

How Primitive Are Comets?

615. WE-Heraeus-Seminar

Dieses Seminar fand vom 25. bis 29. April 2016 im Physikzentrum Bad Honnef statt und beruhte auf einer Idee, die etwa anderthalb Jahre zuvor bei der Tagung der amerikanischen Planetologen (DPS) in Tucson geboren worden war: Trotz der exzellenten Beobachtungen des Kometen 67P/Tschurjumov-Gerasimenko (67P) durch die Rosetta-Mission ist immer noch nicht klar, wie der Kern eines Kometen entstanden und aufgebaut ist, wie primitiv dessen Zusammensetzung ist und ob die Kometen Morphologie und molekulare Zusammensetzung der interstellaren Materie geerbt haben oder im solaren Nebel völlig verändert wurden.

Die Hauptthemen des von 45 internationalen Teilnehmern besuchten Seminars waren daher:

- Was können wir aus der Zusammensetzung der Kometen über die Entstehung des Sonnensystems lernen?
 - Was haben wir bisher von der Rosetta-Mission über den Kometenkern gelernt?
 - Laboruntersuchungen zur Physik und Chemie des Kometen.
 - Theoretische Modellierung der verschiedenen Prozesse bei Kometen.
- Den Vorträgen folgten ausführliche Diskussionen, Postersitzungen und mehrere Debattierunden zu ausgewählten Themen. Highlights waren der Nachweis von O_2 , N_2 , schwefelhaltigen Molekülen sowie der Aminosäure Glycin. Die Überraschung, dass die Oberfläche von 67P unerwartet hart ist, ist möglicherweise Folge eines deutlich höheren Staub-zu-Eis-Verhältnisses als früher vermutet.

Beobachtungen des Instruments Rosina auf Rosetta deuten auf sehr tiefe Temperaturen (ca. 30 K) bei der Bildung des Kerns des Kometen 67P hin. Kontrovers diskutiert wurde, ob die nachgewiesenen „super volatiles“ (O_2 , N_2 , Ar) auf deren Einschlüsse in amorphes oder kristallines Wassereis schließen lassen. Amorphes Eis bildet sich nur unter den Bedingungen von Molekülwolken, während sog. Clathrate im solaren Nebel entstanden sein können. Es bleibt wohl zukünftigen Missionen zu Kometen vorbehalten, dies zu klären.

Aus den Daten der verschiedenen Instrumente von Rosetta kristallisiert sich langsam ein konsistentes Bild über die Entstehung von Kometenkernen heraus: Wolken aus zentimetergroßen Staubklumpen kollabieren unter ihrer eigenen Gravitation gemächlich zu lockeren Staubhaufen, welche mit Wassereispartikeln durchsetzt sind. Ein solches Szenario kann viele der gemessenen Eigenschaften von Kometenkernen erklären. Allerdings lässt sich nicht abschließend klären, ob der Gravitationskollaps im solaren Nebel stattfand und die kilometergroßen Kometen seither unbeschadet in den äußeren

Bereichen des Sonnensystems wandelten oder ob sie Produkte katastrophaler Kollisionen größerer Körper sind.

Für zukünftige Zusammenarbeiten der Seminarteilnehmer wurden Arbeitsgruppen zur Modellierung von Kometenkernen, zu Laboruntersuchungen sowie zur Definition neuer Kometenmissionen ins Leben gerufen. Die von allen Teilnehmern hochgelobte einzigartige Arbeitsatmosphäre im Physikzentrum bot außerdem genug Zeit für ausführliche Diskussionen in- und außerhalb des Hörsaals. Wir danken der Wilhelm und Else Heraeus-Stiftung für die großzügige Unterstützung.

Jürgen Blum und Murthy Gudipati

Ultracold Quantum Gases – Current Trends and Future Perspectives

616. WE-Heraeus-Seminar

Die Faszination, die von der Physik ultrakalter Quantengase ausgeht, war während des 616. WE-Heraeus-Seminars greifbar, das mit 85 Teilnehmern aus 24 Ländern vom 9. bis 13. Mai im Physikzentrum in Bad Honnef stattfand. 25 eingeladene Hauptvorträge internationaler Experten, acht kürzere Vorträge von Nachwuchswissenschaftlern und 44 Posterbeiträge gaben einen eindrucksvollen Überblick über das vielfältige Gebiet verdünnter atomarer und molekularer Gase. Einerseits handelte es sich um eine spannende Bestandsaufnahme der aktuellen Forschung, andererseits gab es einen lebhaften Ausblick auf künftige Perspektiven und gerade entstehende Forschungsfelder. Dabei zeigte sich, dass sich ultrakalte Quantengase dadurch auszeichnen, dass mittlerweile alle Systemparameter wie Fallengeometrie, Teilchendispersion sowie Stärke und Reichweite der Wechselwirkung zwischen den Teilchen präzise kontrollierbar sind. Aufgrund dieser hohen Flexibilität eignen sich ultrakalte Quantengase als Simulatoren für Phänomene in den verschiedensten physikalischen Teildisziplinen, gleichzeitig erlauben sie es, neuartige Materiezustände zu erzeugen und zu untersuchen.

Zurzeit ist beispielsweise topologische Quantenmaterie aus kalten Atomen ein „heißes Eisen“. So werden topologische Quantenphasendiagramme ausgemessen, Superfluidität in topologisch nichttrivialen Bändern studiert und topologische Größen in offenen Systemen vorhergesagt. Ferner erlauben neuartige optische Gitter für kalte Atome periodische Muster im sub-Wellenlängen-Bereich. Einen weiteren Schwerpunkt bilden überraschende Effekte, die von der Wechselwirkung herrühren. Durch künstliche Eichfelder bedingt lassen sich Bose-Einstein-Kondensate ohne Superfluidität realisieren.

Außerdem kann eine zu große dipolare Wechselwirkung in einem Bose-Einstein-Kondensat zu einer Instabilität führen, bei der sich aufgrund von Quantenfluktuationen Tröpfchen bilden. Schließlich ermöglichen langreichweitige Wechselwirkungen z. B. in Resonatoren oder bei Anwesenheit von Rydberg-Atomen super-solide Phasen, bei denen die Translationsinvarianz von Bose-Einstein-Kondensaten spontan gebrochen wird. Auch die Nichtgleichgewichtsdynamik ultrakalter Atome ist ein weites Feld. So werden zurzeit Vortices und Solitonen, der Einfluss von Dissipation, der Atomtransport zwischen zwei Reservoirs und Quantenturbulenz intensiv untersucht. Im Hinblick auf die kondensierte Materie beschränkte sich das Seminar auf zwei aktuelle Themen: Im Quantenmagnetismus sind erste anti-ferromagnetische Korrelationen bei zweidimensionalen Fermi-Gasen im Quantengas-Mikroskop beobachtet worden, und Magnonen-Bose-Einstein-Kondensate versprechen wichtige Anwendungen in der Spintronik. Außerdem ermöglicht die Untersuchung der Dynamik von Verunreinigungen in ultrakalten Quantengasen fundamentale Einsichten in das Bose- bzw. das Fermi-Polaron-Problem und damit in das interessante Wechselspiel von Wenig- und Vielteilchen-Physik.

Im Namen aller Teilnehmer danken wir der WE-Heraeus-Stiftung für die großzügige Finanzierung der Tagung sowie für die organisatorische Unterstützung.

Axel Pelster und Carlos Sà de Melo

Quantifying Complex Transport with Lévy Walks: From Cold Atoms to Humans and Robots

617. WE-Heraeus-Seminar

Ein Nanocluster aus Gold, der über Graphit dahintreibt, ein Albatros auf der Jagd nach Fisch, T-Zellen, die ein Pathogen verfolgen und Sammler vom Stamm der Hazda – überall zeigt die Bewegung ein Muster, bei dem sich die Längenverteilung der Wegstücke durch ein Potenzgesetz beschreiben lässt. Die Varianz einer Gauß-Verteilung nimmt zeitlich gesehen linear zu, bei den obigen genannten Vorgängen ist jedoch ein schnellerer Zuwachs zu verzeichnen. Diese Muster lassen sich detailgetreu mit einem Modell nachbilden, dessen Grundkonstruktion recht einfach ist: den Lévy-Walks.

Mit diesem Modell wurden bereits erfolgreich zahlreiche nicht-triviale Ausbreitungsprozesse beschrieben, und immer wieder ergeben sich neue Anwendungen – in der Festkörperphysik, der Umweltforschung, bei der Planung von Mobilfunknetzen, in der Robotik, ja sogar in der Kriminologie. Vasily Zaburdaev (MPIPKS Dresden) stellte in einem mit-

Prof. Dr. Jürgen Blum (TU Braunschweig); Dr. Murthy Gudipati (NASA/JPL)

Priv.-Doz. Dr. Axel Pelster, TU Kaiserslautern; Prof. Carlos Sà de Melo, Georgia Institute of Technology, Atlanta, USA

Prof. Dr. Sergey Denisov, Prof. Dr. Peter Hänggi, Universität Augsburg; Prof. Dr. Eli Barkai, Bar-Ilan University, Israel

Prof. Dr. Norbert Hoffmann, TU Hamburg; Prof. Nail Akhmediev, Australian National University, Canberra, Australien; Prof. Dr. Helmut R. Brand, U Bayreuth

reißenden Kolloquiumsvortrag das Themengebiet, seinen aktuellen Stand, seine Geschichte und seine Perspektive dar.

Warum bewegt sich ein Albatros, ein Lebewesen, das so viel intelligenter ist als ein Nanocluster aus Gold, nach demselben Muster? Manche Forscher begründen dies damit, dass Lévy-Walks die optimale Suchstrategie zum Auffinden einiger weniger auf einem großen Gebiet zufällig verteilter Zielobjekte seien. Zu diesem Thema gab es mehrere Vorträge. Sie lösten hitzige Debatten zur Grundsatzfrage aus: „War das Absicht von Mutter Natur?“ Natürlich behaupten einige Wissenschaftler skeptisch, dass die Bewegungsmuster von Tieren auf Futtersuche nichts mit Lévy-Walks zu tun hätten. Die vermeintlichen Ergebnisse seien lediglich Messartefakte. Hierzu berichtete Rainer Klages in seinem Vortrag über die Arbeit einer „Advanced Study Group“ zum Thema Futtersuche, die er am MPIPKS leitete: Nach sechs Monaten intensiver Studien kam sie zu dem Schluss, dass „mehr Daten benötigt“ würden – „Lévy-Walk-Muster bei der Futtersuche von Tieren“ bleiben also offenkundig eine Herausforderung.

Einige Vorträge widmeten sich der Diffusion von kalten Atomen in optischen Potentialen. Die experimentellen Ergebnisse, die Nir Davidson (Weizmann Institute of Science) vorstellte, zeigen die Lévy Walk-artige Diffusion in der räumlichen Ausbreitung kalter Atome auf. Anschließend beleuchteten mehrere Vorträge theoretische Erklärungen und die entsprechenden stochastischen Modelle. Die komplementären Phänomene, insbesondere Lévy Walks von Photonen in heißen atomischen Gasen, stellte Robin Kaiser (Universität Nice) vor.

Der Dank der Organisatoren gilt der Wilhelm und Else Heraeus-Stiftung, die durch die großzügige Förderung dieses Seminar ermöglicht hat.

Sergey Denisov, Peter Hänggi und Eli Barkai

Extreme Events and Rogue Waves

618. WE-Heraeus-Seminar

Das Seminar zu Extremereignissen und Extremwellen fand vom 30. Mai bis zum 3. Juni im Physikzentrum in Bad Honnef statt. Über 50 führende Wissenschaftler aus fast 20 Ländern und verschiedensten Fachgebieten der Physik und der Ingenieurwissenschaften, unter anderem der Ozeanographie, der Meteorologie, der Optik, des Wasserbaus und der Meerestechnik, waren der Einladung gefolgt, um gemeinsam und disziplinübergreifend Extremereignisse und -wellen besser zu verstehen und sie besser vorhersagen zu können.

Eine wesentliche Erkenntnis aus dem Seminar war, dass die zugrunde liegenden

mathematischen Modelle zu Ursachen und Charakteristika von Extremereignissen allgemeiner Natur und generisch anwendbar sind, was zum Beispiel Meeresswellen, faseroptische Pulse oder auch optische Kommunikationstechnologie betrifft.

Eines der besonders aktuellen Arbeitsgebiete ist die Vorhersage von Extremwellen und Extremereignissen. Verschiedene Ansätze wurden vorgestellt. Für extreme Meeresswellen gelten simulationsbasierte deterministische Prognosen mit Vorhersagehorizonten im Minutenbereich als machbar, was entsprechende Frühwarnsysteme ermöglichen würde. Weiterhin wurden für Wasserwellen Fragen zur Unidirektionalität, zur Breitbandigkeit und zum Wellenbrechen erörtert. Aus der experimentellen Optik wurden eindrucksvolle neuartige Techniken berichtet, so genannte Zeitlinsen oder Zeitmikroskope, welche die Erfassung extrem schneller Prozesse erlauben, die bislang der Beobachtung nicht zugänglich waren und insbesondere für die Beobachtung von extremen optischen Pulsen entwickelt wurden. Einen weiteren Schwerpunkt bildeten Vorträge über „explodierende Solitonen“, welche in stark dissipativen Systemen auftreten.

Neben den genannten Schwerpunkten wurden eine Vielzahl weiterer Aspekte der Extremwellen- und Extremereignisphysik behandelt. Als disziplinübergreifende Schlussfolgerung aus den Vorträgen und Diskussionen des Seminars erscheint hervorhebenswert, dass sich das Fachgebiet derzeit in einem Übergangszustand von eher theoretischer Ausrichtung hin zur Anwendung befindet.

Die Teilnehmer und die Organisatoren des Seminars möchten an dieser Stelle der Wilhelm und Else Heraeus-Stiftung ihren Dank für die großzügige Finanzierung sowie die unermüdete und tatkräftige organisatorische Unterstützung der Veranstaltung im wunderbaren Physikzentrum in Bad Honnef aussprechen.

Norbert Hoffmann, Nail Akhmediev und Helmut R. Brand

Quantum Speed Limits

619. WE-Heraeus-Seminar

Das vergangene Jahrzehnt hat einen fundamentalen Wandel auf dem breiten Feld der Quantenphysik mit sich gebracht, angefangen von ersten Machbarkeitsstudien zur gezielten Beeinflussung einzelner Quantensysteme bis hin zu weit entwickelten Steuerungsmöglichkeiten von kleinen und mittleren Quantensystemen.

Im Mittelpunkt des 619. WE-Heraeus-Seminars vom 8. bis 10. Juni in Bad Honnef standen die optimale Steuerung und Kontrolle von Quantensystemen und das dabei betrachtete „Quantum Speed Limit“. Eine der wichtigsten Entwicklungen ist dabei die vermehrte experimentelle Anwendung der Optimalsteuerungstheorie. Bei dem Seminar wurden Beispiele von Ionen, ultrakalten neutralen Atomen und Farbzentren in Diamanten angesprochen, welche die grundlegenden Herausforderungen in quantenbasierten Messverfahren, bei Quantenrechnern und in der Dynamik von Vielkörperproblemen darstellen.

Mehrere theoretische Vorträge stellten Methoden zur systematischen Quantifizierung des „Quantum Speed Limits“ vor. Diese führten zu konstruktiven Diskussionen, welche den Teilnehmern die fundamentale Bedeutung des Themas ins Bewusstsein riefen. Überdies wurden noch offene Fragen auf dem Gebiet deutlich, welche dazu nützlich sind, neue Forschungswege aufzuzeigen.

Während der Vorträge und in allen Pausen gab es äußerst lebhaft Diskussions zu den immer zahlreicher werdenden numerischen Methoden zur Lösung von Problemen der Quantenoptimalsteuerung. Diskutiert wurde zudem, was die beste Initialisierungsstrategie der Algorithmen ist und was das beste Verhältnis zwischen lokaler und globaler Suchstrategie ist. Wie schwer im Sinne der Komplexitätstheorie sind typische numerische Probleme der Quantenphysik wirklich? Einen Rahmen, der für einen vereinheitlichenden mathematischen Formalismus in diesen Diskussionen sorgte, bot Herschel Rabitz an. Er betonte das Verständnis der zugrundeliegenden topologischen Eigenschaften der einzelnen Kontrolllandschaften.

Im Anschluss an das Konferenzdinner fand eine Abendunterhaltung etwas anderer Art statt, organisiert von Jakob Sherson: Mit ihren Smartphones traten die Teilnehmer in Spielen gegeneinander an, in denen es um die menschliche Steuerung und Optimierung von Quantenszenarien ging. Dabei wurden sie über die derzeitige Forschungsarbeit unterrichtet, in welcher Physiker, Kognitionswissenschaftler und Informatiker zusammenarbeiten, um die einzigartigen menschlichen Problemlösungsansätze zu verstehen.

Wilhelm und Else Heraeus-Stiftung

Deadline für Anträge zur nächsten Sitzung der Stiftungsgremien:

9. September 2016
(zur Sitzung Anfang Oktober 2016)

Bitte nehmen Sie schon vor der Deadline Kontakt mit der Stiftung auf.