

Dietmar Straub

Darstellung der Forschungsaktivitäten

In dieser theoretischen Arbeit wird die Oberflächenimpedanz von Hochtemperatur-Supraleitern untersucht. Die Messung elektrodynamischer Größen bei Frequenzen im Mikrowellenbereich, etwa 1–200 GHz, eignet sich gut, um den supraleitenden Zustand von Hochtemperatur-Supraleitern zu studieren. Der Real- und der Imaginärteil der komplexen Oberflächenimpedanz liefern komplementäre Informationen über zwei Aspekte des supraleitenden Zustandes. Zum einen zeigt der Oberflächenwiderstand niederenergetische Anregungen aus dem supraleitenden Kondensat heraus, zum anderen liefert der Imaginärteil die Eindringtiefe eines äußeren elektromagnetischen Feldes und damit ein Maß für die suprafluide Dichte.

Die mikroskopische Berechnung der elektrischen Leitfähigkeit eines d-Wellen Supraleiters erfolgt im Rahmen der linearen Antworttheorie unter Verwendung des Green-Funktions-Formalismus. Dabei werden zum einen elastische Streuung der Quasiteilchen an Störstellen sowie inelastische Streuprozesse berücksichtigt. Durch Verallgemeinerung der lokalen zur nichtlokalen Elektrodynamik wird die Leitfähigkeit impulsabhängig. Aus der elektrischen Leitfähigkeit wird dann die komplexe Oberflächenimpedanz berechnet.

Nichtlokale Effekte

Nichtlokale Effekte im Oberflächenwiderstand treten immer dann auf, wenn die mittlere freie Weglänge der Quasiteilchen größer wird als die Eindringtiefe eines äußeren elektromagnetischen Feldes. Hochtemperatur-Supraleiter sind extreme Typ-II Supraleiter, d. h., sie besitzen eine kleine Kohärenzlänge im Vergleich zur Eindringtiefe. Daher würde man annehmen, daß zur Berechnung der Eindringtiefe lokale Elektrodynamik ausreicht, unabhängig von der mittleren freien Weglänge der Quasiteilchen.

Für d-Wellen Supraleiter ist diese Aussage nicht allgemein richtig, da die „Kohärenzlänge“ $v_F/(\pi \Delta(\mathbf{k}_F))$ für gewisse Impulse divergiert, für die der Ordnungsparameter Δ verschwindet. Wenn die Beziehung zwischen elektrischem Strom und Feld nichtlokal ist, dann ist es möglich, die Knotenstruktur des Ordnungsparameters direkt zu untersuchen. Die Bedingungen für Nichtlokalität können in sehr reinen Proben erfüllt werden, die seit jüngster Zeit zur Verfügung stehen [A. Hosseini *et al.*, Phys. Rev. B **60**, 1349 (1999)].

Hochtemperatur-Supraleiter haben eine geschichtete Kristallstruktur mit leitenden CuO_2 -Ebenen. Die größten nichtlokale Effekte in der Oberflächenimpedanz sind zu erwarten, wenn diese leitenden Ebenen senkrecht zur Oberfläche der Probe liegen, und sich damit der wesentliche Wellenvektor der eingestrahlten Mikrowellenstrahlung in den CuO_2 -Ebenen befindet. Legt man dann das \mathbf{H} -Feld der Mikrowellenstrahlung parallel zur \hat{c} -Achse des Kristalls, so liegt das \mathbf{E} -Feld vollkommen in den leitenden Ebenen. Diese Anordnung von Probe und Mikrowellenfeld ist in Abb. 1 skizziert.

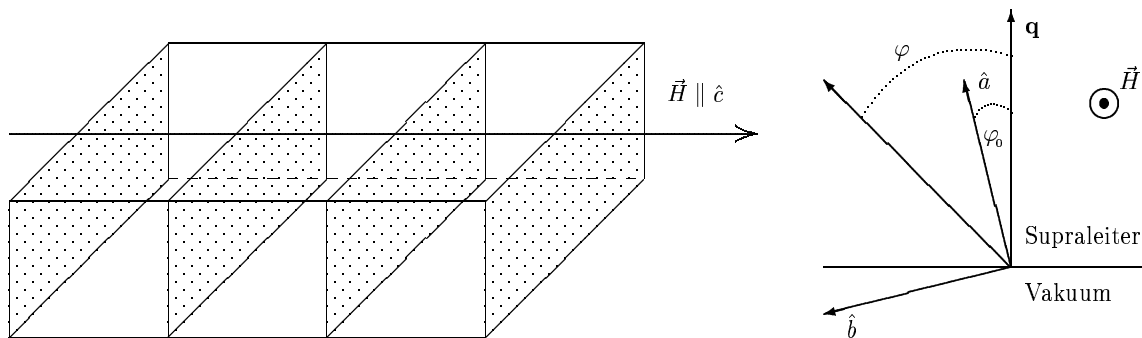


Abbildung 1: Geometrische Anordnung von Probe und elektromagnetischem Feld: Oberfläche eines Hochtemperatur-Supraleiters parallel zur \hat{c} -Achse des Kristalls. Die Orientierung der \hat{a} - bzw. \hat{b} -Achse, und damit des d-Wellen Ordnungsparameters $\Delta(\varphi) = \Delta_0(T) \cos 2(\varphi - \varphi_0)$, zur Probenoberfläche wird durch den Winkel φ_0 angegeben.

Betrachtet man den Oberflächenwiderstand als Funktion der Frequenz und Temperatur, so lassen sich im supraleitenden Zustand die Beiträge durch Anregung von Quasiteilchen und durch Aufbrechung von Cooper-Paaren erkennen [1].

Die Abb. 2 (a) und (b) zeigen den Oberflächenwiderstand im nichtlokalen Fall sowie im lokalen Limes bei zwei verschiedenen Frequenzen der Mikrowellenstrahlung [2].

Lokaler Limes, Vergleich mit experimentellen Daten

Bisher entsprechen die Experimente nicht den Erfordernissen bezüglich der geometrischen Anordnung von Probe und Feld (s.o.), um nichtlokale Effekte erwarten zu können. Zur Beschreibung experimenteller Daten mit unserem Modell ist daher der lokale Grenzfall angemessen. Die UBC-Gruppe hat den Oberflächenwiderstand von sehr reinen $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{6.99}$ -Kristallen bei fünf verschiedenen Frequenzen gemessen [A. Hosseini *et al.*, Phys. Rev. B **60**, 1349 (1999)]. Die experimentellen Ergebnisse für den Oberflächenwiderstand und unser bester Fit ist in Abb. 2 (c) zu sehen [2]. Die berechneten Kurven sind in guter Übereinstimmung mit den experimentellen Daten. Für große Frequenzen liegen die berechneten Werte über den experimentellen, für kleine Frequenzen darunter. Das deutet darauf hin, daß die inelastische Streurrate nicht nur temperaturabhängig sondern auch frequenzabhängig ist. Bei tiefen Frequenzen ist die beobachtete Frequenzabhängigkeit im Experiment sehr schwer zu erklären.

Zusammenarbeit mit anderen Mitgliedern des Graduiertenkollegs

Eine enge Zusammenarbeit bestand besonders am Anfang dieser Arbeit mit

- Dr. C. T. Rieck.

Desweiteren wurde mit den Herren

- Dipl. Phys. A. Bille und
- Prof. Dr. D. Fay

diskutiert und zusammengearbeitet. Mit

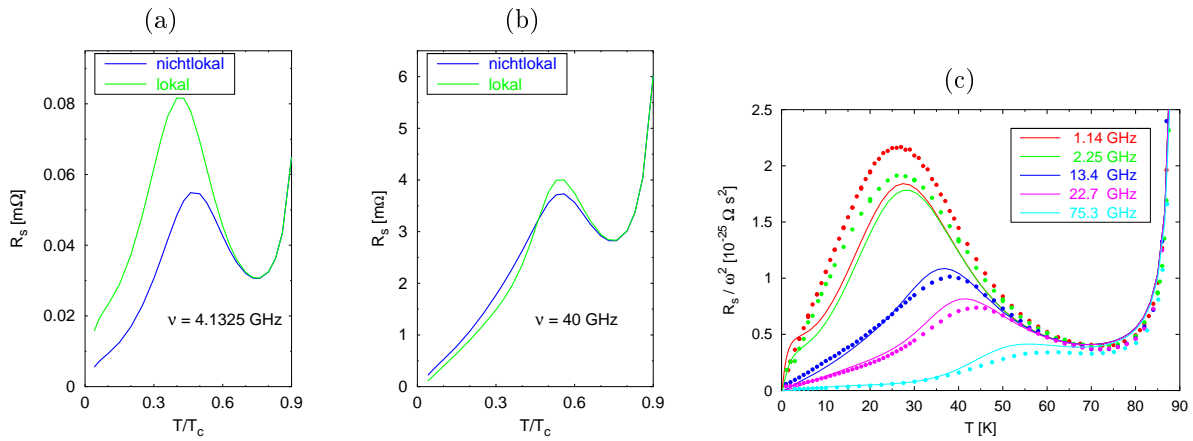


Abbildung 2: Oberflächenwiderstand R_s als Funktion der Temperatur. Parameter (a) und (b): $\delta_N = 0.4\pi$, $\Gamma_{\text{imp}} = 0.05$ meV und $2\Delta(0)/T_c = 5.6$. Abb. (c): Mit der Frequenz skaliertes Oberflächenwiderstand R_s als Funktion der Temperatur. Parameter: $\delta_N = 0.44\pi$, $\Gamma_{\text{imp}} = 0.015$ meV und $2\Delta(0)/T_c = 6.4$. Kritische Temperatur der Probe: $T_c = 88.7$ K.

- Dr. D. Manske

findet ein reger Gedankenaustausch statt. Insbesondere im Zusammenhang mit der suprafluiden Dichte, wird versucht, unser weak-coupling-Modell mit Experimenten und den strong-coupling Rechnungen von Herrn Dr. D. Manske zu vergleichen.

Ausblick

Bisher wurden in den Rechnungen nur die Streuprozesse selbstkonsistent behandelt. Die Energielücke der Supraleitung wurde als eine modifizierte BCS-artige Funktion der Temperatur angenommen. Eine mögliche Erweiterung der Theorie bestünde in einer strong-coupling Rechnung, in der sowohl die Streuprozesse als auch der Ordnungsparameter der Supraleitung selbstkonsistent behandelt werden.

Publikationen

Angehörige und Gäste des Graduiertenkollegs sind unterstrichen

- [1] C. T. Rieck, D. Straub und K. Scharnberg: *Nonlocal effects on the surface resistance of high-temperature superconductors with (100) and (110) surfaces*, Journal of Superconductivity **12** (2), 385–393 (1999).
- [2] C. T. Rieck, D. Straub und K. Scharnberg: *Local and nonlocal effects on the surface resistance of d-wave superconductors*, Journal of Low Temperature Physics **117** (5–6), 1295–1299 (1999).

Teilnahme an Tagungen

- „Nichtlokale Effekte in der Oberflächenimpedanz von Hochtemperatur-Supraleitern“
Frühjahrstagung des Arbeitskreises Festkörperphysik der Deutschen Physikalischen

Gesellschaft (DPG)
in Regensburg, März 1998.
Beitragsform: Poster.

- „Response-Größen von Hochtemperatur-Supraleitern: Vergleich zwischen lokalen und nichtlokalen Einflüssen“
Frühjahrstagung des Arbeitskreises Festkörperphysik der Deutschen Physikalischen Gesellschaft (DPG)
in Münster, März 1999.
Beitragsform: Poster.

Tagungsbeiträge als Mitautor

- „Nonlocal effects on the surface impedance of high temperature superconductors“
C. T. Rieck, D. Straub, K. Scharnberg.
High-Temperature Superconductors in High-Frequency Fields,
in Stockholm, Schweden, Juni 1998.
Beitragsform: Poster.
- „Nonlocal Effects on the Surface Resistance of d-wave Superconductors“
K. Scharnberg, C. T. Rieck, D. Straub.
1999 Centennial Meeting of The American Physical Society
in Atlanta, Georgia, März 1999.
Beitragsform: Vortrag.
- „Nonlocal Effects on the Surface Impedance of d-wave Superconductors“
International Conference on Physics and Chemistry of Molecular and Oxide Superconductors, MOS '99,
in Stockholm, Schweden, Juli/August 1999.
Beitragsform: Vortrag.

Eigene Vorträge im Rahmen des Graduiertenkollegs

- „Hochtemperatur-Supraleitung:
Theoretische Konzepte und deren experimentelle Überprüfung“
(Zusammen mit Dirk Manske und Frank Wiekhorst)
2. Workshop des Graduiertenkollegs *Physik nanostrukturierter Festkörper*
in St. Peter-Ording, Januar 1998.
- „Hubbard-Modell für stark korrelierte Elektronen“
Proseminar: *Moderne Theorie der elektronischen Struktur von kondensierter Materie*
in Hamburg, Juni 1998.
- „Surface Impedance of High-Temperature Superconductors:
Nonlocal Effects and Local Limit“
3. Workshop des Graduiertenkollegs *Physik nanostrukturierter Festkörper*
in Niederkeveez, Mai 1999.

- „Local and Nonlocal Effects on the Surface Impedance of High-Temperature Superconductors“
Ringvorlesung: Graduiertenkolleg *Physik nanostrukturierter Festkörper*
in Hamburg, Mai 2000.
- „Surface Resistance and Superfluid Density of High-Temperature Superconductors“
4. Workshop des Graduiertenkollegs *Physik nanostrukturierter Festkörper*
in Schwerin, Oktober 2000.