

Aufbau für die gleichzeitige Messung von Neutronenstreuung und AC-Suszeptibilität

Oliver Stockert und Enrico Faulhaber¹

In der Vergangenheit erweckte eine zunehmende Zahl intermetallischer Verbindungen das Interesse, die sich durch ein Wechselspiel von magnetischer Ordnung (FM/AF) und Supraleitung (SL) auszeichnen. Sowohl Koexistenz als auch Konkurrenz beider Phänomene, SL und FM/AF, werden beobachtet. Neutronenstreuung ist eine wichtige Methode, um magnetische Ordnungsphänomene zu untersuchen. Leider ist sie nicht auf Supraleitung empfindlich, weshalb keine Schlüsse über das Wechselspiel zwischen magnetischer Ordnung und Supraleitung gezogen werden können. Ein Ausweg besteht darin, in einem weiteren Experiment eine andere makroskopische Eigenschaft zu messen, z.B. Wärmekapazität oder elektrischer Widerstand, die es erlaubt, supraleitende Übergänge zu detektieren. Dann können die Ergebnisse der Neutronenstreuung und der weiteren Messung über ihre Temperaturabhängigkeit in Beziehung gesetzt werden. Obwohl eine solche Vorgehensweise möglich ist, ist es oft wünschenswert, während eines Neu-

tronenstreuexperimentes zu wissen, ob die Probe supraleitend ist.

Dies führte zur Entwicklung eines Aufbaus, um die ac-Suszeptibilität χ der Probe während eines Neutronenstreuexperimentes zu messen. Die ac-Suszeptibilität wurde gewählt aufgrund ihrer hohen Empfindlichkeit auf Volumensupraleitung und wegen der Einfachheit und Robustheit des Aufbaus. Gerade letztgenannte Gründe sind sehr wichtig bei den rauen Arbeitsbedingungen an Neutronenstreuexperimenten. Der Aufbau besteht aus einer Erregerspule, die von zwei Aufnehmerspulen umgeben ist. Zwei anstelle nur einer Aufnehmerspule werden verwendet, um unerwünschte Hintergrundsignale zu kompensieren. In einem üblichen ac- χ Aufbau befindet sich die Probe innerhalb einer der Aufnehmerspulen. Jedoch würde ein solches Arrangement zu zusätzlicher Streuung und Abschwächung des Neutronenstrahls durch die Spulen und den Spulenkörper führen. Um die Spulen effektiv von Neutronen abzuschirmen und

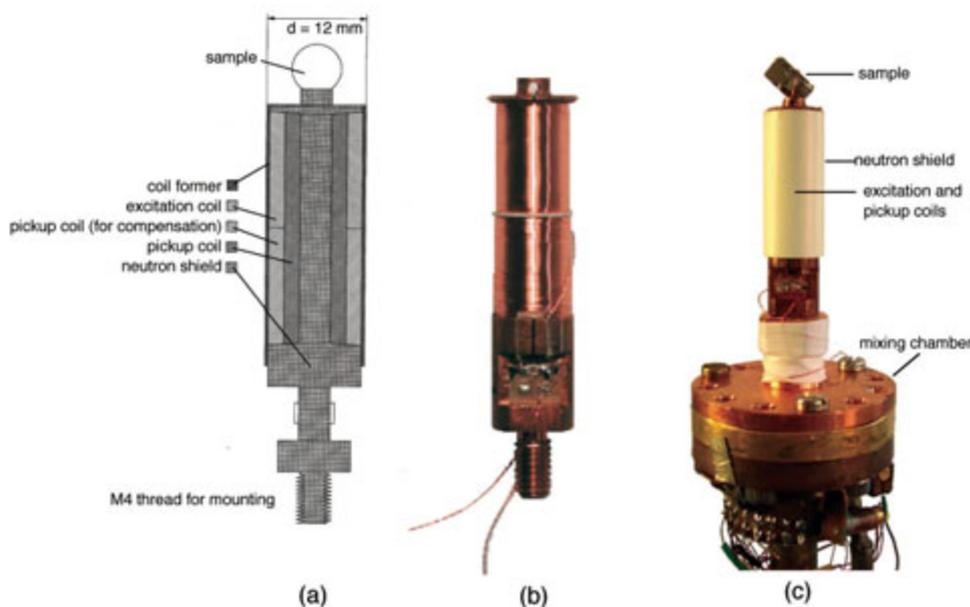


Abb. 1: (a) Schemazeichnung des ac-Suszeptibilitätsaufbaus für Neutronenstreuung. Experimenteller Aufbau (b) ohne Neutronenabschirmung und (c) mit Abschirmung und befestigter Probe. Der gesamte Aufbau ist an der Mischungskammer eines Mischungskryostaten montiert.

Fig. 1: (a) Schematic view of the ac susceptibility setup for neutron scattering. Experimental realization (b) without neutron shield and (c) with shield and sample mounted. The whole setup is attached to the mixing chamber of a dilution refrigerator.

New Setup for Simultaneous Measurements of Neutron Scattering and AC Susceptibility

Oliver Stockert and Enrico Faulhaber¹

In the past a growing number of intermetallic alloys attracted interest where an interplay exists between magnetic order (FM/AF) and superconductivity (SC). Coexistence as well as competition of both phenomena, SC and FM/AF, has been observed. Neutron scattering is an extremely powerful tool to investigate magnetic ordering phenomena. Unfortunately it is not directly sensitive to superconductivity and conclusions about the interplay between magnetic order and superconductivity can not be drawn. One possibility to overcome this problem is to measure in an additional experiment another macroscopic property, e.g. heat capacity or electrical resistivity, which is able to detect transitions into the superconducting state. Then the results of neutron scattering and of the bulk property can be related to each other via their temperature dependence. Although this approach is possible, it is often desirable to know during the neutron scattering experiment if the sample is superconducting.

This led us to the development of a setup to measure the ac susceptibility χ of the sample while performing the neutron scattering experiment. Ac susceptibility was chosen due to its sensitivity to bulk superconducting transitions and because of the simplicity and robustness of the setup, facts especially important in the rough environment at neutron scattering facilities. The setup consists of an excitation coil surrounded by two pickup coils. Two instead of one pickup coils are used to compensate for unwanted background signals. In a usual ac- χ setup the sample is placed inside one of the pickup coils. However, such an arrangement would give rise to additional scattering and attenuation of the neutron beam by the coils and the coil former. To be able to shield the coils effectively from neutrons and therefore to reduce the additional scattering not originating from the sample, the sample is placed just outside of one pickup coil and the excitation coil as shown in Fig. 1. In the realization the coil former, which acts also as sample mount, is made out of copper to ensure a good thermal coupling of the sample especially below 1 K. In addition, boronitride is used to shield the

coil system from neutrons. A low frequency ac current ($f < 100$ Hz) passes through the excitation coil generating a small ac magnetic field ($B < 100 \mu\text{T}$). Then the induced voltage in the pickup coils is detected by a lock-in amplifier. The nonhomogeneous magnetic field distribution inside the sample and the small filling factor (resulting in a small induction signal) proved to be no problem in detecting superconducting transitions.

Fig. 2 displays as an example the temperature dependence of the ac susceptibility and the intensity of a magnetic superstructure reflection in a CeCu_2Si_2 single crystal in zero magnetic field and at $B = 2$ T. At zero magnetic field the sample orders

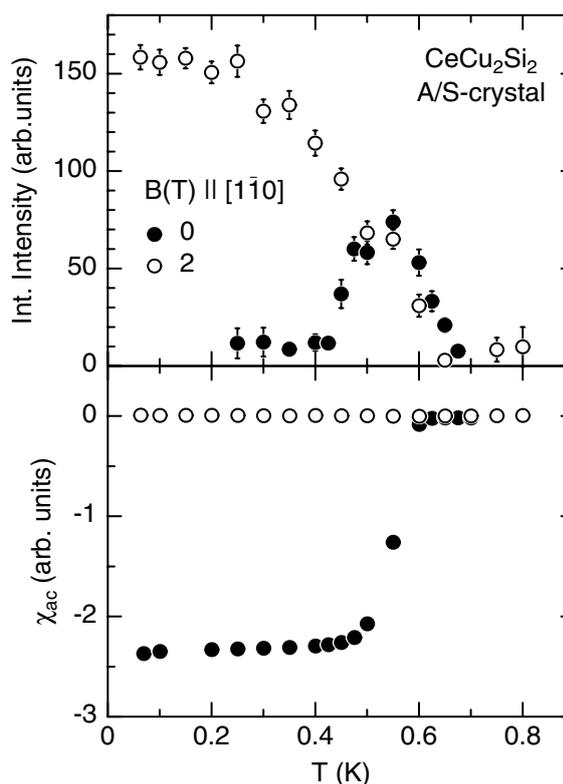


Fig. 2: Temperature dependence of the ac susceptibility and of the intensity of a magnetic superstructure reflection in a CeCu_2Si_2 single crystal using the ac- χ setup shown in Fig. 1.

Abb. 2: Temperaturabhängigkeit der ac-Suszeptibilität und der Intensität eines magnetischen Überstrukturreflexes in einem CeCu_2Si_2 Einkristall unter Benutzung des ac- χ Aufbaus von Abb. 1.

die nicht von der Probe herrührende zusätzliche Streuung zu reduzieren, befindet sich die Probe außerhalb der Aufnehmer- und Anregungsspule, wie in Abb. 1 zu sehen. Der Spulenkörper, der gleichzeitig auch zur Probenaufnahme dient, ist aus Kupfer gefertigt, um eine gute thermische Ankopplung der Probe speziell unterhalb von 1 K zu gewährleisten. Bornitrid wird zur Abschirmung der Spulen vor Neutronen benutzt. Ein niederfrequenter ac-Strom ($f < 100$ Hz) fließt durch die Anregungsspule und erzeugt ein kleines periodisch oszillierendes Magnetfeld ($B < 100 \mu\text{T}$). Die in den Aufnehmerspulen induzierte Spannung wird mittels eines Lockin-Verstärkers gemessen. Die inhomogene Magnetfeldverteilung innerhalb der Probe und der kleine Füllfaktor (was sich in einem kleinen Induktionssignal äußert) stellen keine Probleme beim Detektieren supraleitender Übergänge dar.

Abbildung 2 zeigt als Beispiel die Temperaturabhängigkeit des ac-Suszeptibilitätssignales und der Intensität eines magnetischen Überstruktureflexes in einem CeCu_2Si_2 Einkristall im Nullfeld und bei

$B = 2$ T. Im Nullfeld ordnet die Probe unterhalb von $T = 700$ mK antiferromagnetisch, wie an der magnetischen Intensität zu sehen ist. Der supraleitende Übergang findet bei $T \approx 550$ mK statt, was am negativen Sprung in χ_{ac} zu erkennen ist. Zu tieferen Temperaturen hin verschwindet die magnetische Intensität im supraleitenden Zustand. Antiferromagnetismus und Supraleitung schließen sich gegenseitig aus. Im Gegensatz dazu wird bei $B = 2$ T in χ_{ac} kein supraleitender Übergang beobachtet. Antiferromagnetische Ordnung ist völlig wiederhergestellt im überkritischen Feld, um Supraleitung zu zerstören. Dieses Beispiel zeigt auf schöne Art die Möglichkeiten, die der neue ac-Suszeptibilitätsaufbau bietet. Kürzlich konnten sogar magnetische Phasenübergänge mit dem Suszeptibilitätsaufbau gemessen werden, was neue Möglichkeiten zur Untersuchung magnetischer (B, T) Phasenübergänge eröffnet.

¹ Technische Universität Dresden, Dresden, Deutschland

antiferromagnetically below $T = 700$ mK as seen in the magnetic intensity while the superconducting transition takes place at $T \approx 550$ mK as given by the negative jump in χ_{ac} . Towards lower temperatures the magnetic intensity vanishes in the superconducting state. Antiferromagnetic order and superconductivity exclude each other in this sample. In contrast, for $B = 2$ T, χ_{ac} no longer shows a transition into the superconducting state. Antiferromagnetic order is fully recovered in this

overcritical field to kill superconductivity. This example nicely displays the possibilities which the new ac susceptibility setup for neutron scattering can give. Very recently even magnetic phase transitions could be detected by the ac susceptibility setup offering now also more possibilities in the investigation of magnetic (B, T) phase diagrams.

¹ Dresden University of Technology, Dresden, Germany