Spektroskopie unter extremen Bedingungen

Arbeitsgruppe Prof. Dr. Kuntscher, Experimentalphysik II

Einführung

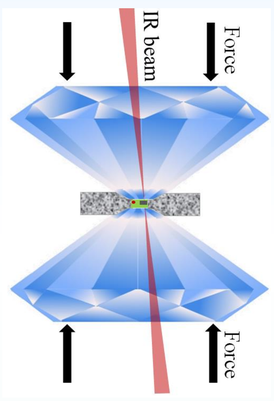
In unserer Arbeitsgruppe untersuchen wir die optischen Eigenschaften verschiedener Materialien unter extremen Bedingungen, darunter Übergangsmetallverbindung, topologische Halbmetalle und 2D Materialien. Insbesondere können wir Infrarotspektroskopie bei Drücken bis zu 25 GPa und Temperaturen bis zu 6 K betreiben.
Unter solchen Bedingungen können wir Phasenübergänge wie Metall-Isolator-Übergang oder strukturelle Übergänge beobachten. Ebenso können exotische Phasen wie z.B. Supraleitung und Mott-Isolatoren erzeugt werden. Dabei lernen wir etwas über die grundlegenden Eigenschaften dieser korrelierten Elektronensysteme.

Um dies zu realisieren, kombinieren wir verschiedene experimentelle Techniken. Standard FTIR Spektrometer in Verbindung mit Infrarotmikroskopen ermöglichen Mikrospektroskopie in Reflexion sowie Transmission. Zur Erzeugung der extremen Bedingungen nutzen wir Diamantstempeldruckzellen und Kryostaten. Ein eigens entwickeltes Mikroskop ermöglicht sogar deren simultane Anwendung.

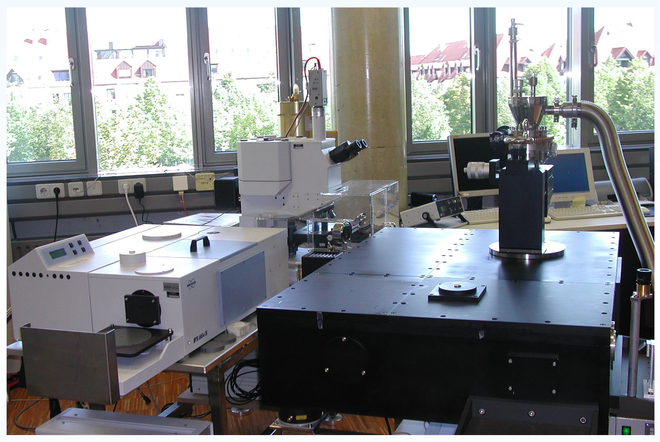
Messtechniken:
- Infrarotspektroskopie
- Raman-Spektroskopie

Phänomene:
- Charakteristische optische Anregungen
- Druckinduzierte elektronische und strukturelle Phasenübergänge
- Druck-Temperatur-Phasendiagramme
- Druckinduzierter dimensionaler Übergang

(a)



(b)

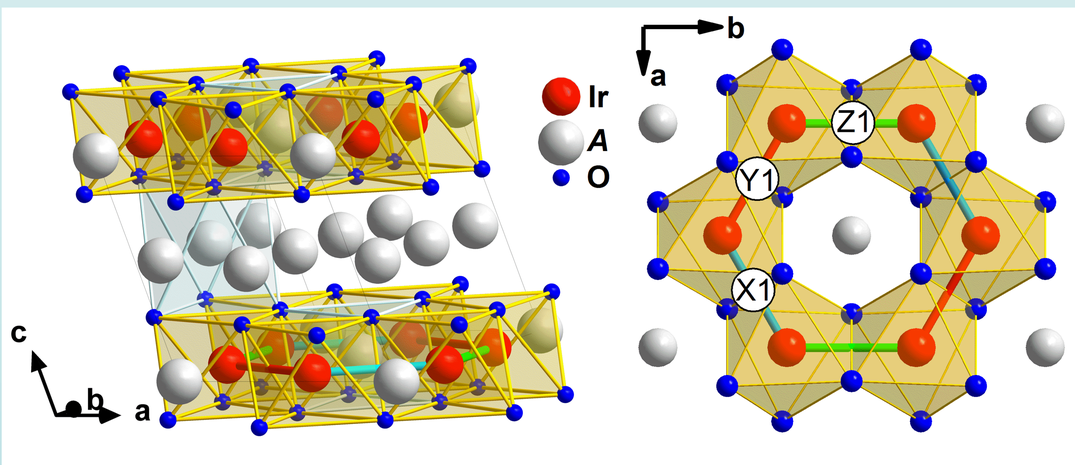


(a) Diamantstempeldruckzelle für druckabhängige optische Messungen.
(b) Selbstentwickeltes Tieftemperaturmikroskop.

Iridate

- Physikalische Eigenschaften sind durch starke Spin-Bahn-Kopplung geprägt.
- Kristallstruktur mit Honigwaben-Charakter
- Isolatoren
- In einigen Fällen antiferromagnetische Ordnung bei tiefen Temperaturen
- Zeigen möglicherweise einen Spinflüssigkeits-Zustand bei tiefen Temperaturen.
- Vergleich zwischen Dotierungseffekten und externem Druck

Bachelorprojekte:
- Charakterisierung der optischen Eigenschaften verschiedener Iridate mittels Infrarotspektroskopie und Raman-Spektroskopie
- Optische Messungen bei tiefen Temperaturen



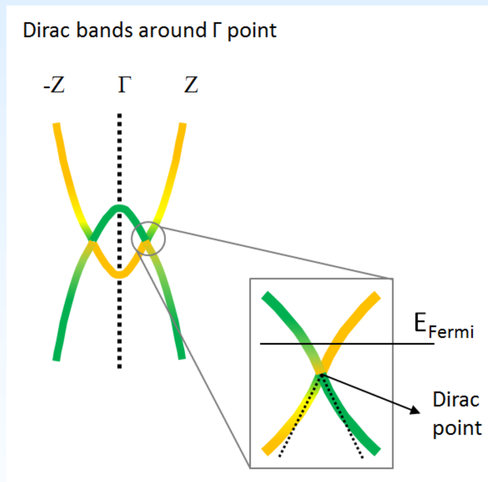
Honigwabenstruktur des α-Li_2IrO_3 mit IrO_6 Oktaedern

Quantenmaterialien

Quantenmaterialien zeigen exotische Eigenschaften, die durch die Wechselwirkung zwischen den Elektronen hervorgerufen werden – wie zum Beispiel den Mott-Isolator-Zustand und Ferromagnetismus – oder auf den topologischen Charakter der Wellenfunktion zurückzuführen sind – wie etwa topologischer Isolator, Dirac-Halbmetall, Weyl-Halbmetall und Line-node Halbmetall. In einigen neuartigen Quantenmaterialien sind beide Phänomene kombiniert, z. B. in topologischen Supraleitern und Spinflüssigkeiten.

Quantenspinflüssigkeiten besitzen großes Anwendungspotential im Zusammenhang mit den aktuell diskutierten Quantencomputern.

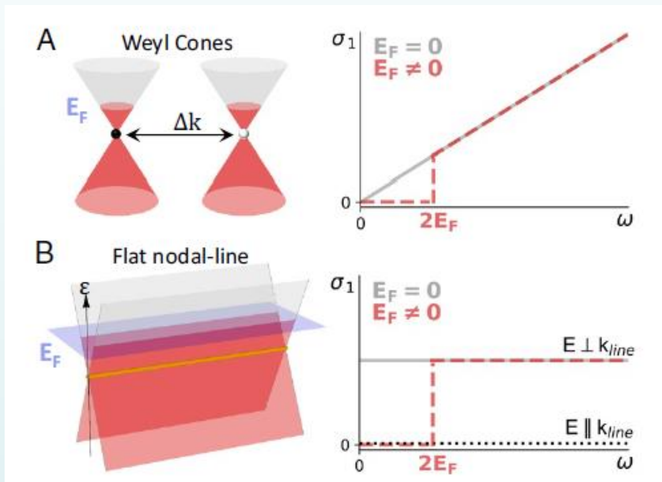
Die Valenzelektronen von Dirac- und Weyl-Halbmetallen werden wie in zweidimensionalem Graphen (eine Monolage von Graphit) durch die Dirac-Gleichung beschrieben. Die elektronischen Bänder zeigen um den Dirac-Punkt eine lineare Dispersion. Die zugehörigen Dirac- bzw. Weyl-Fermionen führen zu außergewöhnlichen Eigenschaften, wie beispielsweise hohe Mobilitäten der Ladungen und extrem großer Magnetwiderstand.



Dirac Materialien

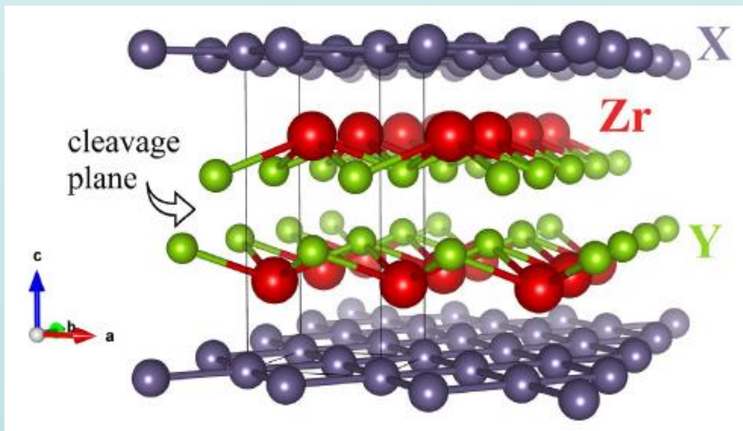
Dirac-Halbmetalle, Weyl-Halbmetalle, *Line-node* Halbmetalle:

Zeigen charakteristische optische Eigenschaften, optische Leitfähigkeit als Funktion der Frequenz, aufgrund ihrer elektronischen Bandstruktur:



Shao et al., PNAS 116, 1168 (2019)

Bachelorprojekte:
- Untersuchung der optischen Eigenschaften verschiedener Dirac-Halbmetalle
- Infrarotspektroskopie als Funktion der Temperatur
- Charakterisierung der Gitterdynamik mittels Raman-Spektroskopie



Kristallstruktur der Line-node Halbmetalle Zr*XY* mit *X*=Si, Ge,… und *Y*=S, Se, Te…