

## Tieftemperatur SQUID-Magnetometer

*Tomasz Cichorek und Ana Celia Mota*

Dieses Projekt begann im März 2002 mit der Stiftung eines Mischungskryostaten (komplett mit Elektronik und der zur Kontrolle und Durchführung der Messung notwendigen Software) durch die Gruppe um Prof. A. C. Mota von der Eidgenössischen Technischen Hochschule (ETH) Zürich an das MPI-CPfS.

Dieser Kryostat ermöglicht die Durchführung ultrasensitiver Induktivitätsmessungen im Temperaturbereich von 6 mK bis 9 K mittels zweier Gegeninduktivitätsmessbrücken mit SQUID-Sensoren (Superconducting Quantum Interference Devices). Für Messungen im dc-Modus wird ein digitaler Quantenfluss-Zähler verwendet. In der speziell angefertigten Mischkammer kommen die Proben in direkten Kontakt mit dem flüssigen Gemisch aus  $^3\text{He}$  und  $^4\text{He}$ . Die Temperaturbestimmung im tiefsten Temperaturbereich erfolgt mittels  $^3\text{He}$  einem paramagnetischen Salz, das dem Curieschen Gesetz bis etwa 2 mK folgt. Die Messung der Suszeptibilität des Salzes wird ebenfalls mit Hilfe einer Gegeninduktivitätsbrücke mit SQUID-Sensor durchgeführt. In diesem Aufbau werden weder supraleitende Abschirmungen noch Spulen im sog. "persistent mode" verwendet. Um die Abschirmung des Erdmagnetfeldes zu gewährleisten, befinden sich zwei Schichten Cryoperm im äußeren  $^4\text{He}$ -Bad.

Die Installation dieses Kryostaten ist nun abgeschlossen: Erste Tests der SQUID-Elektronik und der zugehörigen Computerprogramme bei Temperaturen im Millikelvin-Bereich waren erfolgreich.

Zukünftig soll mit diesem experimentellen Aufbau die Fluss-Dynamik unkonventioneller Supraleiter untersucht werden. So wurde in einigen supraleitenden Phasen mit gebrochener Zeitumkehrsymmetrie, wie z.B.  $\text{UPt}_3$  und  $\text{U}_{1-x}\text{Th}_x\text{Be}_{13}$  mit  $x = 2.75\%$ , ein bislang unbekanntes Verhalten gefunden [1]; unterhalb der zweiten supraleitenden Sprungtemperatur  $T_{C2}$  beobachtet man in metastabilen Konfigurationen kein Flusskriechen der supraleitenden Vortices (magnetische Flusswirbel), wie es sonst in allen anderen bekannten Supraleitern der Fall ist. Demgegenüber ist das Flusskriechen dieser zwei Materialien bei höherer Temperatur deutlich ausgeprägt. Der Übergang in der Kriechrate bei  $T_{C2}$  ist sehr scharf und beträgt etwa drei Größenordnungen.

Das Fehlen von Flusskriechen in den  $\tau$ -gebrochenen Phasen dieser unkonventionellen Supraleiter wurde von Sigrist und Agterberg so interpretiert [2], dass stark verankerte Vortices mit unvollständigem Flussquant (Flußquant  $\Phi_0 = 2 \times 10^{-11} \text{ T cm}^2$ ) in den Wänden zwischen entarteten supraleitenden Domänen sitzen.

### Referenzen

- [1] *E. Dumont and A.C. Mota*, Phys. Rev. B **65**, 144519 (2002).
- [2] *M. Sigrist and D. F. Agterberg*, Prog. Theor. Phys. **102**, 965 (1999).

## Low Temperature SQUID Magnetometer

*Tomasz Cichorek and Ana Celia Mota*

This project was started in March 2002. At that time, a dilution refrigerator (complete with electronics and the required software for controlling and data acquisition) from the group of Prof. A. C. Mota in Zurich was donated by the ETH (Eidgenössische Technische Hochschule) to the MPI CPfS.

This particular cryostat allows ultra sensitive inductive measurements using two mutual inductance bridges with SQUIDs (Superconducting Quantum Interference Device) as detectors in the temperature range 6 mK – 9 K. For dc measurements a digital quantum flux counter is used. In the



*Fig. 1: Lower part of the dilution refrigerator showing the three experimental towers for SQUID inductive measurements.*

custom made mixing chamber samples are placed in direct contact with the liquid  $^3\text{He} - ^4\text{He}$  mixture. Thermometry at the lowest temperatures is done a paramagnetic salt that follows Curie law and orders at around 2 mK. The detection of the susceptibility of this salt is also done with a mutual inductance bridge with a SQUID as detector. In this arrangement, neither superconducting shielding nor coils in persistent mode are used. Two layers of cryoperm in the liquid  $^4\text{He}$  bath are used to reduce the Earth's magnetic field.

The installation of this cryostat is now completed. First tests of the SQUID electronics and related computer programs at millikelvin temperatures were successful.

This experimental arrangement will be used to investigate flux dynamics in unconventional superconductors. In particular, in some superconducting phases that break time reversal symmetry, like  $\text{UPt}_3$  and  $\text{U}_{1-x}\text{Th}_x\text{Be}_{13}$  with  $x = 2.75\%$ , a new phenomenon was found [1]; vortices in the superconducting phase below their second superconducting transition temperature  $T_{C2}$ , do not creep from metastable configurations, as in all other known superconductors. However, in the high temperature superconducting phase of these two materials vortex creep is strong. The transition in creep rates occurring at  $T_{C2}$  is very sharp and amounts to about three orders of magnitude in creep rates.

The lack of creep in the  $\tau$ -breaking phases of these unconventional superconductors has been interpreted by Sigrist and Agterberg [2] as due to strongly pinned vortices with a fraction of the flux quantum, (flux quantum,  $\Phi_0 = 2 \times 10^{-11} \text{ T cm}^2$ ) sitting in domain walls separating degenerate superconducting domains.