

Spin Hall Effect

421. WE-Heraeus-Seminar

Die elektrische Kontrolle über den Spinfreiheitsgrad ist ein zentrales Thema in der Spintronik, in der man den Elektronspin zur Informationsverarbeitung und Speicherung nutzen möchte. In Anwendungen, zum Beispiel im Spin-Transfer-Torque-Effekt, kommen spinpolarisierte Ladungsströme zum Einsatz. Aufgrund Ohmscher Verluste erwärmen diese Ströme jedoch die Proben, was die Interpretation von Experimenten, den Vergleich mit Theorie und auch Anwendungen in Bauelementen schwierig macht. Vor diesem Hintergrund überrascht es nicht, dass erste experimentelle Beobachtungen des Spin-Hall-Effekts, bei dem ein Ladungsstrom in transversaler Richtung einen reinen Spinstrom erzeugt, große Aufmerksamkeit erregt haben. Die neuesten Resultate wurden während des 421. Wilhelm und Else Heraeus-Seminars diskutiert, das vom 20. bis 23. Oktober im Physikzentrum in Bad Honnef stattfand und an dem 54 Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler teilnahmen.

Experimentell wurde der Spin-Hall-Effekt mittlerweile in verschiedenen Halbleitern und Metallen beobachtet, wobei große Fortschritte in der Größenordnung des Effekts gemacht wurden: Während erste Experimente bei tiefen Temperaturen in Kryostaten durchgeführt werden mussten und sich nur kleine Spinakkumulationen erreichen ließen, ist mittlerweile in Metallen (insbesondere Gold) ein um mehrere Zehnerpotenzen größerer Spin-Hall-Effekt selbst bei Raumtemperatur nachweisbar. Eine phänomenologische Beschreibung basierend auf Drift und Diffusion ist seit vielen Jahren bekannt. Sie liefert z. B. eine enge Beziehung zwischen dem anomalen Hall-Effekt und dem Spin-Hall-Effekt. Die Beschreibung ist aber nur in Systemen mit hoher Symmetrie gültig, während insbesondere in Halbleitern die gebrochene Inversionssymmetrie oft eine wichtige Rolle spielt. Dadurch gibt es in den Transportgleichungen eine Reihe zusätzlicher Terme. Das Zusammenspiel verschiedener Streumechanismen ist Gegenstand aktueller Forschung und wurde in mehreren Vorträgen diskutiert. Bei tiefen Temperaturen werden überraschend große mesoskopische Fluktuationen vorhergesagt.

Eine interessante neue Entwicklung ist auch der Quanten-Spin-Hall-Effekt, theoretisch u. a. vorhergesagt in dünnen Bilmen und experimentell beobachtet in HgTe-Quantentrögen. Der Quanten-Spin-Hall-Effekt tritt in Materialien auf, welche im Volumen elektrisch isolierend sind. Er benötigt kein externes Magnetfeld, die spinpolarisierten Zustände an den Rändern des Systems tragen die Spinströme.

Auch jüngere Wissenschaftler hatten in Vorträgen und mit Postern Gelegenheit,

Wilhelm und Else Heraeus-Stiftung

Deadline für Anträge zur nächsten Sitzung der Stiftungsgremien:

27. März 2009

Datum = Posteingang; Kontaktaufnahme vorab empfohlen

ihre neuesten Forschungsergebnisse zu präsentieren. Es wurde zum Beispiel gezeigt, wie sich hochgradig spinpolarisierte Ströme in Spinfilter-Kaskaden erzeugen lassen und wie reine Spinströme durch Spininjektion über Tunnelbarrieren generiert werden. Die Poster wurden in Mikroseminaren beworben und die beiden besten Poster mit einem Preis geehrt. Wie immer gehörten Diskussionen in der Bürgerstube an den Abenden zu den unverzichtbaren und nützlichen Merkmalen des Seminars und haben das exzellente wissenschaftliche Programm abgerundet. Wir danken der Wilhelm und Else Heraeus-Stiftung für ihre großzügige finanzielle und organisatorische Unterstützung, die das Seminar zu einem großen Erfolg gemacht hat.

Peter Schwab, Mathias Kläui
und Roberto Raimondi

New Frontiers in Quantum Information Science

423. WE-Heraeus-Seminar

Das Seminar „New Frontiers in Quantum Information Science“, das vom 4. bis 6. November im Physikzentrum Bad Honnef stattfand, widmete sich den neuesten Entwicklungen in der Quanteninformationsforschung. Diese entstand vor etwa zwei Jahrzehnten aus der Beobachtung, dass die scheinbaren Paradoxien der Quantentheorie nicht nur eine stetige Herausforderung für den „gesunden Menschenverstand“ darstellen, sondern auch ein enormes Potenzial für die Informationsverarbeitung in sich bergen. Ziel des Seminars war es, einige dieser jüngsten Forschungsrichtungen zu beleuchten und Diskussionen zwischen führenden und Nachwuchswissenschaftlern zu ermöglichen. Im Mittelpunkt standen vor allem hybride Quantensysteme und Quanten-Vielteilchensysteme. Daneben diskutierten die Teilnehmer in Vorträgen und über 30 Posterbeiträgen aber auch Quantenspeicher, Bell-Ungleichungen, linear optisches Quanten-Computing und nicht-asymptotische Quanteninformationstheorie.

Zu den hybriden Quantensystemen fand eine lebhaft Diskussionsrunde statt, in der sich die Experten der provokanten Frage „Quantum Hybrids: ‚New Frontier‘ or ‚just fun‘?“ stellten. Es wurde schnell klar, dass diese Systeme weit mehr als

„just fun“ zu bieten haben und derzeit aus gutem Grund immer stärker in den Fokus der Forschung rücken. Mit festkörperbasierten Mikro- und Nanostrukturen werden bereits sehr erfolgreich Quantenexperimente durchgeführt, die bislang nur im Rahmen der Atomphysik möglich waren. Konkrete Beispiele sind chip-basierte Experimente zur cavity-QED, in denen ein Cooper-Paar als „künstliches Atom“ mit dem Feld eines Mikrowellenresonators wechselwirkt. Ein weiterer interessanter Aspekt hybrider Systeme ist die Möglichkeit der Skalierung zu einer großen Anzahl von gekoppelten Quantensystemen. Es wurde klar, dass hybride Quantensysteme eine zentrale Rolle in zukünftigen Anwendungen spielen werden.

Quanten-Vielteilchensysteme waren Gegenstand mehrerer Beiträge, die erkennen ließen, dass hier verschiedene Felder der Physik mehr und mehr miteinander verschmelzen. Deutliche Fortschritte wurden aus dem Bereich der Simulation von Vielteilchensystemen berichtet: Sowohl bei der Simulation auf „klassischen“ Rechnern, basierend auf neuen Darstellungen von Vielteilchenzuständen, als auch bei der Emulation auf Quantensystemen, vor allem in optischen Gittern. Darüber hinaus gab es Vorträge zu überraschenden Entwicklungen wie Quantenrechnen unter Translationsinvarianz und Kohärenz aus Dekohärenz. Außerdem zeigte sich, dass zu viel Verschränktheit für effizientes Quantenrechnen auch hinderlich sein kann.

Markus Aspelmeyer und Michael M. Wolf

Priv. Doz. Dr. Peter Schwab, Institut für Physik, Universität Augsburg; Dr. Mathias Kläui, Fachbereich Physik, Universität Konstanz; Prof. Dr. Roberto Raimondi, Dipartimento di Fisica, Università di Roma Tre

Dr. Markus Aspelmeyer, Österreichische Akademie der Wissenschaften, Wien; Prof. Dr. Michael M. Wolf, Niels Bohr-Institut, Universität Kopenhagen