken verlustfrei geleitet werden. Nach Schätzungen von Fachleuten geht heute rund 15 Prozent der Leistung durch den Widerstand verloren. Viel interessanter wäre allerdings die direkte Stromspeicherung, die bisher nicht möglich war. Man könnte supraleitende Spulen mit Strom füllen, welcher die Spule verlustfrei umläuft, und ihn bei Bedarf verwenden. Auch in der Weltraumtechnik ließen sich Anwendungsbereiche finden. Durch die Kälte des Weltalls könnte man unter Umständen sogar auf ein aufwendiges Kühlsystem verzichten. Bereits eingesetzt wird die Supraleitung in der Medizintechnik. Dadurch wird beispielsweise eine bessere Funktionsweise bei Kernspintomographen erreicht. Es lassen sich winzige magnetische Signale aus dem Inneren des menschlichen Körpers messen. Davon erhofft man sich, zum Beispiel die Abläufe im Gehirn zu bestimmen und so bei Krankheiten wie Epilepsie auf Möglichkeiten zur Behandlung zu stoßen. Auch auf dem Telekommunikationsmarkt wären supraleitende Bauteile von Nutzen. Durch die Supraleitung ließen sich zum Beispiel die technischen Kapazitäten steigern, das Raschen könnte reduziert und die Übertragungsqualität verbessert werden.

Quellenverzeichnis:

<http://www.e.shuttle.de/e/dbg/physik/nd2003/geschichte.htm>

<http://www.region-online.de/bildung/fds/klassen/fo12c-2000/12c-2000/html/supra-leiter.html>

www.erg.slf.th.schule.de/projekte/1997/0897phys.htm

<http://www.stangl-taller.at/STANGL/BENJAMIN/SCHULE/PHYSIK/SUPRALEITUNG/default.html>

http://www.desy.de/expo2000/deutsch/allebrowser/webthemen/18_supraleitung/supraleitung.htm

Schrödingers Katze von Brigitte Röthlein, Deutscher Taschenbuch Verlag, 4. Auflage Februar 2002

Autor: Manuel Denz, Kursstufe 13, Abi 2004