

Stochastic Approaches to Complexity

425. WE-Heraeus-Seminar

Über die vergangenen Jahrzehnte hat sich die Erforschung komplexer Systeme zu einem wichtigen und lebendigen Forschungsgebiet entwickelt. So stellt die Untersuchung von selbstorganisierten, emergenten Systemen einen Paradigmenwechsel weg von der klassisch-reduktionistischen Herangehensweise vieler Zweige der Naturwissenschaften dar. Bei hochdimensionalen, nichtlinear wechselwirkenden Systemen zeigt sich, dass viele Eigenschaften nicht aus dem Verständnis ihrer Einzelteile herleitbar, sondern kollektiver Natur sind. Typische Beispiele aus der Physik sind der Laser oder die Turbulenz, aber auch biologische und ökonomische Systeme wie unser Gehirn oder der Börsenmarkt zeigen Merkmale von Komplexität. Die für diese Systeme typische hohe Anzahl an Freiheitsgraden verlangt eine statistische Beschreibung, wobei es sich als sinnvoll herausstellt, deterministische Trends und intrinsische Fluktuationen zu trennen.

In diesem Licht fand das 425. WE-Heraeus-Seminar vom 8. bis 10. Januar 2009 in Bad Honnef statt. Ziel war es, auf internationaler Ebene etablierte Forscher und Nachwuchswissenschaftler verschiedener Fachrichtungen zusammenzubringen und gemeinsam sowohl Methoden zur Untersuchung komplexer Systeme als auch deren Anwendungen zu diskutieren. Das aus sechzehn eingeladenen Vorträgen und einer umfangreichen Postersession bestehende Programm ermöglichte spannende Einblicke in aktuelle Forschungsergebnisse, die in der gemütlichen Atmosphäre des Physikzentrums ausgiebig diskutiert wurden. Der interdisziplinäre Hintergrund der 56 Teilnehmer ermöglichte dabei einen Blick über den Tellerrand des eigenen Faches hinaus. Als Highlights des Seminars seien hier Vorträge zur Dynamik in epileptischen Netzwerken oder zur Erforschung von Schlafzuständen genannt, die eindrucksvoll zeigten, wie Konzepte der theoretischen Physik helfen können, biologische Systeme zu verstehen. Vorträge zur Zeitreihenanalyse von Finanzdaten und der Bedeutung von extremen Ereignissen stießen auch aufgrund ihrer Aktualität auf reges Interesse. Klassisch physikalische Beiträge zur Vorhersage von Erdbeben und zur statistischen Beschreibung turbulenter Strömungen rundeten das Themenspektrum ab. Insgesamt zeigte sich, dass mithilfe moderner stochastischer Methoden in jüngster Zeit signifikante Fortschritte bei der quantitativen Untersuchung von Zeitreihen komplexer Systeme zu verzeichnen sind.

Wir danken der Wilhelm und Else Heraeus-Stiftung für ihre großzügige Förderung sowie Herrn Dr. Dreisigacker, Frau Lang und den Mitarbeitern

des Physikzentrums für ihre freundliche Unterstützung bei der Organisation und Durchführung dieses für alle Teilnehmer interessanten und fruchtbaren Workshops.

Joachim Peinke, Rudolf Friedrich,
Michael Wilczek und Oliver Kamps

Molecular and Organic Electronics: Bridging the Gaps

427. WE-Heraeus-Seminar

Ziel des Seminars war es, Wissenschaftler aus den beiden zurzeit noch oft separat wahrgenommenen Forschungsfeldern „Molekulare Elektronik“ (ME) und „Organische Elektronik“ (OE) zusammenzubringen, um die Verwandtschaft der drängenden Fragestellungen in beiden Feldern klarzustellen. Die aktiven Materialien sowohl in der ME als auch in der OE sind meist konjugierte organische Moleküle und Polymere, doch unterscheiden sich die Ansätze beider Technologien. Während man in der ME verschiedene elektronische Funktionen (z. B. Schalten) auf Basis nur eines oder weniger Moleküle realisieren will, kommt in der OE eine sehr große Anzahl von Molekülen in aktiven Schichten (typischerweise einige 10 nm dick) auf großen Flächen (~ 100 nm² bis > m²) zum Einsatz. Wichtige übergreifende Themen sind die Kontakte zu Elektroden und der Einfluss verschiedener Umweltbedingungen während der Herstellung und dem Betrieb von Bauteilen.

Viele Experten der ME und OE erachten das Verhalten von Molekülen an „idealen“ Grenzflächen (im Ultrahochvakuum) mit Metallen als wichtig: Einfache Modellvorstellungen und daraus abgeleitete Voraussagen gelten nicht. Separat bestimmte Materialparameter haben im kombinierten System kaum Relevanz, und die komplexe Wechselwirkung der unterschiedlichen Elektronensysteme führt zu erheblichen Veränderungen der Moleküle selbst (z. B. durch Ladungstransfer oder Konformationsänderungen). Dies konnte vor allem in jüngster Zeit durch hochauflösende Rastersondenmethoden gezeigt werden, die sich heute als „Augen, Hände und Ohren“ der Wissenschaftler zur Abbildung und Manipulation von Molekülen sowie auch zur Schwingungsspektroskopie nutzen lassen. Interessanterweise findet man jedoch für „realistische“ Grenzflächen (im Hochvakuum oder an Luft) zwischen Molekülen und Elektroden ein einfacheres Verhalten: Hinsichtlich der elektronischen Struktur gibt es definierte Übergänge vom Schottky-Mott-Limit zu einem „Pinning“ der Energieniveaus. Damit sind auch Vorhersagen möglich. Vor allem in der ME werden oftmals zwei gegensätzliche Modelle zur Beschreibung von Ladungstransport verwendet, nämlich kohärenter

Elektronentransport entlang eines Moleküls versus Elektronentransfer zwischen Molekülen. Beide Modelle lassen sich als Grenzfälle für verschiedene System- und Umweltbedingungen ansehen und ineinander überführen. Darüber hinaus wurden den Themen Self-Assembly und Kontaktierung nanoskaliger Elemente (Einzelmoleküle), Integration in komplexere hochfunktionelle Bauteile sowie dem Wärmehaushalt von vielen Sprechern eine besondere Bedeutung für die zukünftige Forschung zugeschrieben.

Alle 62 Wissenschaftler aus zehn Ländern, die am Seminar teilgenommen haben, darunter insbesondere die vier Organisatoren Saw-Wai Hla (Athens / Ohio), Norbert Koch und Jürgen P. Rabe (Berlin) sowie Mark A. Ratner (Evanston / Illinois) danken der Wilhelm und Else Heraeus-Stiftung aufs Herzlichste für die finanzielle Unterstützung und die förderliche Atmosphäre zum Gedankenaustausch im Physikzentrum Bad Honnef.

Norbert Koch und Jürgen P. Rabe

Physics of Tribology

428. WE-Heraeus-Seminar

Die grundlegenden Mechanismen, welche Reibung und Verschleiß z. B. in einem Verbrennungsmotor beeinflussen, sind noch vielfach unbekannt und werden oft kontrovers diskutiert. Dies liegt daran, dass für eine vollständige Beschreibung eines tribologischen Systems eine multiskalige Betrachtungsweise von der atomaren Ebene bis zu den mechanischen Eigenschaften eines Bauteils nötig ist. Vor diesem Hintergrund fand das Seminar vom 23. bis 25. März im Physikzentrum Bad Honnef mit 63 Teilnehmern statt, bei dem die neuesten Entwicklungen des Gebiets vorgestellt wurden.

Die elastische Kontaktmechanik, die bei der Berechnung der tatsächlichen Kontaktfläche zwischen zwei rauen Oberflächen eine zentrale Rolle spielt, wurde jüngst soweit weiterentwickelt, dass sich nun die reale Kontaktfläche von z. B. technischen Aluminium-Silizium-Oberflächen auch über millimetergroße Bereiche exakt berechnen lässt. Auch bei den experimentellen Beobachtungsmöglichkeiten wurden Fortschritte gemacht. So lassen sich mittlerweile in transparenten Werkstoffen die reale Kontaktfläche mit hoher Zeitauflösung durch Laserstreuung messen und Reibungsvorgänge durch in-situ Rasterkraftmikroskopie im Transmissions-Elektronenmikroskop sichtbar machen.

Systeme mit ultrakleiner Reibung und Verschleißrate sind für ein grundlegendes Verständnis sowie aus technologischer Perspektive besonders interessant und waren daher Gegenstand mehrerer Beiträge. In jüngster Zeit gelang es, auf atomarer Ebene solche Zustände auf verschiedene

Prof. Dr. Joachim Peinke, Institut für Physik / ForWind, Universität Oldenburg; Prof. Dr. Rudolf Friedrich, Dipl.-Phys. Michael Wilczek und Dipl.-Phys. Oliver Kamps, Institut für Theoretische Physik Physik / CeNoS, Universität Münster

Dr. Norbert Koch und Prof. Dr. Jürgen P. Rabe, Institut für Physik, Humboldt-Universität Berlin

Weise experimentell zu realisieren. In diesem Zusammenhang wurden interessante neue Ergebnisse vorgestellt, die den Unterschied in der Reibung von ein- und zweilagigen Graphenschichten mit der Elektron-Phonon-Kopplung in Verbindung bringen. In makroskopischen Systemen wurde gezeigt, dass sich mit diamantartigen Kohlenstoffschichten mit Polyglycerinschmierung sehr kleine Reibungskoeffizienten erreichen lassen. Auf der Simulationsseite wurde dazu ein neues realistisches reaktives Potential für Kohlenstoff (DLC, Diamant) vorgestellt, mit dem sich die tribochemischen Vorgänge, welche für niedrige Reibung und Verschleiß von DLC sorgen, besser verstehen lassen.

Bei der Postersession wurde ein experimenteller Beitrag mit dem Posterpreis ausgezeichnet, der neben spannender Wissenschaft auch dadurch auffiel, dass die Kosten für dieses Experiment nur 500 € betragen – ein Beispiel dafür, dass man für Innovationen nicht immer ein Millionenbudget benötigt. Intensive Diskussionen während der Pausen und bis in die späten Abendstunden in der Bürgerstube des Physikzentrums ergänzten das Seminarprogramm. Wir danken an dieser Stelle der Wilhelm und Else Heraeus-Stiftung für die finanzielle Unterstützung und perfekte Organisation des Seminars.

Martin Dienwiebel, Peter Gumbsch und Matthias Scherge

Microwaves for Condensed Matter Physics

429. WE-Heraeus-Seminar

Mikrowellen spielen bei der Untersuchung niederenergetischer elektronischer und magnetischer Anregungen in Festkörpern seit langem eine große Rolle: Elektromagnetische Strahlung mit Frequenzen im GHz-Bereich hat eine Photonenenergie von weniger als 1 meV, was Temperaturen unterhalb 10 K entspricht. Möchte man Festkörperzustände, die nur bei niedrigen Temperaturen auftreten (z. B. Supraleitung, Quanten-Hall-Effekt), „optisch“ untersuchen, ist Mikrowellenspektroskopie somit die geeignete Methode. Neben solchen Experimenten, die die intrinsischen Materialeigenschaften eines Festkörpers studieren, haben sich Mikrowellenexperimente in den letzten Jahren auch in der mesoskopischen Physik etabliert: Bei Systemen mit Abmessungen unterhalb von 1 μm treten die Quanteneigenschaften der Elektronen (Fermi-Wellenlänge, Phasen-Kohärenzlänge) in den Vordergrund, wenn die Temperatur sehr niedrig ist (unterhalb 1 K) und die Experimente bei entsprechend niedrigen Energien durchgeführt werden. Hier sind wiederum Mikrowellenfrequenzen angemessen. Ziel des 429. WE-Heraeus-Semi-

nars, das vom 5. bis 8. April 2009 im Physikzentrum Bad Honnef stattfand, war es, diese beiden mit Mikrowellen arbeitenden Hauptgebiete der Festkörperphysik vorzustellen und den Austausch zwischen ihnen zu initiieren und zu fördern.

Als Beispiel mag hier der Themenkomplex „Supraleitung“ dienen: Hier wurde die Dynamik von konventionellen und unkonventionellen Supraleitern präsentiert (inkl. Kosterlitz-Thouless-Übergang), also charakteristische Materialeigenschaften bei diesen Frequenzen, aber auch „Mikrowellen-Spiele“ mit Josephson-Kontakten. Schließlich ging es über supraleitende Resonatoren und Qubits ins Gebiet der starken Kopplung ebener dieser Elemente. Es wurde deutlich, dass Mikrowellenexperimente im Festkörper immer eine experimentelle Herausforderung darstellen. Durch die enormen Fortschritte der letzten Jahre wurde aber bereits ein so hohes Niveau erreicht, dass diese Experimente inzwischen weit über dieses Teilgebiet hinaus neue Impulse setzen. Dank der schnell fortschreitenden Entwicklungen (wie sie beim Seminar vorgestellt wurden) sind weitere spekulative Experimente bereits in Reichweite.

Während die 19 Vorträge sich auf die oft sehr grundlegenden physikalischen Fragestellungen konzentrierten, wurden während der Postersitzungen sowie in informeller Runde von den gut 60 Teilnehmern auch die zahlreichen technischen Aspekte von Mikrowellenexperimenten diskutiert. Gerade hier ist mit den neu geknüpften Kontakten ein weiterer Austausch quer durch die verschiedenen Teilgebiete abzusehen. Wir danken der Wilhelm und Else Heraeus-Stiftung für ihre großzügige Unterstützung dieses Seminars.

Marc Scheffler und Martin Dressel

Dr. Martin Dienwiebel und **Prof. Dr. Peter Gumbsch**, Institut für Zuverlässigkeit von Bauteilen und Systemen, Universität Karlsruhe (TH); **Prof. Dr. Matthias Scherge**, FHI für Werkstoffmechanik (IWM), Freiburg

Dr. Marc Scheffler und **Prof. Dr. Martin Dressel**, 1. Physikalisches Institut, Universität Stuttgart