

Graphene Electronics – Material, Physics and Devices

457. WE-Heraeus-Seminar

Graphen ist ein hexagonaler Kohlenstoffkristall, der sich aus einer Monolage von Kohlenstoffatomen zusammensetzt. Es besteht im wahrsten Sinne des Wortes nur aus Oberflächenatomen und ermöglicht somit Zugang zu einem wirklich zweidimensionalen Elektronengas. Seine Honigwabens-Struktur führt zu einzigartigen elektronischen Eigenschaften, da sich die für den Transport relevanten Elektronen theoretisch wie masselose Dirac-Fermionen verhalten. Neben der außerordentlich hohen Elektronenbeweglichkeit selbst bei Raumtemperatur zeichnet sich Graphen durch große mechanische Festigkeit und hohe optische Transparenz sowie ausgezeichnete thermische Leitfähigkeit aus.

Im Rahmen des Seminars, das vom 15. bis 18. August im Physikzentrum Bad Honnef stattfand, diskutierten 77 Wissenschaftler und Wissenschaftlerinnen aus 45 öffentlichen und industriellen Forschungsinstituten angeregt und intensiv über die neuesten Erkenntnisse zu diesem Thema. Vor allem zukünftige elektronische oder spin-basierte Anwendungen standen im Blickpunkt. In 21 eingeladenen Vorträgen und über 40 Postern wurden die verschiedensten Aspekte von Graphen wie Wachstum und Charakterisierung, Ladungs- und Spintransport, Quantenphänomene sowie elektronische Bauelemente in Theorie und Experiment behandelt.

Beachtliche Fortschritte bei der Materialherstellung wurden berichtet, insbesondere was die Qualität und das Verständnis, aber auch die Größe der abgeschiedenen Graphen-Schichten angeht. Anwendungen auf großflächiger Skala erscheinen zunehmend im Bereich des Machbaren. Für elektronische Bauelemente ist insbesondere die hohe Ladungsträger-Beweglichkeit in Graphen von Interesse. Diese ist zumindest bei Raumtemperatur stark von der Wechselwirkung mit dem unterliegenden Substrat bestimmt. Auch wenn über den exakten Streumechanismus noch heftig diskutiert wird, scheint sich herauszukristallisieren, dass gerade das häufig verwendete SiO_2 als Dielektrikum und isolierende Schicht nachteilig für die Ladungsträgerbeweglichkeit ist. In diesem Zusammenhang lässt sich der mehrfach berichtete Trend zu freihängenden Graphen-Schichten oder alternativen Substraten, z. B. hexagonales Bornitrid, gut verstehen. Trotz der Nachteile von SiO_2 erreichen Graphen-Transistoren beachtliche Kenndaten, insbesondere für Hochfrequenz-Anwendungen. Es wurden jedoch auch kritische Anmerkungen, die die Vorteile von Graphen-Transistoren gegenüber herkömmlichen Halbleiter-Feldeffekt-

Transistoren relativieren, diskutiert. Neue Perspektiven für spin-basierte Bauelemente eröffnen sich durch die schwache Spin-Bahn-Wechselwirkung und die schwache Hyperfein-Kopplung von Graphen, das dadurch einen inhärenten Vorteil gegenüber anderen Halbleitern besitzt. Weiterhin zeichnet sich ab, dass die mechanischen und elektromechanischen Eigenschaften von Graphen zunehmendes Interesse finden und völlig neuartige Bauelemente zulassen könnten. Erste Beispiele reichen von der Graphen-Membran-basierten DNA-Decodierung bis hin zu neuartigen hochempfindlichen Dehnungssensoren.

Die Podiumsdiskussion „Graphen, Zukunft der Industrie oder nur Spielzeug der Physiker“ regte Podiumsteilnehmer und Zuhörer dazu an, äußerst konstruktiv über die zukünftige Entwicklung der Graphen-Forschung und die Chancen zukünftiger Anwendungen zu diskutieren. Darüber hinaus hatten die diesjährigen Bundessieger des Wettbewerbes „Jugend forscht“ die Gelegenheit, das Seminar am Montag zu besuchen und so in die aktuelle Forschung hineinzuschnuppern. Hervorzuheben ist die rege Diskussion unter den Tagungsteilnehmern, insbesondere auch unter den zahlreichen Nachwuchswissenschaftlern, Doktoranden und Diplomanden bei der Postersitzung und den abendlichen Nachsitzen. Die Organisatoren und Teilnehmer des Seminars bedanken sich ausdrücklich bei der lokalen Organisation des Physikzentrums und bei der Wilhelm und Else Heraeus-Stiftung für die großzügige finanzielle und organisatorische Unterstützung.

Heike Riel

Biomedical Modeling and Visualization

WE-Heraeus Workshop

Modellierung und Simulation von biophysikalischen und medizinischen Prozessen ist ein aktives und expandierendes Forschungsfeld an der Schnittstelle zwischen Physik, Mathematik, Biologie und Ingenieurwissenschaften. Einhergehend mit dem rasanten Fortschritt in der Digitalisierung von Bildgebungsverfahren in der Medizin ist auch das Interesse an begleitenden Simulationen stark gewachsen. Gleichzeitig beflügelten Erkenntnisse über Wirkungsweise und Effizienz natürlicher Materialien Versuche im Rahmen der Bionik, die Natur in künstlichen Materialien zu imitieren.

In der Zeit vom 12. bis 20. August trafen sich etwa 70 Teilnehmer (vorwiegend Doktoranden und Postdoktoranden) auf dem Campus der Jacobs University in Bremen, um im Rahmen des Workshops verschiedene Aspekte der anwendungsorientierten Modellierung und Visualisie-

rung kennenzulernen. Achtzehn international renommierte Sprecher aus dem In- und Ausland präsentierten in Vorträgen und Tutorien aktuelle Themen aus drei Schwerpunkten. Im ersten Teil ging es um die Visualisierung von intrinsischen Unsicherheiten in Bildgebungsverfahren, die sich Anwender im Allgemeinen nicht bewusst machen und daher Bilder oft als exakte Repräsentation von Fakten interpretieren. Solche ignorierten Unsicherheitsfaktoren können bei Anwendungen in der Chirurgie fatale Folgen haben und sollten zunehmend in das Bewusstsein der Anwender vordringen, unterstützt durch Visualisierung der Unsicherheitsfaktoren. Der zweite Teil behandelte die Modellierung und Simulation von Erregungswellen in Herzgewebe. Die komplexen Muster solcher Wellen und ihr Bezug zu Herzerkrankungen wie Arrhythmien sind noch weitgehend unerforscht. Die Hörer bekamen einen Einblick in den aktuellen Stand der klinischen Forschung und Modellierung unter Einbeziehung von Patientendaten. Im dritten Teil ging es um hierarchisch organisierte natürliche Materialien mit ihren wichtigsten Vertretern wie Knochen und Holz. Die Beiträge der Sprecher machten sehr deutlich, warum eine Multiskalenmodellierung unabkömmlich ist, wenn man die Brücke zwischen mikroskopischen Strukturen auf zellulärer Ebene zu makroskopischen Materialeigenschaften schlagen will. In einem Übersichtsvortrag wurde das weite Anwendungsgebiet der Bionik vorgestellt.

Außerhalb des offiziellen Programms hatten die Teilnehmer Gelegenheit, in Kurzvorträgen ihre aktuellen Arbeiten vorzustellen. Darüber hinaus gab es viel Raum für Diskussionen sowie die Möglichkeit, anwendungsnahe Forschung und Produktentwicklung bei Fraunhofer MEVIS und der MeVis Medical Solutions AG kennenzulernen. Auch im Namen aller Teilnehmer möchten wir der Wilhelm und Else Heraeus-Stiftung ganz herzlich für die großzügige finanzielle Unterstützung danken.

Hildegard Meyer-Ortmanns, Lars Linsen,
Tobias Preußner, Marc-Thorsten Hütt
und Horst-Karl Hahn

Ultra fast Atomic Physics

463. WE-Heraeus-Seminar

Vom 19. bis 22. August 2010 trafen sich im Physikzentrum in Bad Honnef 70 Physiker und Chemiker aus Deutschland, Europa, den USA, Japan und Australien, um über ultraschnelle Prozesse auf dem Gebiet der Atom- und Molekülphysik zu diskutieren und neueste Ergebnisse vorzustellen. Die Tagung stand unter dem Leitthema „Querdenken“ (so bezeichnete Otto Stern die Art des Denkens, die ihm sein Lehrer Albert Einstein beigebracht

Dr. Heike Riel, IBM Research GmbH, Zurich Research Laboratory, Rüschlikon/Schweiz

Prof. Dr. Hildegard Meyer-Ortmanns, Prof. Dr. Lars Linsen, Prof. Dr. Tobias Preußner, Prof. Dr. Marc-Thorsten Hütt, School of Engineering and Science, Jacobs University Bremen; Prof. Dr. Horst-Karl Hahn, Fraunhofer MEVIS Bremen

hatte). Ziel war es, zwei Gebiete der ultraschnellen Physik zusammenzubringen und gegenseitig in einer hinterfragenden Art Erfahrungen auszutauschen. Sowohl für die Laserkurzzeitphysik als auch für das Gebiet der schnellen Ionenstöße sind extrem schnelle Photonenprozesse das Ziel der Forschung.

Mit starken Laserpulsen von einigen hundert Attosekunden bis wenigen Femtosekunden Dauer lassen sich heute Atome und Moleküle fragmentieren und die korrelierte Dynamik der Elektronen und Kerne mit fast zehn Attosekunden Zeitauflösung visualisieren. Auf dieser Zeitskala werden Schnapsschüsse der Elektronendichteverteilung durchgeführt und mit den Techniken der Holographie sichtbar gemacht. In den sehr engagiert geführten Diskussionen ging es darum, was die wirklichen Observablen solcher „Schnapsschuss-Experimente“ sind und wo die Grenzen der Auflösung liegen oder wie weit die Theorie diese ultraschnelle Vielteilchendynamik schon beschreiben kann und was verbessert werden muss.

In den Ionenstößen sind es die virtuellen Photonen, die die interessanten schnellen Übergänge machen. Ein relativistisch schnelles Ion kann je nach γ eine in der Zeit retardierte Wechselwirkung von viel weniger als einer Attosekunde, d. h. wenigen Zeptosekunden, haben. Da schwere Ionen anders als Elektronen sehr genau „lokalisierbar“ sind, lässt sich in Molekülen Reaktionsdynamik auf der Zeptosekunden-Zeitskala direkt visualisieren. Quantenbeats zwischen Innerschalenübergängen in sog. Quasimolekülen wurden schon beobachtet und damit ablesbare Uhren im Zeptosekundenbereich nachgewiesen.

Das Seminar belegte, dass vor allem die experimentellen Techniken in jüngster Zeit rasante Fortschritte gemacht und zu neuen innovativen Imaging-Techniken geführt haben. Die Theorie hingegen muss noch einen längeren Weg zurücklegen, um ultraschnelle Vielteilchendynamik mit der erwünschten Genauigkeit beschreiben zu können.

Horst Schmidt-Böcking

Nuclear Astrophysics in the Cosmos

WE-Heraeus Physics School

Die nukleare Astrophysik erlebt zurzeit einen enormen Aufschwung durch die Initiativen in Japan, USA und Deutschland, dedizierte Beschleunigungsanlagen zur Messung von nuklearen Reaktionen und Eigenschaften von exotischen Kernen zu errichten. Mit der Wahl der GSI Darmstadt als einer der Austragungsorte – der zweite war Heidelberg – konnten sich die Teilnehmer mit der aktuellen Forschung zur nuklearen Astrophysik an der GSI

und der zukünftigen Anlage FAIR (Facility for Antiproton and Ion Research) vertraut machen. Die WE-Heraeus-Schule fand vom 12. bis 17. Juli 2010 statt und war eng verknüpft mit dem anschließenden internationalen Symposium „Nuclei in the Cosmos“ in Heidelberg.

Die Vorlesungen der Schule spannten einen weiten Bereich auf, um den großen Themenkomplex der modernen nuklearen Astrophysik abzudecken, sowohl für astronomische Beobachtungen als auch in experimenteller und theoretischer Nuklearer Astrophysik. Stephane Goriely (Brüssel) startete die Vorlesungsreihe mit einer Übersicht über Kernmodelle für exotische Kerne und ihrer astrophysikalischen Relevanz. Die Eigenschaften von Materie im Inneren von Neutronensternen und die nukleare Zustandsgleichung stellte Jim M. Lattimer (Stony Brook, USA) vor. Thomas Janka (MPA Garching) gab einen didaktischen Überblick über die neuesten Erkenntnisse in der Simulation von Supernova-Explosionen. Joachim Görres (Notre Dame, USA) und Rene Reifarth (GSI) stellten die Experimente in der Nuklearen Astrophysik vor. Christoph Scheidenberger (GSI) präsentierte die experimentelle Bestimmung von Eigenschaften exotischer Kerne. Ein weiterer Themenbereich umfasste die stellare Elementsynthese, wie sie in der Sternentwicklung und explosiver Nukleosynthese (Alessandro Chieffi, Rom) abläuft und in präsolaren Staubkörnern aus diesen Ereignissen gemessen und studiert wird (Ernst Zinner, St. Louis, USA). Abgerundet wurde das Programm mit einem astronomischen Praktikum an der Universität Heidelberg durch Andreas Korn (Uppsala, Schweden) und Frank Grupp (München).⁹⁾

Die Schule war ein voller Erfolg, wir verzeichneten 120 Anmeldungen, von denen 66 Teilnehmer aus 18 Ländern akzeptiert werden konnten. Wir danken der Wilhelm und Else Heraeus-Stiftung für die Finanzierung und Frau Nowotka und Frau Schleyer für ihre tatkräftige Unterstützung bei der Organisation der Schule.

Michael Heil, René Reifarth, Jürgen Schaffner-Bielich und Friedrich-Karl Thielemann

Self Organization in Cell Assemblies and Tissues

464. WE-Heraeus-Seminar

Die mechanischen Eigenschaften von Einzelzellen und dem Zytoskelett wurden in den vergangenen Jahren intensiv untersucht. Viele Aspekte lassen sich jedoch nur verstehen, wenn man Zellen nicht als Einzelsystem, sondern als Teil eines eng verzahnten Gesamtsystems betrachtet, welches erstaunlich präzise großskalige Strukturen hervorbringt. So verwundert es nicht, dass die Entwicklung von Gewebe derzeit ein stark wachsendes Interesse

von Seiten der Biophysiker erfährt. Dies war Gegenstand des Seminars, und es vereinigte nun zum ersten Mal Biologen, Biophysiker und Chemiker zu diesem Thema.

Die Liste der eingeladenen Gäste spannte sich entlang dreier Achsen, von der reinen Biologie zur Physik, vom Einzelmolekül zur Retina und vom Experiment zur Theorie. Im Einführungsvortrag formulierte der Initiator folgende Fragen: Was wird bei der Entwicklung durch Selbstorganisation, was durch Signalisierung bestimmt? Welche Eigenschaften muss hierfür Kommunikation besitzen? Welche Rolle spielen Fluktuationen und Oszillationen?

Die kleine Anzahl von Vorträgen und ausreichend freie Zeit erlaubten vertiefte Diskussionen. Exemplarisch seien hier nur die scheinbar gegensätzlichen mechanischen und chemischen Einflüsse bei der Entwicklung genannt: Hans Meinhardt (Tübingen) präsentierte seine bekannten Arbeiten über Strukturbildung durch Signalgradienten. Malcolm Steinberg zeigte die Entmischung und Neuorganisation aufgrund von wechselseitiger Zelladhäsion analog zu Flüssigkeiten. Die Organisation von Gewebe beruht offensichtlich auf verschiedenen Mechanismen. Gibt es dennoch ein universelles Organisationsprinzip? Der Nobelpreisträger Bob Laughlin (Stanford) zwang die Teilnehmer mit seinen Beiträgen, gewohnte Denkpfade zu verlassen und sich mit unerwarteten Fragen eines Festkörperphysikers auseinanderzusetzen. Weiterhin rechtfertigte Hans Meinhardt Jacques Prots (Paris) Ansatz, bewusst übersimplifizierte „falsche“ Systeme zu erforschen, um aus den Unterschieden zu realen Systemen letztere verstehen zu lernen. Die anderen Beiträge waren keinesfalls weniger interessant und inspirierten zu neuen Ideen und Diskussionen.

Nach einer spannenden Exkursion zum Radioteleskop in Effelsberg war der Heraeus-Abend ein weiterer Höhepunkt, denn dabei wurden neue Ideen geboren und Kooperationspläne geschmiedet. Großer Dank gilt den Mitarbeitern der Wilhelm und Else Heraeus-Stiftung sowie des Physikzentrums Bad Honnef für eine absolut wunderbare Zusammenarbeit.

Claus Fütterer

#) Die Skripte zu den Vorlesungen sind im Internet unter <http://exp-astro.physik.uni-frankfurt.de/nic-school-2010> zu finden.

Prof. Dr. Horst Schmidt-Böcking, Universität Frankfurt/Main, Institut für Kernphysik

Dr. Michael Heil, Dr. René Reifarth, GSI Darmstadt; Prof. Dr. Jürgen Schaffner-Bielich, Universität Heidelberg; Prof. Dr. Friedrich-Karl Thielemann, Universität Basel

Prof. Dr. Claus Fütterer, Experimentelle Physik, Universität Leipzig