

Hochfeldlabor Dresden

Steffen Wirth, Yuri Skourski, Jürgen Haase, Anders Bentien, Philipp Gegenwart, Michael Baenitz und Frank Steglich

Am Forschungszentrum Rossendorf soll ein Zentrum für gepulste magnetische Felder mit Feldstärken von bis zu 100 T und einer Dauer von etwa 10 ms entstehen. An diesem Projekt ist neben dem Forschungszentrum Rossendorf, dem Leibniz-Institut für Festkörper- und Werkstoffforschung (IFW) Dresden, dem MPI für Physik komplexer Systeme und dem Institut für Festkörperphysik der TU Dresden auch das MPI CPfS beteiligt. Um Erfahrungen mit dem Aufbau und dem Betrieb einer solch komplexen Anlage zu sammeln, wurden am IFW ein 50 T Magnet (Pulsdauer 11 ms) und ein 40 T Magnet (Pulsdauer 130 ms) in Betrieb genommen. An diesem Vorprojekt sind alle Projektpartner beteiligt und können jederzeit Messungen durchführen. Im Rahmen des Vorprojekts wurde insbesondere eine Thyristor-gesteuerte Kondensatorbank entwickelt, die auf einfache Weise ein Umpolen des Magnetfeldes gestattet. Derzeit können Magnetisierungs- und Magnetotransportmessungen im Temperaturbereich von 1,7 K – 300 K in den gepulsten Feldern ausgeführt werden. Abb. 1 zeigt einen Blick auf den Kryostaten, in dem sich die Magnetspule befindet.

Das Engagement des MPI CPfS beim Aufbau und Betrieb der Anlage am IFW ist zweifach: Zum einen wurde personelle und finanzielle Unterstützung geleistet. Dr. Y. Skourski arbeitet an der Programmierung und Steuerung der Hochfeldanlage sowie an Untersuchungen zu Magnetisierungs- und Transportphänomenen [1,2]. Zum anderen ist das MPI CPfS natürlich auch an der Nutzung der hohen Magnetfelder für eigene Messungen interessiert. Dabei soll insbesondere auch das Spektrum der im Hochfeldbereich zur Verfügung stehenden Messmethoden erweitert werden.

Ein wichtiges Vorhaben in diesem Zusammenhang ist die Integration von Messungen zur Kernspinresonanz (NMR) in das Hochfeld-Labor (Dr. J. Haase). Üblicherweise nahm man bisher an, dass zur Durchführung von NMR-Experimenten aufgrund der hohen Anforderungen an Empfindlichkeit und Auflösungsvermögen statische und homogene Magnetfelder benötigt werden. Unsere theoretischen Betrachtungen legten jedoch nahe, dass

NMR auch im Pulsfeld möglich sein sollte, wenn man sich auf sehr kleine Probenköpfe beschränkt. Das Messen eines NMR-Signals im zeitabhängigen Magnetfeld und bei den gegebenen ungünstigen Signal-zu-Rausch-Verhältnissen erwies sich dennoch als eine Herausforderung, die aber in jüngster Zeit gemeistert werden konnte. Das erstmalig gemessene Abklingen der freien NMR-Induktion (nach einem kurzen Impuls mit Radiofrequenz) von ^{63}Cu in Kupfermetall im gepulsten Magnetfeld ist in Abb. 2 dargestellt. Aufgrund des in diesem ersten Versuch erreichten Signal-zu-Rausch-Verhältnis und der Signalauflösung sind wir äußerst zuversichtlich, dass mit diesen Messungen ein echter Durchbruch zur Pulsfeld-NMR gelungen ist. Damit können möglicherweise eine Reihe von Fragestellungen bezüglich der Materialeigenschaften in hohen Magnetfeldern erforscht werden.



Abb. 1: Ansicht der 50 T-Pulsfeldanlage mit Helium-Kryostat zur Probenaufnahme (oben), Stickstoffkryostat (unten) für die Impulsspule und Berstschutz. Fig. 1: View of the 50 T pulsed field equipment with Helium cryostat for sample cooling (upper) and nitrogen cryostat for cooling of the pulsed magnetic field coil. The burst protection is also visible.

High Magnetic Field Laboratory Dresden

Steffen Wirth, Yuri Skourski, Jürgen Haase, Anders Bentien, Philipp Gegenwart, Michael Baenitz and Frank Steglich

A laboratory for pulsed high magnetic fields with fields reaching up to 100 T in strength and about 10 ms in duration is to be developed at the research Center Rossendorf (near Dresden). Several institutes are involved in this demanding project: the Research Center Rossendorf, the Leibniz Institute for Solid State and Materials Research (IFW) Dresden, the MPI for Physics of Complex Systems, the Institute of Solid State Physics at the Technical University Dresden and the MPI for Chemical Physics of Solids. In order to gain experience in the design and operation of such a complex facility two test magnets were installed at the IFW: a 50 T-magnet (pulse width about 11 ms) and a 40 T long pulse (130 ms) magnet. All afore mentioned institutes participate in this test project and may conduct measurements at any time. One particular focus of the test project was the development of a thyristor-driven capacitor bank which allows for field reversal by utilizing industrial circuit breakers. At present, magnetization and magnetotransport measurements in a temperature range of 1.7 K – 300 K can be performed in pulsed fields. Fig. 1 shows the cryostat in which the magnet coil is situated.

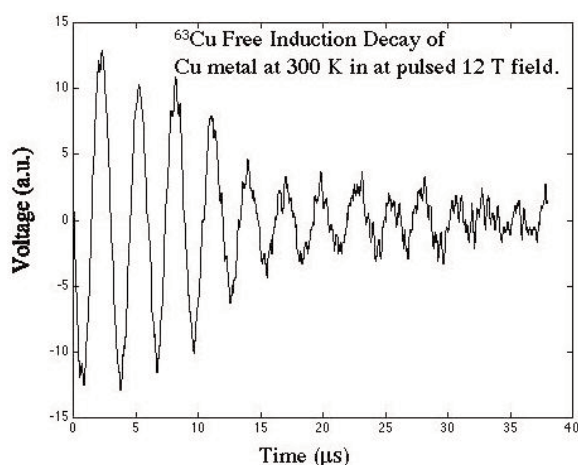


Fig. 2: NMR free induction decay of ^{63}Cu in copper metal in a pulsed field (300 K, 12 T). The signal was measured after a short radio frequency pulse.

Abb. 2: Abklingen der freien NMR-Induktion von ^{63}Cu im gepulsten Magnetfeld (300 K, 12 T). Das Signal wurde nach Anlegen eines kurzen Impulses mit Radiofrequenz gemessen.

The commitment of the MPI CPfS to the development and operation of the high field facility at the IFW is twofold: Firstly, research staff and financial support is provided. Dr. Y. Skourski is developing software for controlling the magnets as well as conducting magnetization and transport measurements [1, 2]. Secondly, the MPI CPfS is interested in using the high magnetic fields to promote its own research. Of particular importance is the question whether the spectrum of methods that probe the physical properties of materials under high-field conditions can be extended.

For this purpose we started to explore the possibility of performing Nuclear Magnetic Resonance (NMR) under pulsed field conditions during recent months (Dr. Haase). Common belief holds that sensitivity and resolution require static, homogeneous magnetic fields for NMR. However, our initial theoretical studies showed that NMR should indeed be possible in pulsed fields if one resorts to very small probes. Nevertheless, the search for an actual NMR signal in a time-dependent magnetic field under signal-to-noise constraints and with many other unknowns proved to be challenging. Very recently, we succeeded in obtaining a reasonable NMR signal. For the first time NMR free induction decay (after a short radio frequency pulse) of ^{63}Cu in copper metal in a strong pulsed field (300 K, 12 T) was measured (Fig. 2). The obtained signal-to-noise and resolution (at this initial stage) make us confident that a breakthrough has been achieved. Given the great potential of NMR it should be possible to address a number of open questions on materials at extreme magnetic fields.

Another example for making use of high magnetic fields for our research interests is shown in Fig. 3. Here, magnetization measurements were performed on the heavy fermion metal CeNi_2Ge_2 . Prior to the measurements the powdered material was aligned with respect to its magnetically easy axis (implying also a crystallographic alignment) and compacted. Measurements performed on such textured samples show a metamagnetic transition at $\mu_0 H \dagger 43$ T for temperatures below 10 K. This transition can clearly be recognized from the deriv-

Ein weiteres Beispiel für die Nutzung hoher Magnetfelder in unseren aktuellen Forschungsrichtungen ist in Abb. 3 dargestellt: Es werden Magnetisierungsmessungen an dem Schwere-Fermionen-Metall CeNi_2Ge_2 vorgestellt. Die Verbindung lag in Pulverform vor und wurde vor der Messung in einem Magnetfeld in Bezug auf die magnetisch leichte Richtung (und demzufolge auch in Bezug auf die entsprechende kristallographische Richtung) ausgerichtet und kompaktiert. Die Messungen an derart texturierten Proben zeigen bei Temperaturen unterhalb 10 K einen metamagnetischen Übergang bei einem Magnetfeld von $\mu_0 H \dagger 43$ T, der besonders gut in der Ableitung dM/dH (differenzielle Suszeptibilität, Abb. 3, rechte Skala) zu erkennen ist. Dieser metamagnetische Übergang in der unmagnetischen Schwere-Fermionen-Verbindung CeNi_2Ge_2 wird interpretiert als ein Übergang vom itineranten Charakter der f -Elektronen des Ce im Grundzustand zur Lokalisation dieser Elektronen im Hochfeldzustand (d.h. im Kondo-Regime). Die Messdaten stimmen gut mit Messungen an sogenanntem freien Pulver [3] überein und belegen somit deren Qualität.

In Zukunft soll auch die Messung der spezifische Wärme im Hochfeld etabliert werden. Hier gilt es, die in der Wärmeleitfähigkeitsmessung genutzte

3ω -Methode zu erweitern (Aufbringen einer zweiten, strukturierten Schicht), um schnelle spezifische Wärmemessungen (10 kHz – 100 kHz) während der Magnetpulse zu ermöglichen (A. Bienten).

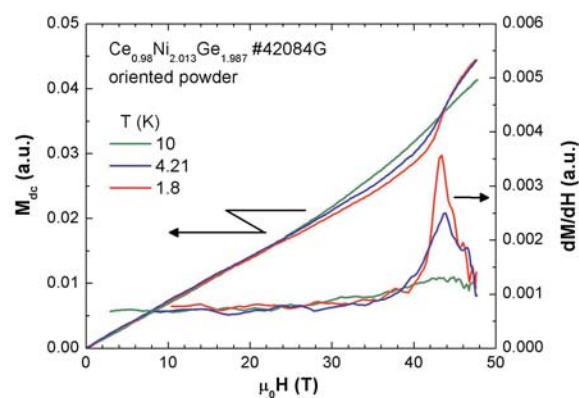


Abb. 3: Magnetisierungskurven und deren Ableitung dM/dH für eine texturierte CeNi_2Ge_2 -Probe, gemessen bei Temperaturen von 1,8 K, 4,2 K und 10 K und im Magnetfeld bis 48 T. Der metamagnetische Übergang bei etwa 43 T ist in der Ableitung deutlich zu erkennen.
Fig. 3: Magnetization curves and their derivatives dM/dH for an aligned CeNi_2Ge_2 sample measured at temperatures of 1.8 K, 4.2 K and 10 K and in magnetic fields up to 48 T. The metamagnetic transition at about 43 T is evident.

ative dM/dH (differential susceptibility, Fig. 3, right scale). Such behavior in the non-magnetic heavy fermion compound $CeNi_2Ge_2$ is interpreted as a transition from an itinerant character of the Ce f-electrons in the ground state to a more localized character of these electrons in the high-field state (i.e., in the Kondo regime). The quality of the presented data is confirmed by measurements employing the so-called free powder method [3].

Moreover, measurements of the specific heat in pulsed magnetic fields will be established. Here, the so-called 3ω -method commonly used for heat conductivity measurements will be enhanced in order to enable very fast (10 kHz – 100 kHz) spe-

cific heat measurements during the relatively short magnetic field pulses (deposition of a second structured layer, A. Bentien).

References

- [1] *Y. Skourski, I. Tereshina, S. Wirth, H. Drulis, N. Mattern, D. Eckert, S. Nikitin and K.-H. Müller*, in press IEEE Trans. Magn. (2002).
- [2] *N. Kozlova, K. Dörr, D. Eckert, A. Handstein, Y. Skourski, T. Walter, K.-H. Müller and L. Schultz*, to be published in J. Appl. Phys. (2003).
- [3] *T. Fukuhara, K. Maezawa, H. Ohkuni, J. Sakurai, H. Sato, H. Azuma, K. Sugiyama, Y. Onuki and K. Kindo*, J. Phys. Soc. Jpn. **65**, 1559 (1996).