

Festkörperphysik

Prof. Dr. Frank Steglich

Experimentelle Festkörperforschung an vorderster Front lässt sich nur dann betreiben, wenn geeignete Messplätze zur Verfügung stehen, die höchste Empfindlichkeit auch unter vielfältigen Extrembedingungen (kleine Proben, tiefe Temperaturen, hohe Drücke, hohe Magnetfelder) garantieren. Daher nahmen im Programm des Forschungsgebietes Festkörperphysik und der beiden Kompetenzgruppen Tiefe Temperaturen und Hohe Drücke auch in diesem Berichtszeitraum methodische Neuentwicklungen einen breiten Raum ein; siehe hierzu die Berichte über *Tieftemperatur-Magnetisierung unter hydrostatischem Druck*; *Messungen der spezifischen Wärmekapazität unter hohem Druck: Neue Entwicklungen*; *Aufbau von Apparaturen zur Messung der spezifischen Wärme, thermischen Leitfähigkeit und Magnetostraktion für gepulste Magnetfelder am Hochfeldlabor Dresden (HLD)*; *Frontiers of NMR in Pulsed High Field Magnets*; *Breitlinien-Festkörper-NMR: Neue Spektrometer und Techniken, erste Resultate*; *Aufbau für die gleichzeitige Messung von Neutronenstreuung und AC-Suszeptibilität*; *Thermotransport-Messungen bei tiefen Temperaturen und im Magnetfeld sowie Rastertunnelmikroskop für sehr tiefe Temperaturen, hohe Magnetfelder und Ultrahochvakuum*. Außerdem wurde in der Kompetenzgruppe Theorie zu der Weiterentwicklung der *Finite-Temperature-Lanczos-Methode* gearbeitet.

Die Mehrzahl unserer Aktivitäten war im Berichtszeitraum in Kooperationen mit den Forschungsbereichen Chemische Metallkunde und Anorganische Chemie sowie mehreren Kompetenzgruppen eingebunden. So wurden die früher begonnenen Untersuchungen bestimmter Käfigverbindungen in enger Zusammenarbeit mit dem Forschungsbereich Chemische Metallkunde fortgeführt, siehe dazu die Berichte über *Advances in Clathrate Research* und *Filled Skutterudites – Physics and Chemistry of Iron Antimonides of Alkali, Alkaline-Earth, and Rare-Earth Metals*. Korrelierte Halbmetalle waren ebenfalls Gegenstand des Projektes *Sn-NMR Study on the Correlated Semimetals U_2Ru_2Sn and $CeRu_4Sn_6$* .

Gemeinsam mit dem Forschungsbereich Chemische Metallkunde haben wir begonnen, das Temperatur-Druck-Phasendiagramm des ferromagnetischen Metalls FeGe (einer homologen Verbindung zum Kondo-Isolator FeSi) zu untersuchen, siehe hierzu den Bericht über *Unusual Metallic Properties in Cubic FeGe at High Pressure*. In Kooperation mit dem Forschungsbereich Anorganische Chemie fanden wir (erstmalig überhaupt) überzeugende Hinweise auf die Existenz eines unmagnetischen, durch strukturelle Defekte hervorgerufenen Kondo-Effekts (*Orbital (Two-Channel) Kondo Effect Problem in Nonmagnetic PbFCl-Type Pnictide Chalcogenides*).

Im Zentrum der experimentell ausgerichteten physikalischen Forschung am Institut stand in den letzten drei Jahren das Studium des Wechselspiels von unkonventioneller Supraleitung und Quantenkritikalität. Das hierfür benötigte hochwertige Probenmaterial wurde zum größten Teil in der Kompetenzgruppe Materialentwicklung präpariert: *CeRh_{1-x}Pd_x (Smeared Ferromagnetic Quantum Phase Transition in CeRh_{1-x}Pd_x)*, *CeCu₂Si₂ und CeCu₂(Si_{1-x}Ge_x)₂ (Two Distinct Superconducting Phases in CeCu₂Si₂ und Nature of the Magnetic Order in CeCu₂Si₂ and Interplay with Superconductivity)* sowie *YbRh₂Si₂, (Yb_{1-x}La_x)Rh₂Si₂, YbRh₂(Si_{1-x}Ge_x)₂ und YbIr₂Si₂ (Magnetic Properties of the Quantum Critical Point in YbRh₂Si₂; Systematic Study of the Grüneisen-Ratio near Quantum Critical Points; Kondo-Ion Electron-Spin Resonance und Hall-Effect Evolution across a Heavy-Fermion Quantum Critical Point)*. Die Untersuchungen zum Grüneisen-Verhältnis konnten auf von anderen Gruppen bereitgestellte Proben der quantenkritischen Materialien *CeNi₂Ge₂ und CeCu_{6-x}Ag_x* ausgedehnt werden. Darüber hinaus widmeten wir uns in Zusammenarbeit mit auswärtigen Kollegen den Eigenschaften der Schwere-Fermionen-Supraleiter *CeCoIn₅ und PrOs₄Sb₁₂ (Quantum Criticality and Superconductivity in the Heavy-Fermion Compound CeCoIn₅ bzw. Low-Field Magnetic Investigations of the Superconducting State in PrOs₄Sb₁₂)*.

Solid State Physics

Prof. Dr. Frank Steglich

The availability of measurement setups for highest sensitivity under multi-extreme conditions (small samples, low temperatures, high pressures, high magnetic fields) forms the basis for experimental solid-state physics at the forefront of contemporary research. Therefore, in the last period (2003–2005), like in the previous ones, several methodological developments have been made in our Department and the Competence Groups Low Temperatures and High Pressures, cf. the reports on *Low-Temperature Magnetization under Hydrostatic Pressure*; *Specific-Heat Measurements under High Pressure: New Developments*; *Setups of Specific-Heat, Thermal-Conductivity and Magnetostriction Experiments in Pulsed Magnetic Fields at the Dresden High Magnetic Field Laboratory (HLD)*; *Frontiers of NMR in Pulsed High Field Magnets*; *Broad-Line Solid-State NMR: New Equipment and Techniques, First Results*; *New Setup for Simultaneous Measurements of Neutron Scattering and AC Susceptibility*; *Low-Temperature Thermal-Transport Measurements in Magnetic Field and Scanning Tunneling Microscope for Very Low Temperatures, High Magnetic Fields and Ultra High Vacuum*. The Competence Group Theory continued the work towards *Further Development of the Finite-Temperature Lanczos Method*.

Most of the research activities in our Department have been part of in-house collaborations with the Departments of Chemical Metals Science and Inorganic Chemistry as well as several Competence Groups. Our ongoing investigations on filled-cage compounds, being done jointly with the Department of Chemical Metals Science, have furnished new insights into the electronic properties of these materials, cf. *Advances in Clathrate Research and Filled Skutterudites — Physics and Chemistry of Iron Antimonides of Alkali, Alkaline-Earth, and Rare-Earth Metals*. The study of correlated semimetals was also at the heart of the project *Sn-NMR Study on the Correlated Semimetals U_2Ru_2Sn and $CeRu_4Sn_6$* . Together with the Department of Chemical Metals Science we have begun to explore the temperature-pressure phase diagram of the ferromagnetic metal FeGe (a homologue to the Kondo

insulator FeSi), cf. *Unusual Metallic Properties in Cubic FeGe at High Pressure*. Our collaboration with the Department of Inorganic Chemistry has been devoted to the (first-ever) demonstration of a non-magnetic, i.e., structural-defect-derived, Kondo effect (*Orbital (Two-Channel) Kondo Effect Problem in Nonmagnetic PbFCl-Type Pnictide Chalcogenides*).

All experimental physics groups of the institute were largely involved in the attempt to better understand the interplay between unconventional superconductivity and quantum criticality. High-quality samples of $CeRh_{1-x}Pd_x$ (*Smeared Ferromagnetic Quantum Phase Transition in $CeRh_{1-x}Pd_x$*), $CeCu_2Si_2$ and $CeCu_2(Si_{1-x}Ge_x)_2$ (*Two Distinct Superconducting Phases in $CeCu_2Si_2$ and Nature of the Magnetic Order in $CeCu_2Si_2$ and Interplay with Superconductivity as well as $YbRh_2Si_2$, $(Yb_{1-x}La_x)Rh_2Si_2$, $YbRh_2(Si_{1-x}Ge_x)_2$ and $YbIr_2Si_2$ (Magnetic Properties of the Quantum Critical point in $YbRh_2Si_2$; Systematic Study of the Grüneisen Ratio near Quantum Critical Points; Kondo-Ion Electron-Spin Resonance and Hall-Effect Evolution across a Heavy-Fermion Quantum Critical Point)* were prepared in the Competence Group Materials Development. Thanks to samples supplied by external groups, our investigations on the Grüneisen ratio could be extended to the quantum critical materials $CeNi_2Ge_2$ and $CeCu_{6-x}Ag_x$. In collaboration with colleagues from other institutions we also addressed the electronic properties of the heavy-fermion superconductors $CeCoIn_5$ (*Quantum Criticality and Superconductivity in the Heavy-Fermion Compound $CeCoIn_5$*) and $PrOs_4Sb_{12}$ (*Low-Field Magnetic Investigations of the Superconducting State in $PrOs_4Sb_{12}$*).

In addition to metallic systems with strong electron-electron correlations we have been interested, during the past three years, in insulating compounds providing low-dimensional arrays of quantum spins. Special emphasis was directed towards both, frustrated magnetic interactions *First Experimental Realization of a Frustrated Ferromagnetic Square-Lattice System* and *Frustrated Square-Lattice Ferromagnets*) and Bose-Einstein conden-

Neben metallischen Systemen mit starken Elektronenkorrelationen galt das Interesse der Physiker in den vergangenen drei Jahren nichtleitenden Verbindungen, die niedrig-dimensionale Anordnungen von Quantenspins aufweisen. In solchen Materialien wurden frustrierte magnetische Wechselwirkungen (*First Experimental Realization of a Frustrated Ferromagnetic Square-Lattice System* und *Frustrated Square-Lattice Ferromagnets*) ebenso untersucht wie die Bose-Einstein-Kondensation von Magnonen (*Bose-Einstein Condensation of Magnons in Cs_2CuCl_4*).

Unsere externen Kooperationspartner waren Kollegen von den Universitäten Augsburg, Braunschweig, Frankfurt am Main, Göttingen, Karlsruhe und Köln, den Technischen Universitäten Dresden und Wien (Österreich), vom HMI (Berlin), IFW (Dresden), MPI-PKS (Dresden), MPI-KP (Heidelberg) und WMI (Garching), von der ETH Zürich, Florida State University (Tallahassee, FL, USA), Jagiellonian University (Krakau, Polen), Kazan University (Russland),

Moscow State University (Russland), MTU (Russland), Okayama University (Japan), Osaka University (Japan), Rice University (Houston, TX, USA), Rutgers University (Piscataway, NJ, USA) und Tohoku University (Sendai, Japan), von der Université de Genève (Schweiz), der Université de Montpellier II (Frankreich) und der Université de Paris-Sud (Orsay, Frankreich), von den Universities of Bristol (UK), California (Davis, Los Angeles, Riverside, San Diego, CA, USA), Florida (Gainesville, USA), Illinois (Urbana-Champaign, USA), Kyoto (Japan), Johannesburg (Südafrika), London (Royal Holloway College, UK), Southern California (Los Angeles, CA, USA), Tokyo (ISSP, Japan), Zagreb (Kroatien), vom CEA (Grenoble, Saclay, Frankreich), Centro Atomico (Bariloche, Argentinien), von der Diamond Light Source (Didcot, UK), vom Indian Institute of Technology (Kanpur, Indien), Los Alamos National Laboratory (NM, USA), Tata Institute (Mumbai, Indien) und vom Trzebiatowski Institute (Polish Academy of Sciences, Wrocław, Polen).

sation of magnons (*Bose-Einstein Condensation of Magnons in Cs_2CuCl_4*).

Our external cooperations involved colleagues from the Universities of Augsburg, Braunschweig, Frankfurt am Main, Göttingen, Karlsruhe and Köln, the Universities of Technology Dresden and Wien (Austria), the HMI (Berlin), IFW (Dresden), MPI-PKS (Dresden), MPI-KP (Heidelberg) and WMI (Garching), from the ETH Zürich, Florida State University (Tallahassee, FL, USA), Jagiellonian University (Krakow, Poland), Kazan University (Russia), Moscow State University (Russia), MTU (Russia), Okayama University (Japan), Osaka University (Japan), Rice University (Houston, TX, USA), Rutgers University (Piscataway, NJ, USA) and Tohoku University (Sendai, Japan), Université de Genève (Switzerland), Université de Mont-

pellier II (France), Université de Paris-Sud (Orsay, France), the Universities of Bristol (UK), California (Davis, Los Angeles, Riverside, San Diego, CA, USA), Florida (Gainesville, USA), Illinois (Urbana-Champaign, USA), Kyoto (Japan), Johannesburg (South Africa), London (Royal Holloway College, UK), Southern California (Los Angeles, CA, USA), Tokyo (ISSP, Japan), Zagreb (Croatia), the CEA (Grenoble, Saclay, France), Centro Atomico (Bariloche, Argentina), Diamond Light Source (Didcot, UK), Indian Institute of Technology (Kanpur, India), Los Alamos National Laboratory (NM, USA), Tata Institute (Mumbai, Indien) and Trzebiatowski Institute (Polish Academy of Sciences, Wrocław, Poland).