

Project title: Ultrafast Dynamics in High-Temperature Superconductors near a Quantum Critical Point (ULTRACRITICAL)

Abstract:

Ultrafast time-resolved spectroscopy offers unique possibilities to study nonequilibrium dynamics of elementary excitations in condensed matter. This method has been particularly successful in studying the critical slowing down of relaxation processes at phase transitions, and tracing the evolution of the complex order parameter and the interplay between the lattice and electronic condensates. However, up to now, most studies have been performed only by varying temperature, where an electronic order is suppressed by thermal fluctuations. This approach does not allow investigating phase transitions between ground-state quantum phases (close to absolute zero) of a system. These quantum phase transitions are extremely important for understanding of high-T_c superconductors, where the coexistence of superconductivity with a magnetic order and its role in the strong enhancement of the superconducting transition temperature is widely debated. Nevertheless a detailed experimental picture of quantum phase transitions in high-T_c superconductors has not been obtained yet.

Here we propose to utilize time-resolved terahertz spectroscopy to resolve this problem for the novel class of iron-based superconductors. Our approach relies on the synergy of ultrafast nonlinear spectroscopy and low-temperature high-pressure technology. It allows us to distinguish competing types of electronic order near the quantum critical point by comparing their ultrafast dynamics and spectral response.

The experiments will be performed on two classes of superconducting materials: iron-based pnictides of “122” type (e.g. BaFe₂As₂) and iron telluride-selenides (FeTe_{1-x}Se_x) which demonstrate a quantum criticality in the vicinity of the “superconducting dome”. Results of our studies will shed light on microscopic mechanisms leading to the formation of Cooper pairs and, in particular, clarify the role of magnetic and charge order fluctuations in this process.

Titel: Ultraschnelle Dynamik in Hochtemperatursupraleitern in der Nähe eines quantenkritischen Punktes (ULTRACRITICAL)

Abstract (deutsch):

Ultraschnelle zeitaufgelöste Spektroskopie bietet einzigartige Möglichkeiten die Nichtgleichgewichts-Dynamik von elementaren Anregungen in kondensierter Materie zu studieren. Diese Methode hat sich als besonders erfolgreich erwiesen bei der Ermittlung der kritischen Verlangsamung von Relaxationsprozessen bei Phasenübergängen und dem Erfassen der Entwicklung des komplexen Ordnungsparameters und des Zusammenspiels zwischen dem Gitter und elektronischen Kondensaten. Jedoch ist bis jetzt in den meisten Studien nur die Temperatur variiert worden, wobei eine elektronische Ordnung durch thermische Fluktuationen unterdrückt wird. Dieser Ansatz erlaubt keine Untersuchung von Phasenübergängen zwischen Quantenphasen im Grundzustand (nahe dem absoluten Nullpunkt) eines Systems. Diese Quantenphasenübergänge sind extrem wichtig für das Verständnis von Hochtemperatursupraleitern, wo die Koexistenz von Supraleitung mit einer magnetischen Ordnung und ihre Rolle hinsichtlich der starken Erhöhung der Supraleitungssprungtemperatur viel diskutiert werden. Dennoch fehlt ein detailliertes experimentelles Bild von Quantenphasenübergängen in Hochtemperatursupraleitern immer noch. Mit diesem Antrag schlagen wir vor, dieses Problem für die neue Klasse von eisenbasierten Supraleitern mittels zeitaufgelöster Terahertz-Spektroskopie zu lösen. Unser Ansatz beruht auf der Synergie von ultraschneller nichtlinearer Spektroskopie und Niedertemperatur-Hochdruck-Technologie. Durch den Vergleich ihrer ultraschnellen Dynamik und spektralen Antwort wird es uns ermöglicht, konkurrierende Arten elektronischer Ordnung in der Nähe des quantenkritischen Punktes zu unterscheiden.

Die Versuche werden an zwei Klassen von supraleitenden Materialien durchgeführt: Eisenbasierte Pnictide des "122" -Typ (z.B. BaFe_2As_2) und Eisen-Tellurid-Selenide ($\text{FeTe}_{1-x}\text{Se}_x$), die quantenkritische Effekte in der Nähe des "supraleitenden Dom" zeigen. Die Ergebnisse werden Aufschluss über mikroskopische Mechanismen zur Bildung von Cooper-Paaren geben und insbesondere die Rolle der Fluktuationen der magnetischen Ordnung und der Ladungsträgerordnung klären.