

## Dynamics of Emerging Quasiparticles in Topological Dirac Materials

731. WE-Heraeus-Seminar

Topologische Materialien stehen zurzeit im Brennpunkt der Festkörperforschung. Während der letzten Jahre ist vor allem die Familie der topologischen elektronischen Phasen extrem schnell gewachsen: Den anfänglichen Dirac- und Weyl-Halbmatalen folgten Halbmetalle mit Knotenlinien statt isolierten Knotenpunkten, Typ-II-Weyl-Metalle und topologische Phasen höherer Ordnung. Die Forschung zu diesen neuen Phasen und den damit einhergehenden Quantenphänomenen hat neue Brücken zwischen verschiedenen Teilgebieten der Physik geschlagen. Die interessantesten Eigenschaften dieser Materialien und die erstaunlichsten Phänomene ergeben sich aus der Bandstruktur bei niedrigen Energien, die häufig Dirac-Kegeln ähnelt. Die elementaren Anregungen dieser elektronischen Bänder standen im Mittelpunkt dieses WE-Heraeus-Seminars.

Dieses Seminar hat Theoretiker sowie Experimentalphysiker zusammengebracht, die aktiv auf dem Feld der topologischen Dirac-Materialien forschen. Neue Ergebnisse aus magneto-optischen und Photoemissions-Experimenten sowie Magnetotransport- und photogalvanischen Messungen wurden ebenso erörtert wie die neuesten theoretischen Erkenntnisse in der Physik der topologischen kondensierten Materie. Beispiele sind topologische Phasen in amorphen Materialien sowie supraleitende Zustände in elektronischen Weyl-Bändern.

Aufgrund der Covid-19-Pandemie fand das Seminar im hybriden Modus statt. Insgesamt brachte das Seminar 43 Teilnehmerinnen und Teilnehmer aus EU-Staaten und den USA zusammen, darunter 16 eingeladene Vortragende und 18 Studierende, die ihre Poster vorstellten. Während des Treffens war der wissenschaftliche Austausch der im Physikzentrum anwesenden Studierenden und erfahreneren Wissenschaftler besonders intensiv. Um die Präsentationen der nicht vor Ort weilenden Studierenden zu erleichtern, wurde die Postersession in 10-minütige Kurzvorträge online umgewandelt.

Im Namen aller Teilnehmenden danken wir der WE-Heraeus-Stiftung für die finanzielle Unterstützung des Treffens. Besonders bedanken möchten wir uns auch bei dem Team des Physikzentrums für die technische und administrative Hilfe bei diesem ungewöhnlichen hybriden Seminar.

**Prof. Dr. Claudia Felser**, MPI für Chemische Physik fester Stoffe, Dresden, **Prof. Dr. Mark Goerbig**, Laboratoire de Physique des Solides, CNRS UMR 8502 und Université Paris-Sud, **Dr. Artem Pronin**, Universität Stuttgart

## Matter under Extreme Conditions

732. WE-Heraeus-Seminar

Mit der Entdeckung des ersten Exoplaneten um einen Hauptreihenstern begann 1995 eine neue Ära in der Astro- und Planetenphysik. Bis heute sind mehr als 4000 Exoplaneten nachgewiesen, von fast 1000 sind sowohl Masse als auch Radius bekannt und damit ihre mittlere Dichte. Wie Ansgar Reiners von der Universität Göttingen in seinem Überblicksvortrag im Rahmen dieses WE-Heraeus-Seminars, das vom 21. bis 23. Oktober stattfand, betonte, sind darunter Planeten, zu denen es in unserem Sonnensystem keine Entsprechung gibt. Heute stehen die Klassen der Super-Erden und Mini-Neptune im wissenschaftlichen Fokus. Super-Erden haben eine Dichte wie die terrestrischen Planeten, sind aber deutlich größer; Mini-Neptune entsprechen unseren Eisplaneten, haben aber eine kleinere Masse.

Im Zentrum einer typischen Super-Erde erreicht der Druck 2 TPa und die Temperatur 8000 K – Bedingungen, die weit extremer sind als im Erdkern. Um die Struktur und Dynamik dieser Planeten zu verstehen, gilt es, das Verhalten von planetaren Materialien bei diesen extremen Bedingungen zu bestimmen. Fortschritte in der Hochdruckphysik, bei statischen Experimenten mit Diamantstempelzellen, bei dynamischen Methoden mit Stoßwellen, und Kombinationen davon, erlauben es mit neuartiger Röntgendiagnostik erstmals, physikalische Eigenschaften unter diesen Bedingungen zu messen. Die Entwicklung solcher Methoden stellte Ulf Zastrau am Beispiel des Hochenergiedichte-Instruments am European XFEL vor. Ähnlich wie die Experimente macht die theoretische Beschreibung von Materie unter extremen Bedingungen Fortschritte; die dabei notwendige Sorgfalt wurde in einem Block zu ab-initio-Simulationen herausgearbeitet. Exemplarisch hat June Wicks von der Johns-Hopkins-Universität in ihrem Vortrag die verschiedenen experimentellen Zugänge zusammengebracht, zu deren Interpretation Simulationen notwendig sind und aufgezeigt, wie sich die Ergebnisse zur Bestimmung des Aufbaus von Exoplaneten nutzen lassen.

Leider war es kurzfristig erforderlich, das Seminar online abzuhalten. Doch mithilfe des Teams vom Physikzentrum war diese Umstellung einfach und die Durchführung unproblematisch. Natürlich haben wir die Möglichkeit zu einem persönlichen und informellen Austausch vor Ort vermisst. Wir danken der WE-Heraeus-Stiftung für die großzügige Unterstützung und die professionelle Organisation.

**Prof. Dr. Ronald Redmer**, Universität Rostock, **Dr. Gerd Steinle-Neumann**, Bayerisches Geoinstitut Bayreuth, **Dr. Zuzana Konôpková**, European XFEL Schenefeld

## Tensor Network methods for Many-Body systems

Bad Honnef Physics School

Tensornetzwerke ermöglichen eine Beschreibung der Niedrigenergiephysik von komplexen Quantenvielteilchensystemen durch effiziente Darstellungen von Quantenzuständen als ein Produkt aus hochdimensionalen Tensoren. Sie haben sich als „Goldstandard“ für die numerische Simulation u. a. von frustrierten und fermionischen Systemen sowie Quantenalgorithmen etabliert, für die andere numerische Methoden fehlschlagen. Um die derzeitigen Limitierungen von Tensornetzwerken in der Beschreibung der großen ungelösten Probleme der Physik der kondensierten Materie zu sprengen, ist es notwendig, die zentralen Erkenntnisse der Pioniere des Feldes an die nächste Generation weiterzugeben. Deshalb erhielten 26 Studierende die Möglichkeit, an einer intensiven Woche voller Diskussionen, Vorlesungen und Übungen teilzunehmen.

Einleitende Vorlesungen und Tutorien durch Sebastian Paeckel, Frank Pollmann und Laurens Vanderstraeten brachten die Teilnehmenden auf einen gemeinsamen hohen Wissensstand. Sogar Studierende ohne spezifisches Vorwissen hatten schon nach kurzer Zeit ihre eigenen Tensornetzwerke implementiert und zur Lösung komplexer physikalischer Probleme verwendet.

Die Theoriekurse von Frank Verstraete und Norbert Schuch vermittelten die Verbindung zwischen der Physik von symmetriegeschützten topologischen Phasen und der Struktur von Tensornetzwerken. Seine Vorlesungen zeigten viele einfache, aber tiefe Einsichten. Darunter, dass der „interessante“ Teil der Physik in einem verschwindend kleinen, niedrigdimensionalen Teilbereich des gesamten Vielteilchen-Hilbertraums passiert. Neue Anwendungen von Tensornetzwerken auf topologische und offene Quantensysteme vermittelten Frank Pollmann und Corinna Kollath, wobei sie besonders hervorhoben, dass die guten Konvergenzeigenschaften der Netzwerke neue Entdeckungen in Regimen ermöglichten, in der keine andere numerische Methode funktioniert.

Der große Konvoi aus Ghent zeichnete sich nicht nur durch Fähigkeiten auf dem Gebiet der Tensornetzwerke aus, sondern auch durch Kenntnisse des belgischen Brauwesens. Eine praktische Einführung in dieses Wissensgebiet sorgte für eine vertraute Atmosphäre.

**Eleanor Crane**, University College London und IBM, **Jakob Unfried** und **Alexander Schuckert**, TU München