Supergeleiding

De quantummechanica is fascinerend! We hebben in een eerder artikel al gezien dat atomen bij heel lage temperaturen een soort 'communistisch collectief' kunnen vormen: een Bose-Einsteincondensaat. In dit artikel maken we het een paar graden warmer en zien we ook een interessant natuurkundig fenomeen optreden, namelijk supergeleiding.



Afbeelding 1. Heike Kamerlingh Onnes.

Supergeleiding is eigenlijk een quantummechanische racebaan, ontdekt door Heike Kamerlingh Onnes in Leiden in 1911. Elektronen in een supergeleidend materiaal bewegen zo effectief dat ze geen weerstand voelen, met als gevolg dat er ook geen vermogen verloren gaat. Bovendien zijn ze ook niet te stoppen: ze zullen zo voor jaren door blijven bewegen. Maar hoe werkt supergeleiding nu precies?

Normale geleiding

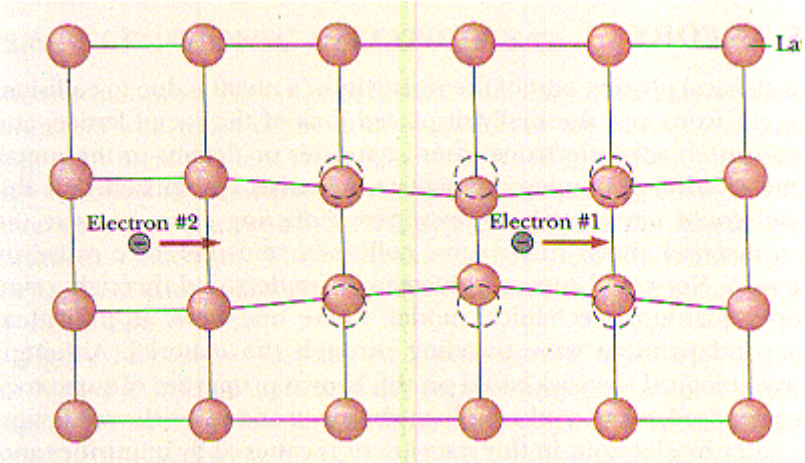
Stel dat ik een batterij aansluit op een stukje metaal. Aan het ene uiteinde van het metaal zit de plus-pool en aan de andere kant de min-pool. In het metaal is nu een elektrisch veld aanwezig, wat ervoor zorgt dat de vrije elektronen in het metaal naar de plus-pool gaan

bewegen. Tijdens hun reis zullen ze echter zo nu en dan de atomen van het metaal tegenkomen en ermee botsen. Bij zo'n botsing veranderen de elektronen van richting en zullen ze ook een beetje van hun energie (en dus snelheid) verliezen. De elektronen ondervinden dus een *weerstand*. Dit is precies de weerstand die je op de middelbare school in de wet van Ohm tegenkomt: de weerstand geeft een relatie aan tussen de aangelegde spanning en de resulterende stroom.

Supergeleiding en Cooperparen

In een supergeleider werkt alles net even anders. Als we sommige metalen koelen tot enkele graden boven het absolute nulpunt, zien we dat de weerstand abrupt gelijk wordt aan nul! De elektronen bewegen dan zonder verlies van energie door het materiaal en botsen niet meer met de atomen. Dit kunnen we als volgt begrijpen.

In het metaal bevinden zich elektronen en atomen. Eigenlijk elektronen en *ionen*, want de atomen zijn een aantal elektronen kwijt en dus geladen. Ten opzichte van de elektronen zijn de ionen positief geladen. Bij extreem lage temperaturen gebeurt er iets bijzonders; de elektronen gaan in tweetallen aan elkaar binden. Deze paren noemen we *cooperparen*. De twee elektronen worden gebonden via een verstoring in het rooster van ionen en bewegen in tegengestelde richting. De geleiding van een cooperpaar is velen malen beter dan het geval is voor de enkele elektronen. Als we kijken naar een enkel elektron in het paar en de verstoring in het rooster die dit elektron met zijn cooperpartner bindt – zie afbeelding 2 hieronder – kunnen we begrijpen waarom die geleiding zo goed is.



Afbeelding 2. Cooperparen.Cooperparen vormen in een kristal bij zeer lage temperaturen. Elektron #1 zorgt voor een kleine verstoring in het kristal, waardoor voor elektron #2 een grote positieve lading onstaat waarnaar hij wordt aangetrokken.

Door hun negatieve lading trekken de elektronen bij lage temperatuur de ionen een beetje naar zich toe. Dit is de verstoring in het rooster die je in de afbeelding ziet, en die de elektronen bindt tot cooperparen. Hierdoor komt er op die plek wat meer positieve lading terecht, en zal een ander elektron hier heel graag zo snel mogelijk naar toe willen gaan. De geleiding zal dus erg effectief werken dankzij de invloed die het rooster op de elektronen heeft en vice versa.

Dit intuïtive plaatje van supergleiding werd in wiskundig detail uitgewerkt door Leon Cooper, John Bardeen en John Schrieffer. Voor hun theorie, die nu bekendt staat als de BCS-theorie kregen ze in 1972 de Nobelprijs. Sinds de ontwikkeling van die theorie weten we precies hoe supergeleiding werkt op lage temperaturen. Er zijn recent echter ook experimentele aanwijzingen dat supergeleiding niet alleen bij extreem lage temperaturen hoeft te werken en ook al werkt bij temperaturen waar de BCS-theorie niet geldig is. Hoe dat type supergeleiding werkt weten we niet precies: die vraag wordt tegenwoordig beschouwd als een van de heilige gralen in de natuurkunde.

Wil je meer weten over supergeleiding, bekijk dan het onderstaande Youtube-filmpje:

Afbeelding blokkenschema: met behulp van supergeleidende materialen kunnen we heel eenvoudig magneten laten zweven. Dit principe wordt bijvoorbeeld toegepast in de ontwikkeling van toekomstige zweeftreinen. Foto: Wikipedia-gebruiker Pongkaew.