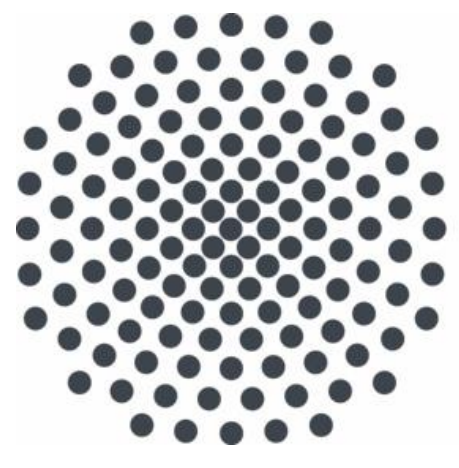




Universität Stuttgart

1. Physikalisches Institut



Institutsleitung
Prof. Dr. rer. nat.
Martin Dressel

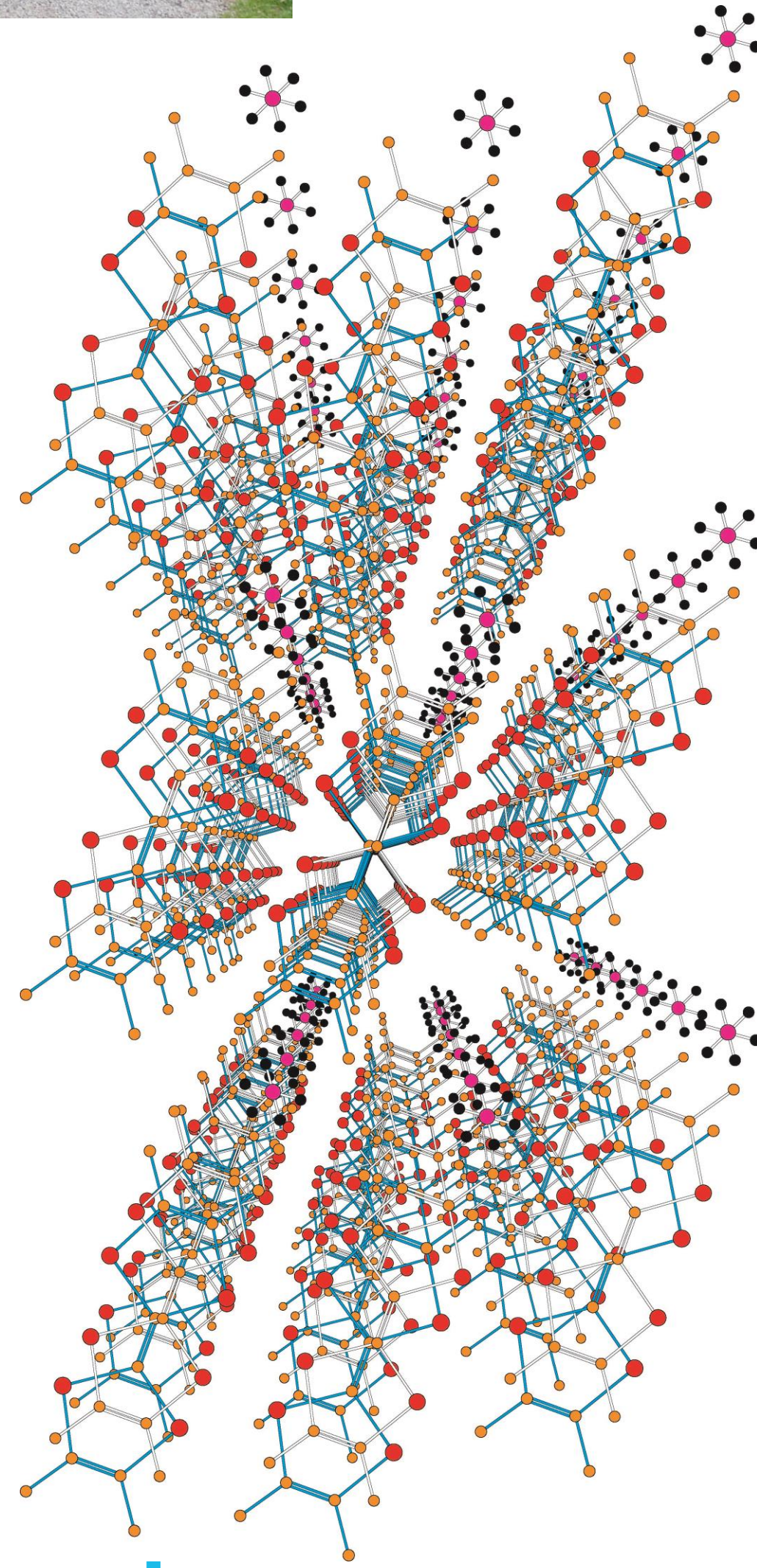
Supraleiter
Molekulare
Quantenmaterialien
Biomaterialien
Topologische
Halbmetalle

Elektronische und optische Eigenschaften neuartiger Materialien

Motivation und Ziel

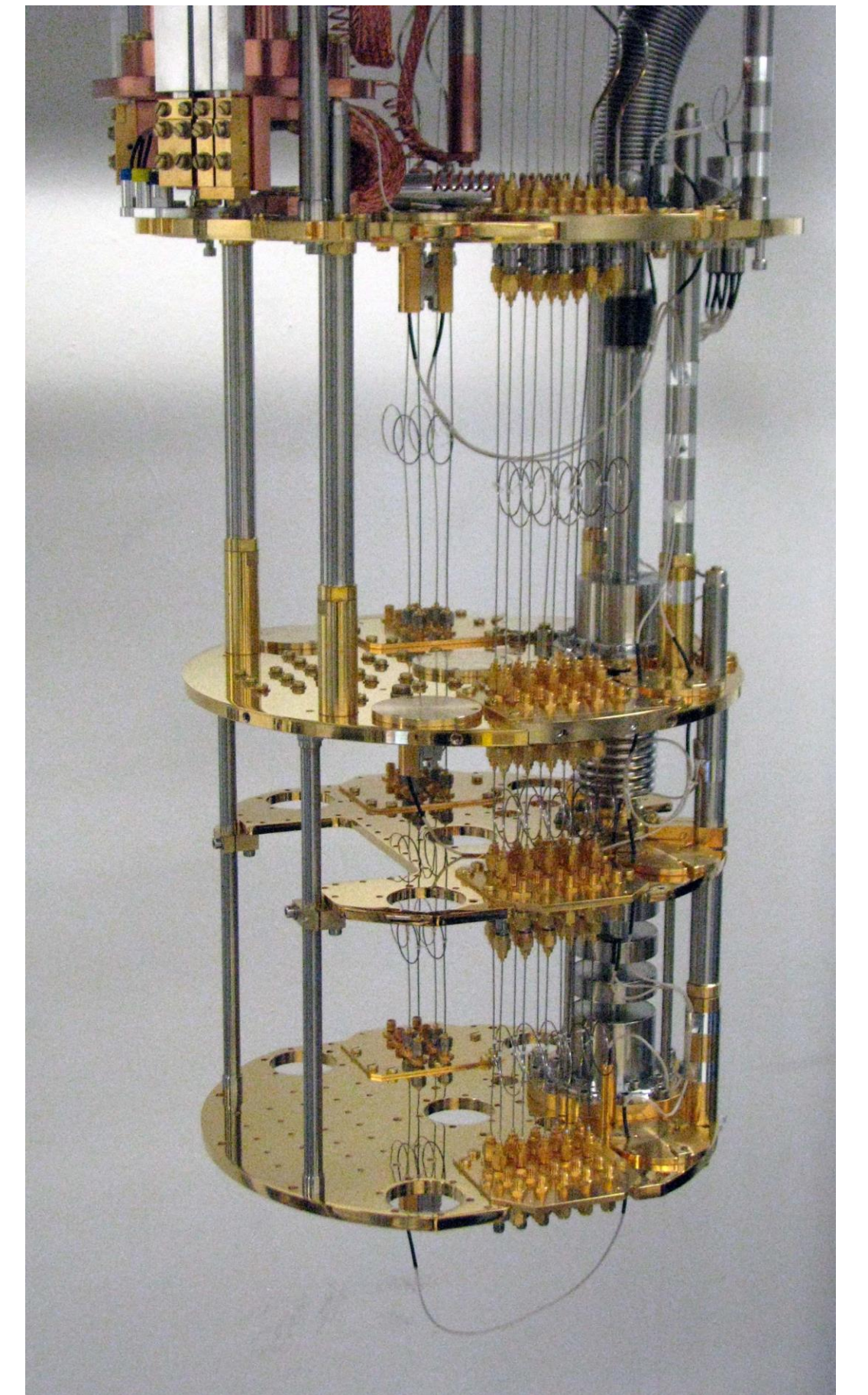
Mit Hilfe ausgefeilter experimenteller Methoden der **Festkörperspektroskopie** untersuchen wir die elektrischen, optischen und magnetischen Eigenschaften in neuartigen Materialien.

- Ziel ist das **grundlegende Verständnis** dieser Phänomene, ihre numerische Simulation und ihre theoretische Beschreibung.
- Die untersuchten Materialien sind oft **Modellsysteme**, welche bestimmte Eigenschaften besonders gut zeigen: niedrig-dimensionale Metalle, Fermi-Flüssigkeit, Supraleitung, Metall-Isolator-Übergang, Spin-Ketten, Quanten-Spin-Flüssigkeit, etc.
- In Zusammenarbeit mit Kollegen aus der Chemie und aus den Materialwissenschaften können die molekularen Bausteine gezielt modifiziert und die Struktur variiert werden, um gewünschte Eigenschaften zu erzielen und zu verbessern: **molecular engineering, tailored matter, functional materials**.

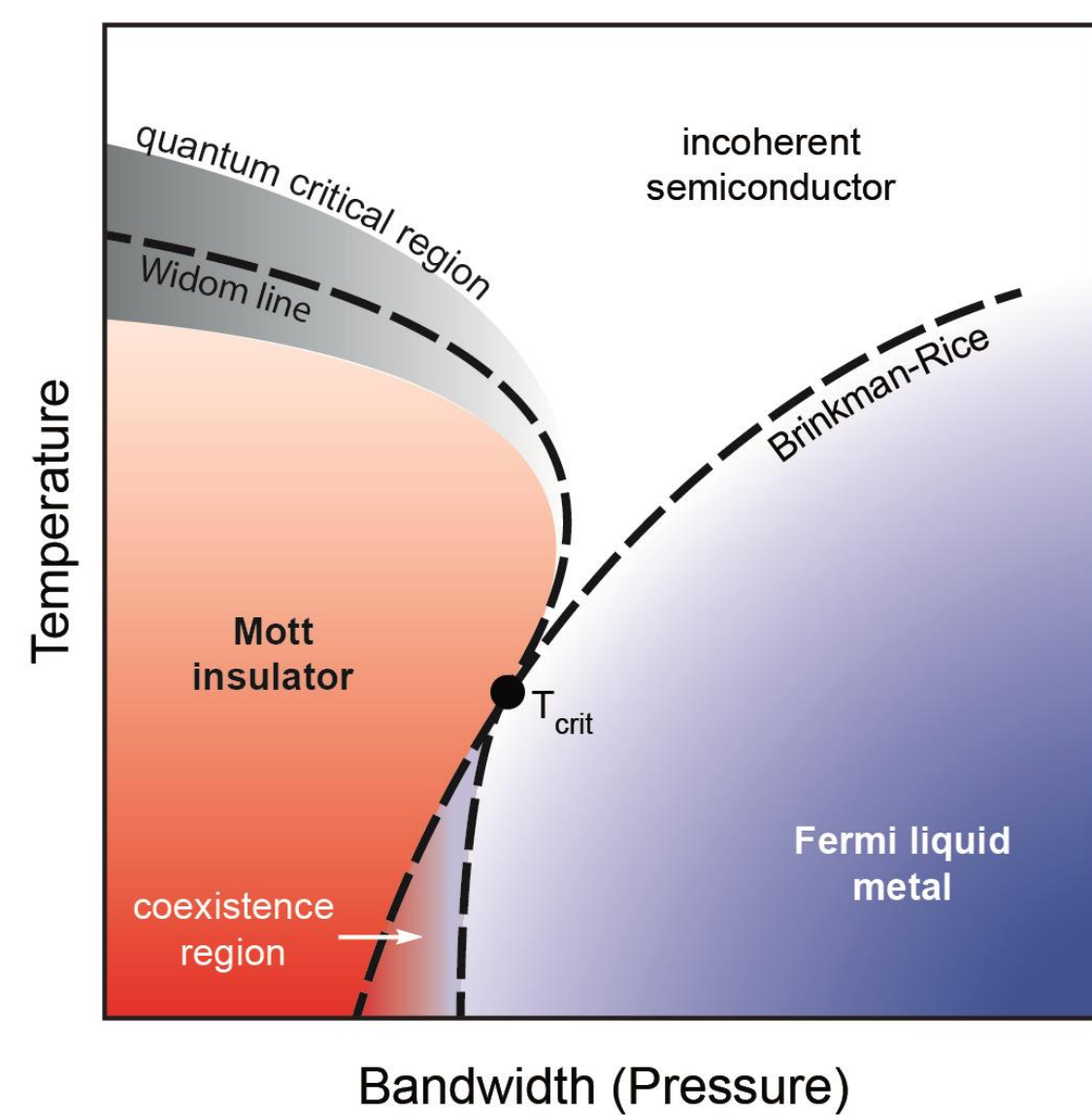


Supraleitung

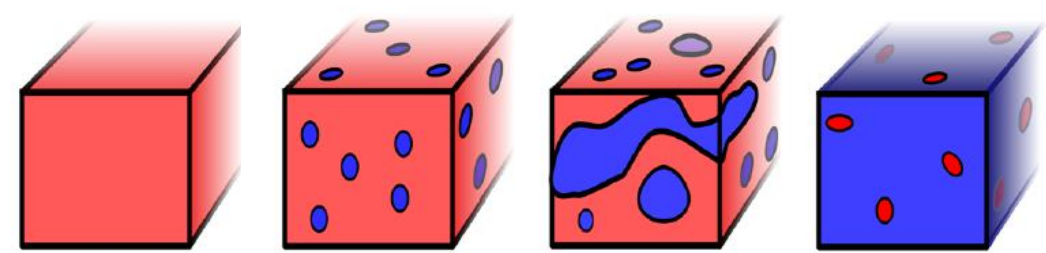
- Supraleiter sind perfekte elektrische Leiter und Diamagnete. Mit der Entdeckung **neuer, exotischer Materialien**, die bei höheren Temperaturen und unter extremen Bedingungen supraleitend werden, steht die theoretische Beschreibung dieses faszinierenden Vielteilchen-Quantenphänomens vor großen Herausforderungen.
- Wir messen die optischen und magnetischen Eigenschaften von neuen molekularen Supraleitern, um die Mechanismen zu verstehen und die Materialien zu optimieren.
- Uns interessiert auch das Wechselspiel von Magnetismus und Supraleitung in Systemen mit **starken Korrelationen**. Hierzu führen wir Experimente unter äußerem Druck und in starken Magnetfeldern durch.
- Wie beeinflusst starke Unordnung oder Nanostrukturierung das supraleitende Verhalten?
- Die meisten **Quantencomputer** nutzen supraleitende Qubits. Wie kann man deren Eigenschaften optimieren?



Metall-Isolator-Übergang und dielektrische Katastrophe

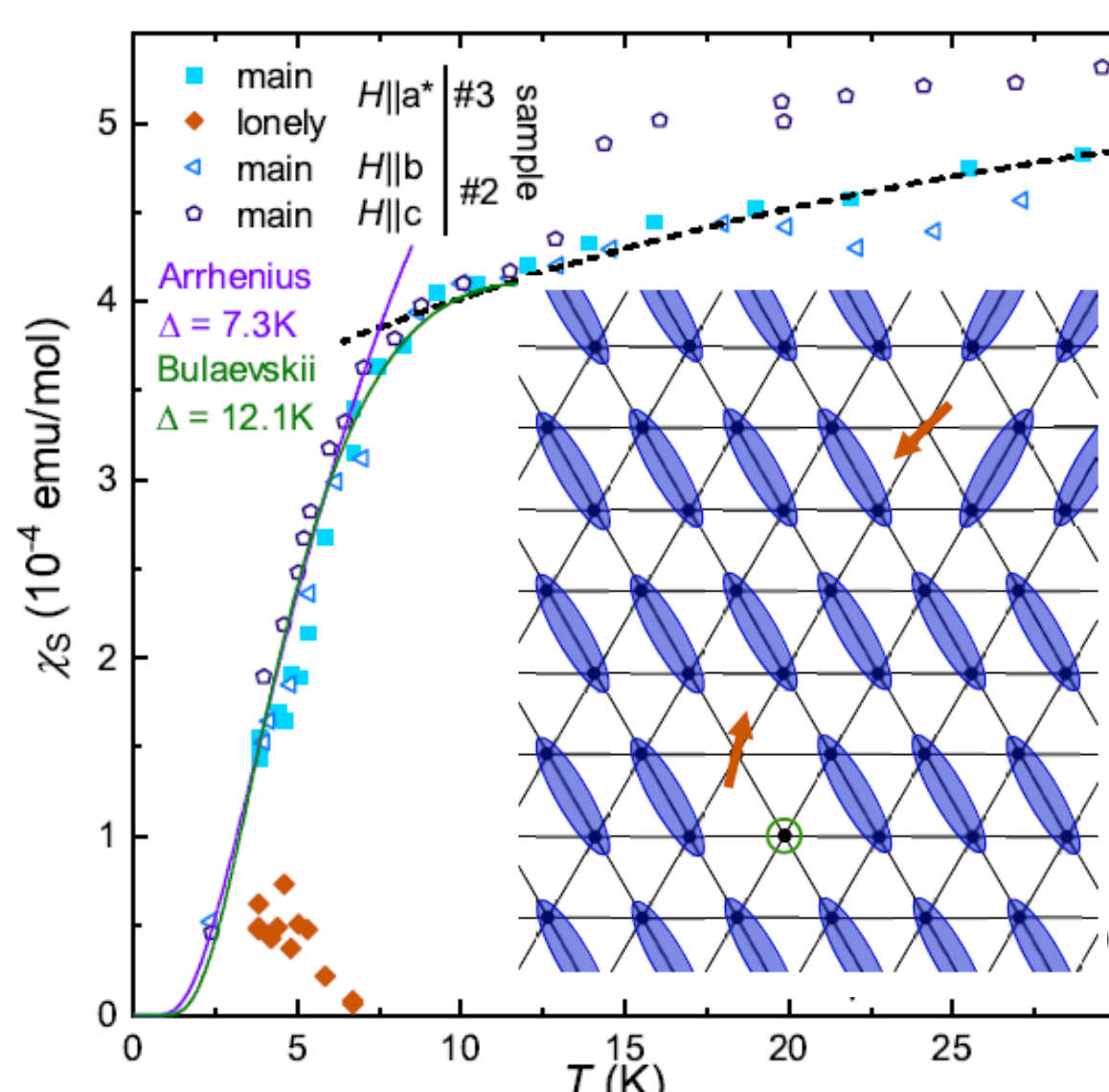
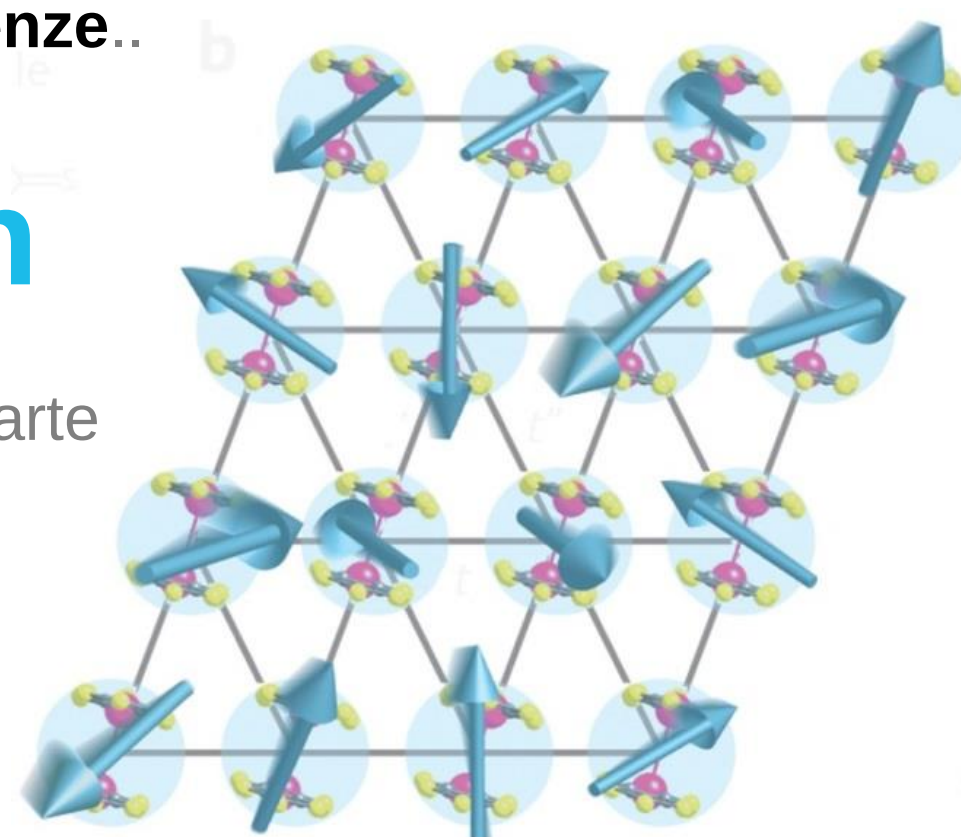


- Metalle werden bei tiefen Temperaturen isolierend, wenn die Elektronen miteinander stark wechselwirken.
- Kristalline organische Leiter mit einer stark frustrierten Dreiecksstruktur sind ideale Modellsysteme, um das Phasendiagramm vollständig zu vermessen.
- Der **Übergang vom Isolator zum Metall** kann sehr gut durch druckabhängige infrarot-optische Messungen bei tiefen Temperaturen untersucht werden.
- Man beobachtet deutliche Abweichungen von dem typischen metallischen Verlauf, wenn die Temperatur oder die Wechselwirkungen zunehmen.
- Im Grenzgebiet findet man gleichzeitig Bereiche mit isolierenden und mit metallischen Eigenschaften. Dies führt zu einer **Divergenz der Permittivität** nahe der **Perkulationsgrenze**.



Quanten-Spin-Flüssigkeiten

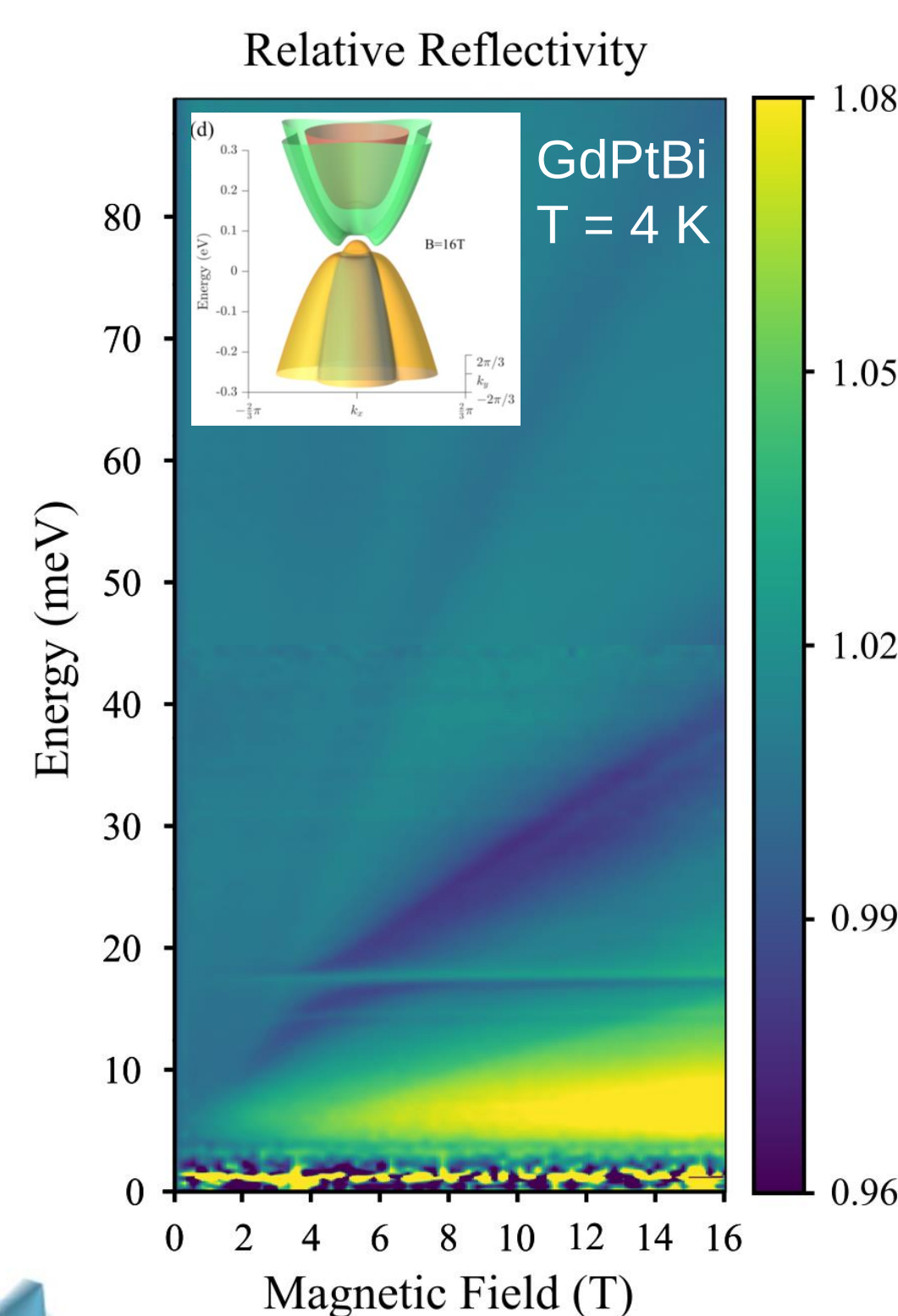
- Auf einem Dreiecksgitter können sich nicht alle jeweils benachbarte Spins gleichzeitig perfekt antiparallel zueinander ausrichten, (**Frustration**), was zu einem ungeordneten Zustand führt, den man **Quanten-Spin-Flüssigkeit** nennt.
- Für diesen neuartigen Quantenzustand werden ganz besondere Eigenschaften vorhergesagt. Es ist jedoch schwierig, diesen Zustand experimentell nachzuweisen und seine Eigenschaften zu untersuchen.



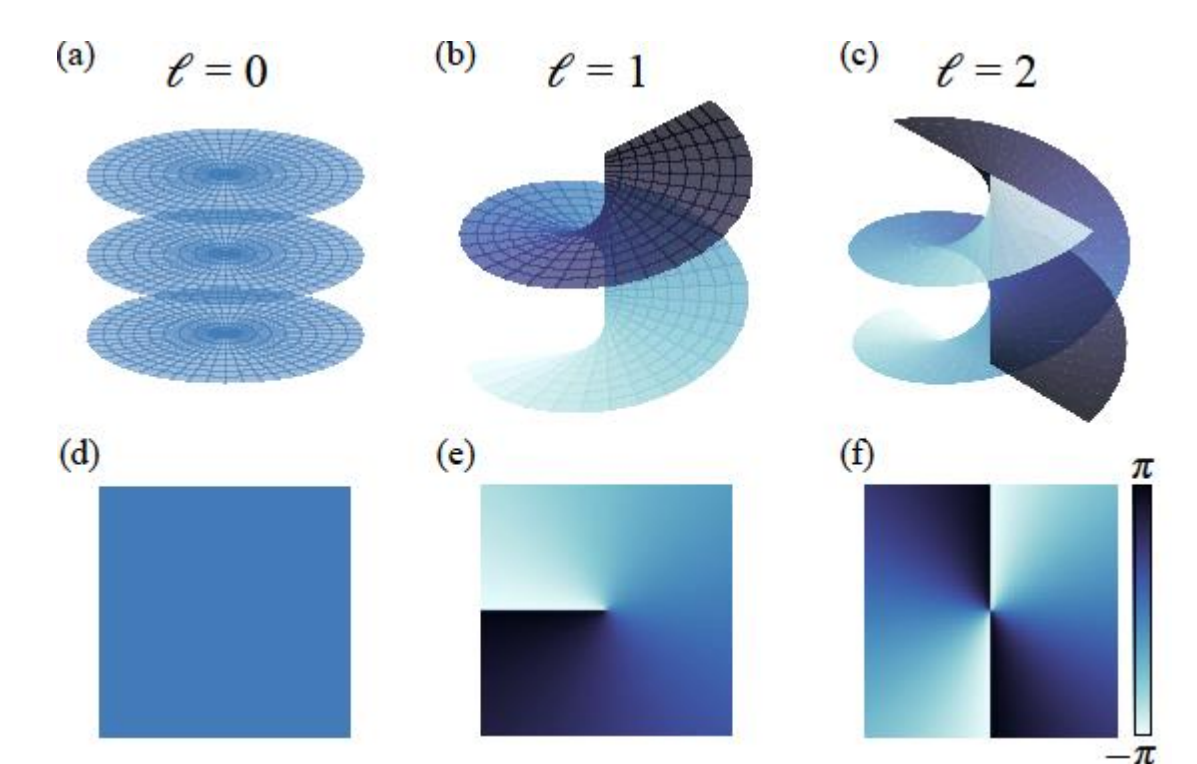
- Wir entwickelten eine breitbandige Messmethode für Elektronenspins (0.1 bis 70 GHz), die bei extrem tiefen Temperaturen bis hinunter zu 20 mK und in Magnetfeldern bis 7 Tesla arbeitet.
- Wir konnten in κ -(BEDT-TTF)₂Cu₂(CN)₃ beobachten, dass sich eine Energielücke unterhalb von 6 K öffnet, die mit der Ausbildung eines **Valence-Bond-Kristalls** erklärt werden kann.
- Zusätzlich beobachten wir große Beiträge durch einzelne Spins an Defekten, Fehlstelle und Korngrenzen.

Topologische Materialien

und Dirac-Elektronen



- An Oberflächen und aufgrund von Spin-Bahn-Wechselwirkung können elektronische Bänder sehr ungewöhnliche Eigenschaften besitzen. Man findet beispielsweise topologisch geschützte Zustände, hohe Beweglichkeit, sich kreuzende Bänder, quantisierte Leitwerte, Entkopplung von Spin und Ladung etc.
- Mittels THz- und Infrarotspektroskopie untersuchen wir das Verhalten dieser neuartigen Materialien, um ihre Eigenschaften im elektrischen und magnetischen Feld zu verstehen und zu beschreiben.
- Ziel ist der Einsatz dieser Materialien in der Elektronik und Spintronik.



Licht mit orbitalem Drehimpuls für neue Quanten-Detektoren

- Licht kann in die eine oder andere Richtung polarisiert sein. Zudem kann sich die Wellenfront in einem Strahl ändern, was man als **orbitalen Drehimpuls** auffassen kann.
- Im Spektralbereich der **THz-Wellen** kann man solche Wellen durch spiralförmiger Zonenplatten erzeugen, die sich mittels 3D Drucker einfach herstellen lassen.
- Wir wollen solche ungewöhnlichen Lichtstrahlen nutzen, um neuartige Quanten-Detektoren zu bauen, die auf Übergängen zwischen Landau-Niveaus basieren und im Magnetfeld abgestimmt werden können.



Veröffentlichungen

- [1] A. Pustogow *et al.*, *Nat. Mater.* **17**, 773 (2018); *npj Quantum Mater.* **6**, 9 (2021)
- [2] M. Dressel and S. Tomić, *Adv. Phys.* **69**, 1 (2020)
- [3] B. Miksch *et al.*, *Science* **372**, 276 (2021)
- [4] S. Polatkan *et al.*, *Phys. Rev.* (2023)
- [5] S. Pinnock *et al.*, *IEEE Trans. THz Sci. Technol.* **13**, 44 (2023)

