

Institutsleitung  
Prof. Dr. rer. nat.  
Martin Dressel

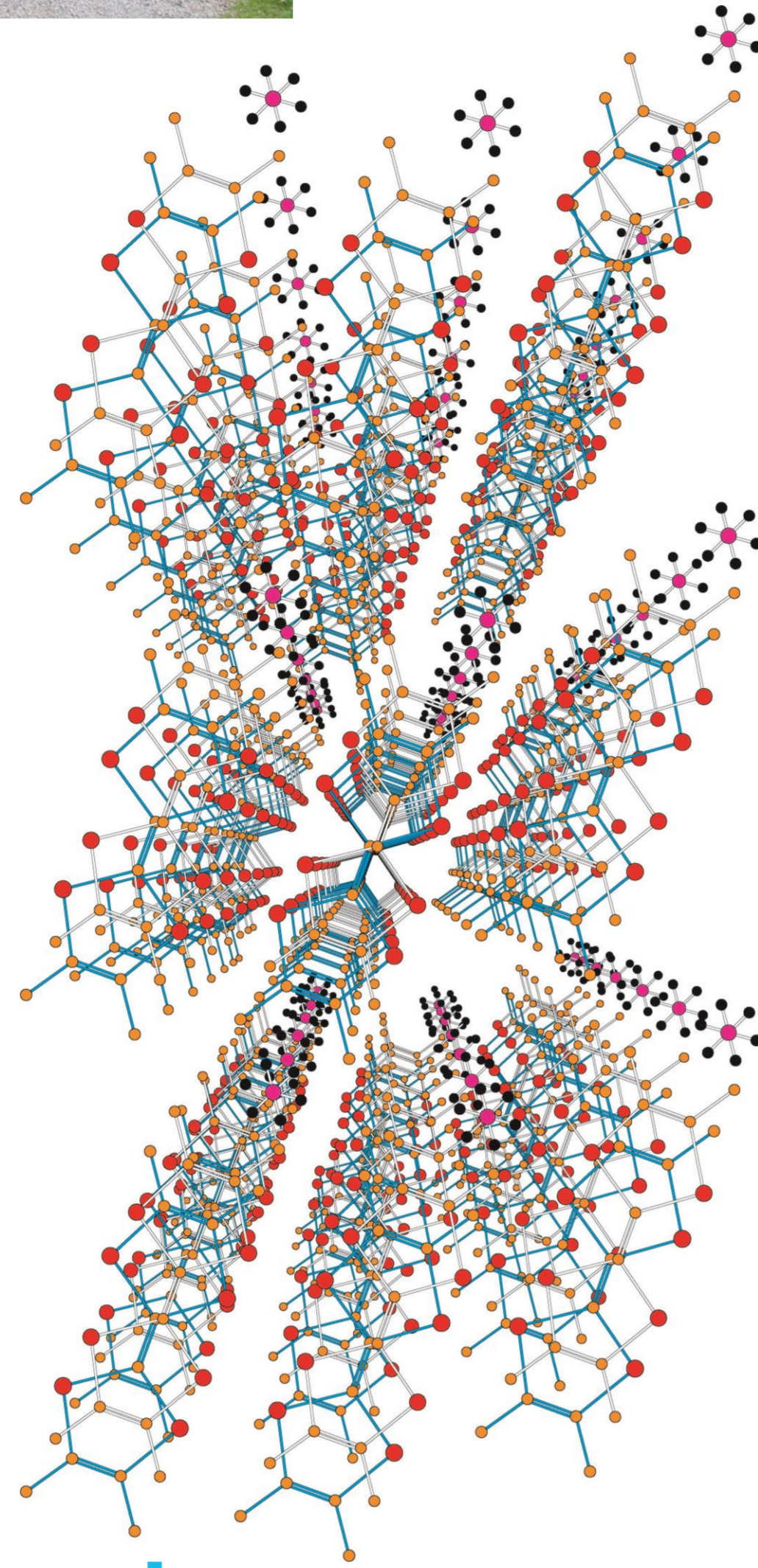
Supraleiter  
Molekulare  
Quantenmaterialien  
Biomaterialien  
Topologische  
Halbmetalle

Elektronische  
und optische  
Eigenschaften  
neuartiger  
Materialien

## Motivation und Ziel

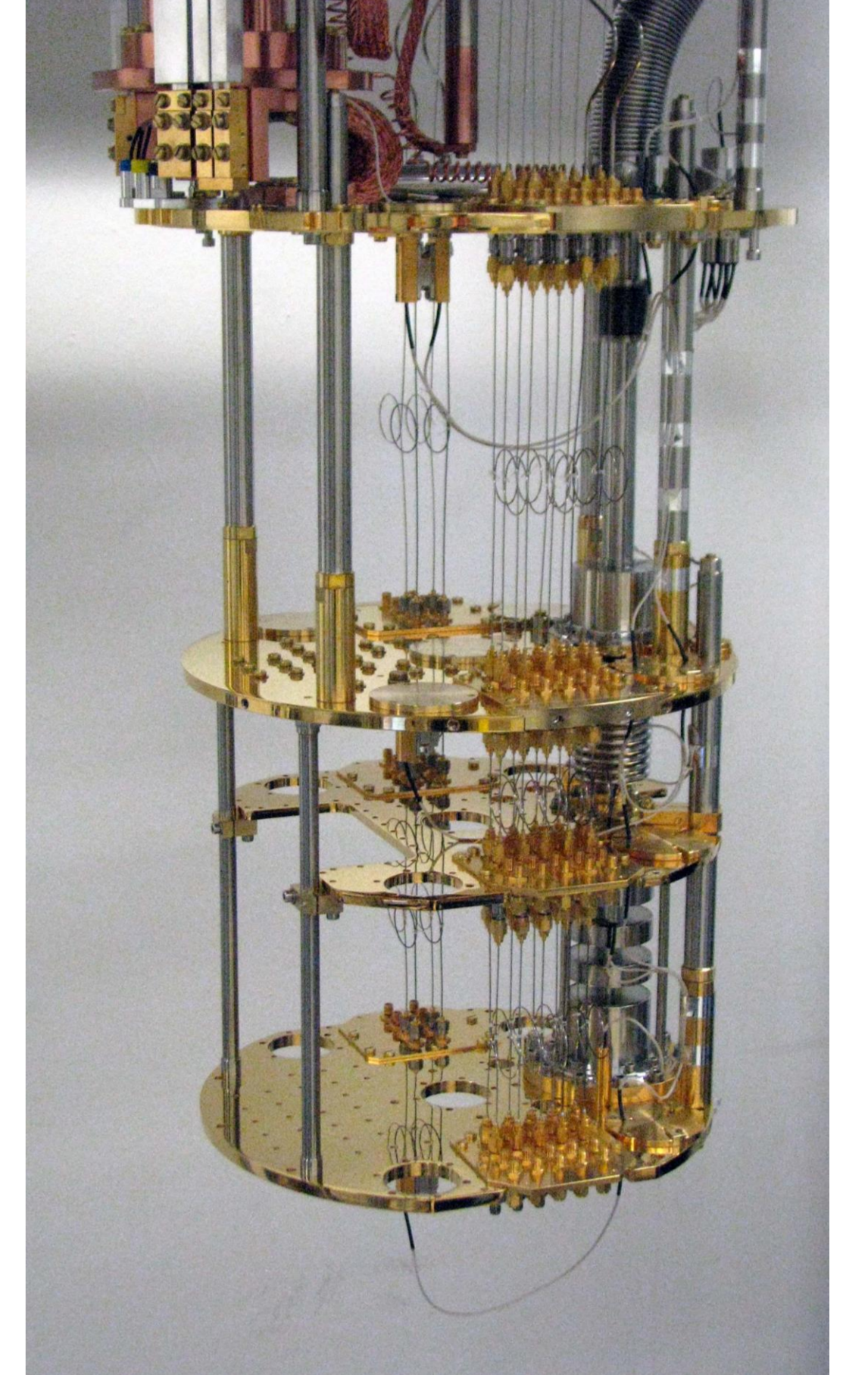
Mit Hilfe ausgefeilter experimenteller Methoden der **Festkörperspektroskopie** untersuchen wir die elektrischen, optischen und magnetischen Eigenschaften in neuartigen Materialien.

- 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.**

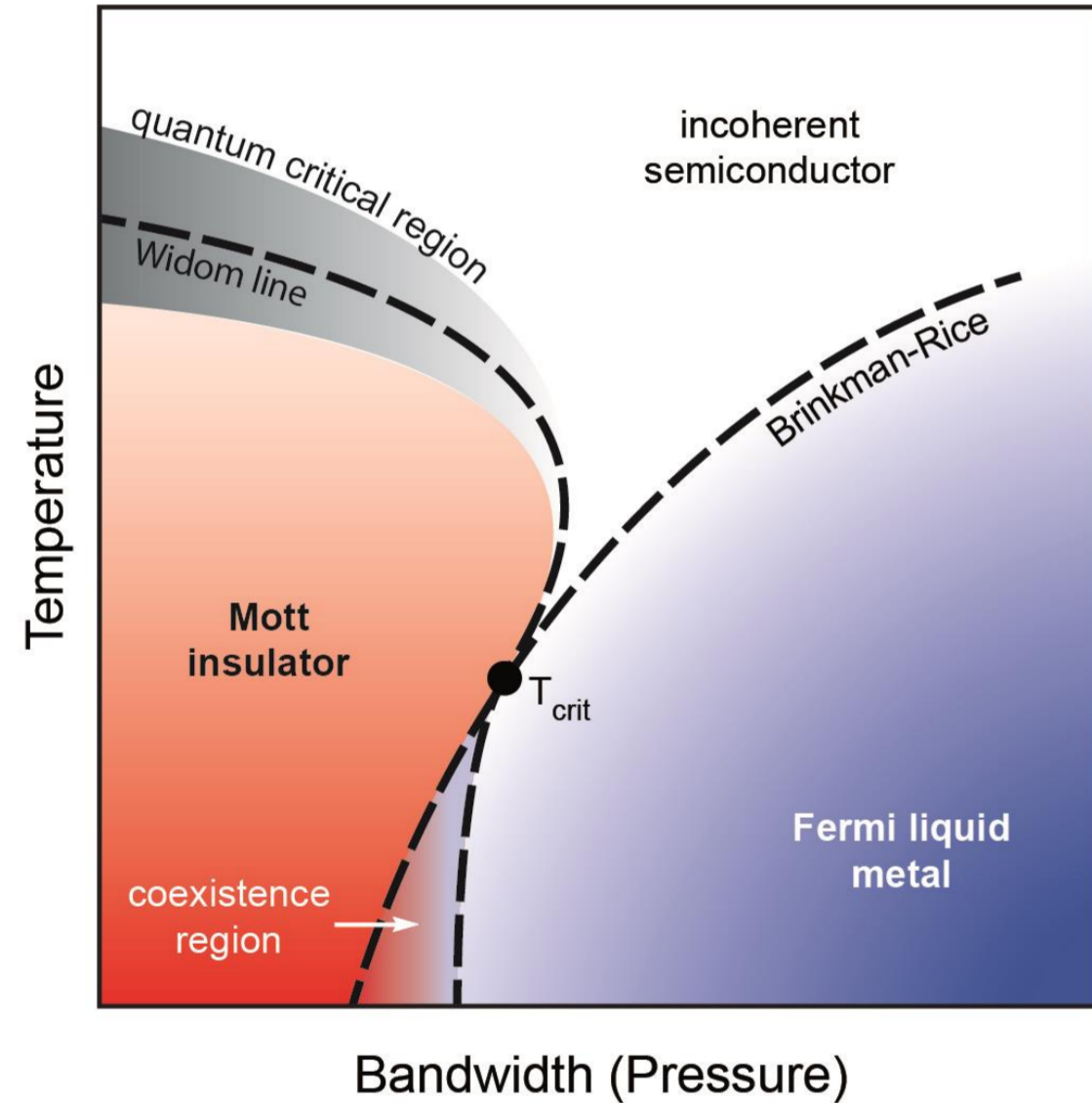


## Supraleitung

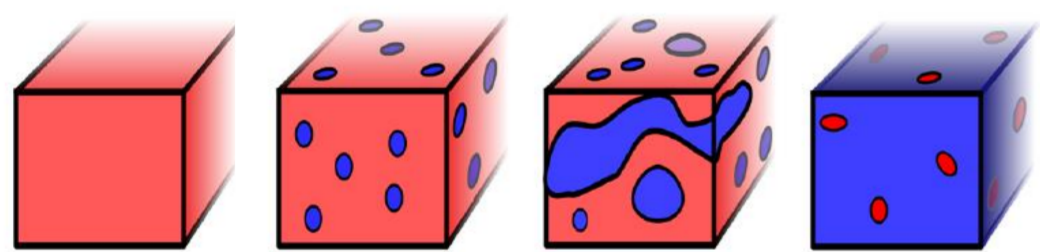
- Supraleiter sind perfekte elektrische Leiter und Diamagnete. Mit der Entdeckung **neuer, exotischer Materialien**, die bei höheren Temperaturen und unter extremen Bedingungen supraleitend werden, steht die theoretische Beschreibung dieses faszinierenden Vielteilchen-Quantenphänomens vor großen Herausforderungen.
- 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

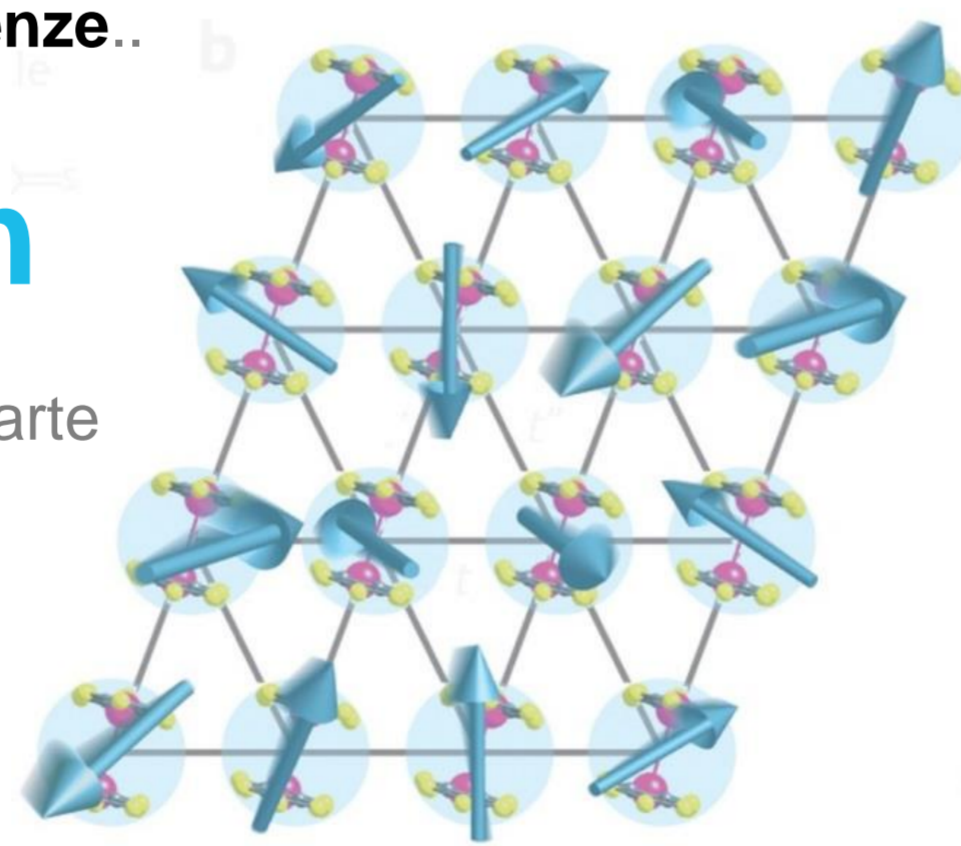


- Metalle werden bei tiefen Temperaturen isolierend, wenn die Elektronen miteinander stark wechselwirken.
- Kristalline organische Leiter mit einer stark frustrierten Dreiecksstruktur sind ideale Modellsysteme, um das Phasendiagramm vollständig zu vermessen.
- Der **Übergang vom Isolator zum Metall** 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 **Perkolationsgrenze**.

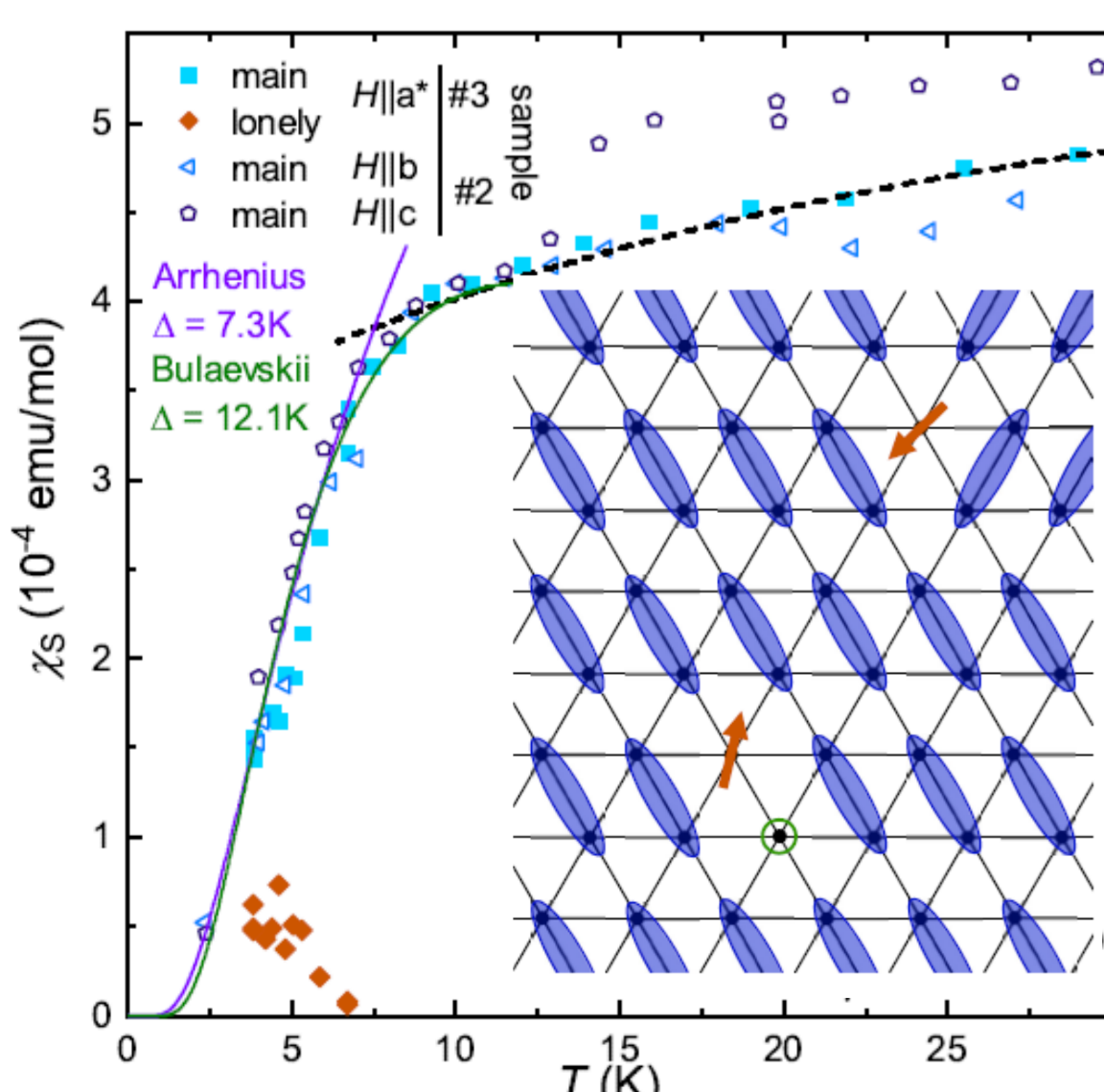


## Quanten-Spin-Flüssigkeiten

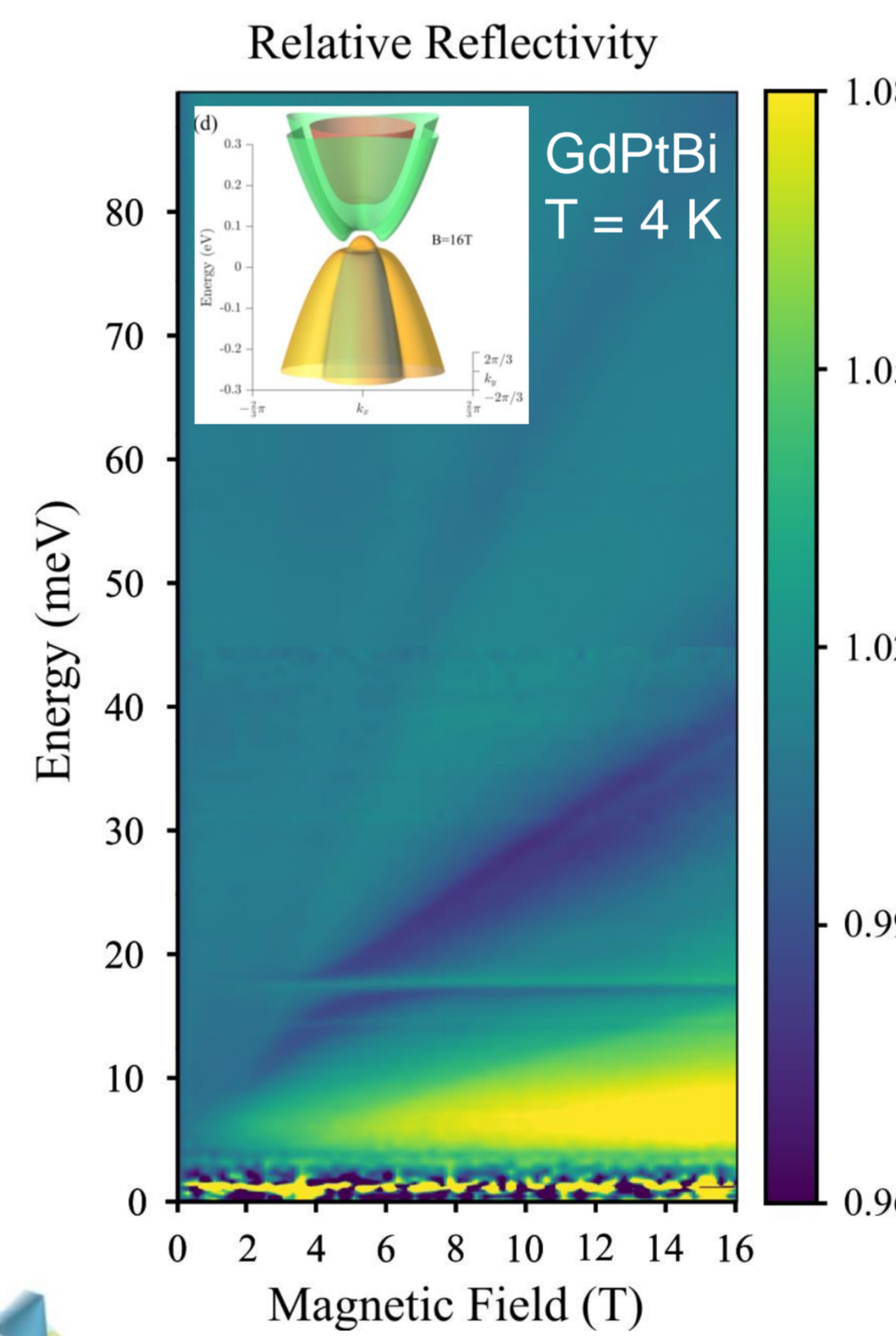
- Auf einem Dreiecksgitter können sich nicht alle jeweils benachbarte Spins gleichzeitig perfekt antiparallel zueinander ausrichten, (**Frustration**), was zu einem ungeordneten Zustand führt, den man **Quanten-Spin-Flüssigkeit** nennt.
- Für diesen neuartigen Quantenzustand werden ganz besondere Eigenschaften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



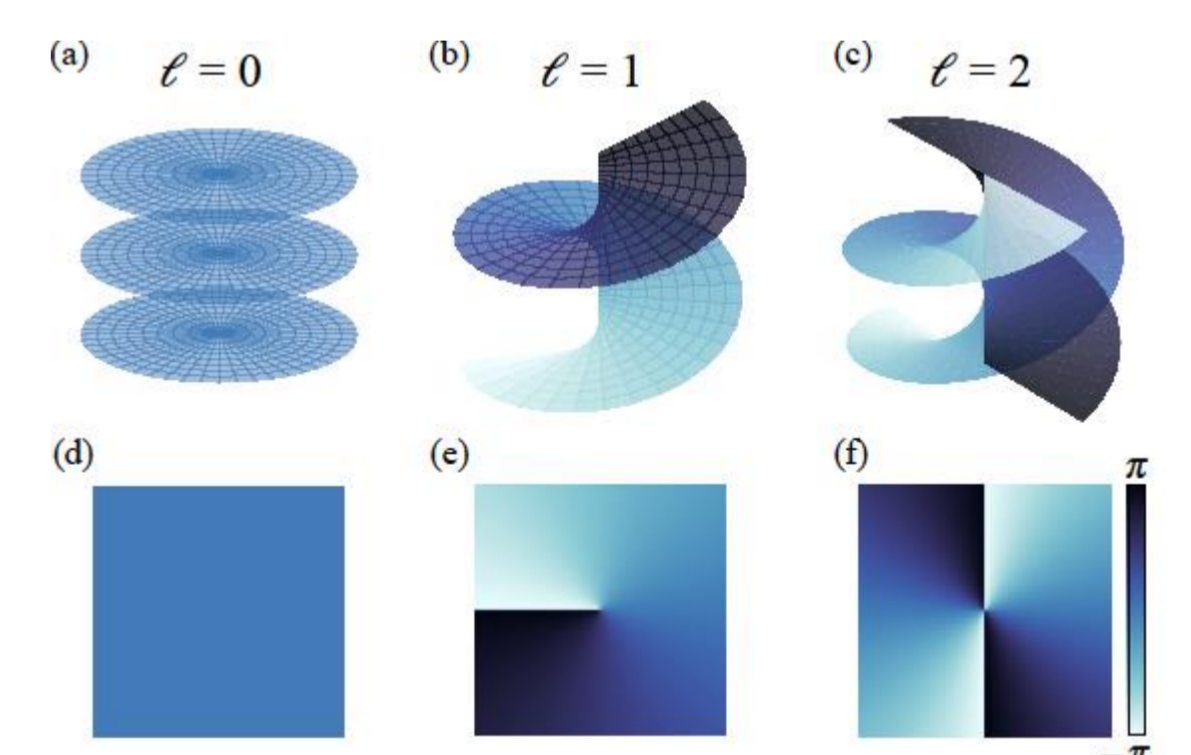
- Wir entwickelten eine breitbandige Messmethode für Elektronenspins (0.1 bis 70 GHz), die bei extrem tiefen Temperaturen bis hinunter zu 20 mK und in Magnetfeldern bis 7 Tesla arbeitet.
- Wir konnten in  $\kappa$ -(BEDT-TTF)<sub>2</sub>Cu<sub>2</sub>(CN)<sub>3</sub> beobachten, dass sich eine Energielücke 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. Mijsch *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)

