

Isolated many-body quantum systems out of equilibrium: from unitary time evolution to quantum kinetic equations

599. WE-Heraeus-Seminar

Vom 30. November bis 3. Dezember trafen sich 80 Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler im Physikzentrum Bad Honnef, um über Quanten-Vielteilchensysteme im Nichtgleichgewicht zu diskutieren. Das Interesse an Vielteilchen-Quantendynamik in abgeschlossenen Quantensystemen hat im letzten Jahrzehnt stark zugenommen, zum einen wegen der neuen experimentellen Möglichkeiten mit ultrakalten Atomen, zum anderen wegen Fortschritten in der ultraschnellen Spektroskopie von Festkörpern. Eine noch junge und wachsende Community theoretischer Physiker hat sich in dieser Zeit der Frage der unitären Zeitentwicklung in isolierten Quantensystemen, insbesondere der Frage der Thermalisierung, zugewandt. Die bevorzugten theoretischen Methoden sind dabei exakte numerische oder analytische Methoden, z. B. numerisch exakte Diagonalisierung, Dichtematrix-Renormierungsgruppe sowie der Bethe-Ansatz.

Andererseits gibt es in der Vielteilchentheorie schon seit Jahrzehnten einen gut etablierten Formalismus für die Beschreibung der Quantendynamik: die quantenkinetische Theorie. Dieser Formalismus hat vielfältige Anwendung gefunden: in der Laser-induzierten Dynamik von Halbleitern, in Quantenplasmen und in der Kernphysik. Heute entwickelt eine interdisziplinäre Community die quantenkinetischen Gleichungen weiter.

Hauptziel des Seminars war es, diese zwei Forschungsgemeinden zusammenzubringen, um eine intensive Diskussion anzuregen und den Austausch zwischen ihnen zu initiieren. Führende Vertreter beider Gruppen gaben mit 90-minütigen Vorlesungen eine detaillierte Einführung in beide Themenkomplexe. Fünf Vorlesungen waren quantenkinetischen Gleichungen und modernen Anwendungen gewidmet, zwei Vorlesungen gaben einen Überblick über neue Entwicklungen auf dem Gebiet der Thermalisierung. Im Zentrum stand eine intensive Diskussion über die Rolle von Erhaltungsgrößen, Integrität und Irreversibilität. Daneben präsentierten etablierte Forscher sowie Nachwuchswissenschaftler in 16 Vorträgen und 44 Postern aktuelle Forschungsergebnisse.

Der intensive Austausch während des Seminars und der Postersitzung führte zu einer Reihe interessanter Resultate und Ansätzen für Kollaborationen über die Grenzen der Communities hinaus. Die Community der quantenkinetischen Gleichungen hat mit Interesse die neuen Entwicklungen in der unitären Dynamik

aufgenommen. Gleichzeitig wurden die Forscher des letztgenannten Gebietes auf die Leistungsfähigkeit moderner quantenkinetischer Simulationen aufmerksam, die durchaus eine reversible Dynamik erlauben und damit weit über Boltzmanns Stoßzahl-Ansatz hinausgehen. Die Diskussion war außerordentlich angeregt und hat viele fundamentale Fragen der Nichtgleichgewichtsphysik thematisiert und wichtige Teilantworten geliefert.

Die einzigartige Ausstattung des Physikzentrums Bad Honnef war bestens geeignet für die konzentrierten Diskussionen. Wir danken an dieser Stelle der WE-Heraeus-Stiftung für ihre großzügige Unterstützung.

Masud Haque, Michael Bonitz
und Stefan Kehrein

Macroscopic Entanglement

605. WE-Heraeus-Seminar

Seit über 100 Jahren ermöglicht es die Quantenmechanik, zahlreiche physikalische Phänomene vorherzusagen. Schon früh wurden drastische Beispiele für makroskopische physikalische Systeme diskutiert, z. B. die berühmte Schrödinger-Katze, in denen Verschränkung oder Superposition auftreten sollte. Das 605. WE-Heraeus-Seminar, das vom 18. bis 22. Januar im Physikzentrum Bad Honnef stattfand, befasst sich mit solchen Beispielen.

Dabei war das Ziel, sowohl die grundlegende Theorie als auch Experimente in ihrer ganzen physikalischen Breite zu besprechen. Experten unterschiedlichster Felder stellten ihre Forschungsarbeiten vor und diskutierten die Konsequenzen für die Interpretation der Quantenmechanik und Anwendungen. Dieser interdisziplinäre Charakter bot die einmalige Chance, die Erkenntnisse der verschiedenen Forschungsfelder miteinander zu vergleichen und zu verknüpfen. Vor der Präsentation ihrer Forschungsergebnisse führten die Vortragenden dabei stets auch in ihr Feld ein.

Gleich zu Beginn gab Margaret Reid eine Einführung und lieferte den historischen Kontext der zugrunde liegenden Theorie. Darauf folgten zahlreiche spannende Vorträge und angeregte Diskussionen zu den unterschiedlichsten Gebieten. Diese sehr regen Unterhaltungen machten deutlich, dass die genaue Definition eines Maßes für die „Makroskopizität“ mindestens so viel Diskussion benötigt wie die fundamentalen Effekte der Quantenmechanik selbst. Besonders erwähnt werden soll hier nur ein Beitrag aus dem industriellen Umfeld. Pedram Roushan von Google erläuterte die neuesten Ergebnisse und Ziele bei der Verwendung von supraleitenden Quantenschaltkreisen. Von den sehr breiten Diskussionen profi-

tierten die jüngeren Teilnehmer und Dozenten gleichermaßen. Oft wurden diese an den Postern bis in die Nacht hinein weitergeführt. Matteo Fadel und Belinda Pang erhielten Preise für die besten Poster und durften ihre Forschung in Impulsvorträgen vorstellen.

Unser Dank gilt den zahlreichen Betreuern und Helfern, insbesondere Elisabeth Nowotka, Christian Müller und dem Team um Victor Gomer. Wir danken außerdem der Wilhelm und Else Heraeus-Stiftung, die dieses Seminar mit ihrer großzügigen Unterstützung ermöglichte. Die Teilnehmer zeigten sich sehr begeistert über die Möglichkeiten dieser Seminarförderung, ohne die es sicherlich schwer möglich gewesen wäre, so unterschiedliche Bereiche der Physik an einem Ort zusammenzubringen.

Christoph Marquardt, Ulrik L. Andersen
und Maria Chekhova

Nanophotonics and Complex Spatial Modes of Light

606. WE-Heraeus-Seminar

Die Nanooptik hat im letzten Jahrzehnt einen regelrechten Boom erlebt. Moderne Lithografie-Verfahren erlauben es, hochqualitative Nanostrukturen mit Dimensionen weit unterhalb der Wellenlänge sichtbaren Lichts herzustellen. Solche nanoskopischen Objekte werden schon heute vielfältig eingesetzt, z. B. in der optischen (Bio-)Sensorik oder zur Herstellung künstlicher Metamaterialien mit außergewöhnlichen Eigenschaften. Darüber hinaus sind sie integraler Bestandteil in diversen Forschungsbereichen wie Plasmonik, Nanooptik und Nahfeldmikroskopie. Optische Nanostrukturen ermöglichen es dabei vor allem, Licht auf nanoskopischen Größenskalen zu manipulieren, zu steuern und zu vermessen. Die Manipulation von Licht und dessen räumlicher Freiheitsgrade wie Intensitäts-, Phasen- und Polarisationsverteilung spielt dabei eine übergeordnete Rolle. Dieses regelrechte räumliche Maßschneidern von Lichtstrahlen ermöglicht es, Überauflösung in der Mikro- und Nanoskopie zu realisieren, die Bandbreite in der optischen Kommunikation zu erhöhen, neuartige optische Phänomene auf kleinsten Längenskalen zu erforschen sowie nanoskopische Systeme gezielt zu untersuchen.

In der außergewöhnlichen Atmosphäre des Physikzentrums in Bad Honnef trafen sich vom 24. bis 29. Januar etwa 75 Wissenschaftler aus über 20 Ländern. In mehr als 20 Vorträgen eingeladener Redner, allesamt ausgezeichnete Experten in ihren Fachbereichen, in zwei Postersitzungen sowie drei Kurzvorträgen der Posterpreis-Gewinner wurden u. a. Nanophotonik, Nanoplasmonik, Mikroskopie, Erzeugung und Anwendung räumlicher Lichtmoden,

Dr. Masud Haque, MPI für Physik komplexer Systeme, Dresden; Prof. Dr. Michael Bonitz, U Kiel; Prof. Dr. Stefan Kehrein, U Göttingen

Dr. Christoph Marquardt, Dr. Maria Chekhova, MPI für die Physik des Lichts, Erlangen; Prof. Dr. Ulrik L. Andersen, DTU Physics, Dänemark

Drehimpulse des Lichts sowie die Komplexität elektromagnetischer Feldverteilung im Nanobereich anschaulich eingeführt und eingehend diskutiert. Das Seminar brachte dabei zum ersten Mal eine Vielzahl junger Nachwuchsforscher sowie führender Wissenschaftler unter einem Dach zusammen. Die Vielfältigkeit der Beiträge sowie die Teilnahme herausragender Persönlichkeiten aus diversen wissenschaftlichen Gemeinschaften ermöglichten einen äußerst regen und fruchtbaren Gedanken- und Ideenaustausch.

Auch im Namen aller Teilnehmer möchten wir uns ganz herzlich bei der Wilhelm und Else Heraeus-Stiftung für die großzügige finanzielle und hochprofessionelle administrative Unterstützung bedanken. Insbesondere geht unser Dank an Martina Albert (WEH-Stiftung) sowie Victor Gomer und Dirk Guthy-Rahn (Physikzentrum).

Peter Banzer und Gerd Leuchs

Semiconductor Detectors in Astronomy, Medicine, Particle Physics and Photon Science

607. WE-Heraeus-Seminar

Hochempfindliche Halbleiterdetektoren eignen sich hervorragend zum Nachweis geladener Teilchen und von Röntgenquanten. Aber auch UV-Licht, sichtbares Licht bzw. Nah- und Ferninfrarotstrahlung lassen sich damit nachweisen. Das Anliegen der Teilnehmer des 607. WE-Heraeus-Seminars war es, systematisch nach Synergien zwischen den Detektoranforderungen in Astronomie, Medizin, Teilchenphysik und bei der Forschung mit Photonen zu suchen.

In den Experimenten am Large Hadron Collider (LHC) sind Siliziumspurdetektorsysteme mit rund 200 Quadratmeter Fläche bzw. Vertexdetektoren mit rund 100 Millionen Pixeln erfolgreich im Einsatz. Hier sind die hohen Teilchenflüsse und die entsprechend große Zahl elektronischer Kanäle eine Herausforderung. Für den Einsatz an zukünftigen Elektron-Positron-Kollidern steht dagegen die einzigartige Orts- und Impulsauflösung der Detektoren im Vordergrund. Die schwierigste aller Welten ist vielleicht die Schwerionenphysik bei FAIR und LHC. Hier fallen hohe Teilchenflüsse und höchste Auflösung zusammen.

Die Gemeinsamkeiten zwischen Teilchenphysik, Medizin und Photon Science waren schnell gefunden und liegen unter anderem in der Entwicklung von anwendungsspezifischen integrierten Schaltkreisen und den Systemaspekten. Silizium eignet sich allerdings mit zunehmender Energie immer weniger zum Nachweis harter Röntgenquanten. Die Entwicklung von Cadmiumtellurid- oder Gallium-

arsenidsensoren ist anspruchsvoll, aber erfolgreich.

Eine Besonderheit des Seminars war sicherlich der Austausch mit der Astronomie. Hier liegen die Herausforderungen in der niedrigen Photonenenergie und der geringen Signalstärke entfernter kosmischer Objekte. Dies bedingt eine maximale Quantenausbeute und minimales Ausleserauschen. Auch wenn sich die Synergien vielleicht als kleiner erwiesen als erhofft, wurde der Respekt vor den anderen Fachgebieten und die gegenseitige Inspiration im Laufe der Veranstaltung umso größer. Ein Höhepunkt war der Vortrag von G. Rieke (U. Arizona) über die Instrumentierung des James Webb Space Telescope (JWST) und die Si:As-Detektoren mit einem Rauschen von nur 14 Elektronen und einer hohen Empfindlichkeit von 5 bis 28 Mikrometern. Alan Owens (ESTEC) sieht die Grenzen des traditionellen Nachweisprinzips durch Erzeugung und Verstärkung von elektrischer Ladung erreicht. Die Materialforschung ist gefordert, grundlegend andere Ansätze wie die Spintronik oder Valleytronik für die Detektoren der Zukunft zu entwickeln.

Wir möchten uns sehr herzlich bei der WE-Heraeus-Stiftung für die perfekte Betreuung, die einzigartige Atmosphäre im Physikzentrum und die großzügige Finanzierung des Seminars bedanken.

Marc Weber, Alfred Krabbe, Fine Fiedler und Cornelia Wunderer

Superconducting Materials on Their Way from Physics to Applications

608. WE-Heraeus-Seminar

Supraleitungsphänomene, ihr Verständnis und darauf basierende Anwendungen überraschen nach wie vor regelmäßig Physiker, Materialwissenschaftler und Ingenieure. Beispiele sind die druckinduzierten Rekordsprungtemperaturen von über 200 K in Schwefelwasserstoffverbindungen oder die Klasse der Fe-basierten Supraleiter. Trotz der immensen Vielfalt an supraleitenden Phasen werden bislang nur wenige supraleitende Materialien erfolgreich angewendet. Dies gilt auch für die Hochtemperatur-Supraleiter. Ziel dieses Seminars war es, ausgehend von den Erfahrungen der klassischen Supraleiter mit ihren erfolgreichen Magnetanwendungen in Medizin und Grundlagenforschung, den aktuellen Stand der Materialentwicklung bei Hochtemperatursupraleitern und ihre Anwendungsfelder kritisch zu analysieren und neu entdeckte Supraleiter hinsichtlich ihres Anwendungspotenzials realistisch einzuordnen. Besonders spannend war die Sichtweise von Industrievertretern.

Intensiv diskutierte Fragen waren beispielsweise: Welche physikalischen Basiseigenschaften supraleitender Materialien sind anwendungsrelevant, und wie lassen sie sich verbessern? Welches Anwendungspotenzial besitzen die Fe-basierten Supraleiter? Welche Entwicklungen gibt es im Magnetbau bzw. in der Energietechnik? Wie sind der materialwissenschaftliche Stand und das weitere Entwicklungspotenzial der unterschiedlichen Supraleiterklassen?

Bei den etablierten Tieftemperatur-Supraleitern war es z. B. für viele der fast 80 Seminarteilnehmer überraschend, dass sich die kritische Stromdichte in Nb₃Sn-Leitern für Hochfeldmagnete auch nach über 40-jähriger Materialentwicklung weiter erhöhen lässt. Treibende Kraft ist hierbei z. B. die Entwicklung neuer Strahlführungsmagnete für einen möglichen Future Circular Collider (FCC) am CERN. Bei den Hochtemperatursupraleitern hat es in den letzten Jahren große Fortschritte gegeben, sowohl bei der kontrollierten Integration von nanoskaligen Pinning-Zentren als auch bei der industriellen Produktion hochstromtragender Bandleiter. Dennoch stehen die nach wie vor hohen Herstellungskosten vielen Anwendungen im Wege. Umso interessanter war die Präsentation zum AmpaCity-Projekt, bei dem das weltweit längste supraleitende Kabel ins RWE-Verteilnetz integriert wurde, um die Innenstadt von Essen zu versorgen. Neben der Alltagstauglichkeit zeigt dieses Projekt, dass konventionelle Systeme nur noch einen moderaten Kostenvorteil haben, sodass der breitere Einsatz supraleitender Kabel und Strombegrenzer realistisch erscheint und konkret angegangen wird. Die Diskussion weiterer Anwendungen wie supraleitende rotierende Maschinen höchster Leistungsdichte oder supraleiterbasierte Lagerungssysteme rundeten das Themenspektrum ab.

Die Organisatoren bedanken sich auch im Namen aller Teilnehmer herzlich bei der Wilhelm und Else Heraeus-Stiftung für die großzügige Unterstützung des Seminars. Die inspirierende Atmosphäre des Physikzentrums sowie die perfekte Organisation trugen wesentlich zum Erfolg dieses Seminars bei.

Bernhard Holzapfel und Francesco Grilli

Dr. Peter Banzer,
Prof. Dr. Gerd
Leuchs, MPI für
die Physik des Lichts,
Erlangen

Prof. Dr. Marc
Weber, KIT Karlsruhe;
Prof. Dr. Alfred
Krabbe, U Stuttgart;
Dr. Fine Fiedler, HZ
Dresden-Rossendorf;
Dr. Cornelia B.
Wunderer, DESY
Hamburg

Prof. Dr. Bernhard
Holzapfel, Dr.
Francesco Grilli,
KIT Karlsruhe