

Trends in Quantum Magnetism

673. WE-Heraeus-Seminar

Magnetismus in Festkörpern ist seit der Antike bekannt. Ein mikroskopisches Verständnis greift jedoch auf die Quantenmechanik zurück und ist somit ein modernes Gebiet: Zu den magnetischen Eigenschaften tragen die quantenmechanischen Spins der Elektronen sowie ihre Bahndrehimpulse bei. Die Wechselwirkung der resultierenden elementaren Momente im Kristallgitter führt dann zu einer Vielzahl kollektiver Zustände, wobei neben „konventionellen“ magnetisch geordneten Zuständen auch exotischere Zustände wie Spin-Flüssigkeiten und topologische Phasen auftreten können.

Um Trends des Quanten-Magnetismus zu diskutieren, kamen 90 Teilnehmer aus 18 Ländern im Juni in Bad Honnef zusammen. 33 Vorträge und 54 Poster deckten die Bandbreite von Materialien und experimentellen Ergebnissen über ab-initio-Rechnungen bis zu Modellen und theoretischen Konzepten ab. Die aktuelle Forschung konzentriert sich verstärkt auf eine realistische Beschreibung der Materialien, insbesondere auf den Einfluss von Spin-Bahn-Kopplung auf kollektive Eigenschaften. Ein prominentes Beispiel hierfür ist Kitaevs Honigwabenmodell mit fraktionierten Anregungen und dessen mögliche Relevanz für Materialien wie α - RuCl_3 und verschiedene Iridium-Verbindungen. Darüber hinaus bleiben konventionellere Fragen relevant, z. B. der Weg zu Spin-Flüssigkeiten über die Unterdrückung magnetischer Ordnung mittels konkurrierender Wechselwirkungen – ein im Fall von inkompatiblen Austauschpfaden als „geometrische Frustration“ bekanntes Gebiet. Einen weiteren Schwerpunkt stellen eindimensionale Systeme dar; hier sind numerische Verfahren besonders leistungsfähig und ermöglichen so einen detaillierteren Vergleich physikalischer Eigenschaften einschließlich Anregungsspektren zwischen Theorie und Experiment.

Quanten-Magnete sind als intrinsisch stark korrelierte Systeme notorisch schwierig zu behandeln. Sie werden daher auch in Zukunft eine Herausforderung für eine vereinte Anstrengung von Synthese, Experiment und Theorie darstellen. Es ist somit erfreulich, den Enthusiasmus des Nachwuchses (Doktoranden, Post-Doktoranden, ...) zu beobachten, der das Seminar mit vielen ausgezeichneten Poster-Beiträgen bereichert hat.

Im Namen aller Teilnehmer danken wir ganz herzlich der WE-Heraeus-Stiftung sowohl für die großzügige finanzielle als auch hervorragende organisatorische Unterstützung sowie dem Physikzentrum in Bad Honnef für die herzliche Gastfreundschaft.

Andreas Honecker, Karlo Penc
und Roser Valentí

Novel Optical Clocks in Atoms and Nuclei

676. WE-Heraeus-Seminar

Optische Atomuhren stellen derzeit die präzisesten physikalischen Messinstrumente mit relativen Abweichungen von etwa 10^{-18} dar. Aktuell konkurrieren verschiedene Ansätze, vor allem mit einzelnen Ionen sowie Neutralatomen in optischen Gittern, jeweils mit verschiedenen Elementen/Isotopen, im Wettrennen um die „beste Uhr“. Zudem zeichnen sich komplett neue, vielversprechende Ansätze wie Multi-Ionen-Uhren, Uhren mit hochgeladenen Ionen oder Kernuhren ab.

Ziel des Seminars vom 9. bis 12. Juli war es, den derzeitigen Wissensstand dieser neuartigen Zugänge zu optischen Atomuhren zu diskutieren und deren Eignung für fundamentale Fragen wie die Suche nach Verletzungen des Äquivalenzprinzips oder nach Dunkler Materie zu beleuchten. 55 Forscherinnen und Forscher aus mehr als 12 Ländern nahmen teil.

Einen prominenten Platz nahmen der niederenergetische Isomerzustand in Thorium-229 und die damit verbundene „Kernuhr“ ein. Hier waren die weltweit aktiven Gruppen nahezu vollständig vertreten. Ekkehard Peik (PTB Braunschweig) und Peter Thierolf (LMU München) gaben in zwei Hauptvorträgen einen Überblick über die jüngsten Fortschritte, insbesondere die erfolgreiche Messung der Hyperfeinstruktur im Isomerzustand. Petr Borisjuk (MEPhI Moskau) berichtete über die Anregung des Isomers in einem Laserplasma sowie eine Messung der Isomerenergie.

Ein weiterer Schwerpunkt waren neue Ansätze bei optischen Atomuhren sowie ihre Eignung für fundamentale Untersuchungen. Den aktuellen Wissenstand fasste Marianna Safronova (U Delaware und NIST) zusammen, insbesondere die Suche nach Dunkler Materie mit bestehenden und künftigen Präzisionsuhren. Nils Huntemann (PTB) berichtete von Tests der lokalen Lorentz-Invarianz mithilfe der Ytterbium-171-Ionenuhr, Tanja Mehlstäubler (PTB) von Fortschritten bei Präzisionsmessungen mit Coulomb-Kristallen. Auch „exotische“ Ansätze zu Präzisionsmessungen in hochgeladenen Ionen (José Crespo López-Urrutia, MPIK Heidelberg) sowie mit Pulsaren und zwei auf exzentrischen Bahnen fliegenden Galileo-Satelliten kamen zur Sprache.

Die Posterpreise gingen an Johannes Thielking (PTB), Kjeld Beeks (TU Wien) sowie gemeinsam an Sandro Kraemer und Janni Moers (Leuven Universität). Die Teilnehmer und Organisatoren bedanken sich bei der WE-Heraeus-Stiftung für die großzügige finanzielle Unterstützung sowie die Hilfe bei der Organisation und Durchführung des Seminars.

Thorsten Schumm, Simon Stellmer
und Ekkehard Peik

Quantum Technologies

Bad Honnef Physics School

Quantentechnologie ist ein weites Feld, das viele Untergebiete der Physik umfasst und dessen Wurzeln bis in die Anfänge der Quantenphysik reichen. Die Organisatoren der Bad Honnef Physics School on Quantum Technologies – Manager der Topica Photonics AG sowie Vertreter mehrerer Universitäten – hatten sich die Aufgabe gestellt, all dies in nur einer Woche unterzubringen. Die Idee fand regen Zuspruch, es kamen in der ersten Augustwoche rund hundert Masterstudenten und Doktoranden sowie einige Industrievertreter nach Bad Honnef.

Das Konzept der Schule unterteilte die Quantentechnologie in vier Säulen: Computer, Simulation, Kommunikation sowie Metrologie und Sensorik. International führende Forscher auf diesen vier Feldern stellten die neuesten Entwicklungen auf ihrem Gebiet vor. Die Eröffnungsvorlesungen am Montag führten in die theoretischen und technischen Grundlagen der Quantentechnologie ein. Im Laufe der Woche folgten Vorlesungen über Theorie und experimentelle Resultate zu jeder der vier Säulen. Zudem stellten sich einige Firmen, die Quantentechnologien oder unterstützende Technologien kommerziell vermarkten, in kurzen Talks und Posterpräsentationen vor. Dies ermöglichte es den Studierenden, die außerhalb der Universitäten tätige Quantentechnologie-Community kennenzulernen und Jobmöglichkeiten zu erkunden.

Mit so vielen Inhalten war die Schule sehr intensiv, doch es gab nicht nur Physikvorlesungen. Die Posterpräsentationen etwa, bei denen die Studierenden ihre eigene Forschung vorstellten, boten reichlich Gelegenheit für Diskussionen und Networking. Dank des sommerlichen Wetters konnte dieser Teil des Programms unter freiem Himmel stattfinden, was die Stimmung positiv abrundete. Eine weitere willkommene Möglichkeit, dem Hörsaal kurzzeitig zu entkommen, war eine Wanderung zur Ruine der Burg Drachenfels.

Am Ende erreichten die Organisatoren ihr hoch gestecktes Ziel, den Teilnehmern der Schule einen ersten umfassenden Einblick in die Grundlagen, die Geschichte und die gegenwärtigen Möglichkeiten der Quantentechnologie zu geben. Den Vortragenden gab die Schule die Gelegenheit, über ihre eigenen Ergebnisse zu referieren. Anders als bei Fachkonferenzen mussten sie diese aber so vermitteln, dass auch jüngere Studenten und solche, die zuvor keine tiefen Kenntnisse in Quantenphysik hatten, ihnen folgen konnten. Das war zugleich Herausforderung und Gelegenheit, das eigene Verständnis der Materie nochmals kritisch zu hinterfragen. Und so hatte am Ende der Woche wohl jeder etwas dazugelernt.

Tom Walker und Oliver Morsch

Prof. Dr. Andreas Honecker, Université de Cergy-Pontoise, Frankreich; Dr. Karlo Penc, Wigner Research Centre for Physics, Ungarn; Prof. Dr. Roser Valentí, Goethe-Universität Frankfurt am Main

Prof. Dr. Thorsten Schumm, TU Wien; Prof. Dr. Simon Stellmer, U Bonn; Priv.-Doz. Dr. Ekkehard Peik, PTB Braunschweig

Tom Walker, University of Sussex, UK; Prof. Dr. Oliver Morsch, INO-CNR, Università di Pisa, Italien

Quantenphysik an der Schule

Fünfter Workshop der Heisenberg-Gesellschaft

Mit dem Ziel, die moderne Physik und die Quantenmechanik im Unterricht weiterführender Schulen stärker zu verankern, bietet die Heisenberg-Gesellschaft seit 2014 jährlich einen Workshop zum Thema Quantenphysik an der Schule für Lehrkräfte und in der Lehramtsausbildung engagierte Hochschuldozentinnen und -dozenten an. An der Veranstaltung vom 22. bis 24. Juni in Weilburg an der Lahn nahmen 41 Lehrerinnen und Lehrer aus mehreren Bundesländern teil.

Zur Eröffnung zeichnete Claus Kiefer (Köln) ein faszinierendes Bild vom Universum, das aus der Verbindung von Quanten- und Relativitätstheorie hervorgeht und an die Grenzen unseres Wissens stößt. Mit einer weiteren modernen Anwendung von Quantenprinzipien befasste sich Hans Briegel (Innsbruck) in seinem Vortrag über die Rolle von Verschränkung und Indeterminismus in der Quanteninformation. Darauf aufbauend plädierte Gesche Pospiech (Dresden) für die Vermittlung der wichtigsten Quantenprinzipien in der Schule wie Überlagerung, Verschränkung und Unbestimmtheit anhand einfacher Beispiele aus der Quantenkryptographie. Ein relativ junges interdisziplinäres Forschungsfeld mit aufschlussreichen Anknüpfungspunkten an den Schulunterricht ist die Astroteilchenphysik. Johannes Blümer (Karlsruhe) präsentierte einen Überblick über die Methoden und Ergebnisse zur kosmischen Strahlung und umriss Demonstrationen im Klassenzimmer und digitale Untersuchungen echter Messdaten, die das Karlsruhe Cosmic Data Center KCDC frei zur Verfügung stellt. Aus philosophischer Sicht analysierte Brigitte Falkenburg (Dortmund), welche Informationen die kosmische Strahlung liefern kann und erörterte die Brückenfunktion der Astroteilchenphysik. Eine konkrete Anregung für den Schulunterricht steuerte Christian Wolf (Coburg) mit der Darstellung des Zyklotrons COLUMBUS und dem Konzept eines zweitägigen Workshops über Beschleunigerphysik für Schülerinnen und Schüler bei.

Ein neues Programmelement war der Miniworkshop, in dem Barbara Valeriani-Kaminski, Thomas Hildebrand (beide Bonn) und Bernadette Schorn (Aachen) Teilchendetektoren für das Klassenzimmer des Netzwerks Teilchenwelt vorstellten und den Bau einer Nebelkammer, die Untersuchung von Myonen in der kosmischen Strahlung und die Messung ihrer Lebensdauer in drei Arbeitsgruppen betreuten. Annette Holder (Erding) berichtete über ihre Erfahrungen im Physikunterricht und hinterfragte die Realität im Hinblick auf die Erreichung der im bayerischen Lehrplan vorgegebenen

Ziele. Sie forderte mehr Anleitung zu selbstständigem kreativen Denken anstelle reiner Wissensvermittlung. Als einen Ansatz in dieser Richtung sah Tobias Jung (München) die Förderung eines stärkeren Bewusstseins für physikalische Methoden und ihre Grenzen, wie er in seinem Referat über grundlegende Konzepte der Wissenschaftstheorie durch historische Beispiele illustrierte. Die abschließenden Vorträge waren der Quantenphysik und neuester Forschung gewidmet. Gert-Ludwig Ingold (Augsburg) erklärte die Grundlagen des Casimir-Effekts als Kraft aus Quantenfluktuationen und illustrierte Anwendungen in der Mikroelektronik.

Domenico Giulini (Hannover) legte die Basis für ein prinzipielles Verständnis der Physik von Gravitationswellen, indem er deren Emission, Eigenschaften und Messbarkeit in expliziten, nachvollziehbaren Ableitungen beleuchtete.⁺⁾

Aus einer anonymen Befragung am Schluss geht hervor, dass die gesteckten Ziele in der Hauptsache erreicht wurden. Besonderer Dank dafür gebührt, neben den Referentinnen und Referenten, der Wilhelm und Else Heraeus-Stiftung, deren großzügige finanzielle Unterstützung wesentlichen Anteil an diesem Erfolg hat.

Reinhold Rückl

+) Vortragsfolien und Links zum Workshop finden sich unter www.heisenberg-gesellschaft.de/unterlagen-workshop-2018.html.

Prof. Dr. Reinhold Rückl, Universität Würzburg