



Promotionskolloquium

Herr MSc Santanu Mandal

(Experimentalphysik, AG Prof. Dr. Goulielmakis)

“Single-cycle probing of the dynamics of the insulator-to-metal phase transition in VO₂”

Freitag | 24.10.2025 | 15:00 Uhr | HS1 | Hybrid-Veranstaltung

Abstract

This thesis takes advantage of both the ultrashort duration and high peak power of femtosecond laser pulses to explore two essential frontiers in condensed-matter and strong-field physics. First, it resolves the long-debated insulator-to-metal transition mechanism in monoclinic (M1 phase) vanadium dioxide (VO₂) by using a single-cycle optical pulse excitation. The optical pulse first drives the system to an excited metallic rutile state, followed by electron thermalization and lattice relaxation that unfold over tens to hundreds of femtoseconds. Isolation of the structural and electronic dynamics of the system is achieved through this methodology. The extracted pure population dynamics allow for the first time to visualize the highly anharmonic vanadium-vanadium bond oscillations, which play a key role in the physics of the insulating monoclinic to rutile metal phase transition. Second, the thesis demonstrates the development of an advanced solid-state high harmonic generation and spectroscopy apparatus, which combines stable broadband harmonic detection under precisely characterized light fields. This capability enables for the first time, the precise study of the transition from perturbative to nonperturbative or extreme nonlinear optics in bulk crystals. The transition to the extreme regime is probed by tracking the scaling of the harmonic yield with the applied field strength over a broad range of crystalline solids including diamond, MgO, MgF₂, CaF₂, and LiF, thereby providing a platform for investigating the physics of this transition.

Zusammenfassung

Diese Arbeit nutzt sowohl die ultrakurze Dauer als auch die hohe Spitzenleistung von Femtosekunden-Laserpulsen, um zwei wesentliche Grenzbereiche der Physik kondensierter Materie und der Starkfeldphysik zu erforschen. Erstens wird der seit langem diskutierte Mechanismus des Übergangs vom Isolator zum Metall in monoklinem (M1-Phase) Vanadiumdioxid (VO₂) mit Hilfe einer optischen Einzelpulsanregung aufgeklärt. Der optische Puls bringt das System zunächst in einen angeregten metallischen Rutilizustand, gefolgt von Elektronenthermalisierung und Gitterrelaxation, die sich über Dutzende bis Hunderte von Femtosekunden entfalten. Durch diese Methode wird die strukturelle und elektronische Dynamik des Systems isoliert. Die extrahierten reinen Populationsdynamiken ermöglichen zum ersten Mal die Visualisierung der stark anharmonischen Vanadium-Vanadium-Bindungsschwingungen, die eine Schlüsselrolle in der Physik des isolierenden monoklinen zu rutilen Metallphasenübergangs spielen. Zweitens wird in dieser Arbeit die Entwicklung einer fortschrittlichen Festkörperapparatur zur Erzeugung von Oberwellen und zur Spektroskopie demonstriert, die eine stabile breitbandige Detektion von Oberwellen unter präzise charakterisierten Lichtfeldern ermöglicht. Diese Fähigkeit ermöglicht zum ersten Mal die genaue Untersuchung des Übergangs von perturbativer zum nichtperturbativer oder extremer nichtlinearer Optik in Massenkristallen. Der Übergang in den extremen Bereich wird durch die Verfolgung der Skalierung der harmonischen Ausbeute mit der angelegten Feldstärke über eine breite Palette von kristallinen Festkörpern - einschließlich Diamant, MgO, MgF₂, CaF₂ und LiF - untersucht, wodurch eine Plattform für die Erforschung der Physik dieses Übergangs geschaffen wird.

Alle Interessenten sind herzlich eingeladen!

Die Zugangsdaten für eine Online-Teilnahme werden auf Anfrage mitgeteilt. Dazu melden Sie sich bitte bis 23.10.2025 bei verteidigungen.physik@uni-rostock.de.