

## Continuous Variable Entanglement in Atomic Systems: Fundamentals and Applications

### 589. WE-Heraeus-Seminar

Inzwischen zeigen viele Beispiele, dass die Quantenmechanik es erlaubt, klassische Grenzen zu durchbrechen. Viele von diesen quantenmechanischen Vorteilen erwachsen aus der Möglichkeit, nicht-klassische Korrelationen, d. h. Verschränkung, zu erzeugen und auszunutzen. Für atomare Systeme wurde in den letzten Jahrzehnten vor allem das Limit von Qubits, d. h. zwei Einstellungen des atomaren Freiheitsgrades, in Ionenfallen untersucht. Den Grenzfall von kontinuierlichen atomaren Variablen, also vielen Einstellmöglichkeiten, haben mehrere Forschungsgruppen erst in den letzten zehn Jahren aufgenommen. Nachdem die großen Herausforderungen an den hohen Grad der experimentellen Kontrolle in den verschiedenen Systemen gelöst wurden, gelingt es jetzt, in heißen, kalten und ultrakalten atomaren Gasen Quantenverschränkung nachzuweisen und auch schon in Demonstrationsexperimenten für quantenverbesserte Messungen einzusetzen.

Weltweit führende Wissenschaftler auf diesem gerade entstehenden Gebiet haben sich vom 11. bis 14. Mai im Physikzentrum Bad Honnef intensiv ausgetauscht und die nächsten wichtigen Schritte von Grundlagenforschung zur Anwendung diskutiert. Die sehr lebhaften Diskussionen haben gezeigt, dass noch viele fundamentale Fragen offen sind. Fragen nach der Quantifizierung von nutzbarer Verschränkung in diesen Systemen und den ultimativen Grenzen der Verschränkungserzeugung und -nutzung wurden als zentral identifiziert und sollen in Zukunft noch intensiver untersucht werden. Neben der Erzeugung und Charakterisierung müssen aber auch die Fragen zu den Anforderungen an die Auslesedetektion theoretisch sowie experimentell geklärt werden. Dazu wurden im Rahmen des Seminars erstmals neue Ansätze zur nichtlinearen Detektion vorgestellt. Besonders die ersten vielversprechenden Ergebnisse zur Anwendung der bereits erzeugten verschränkten Zustände („spin squeezed states“) zur tatsächlichen Präzisionsmessung haben klar gezeigt, dass sich das Gebiet von grundlagenorientierten Fragen hin zur tatsächlichen Anwendung öffnet.

Wir möchten an dieser Stelle der Wilhelm und Else Heraeus-Stiftung und dem Team des Physikzentrums Bad Honnef herzlich für die hervorragende Unterstützung danken. Die angenehme und informelle Atmosphäre im Physikzentrum hat signifikant dazu beigetragen, dass neue Ideen entstanden sind und auch schon das nächste Treffen für dieses junge Forschungsfeld fixiert wurde.

Markus Oberthaler und Philipp Treutlein

### Wilhelm und Else Heraeus-Stiftung

Deadline für Anträge zur nächsten Sitzung der Stiftungsgremien:

**9. September 2015**  
(zur Sitzung Anfang Oktober 2015)

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

## Synchrotron Radiation Circular Dichroism Spectroscopy

### 590. WE-Heraeus-Seminar

Die Synchrotron-basierte Circular Dichroismus-Spektroskopie (SRCD) bildet als Erweiterung konventioneller CD eine wichtige biophysikalische Methode, um chirale Biomoleküle strukturell zu charakterisieren. Der um Größenordnungen höhere Photonenfluss bei Wellenlängen unter 200 nm ermöglicht es, auch bei schwierigen Proben, z. B. Membranproteinen, in Liposomen zuverlässige Spektren mit verbessertem Signal-Rausch-Verhältnis und erweitertem Messbereich bei kürzeren Messzeiten zu erfassen.

Die Weiterentwicklung der SRCD-Methodik erfordert einen multidisziplinären Ansatz und die Vernetzung diverser wissenschaftlicher Fachrichtungen. Ein Hauptanliegen des Seminars, das vom 17. bis 20. Mai 2015 im Physikzentrum Bad Honnef stattfand, war es, neue technische Aspekte von SRCD-Strahlrohren und experimentellen Aufbauten sowie methodische Entwicklungen zu beleuchten und innovative Anwendungen in der Strukturbiologie und benachbarten Disziplinen zu präsentieren und intensiv zu diskutieren. Das Seminar brachte SRCD-Entwickler und -Nutzer zusammen und ermöglichte den beteiligten Physikern, Biophysikern und Strukturbiologen einen regen Austausch zwischen den Disziplinen sowie zwischen Experten und Neueinsteigern. Etwa 60 Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler aus vierzehn Ländern Europas, Nord- und Südamerikas sowie Asiens waren hierzu nach Bad Honnef gereist.

Die fünf thematischen Schwerpunkte des Seminars widmeten sich (i) SRCD-Anwendungen in der Proteinstrukturanalytik, (ii) der Leistungsfähigkeit und dem Potenzial unterschiedlicher SRCD-Strahlrohre, (iii) verwandten Methoden wie dem SR-Lineardichroismus und theoretischen Ansätzen zur Berechnung von Spektren oder deren Dekonvolution mittels bioinformatischer Quellen sowie (iv) schnellen zeitaufgelösten Methoden zur Biopolymer-Faltungskinetik und (v) der intelligenten Kombination komplementärer biophysikalischer Techniken zur

Beschreibung von Struktur-Funktions-Beziehungen. Als wissenschaftliche „Highlights“ des Seminars sind auf methodischer Seite Messaufbauten zur Charakterisierung von Proteinen in anisotropen Lipidmembranen und fibrillären Strukturen und mikrostrukturierte Mischkammern für schnelle kinetische Messungen zu nennen, sowie bei den Applikationen das automatisierte Sekundärstruktur-„Screening“ von Proteinproben auf Quarzglas-Mikrotiterplatten.

Dem Physikzentrum Bad Honnef, das für ein angenehmes Ambiente und einen völlig reibungslosen Ablauf dieser durchgängig gelungenen Veranstaltung sorgte, sowie der Wilhelm und Else Heraeus-Stiftung, die das Seminar finanziert und professionell organisiert hat, sei an dieser Stelle noch einmal herzlich Dank gesagt.

Jochen Bürck und Anne Ulrich

## Astrophysics, Clocks and Fundamental Constants

### 591. WE-Heraeus-Seminar

Dimensionslose Naturkonstanten wie die Feinstrukturkonstante und die Massenverhältnisse von Elementarteilchen sind in dem Sinne fundamental, dass intelligente Bewohner eines anderen Planeten auf dieselben numerischen Werte stoßen sollten. Bislang müssen diese aus Messungen abgeleitet werden und relativieren damit die Vorhersagekraft existierender Theorien. Diese Wissenslücke liefert die Motivation, nach unbekanntem Phänomenen wie der Möglichkeit sich langsam ändernder Naturkonstanten zu suchen. Dafür sind nur sehr genaue oder sich über einen sehr langen Zeitraum erstreckende Messungen geeignet. Mit Atomuhren lassen sich die genauesten Messungen überhaupt durchführen, während astrophysikalische Beobachtungen einen Blick in die Geschichte des Universums und auf die früheren Werte der Naturkonstanten erlauben. Dies war das Thema des 591. WE-Heraeus-Seminars, das vom 27. bis 30. Mai 2015 im Physikzentrum Bad Honnef stattfand. Der Vortrag über die derzeit besten Atomuhren nannte eine obere Grenze für die relative zeitliche Variation der Feinstrukturkonstanten sowie des Elektron-Proton-Massenverhältnisses von einigen  $10^{-17}$  pro Jahr. Eine signifikante von Null verschiedene Änderung ergab sich bislang nicht. Während genaue Uhren auf kleine Änderungen der Naturkonstanten reagieren, werden deren Werte mit anderen Experimenten ermittelt, wie anhand von Bestimmungen der Feinstrukturkonstanten, des Elektron-Proton-Massenverhältnisses sowie des g-Faktors des Protons und Antiprotons erläutert wurde.

Für Aufregung sorgt, dass der aus dem myonischen Wasserstoff abgeleitete

Prof. Dr. Markus Oberthaler, Universität Heidelberg;  
Prof. Dr. Philipp Treutlein, Universität Basel

Dr. Jochen Bürck,  
Prof. Dr. Anne S. Ulrich, Institut für Biologische Grenzflächen (IBG-2),  
Karlsruher Institut für Technologie (KIT)

**Dr. Joachim Fischer**, PTB Berlin, **Dr. Savelly Karshenboim**, **Dr. Thomas Udem**, MPI für Quantenoptik Garching, **Prof. Dr. Michael Kramer**, MPI für Radioastronomie Bonn

**Dr. Cristina Chiappini**, **Dr. Matthias Steffen**, **Friedrich Anders**, Leibniz-Institut für Astrophysik Potsdam (AIP)

**Prof. Dr. Piet O. Schmidt**, U Hannover und PTB Braunschweig; **Prof. Dr. Roland Wester**, U Innsbruck

Proton-Ladungsradius nicht mit dem aus regulärem Wasserstoff übereinstimmt. Dieses Beispiel zeigt, dass es sich lohnt, immer genauer zu messen, um etwaige Fehler in unseren fundamentalen Theorien oder in deren Anwendungen aufzudecken. Die durch die gesteigerte Präzision der Bestimmungen der Planck-Konstante, der Avogadro-Konstante und der Boltzmann-Konstante aufgetretenen Diskrepanzen zwischen den verschiedenen Experimenten konnten aufgeklärt werden. Eine Neudefinition der Basiseinheiten Kilogramm, Mol, Ampere und Kelvin ist damit 2018 sehr wahrscheinlich.

Den Brückenschlag zur Astronomie schuf ein Überblick über das kosmologische Standardmodell und die verschiedenen Methoden zu seiner experimentellen Überprüfung. Die Vorhersagen sind durch die Entdeckung des Higgs-Bosons alle glänzend bestätigt, jedoch sind darüber hinausgehende neue physikalische Modelle mit massebehafteten Neutrinos, die Aufschluss über Dunkle Materie geben könnten, unklar. Besonderes Interesse bestand an der gemeinsamen Auswertung der Planck-Satellitendaten und denen der Teleskope BICEP2 / Keck Array. Die gemessene polarisierte Hintergrundstrahlung lieferte starke Hinweise auf Staubkomponenten, aber keine signifikanten Anzeichen auf die frühe inflationäre Phase des Universums. Die astronomische Sonde GAIA führt derzeit eine hochgenaue optische Durchmusterung des Himmels durch und wird eine große Bedeutung für Tests der Relativitätstheorie haben. Ähnliche Experimente werden mit Pulsaren in starken Gravitationsfeldern vorgenommen. Bisher hat die Relativitätstheorie alle Tests bestanden.

Wir danken der Wilhelm und Else Heraeus-Stiftung für die exzellente Organisation und großzügige finanzielle Unterstützung.

**Joachim Fischer, Savelly Karshenboim, Thomas Udem und Michael Kramer**

## Reconstructing the Milky Way's History: Spectroscopic Surveys, Asteroseismology and Chemodynamical Models

### 592. WE-Heraeus-Seminar

Durch die präzisen Helligkeitsmessungen des europäischen Weltraumteleskops CoRoT wurden 2009 erstmals akustische Oszillationen in Hunderten von roten Riesensternen entdeckt. Die Bedeutung dieser Entdeckung sowohl für die Sternphysik als auch für die Erforschung der Geschichte unserer Milchstraße („Galaktische Archäologie“) ist kaum zu unterschätzen: Die asteroseismischen Messungen ermöglichen es – in Kombination mit traditionellen Methoden wie der

Spektroskopie –, fundamentale Parameter wie Sternmasse und Sternalter für weit entfernte Objekte mit erheblich höherer Präzision zu messen als je zuvor.

Um diese Techniken tatsächlich effektiv für die galaktische Archäologie zu nutzen (etwa um chemische und dynamische Prozesse in der Entwicklung der galaktischen Scheibe zu verstehen), ist eine konzentrierte Anstrengung verschiedener Disziplinen der Astrophysik notwendig: Aus diesem Grund fand vom 1. bis 5. Juni 2015 das 592. WE-Heraeus-Seminar statt, das sich ganz dem wissenschaftlichen Austausch und der Vernetzung von Experten der Asteroseismologie, Sternentwicklungstheorie, Spektroskopie sowie der galaktischen Astrophysik widmete. Ein Hauptanliegen des Seminars war es, Methoden der Altersbestimmung sowie der Messung chemischer Elementhäufigkeiten zu verfeinern und systematische Unsicherheiten zu verstehen und zu entschärfen.

Als wissenschaftliche Höhepunkte seien an dieser Stelle nur genannt: die detaillierte Modellierung asteroseismischer Frequenzspektren, rapide Fortschritte im Bereich der automatisierten Spektralanalyse von Sternen, die ersten Untersuchungen von Sternpopulationen der Milchstraßenscheibe mit kombinierten Daten der Weltraumteleskope CoRoT und Kepler sowie spektroskopische Nachbeobachtungen durch APOGEE und den Gaia-ESO-Survey.

Das Seminar brachte 70 Teilnehmer (23 Frauen, 11 DoktorandInnen) aus 15 Ländern Europas, Australiens sowie Nord- und Südamerikas zusammen. Als besonders wertvoll empfanden die Teilnehmer neben den sowohl fachübergreifenden als auch -spezifischen Vorträgen die offenen, angeregten und anregenden Diskussionsrunden sowie das angenehme Ambiente und den unkomplizierten Ablauf des Seminars. Für die professionelle Organisation und die finanzielle Unterstützung möchten wir uns noch einmal herzlich bei der Wilhelm und Else Heraeus-Stiftung bedanken.

In naher Zukunft ist eine Vielzahl wissenschaftlicher Ergebnisse laufender interkontinentaler Kollaborationen zwischen spektroskopischen Himmelsdurchmusterungen und Asteroseismologie zu erwarten. Weitere fruchtbare Synergien versprechen zukünftige Großprojekte wie die ESA-Mission PLATO oder das 4MOST-Projekt der Europäischen Südsternwarte.<sup>#)</sup>

**Cristina Chiappini, Matthias Steffen und Friedrich Anders**

## Spectroscopy and Applications of Cold Molecular Ions

### 594. WE-Heraeus-Seminar

Moleküle haben eine Reihe faszinierender

Eigenschaften, die man in Atomen nicht findet. Damit sind sie für vielfältige interdisziplinäre Anwendungen prädestiniert. Im Mittelpunkt des 594. WE-Heraeus-Seminars (vom 15. bis 18. Juni im Physikzentrum Bad Honnef) standen aktuelle Entwicklungen auf dem Gebiet der kalten Moleküle. Die Beiträge deckten ein breites Spektrum an Themen aus Physik, Astronomie und physikalischer Chemie ab, die viele Diskussionen stimulierten. Alle Teilnehmerinnen und Teilnehmer verband die Erfahrung mit Techniken auf der Basis von Ionenfallen, die zur Präparation und Untersuchung von kalten Molekülen verwendet werden. So wurde über indirekte Kühlverfahren berichtet, in denen die Temperatur der Moleküle über Stöße mit Neutralatomen oder der Coulomb-Wechselwirkung mit lasergekühlten atomaren Ionen bis in den Mikrokkelvin-Bereich abgesenkt werden konnte. Auch die internen Freiheitsgrade der Moleküle lassen sich durch Stöße mit kalten Neutralatomen kühlen bzw. durch resonante Laserionisierung gezielt präparieren. Darüber hinaus wurde über neueste Ergebnisse der Präzisionsspektroskopie an kalten Molekülen zur Bestimmung fundamentaler Konstanten und deren mögliche zeitliche Änderung sowie Tests zur Verletzung von fundamentalen Symmetrien berichtet. Einer der aktuellen Trends war die zunehmende Kontrolle über Moleküle auf Quantenebene, die es ermöglicht, ultrakalte Stöße und chemische Reaktionen abhängig vom Quantenzustand zu untersuchen. Spektroskopische Untersuchungen an größeren Molekülen und Clustern wurden vorgestellt, die unter anderem für das Verständnis der Entwicklung interstellarer Molekülwolken oder der elektrischen Leitfähigkeit von Wasser von Bedeutung sind. Ein Highlight des Seminars war die Präsentation der ersten eindeutigen Identifizierung einer Diffusen Interstellaren Bande (DIB), verursacht durch Fulleren-Kationen.

Die Aktualität des Themas spiegelte sich in der Teilnahme von 65 Wissenschaftlern und Wissenschaftlerinnen wider. Neben den 22 engagierten Vortragenden gab es 38 zu weiteren Diskussionen anregende Posterbeiträge, von denen vier mit einem Posterpreis der WE-Heraeus-Stiftung ausgezeichnet wurden. Wir bedanken uns an dieser Stelle nicht nur ganz herzlich für die exzellenten Beiträge aller Teilnehmer, sondern auch bei der Wilhelm und Else Heraeus-Stiftung, deren finanzielle und organisatorische Unterstützung das Seminar erst ermöglicht hat. Ein besonderer Dank gebührt Jutta Lang für die perfekte Organisation und dem Team des Physikzentrums für die stimulierende Atmosphäre, die alle Teilnehmer sehr genossen haben.

**Piet O. Schmidt und Roland Wester**

<sup>#)</sup> Die Resultate der Konferenz werden mit Mitteln der WE-Heraeus-Stiftung sowie des Leibniz-Instituts für Astrophysik Potsdam zeitnah in einer speziellen Ausgabe der Astronomischen Nachrichten veröffentlicht.