

Alle Rechte beim Urheber.

Abdruck nur gegen Belegexemplar, Honorar plus 7% MwSt.

Exotische Supraleitfähigkeit

Supraleiter an sich sind schon exotisch. Noch exotischer werden sie in einem sehr starken Magnetfeld, wie Andrej Lebed von der University of Arizona berechnet hat. Nach den Berechnungen des Theoretischen Physikers verletzen die Elektronen in einem Supraleiter grundlegende Symmetrien der Physik, wenn mehrere Tesla von außen auf sie einwirken.

Werden Metalle abgekühlt auf Temperaturen, die nahe am absoluten Nullpunkt liegen, verlieren sie sprunghaft ihren elektrischen Widerstand; sie werden zu Supraleitern, die der niederländische Physiker Heike Kamerlingh Onnes 1911 entdeckte. Durch einen Supraleiter fließt der Strom endlos weiter, nachdem er von der Spannungsquelle getrennt wurde. Die Elektronen können sich verschleissfrei im Innern der Supraleiter bewegen, wo sich keine Magnetfelder befinden. Wird ein äußeres Magnetfeld an das Metall angelegt, senkt sich die Sprungtemperatur der Supraleitung so weit ab, bis sich die Magnetfeldlinien im Innern wieder gegenseitig aufheben.

Ist das angelegte Magnetfeld sehr stark, bekommen die Elektronen Identitätsprobleme: ihre Zustände überlagern sich - zumindest theoretisch. Die Elektronen in Supraleitern verbinden sich zu so genannten Cooper-Paaren, die nicht von Gitterfehlern oder -schwingungen des Metalls gestört werden und deshalb während ihres Stromes keine Energie an das Metallgitter abgeben. Erwärmt sich das Metall, trennen sich auch die Cooper-Paare wieder in einzelne Elektronen, die nun erneut gegen den elektrischen Widerstand im Metallgitter ankämpfen müssen.

Die Cooper-Paare selbst werden als einzelne, elementare Teilchen betrachtet. Gekennzeichnet sind sie durch ihre Größe, ihre Ladung und ihren Eigendrehimpuls, den Spin. Ergänzt durch raumzeitliche Angaben sollte mit diesen Eigenschaften ein Cooper-Paar vollständig und unverwechselbar beschrieben sein. Ändert ein Cooper-Paar jedoch in einem starken Magnetfeld seine Eigenschaften, ist es eben nicht elementar, sondern komplex. Verursacht wird die Komplexität der Cooper-Paare insbesondere vom Spin der Elektronen.

Alle Rechte beim Urheber.

Abdruck nur gegen Belegexemplar, Honorar plus 7% MwSt.

Jedes Elektron dreht sich auf einer ausgezeichneten Achse um sich selbst. Entsprechend kann ihr Spin geheizener Eigendrehimpuls entweder in die eine Richtung oder in die entgegen gesetzte Richtung zeigen. Weisen die Spins der Elektronen eines Cooper-Paares in entgegen gesetzte Richtungen, rotiert das Paar nicht; man spricht von einem Singlett. Sind die Spins dagegen gleichgerichtet, rotiert das Tripletts genannte Cooper-Paar. Beide Arten von Cooper-Paaren kommen in Supraleitern gleichermaßen vor. In einem starken Magnetfeld lassen sie sich jedoch nicht mehr voneinander unterscheiden: Die Cooper-Paare sind rotierend und nicht rotierend zugleich. Sie verhalten sich wie winzige quantenmechanische Wirbelstürme, erklärt Pierre Meystre von der University of Arizona.

Die quantenmechanischen Wirbelstürme bringen Raum und Zeit in subatomaren Dimensionen gehörig durcheinander. Grundlegende Symmetrien werden verletzt, müssen sich die Cooperpaare durch die dichten Feldlinien eines starken Magnetfeldes zwingen. Die Physiker sprechen in solchen Fällen von einer Paritätsverletzung.

Da wäre die Verletzung der Parität des Raumes: Die räumliche Parität entspricht einer Punktspiegelung. Für sie wird gefordert, dass das Spiegelbild jedes physikalischen Prozesses selbst auch wieder ein möglicher physikalischer Prozess sein muss: Ebenso gut, wie sich ein Teilchen nach rechts bewegt, könnte es sich auch nach links bewegen. Mathematisch besitzt beispielsweise jede Wellenfunktion eine wohldefinierte Parität. Das heißt, bei der Spiegelung ändert die Wellenfunktion bestenfalls ihr Vorzeichen. Die Wellen bleiben spiegel- oder punktsymmetrisch. Diese Symmetrie bricht in sich zusammen bei Elektronen von Cooper-Paaren, die quantenmechanisch als Welle und Teilchen behandelt werden - wenn der Supraleiter einem starken Magnetfeld ausgesetzt ist. Dann gleichen die im Spiegel reflektierten Wellen nicht mehr den originalen. „Es ist, als ob die Cooper-Paar-Welle im Spiegel jemand anderen sähe als sich selbst“, sagt Lebed. Die Schwierigkeit sich selbst im Spiegel zu erkennen, resultiert daraus, dass das Cooper-Paar keine elementare Identität mehr besitzt, sondern die Summe aus einem rotierenden und nicht rotierenden Paar geworden ist. „Das exotische Cooper-Paar weiß

Alle Rechte beim Urheber.

Abdruck nur gegen Belegexemplar, Honorar plus 7% MwSt.

nicht, wie es im Spiegel reflektiert wird: als Singlett oder als Triplet", so Lebed weiter.

Die Simultaneität von rotierenden und nicht rotierenden Cooper-Paaren bricht auch die zeitliche Symmetrie der Parität, dergemäß physikalische Prozesse sich nicht ändern dürften, wenn die Zeit rückwärts liefe. Fällt vorwärts ein angeregtes Atom durch ein emittiertes Photon in den energetischen Grundzustand, so ist es umgekehrt rückwärts möglich, dass dasselbe Atom im Grundzustand durch ein absorbiertes Photon angeregt wird. Die Bewegung der exotischen Cooper-Paare in Supraleitern, die von einem starken Magnetfeld umgeben sind, lässt sich in der Zeit jedoch nicht einfach umkehren; vorwärts und rückwärts finden gleichzeitig statt. „Die eine Hälfte der Elektronen von exotischen Cooper-Paaren ‚sieht‘ die Zeit von der Vergangenheit in die Zukunft, wohingegen die andere Hälfte die Zeit von der Zukunft in die Vergangenheit ‚sieht‘“, sagt Lebed.