Neues Puzzleteil zum Verständnis von Hochtemperatursupraleitern

Neues Puzzleteil zum Verständnis von Hochtemperatursupraleitern
1986 machten Georg Bednorz und Karl-Alexander Müller eine Entdeckung, die international Aufsehen erregte und ihnen nur ein Jahr später den Nobelpreis eintrug: Sie fanden in einem keramischen Material, einem so genannten Cuprat, die verlustfreie Leitung von Strom, und zwar weit über dem absoluten Nullpunkt, bei etwa 35 Grad Kelvin (minus 238 Grad Celsius). Die Entdeckung der so genannten Hochtemperatursupraleitung führte zu weltweitem Forschungsfieber, hoffte man doch, Materialien zu entdecken, die auch bei Raumtemperatur Strom ohne Widerstand leiten. Bis heute halten die Cuprate, die zur Klasse der keramischen Materialien gehören, den Temperaturrekord für Supraleitung, der inzwischen bei rund 130 Kelvin oder minus 140 Grad Celsius liegt. Klassische Supraleiter dagegen zeigen diese Eigenschaft erst nahe dem absoluten Nullpunkt, bei minus 273 Grad Celsius.
Supraleitung in Cupraten: bis heute kaum verstanden
Das Phänomen der Supraleitung ist recht gut verstanden - bei den klassischen Supraleitern, die sich in nicht-supraleitendem Zustand wie Metalle verhalten. Die Supraleitung entsteht durch die Paarung von Elektronen zu so genannten Cooper-Paaren, die mit dem Kristall-Gitter nicht mehr zusammenstoßen und sich daher widerstandsfrei bewegen. Auch hinter der Supraleitung in den Cupraten steht eine Kopplung zwischen Ladungsträgern. Allerdings sind bei den keramischen Supraleitern selbst die nicht-supraleitenden Zustände kaum verstanden, geschweige denn die Mechanismen bei der Paarung der Ladungsträger. Deshalb sind auch fast 30 Jahre nach Entdeckung der Hochtemperatursupraleitung neue Einsichten in die Eigenschaften der Cuprate aufregend.
Der Cuprate-Zoo besitzt Ebenen aus Cu- und O-Atomen
Forscher haben einen ganzen Zoo von Cupraten gefunden, mit Abkürzungen wie LBCO, YBCO, LSCO, BSCO und chemischen Zusammensetzungen wie La2-xBaxCuO4, YBa2Cu3O6+, La2-xSrxCuO4, Bi2Sr2-xLaxCuO6+. In all diesen Materialien sitzen Kupfer- und Sauerstoff-Atome in Ebenen und bilden quasi-zweidimensionale Strukturen. Führt man Ladungsträger in die Cu-O-Ebenen ein, entsteht nicht einfach ein metallisches Verhalten, sondern es bilden sich komplexe und ungewöhnliche Phasen. Wie sich der supraleitende Zustand aus diesen exotischen Phasen heraus entwickelt, ist bis heute nicht erklärt.
Ladungen verteilen sich in Streifen
Eines der Phänomene, die in Hoch-Tc-Cupraten beobachtet werden, ist die so genannte Ladungsordnung. Dabei bilden die Ladungsträger, die in das keramische Material eingeführt wurden, um Leitfähigkeit überhaupt erst zu ermöglichen, regelmäßige Streifenmuster innerhalb der Cu-O-Ebenen. Dies macht die Ladungsträger weniger beweglich und behindert die Bildung des supraleitenden Zustands. Ladungsordnung steht also im Widerspruch zur Supraleitung. Obwohl sie an einem Cuprat bereits 1995 beobachtet wurde, dauerte es lange, Ladungsordnung auch in anderen Cupraten nachzuweisen und erst 2012 wurde das Phänomen in dem meistuntersuchten Material YBCO gefunden.
Neue Ergebnisse zeigen: Es gibt Muster
Unter Federführung der University of Minnesota hat nun ein internationales Forschungsteam auch in HgBa2CuO4 Ladungsordnung nachgewiesen und damit dieses offenbar universelle Verhalten bestätigt. HgBa2CuO4 ist ein Cuprat mit einer verhältnismäßig einfachen Kristallstruktur und wird bei minus 175 Grad Celsius supraleitend.
Darüber hinaus fanden die Forscher, dass die Ladungsordnung eng mit einer weiteren Eigenschaft des Materials zusammenhängt: Ein äußeres hohes Magnetfeld zerstört die Supraleitung, dabei kann der elektrische Widerstand mit dem sich ändernden Magnetfeld periodisch steigen und sinken, es kommt zu Quantenoszillationen. Die Wissenschaftler konnten nun erstmals eine Beziehung zwischen der Periode dieser Quantenoszillationen mit der räumlichen Periode der Ladungsordnung herstellen und damit zwei scheinbar unterschiedliche Phänomene miteinander in Beziehung setzen. Dies kann nun wiederum in die theoretische Beschreibung der komplexen Phänomene dieser Materialklasse einfließen und aufklären, wie unterschiedliche Effekte zusammenhängen und welche Effekte dabei dominieren.
Das Werkzeug: Die UE46_PGM1-Beamline an BESSY II
Ein wichtiger Teil der Forschung wurde am XUV-Diffraktometer an BESSY II am HZB durchgeführt, wo die besonders empfindliche Methode der resonanten weichen Röntgenstreuung zur Verfügung steht.
Mit dieser Methode konnte bereits in einer Reihe von Materialien schwache Ladungsordnung nachgewiesen werden, in enger Zusammenarbeit mit Wissenschaftlern des HZB, die die Instrumente an der UE46_PGM1 Beamline von BESSY II betreuen. Die Ergebnisse sind nun in Nature Communications publiziert. "Nach Jahrzehnten der Forschung rätseln wir immer noch über die ungewöhnlichen Zustände in Cupraten und wie sie sich zum Phänomen der Hochtemperatursupraleitung verhalten", sagt Dr. Eugen Weschke von der Abteilung Quantenphänomene in neuen Materialien am HZB. "Die Beobachtung von Ladungsordnung in diesem besonders reinen Modellsystem fügt dem Gesamtbild ein wichtiges Puzzleteil hinzu und wir freuen uns, dass wir durch unsere Experimente am HZB dazu einen Beitrag leisten konnten."
Referenz: W. Tabis et al., Charge order and its connection with Fermi-liquid charge transport in a pristine high-Tc cuprate, Nature Communications 5, 5875 (2014).
DOI: 10.1038/ncomms6875

Helmholtz-Zentrum Berlin (HZB)
Hahn-Meitner-Platz 1
14109 Berlin
Telefon: +49 30 8062 - 0
Telefax: +49 30 8062 - 42181
Mail: info@helmholtz-berlin.de
URL: https://www.helmholtz-berlin.de
<img src="http://www.pressrelations.de/new/pmcounter.cfm?n_pinr_=584955" width="1" height="1">

Pressekontakt

Helmholtz-Zentrum Berlin (HZB)

14109 Berlin

https://helmholtz-berlin.de
info@helmholtz-berlin.de

Firmenkontakt

Helmholtz-Zentrum Berlin (HZB)

14109 Berlin

https://helmholtz-berlin.de
info@helmholtz-berlin.de

Weitere Informationen finden sich auf unserer Homepage