

## Forschungsschwerpunkte – Dr. Tobias Meng

---

Schon vor über 2300 Jahren schrieb Aristoteles, dass das Ganze mehr sei als die Summe seiner Teile. Phil Anderson, der 1977 mit dem Physiknobelpreis ausgezeichnet wurde, übertrug dies als „More is different“ auf die moderne Quantenphysik. Zu verstehen, wie dieses „Mehr“ entsteht und warum es anders als die Summe seiner Teile ist, ist eine zentrale Frage in meiner Forschung. Als Physiker mit Spezialisierung auf die theoretische Festkörperphysik beschäftige ich mich mit den grundlegenden Eigenschaften fester Materialien, z. B. von Metallen oder Halbleitern. Denn auch wenn es auf den ersten Blick vielleicht nicht so scheint: Schon ein einfaches Stück Alufolie ist tief in seinem Inneren ein wunderbar komplexes Gebilde, in dem viele verschiedene Teile ein faszinierendes (und praktisches) Ganzes bilden.

Besonders spannend finde ich das Verhalten von Elektronen, einer Art der kleinsten Elementarteilchen, aus denen jedes Material besteht. Elektronen sind wichtige Begleiter in unserem Alltag, denn sie tragen z. B. den Strom durch unsere Ladekabel. Beim Stromtransport handeln die Elektronen in erster Näherung als voneinander unabhängige Teilchen. Jedes trägt seinen Teil zum Gesamtstrom bei, und dieser ist genau die Summe seiner Teile. Eigentlich jedoch sind Elektronen sehr sozial: Sie wechselwirken über das sogenannte Coulomb-Gesetz. Dieses besagt, dass sich elektrische Ladungen, je nach Vorzeichen, entweder anziehen oder abstoßen. Als Alltagsanwendung erklärt das Coulomb-Gesetz, warum Haare an einem Ballon kleben, wenn man diesen auf dem Kopf hin und her reibt. Wenn Elektronen durch solche Wechselwirkungen miteinander sprechen, können sie sich als Gruppe organisieren und zum gemeinsamen Handeln verabreden. Und wie eine Gruppe von Menschen können Elektronen gemeinsam Dinge tun, die ein einzelnes Elektron niemals tun könnte.

Meine Forschung kann man in diesem Sinne auch als Soziologie von Elektronen auffassen: Ich möchte dazu beitragen, das komplexe kollektive Verhalten von Elektronen in Festkörpern besser zu verstehen. Dadurch will ich sogenanntes emergentes Verhalten in Quantenmaterialien erklären, also solchen Materialien, in denen die Quantenmechanik eine wichtige Rolle spielt. Als Fernziel geht es darum, diese dann für neuartige Anwendungen wie einen Quantencomputer nutzbar zu machen. In diesem breiten Forschungsfeld beschäftige ich mich vor allem mit der sogenannten topologischen Physik und dem Verhalten von Elektronen in topologischen Quantenmaterialien. Die topologische Physik beruht auf den abstrakten Prinzipien der Topologie, einem Teilgebiet der Mathematik, wendet diese jedoch auf konkrete Materialien

an. Dieser revolutionäre Forschungsansatz gibt uns eine grundsätzlich neue Brille, durch die wir Quantenmaterialien untersuchen und verstehen können. 2016 wurde die topologische Physik daher mit dem Nobelpreis ausgezeichnet.

In meiner Emmy Noether-Gruppe „Quantendesign: neuartige Quantenzustände verstehen, erzeugen und kontrollieren“ arbeiten wir u. a. daran, komplexe topologische Quantenzustände durch kontrolliertes Zusammensetzen bekannter Bausteine zu verstehen. Dies erlaubt uns die Vorhersage neuartiger Materiezustände, in denen die Kombination von Wechselwirkungen und Topologie z. B. zu Fraktionierung führt. Kurz gesagt ist Fraktionierung das Entstehen von Teilchen, die kleiner als die grundlegenden Bausteine des Systems sind. In Elektronensystemen kann es so vorkommen, dass sich neue Teilchen bilden, die eine kleinere Ladung als die ursprünglichen Elektronen tragen – ein zutiefst faszinierendes Phänomen. Zudem sind diese Teilchen oft auch besonders vielversprechende Zutaten für zukünftige Quantencomputer. Die zugrunde liegende topologische Physik schützt diese sensiblen Quantenzustände besonders gut vor Störungen und erlaubt zudem grundsätzlich neue Rechenoperationen.

Als einen weiteren wichtigen Teil meiner Arbeit möchte ich die Modellierung von Transport-Experimenten in topologischen Materialien herausheben. Indem mein Team und ich verstehen, wie diese Strom und Wärme leiten, können wir vielfältige Rückschlüsse über ihre innere Struktur und die konkret wichtigen Wechselwirkungen ziehen. Auch das Verhalten supraleitender Quantenmaterialien ist ein Schwerpunkt unserer Arbeit. Besonders spannend finde ich, dass viele Materialien sich im Kleinen ähnlich verhalten wie das Universum als Ganzes. So konnten wir z. B. zeigen, dass bestimmte topologischen Quantenmaterialien Transporteigenschaften zeigen, die sich in Analogie zur gemischt axial-gravitativen Anomalie erklären lassen, einem Phänomen der Hochenergie-Physik. Es gibt sogar Transportphänomene, die den aus der Relativitätstheorie bekannten Gravitationslinsen ähneln. Diese überraschenden Verbindungen zwischen Festkörpern und anderen Teilgebieten der Physik nutzen wir, um die Eigenschaften von komplexen Materialien aus einem neuen Blickwinkel umfassender zu verstehen.

Zusammenfassend zielt meine Forschung also darauf ab, mittels neuer Denkansätze das emergente Verhalten komplexer Quantenmaterialien besser zu verstehen und sie so in der Zukunft nutzbar zu machen.