

## Quantum Optical Analogies – a Bridge between Classical and Quantum Physics

### 518. WE-Heraeus-Seminar

Das Seminar brachte Experten aus den Gebieten der klassischen Optik und der Quantenoptik zusammen und verfolgte zwei Ziele: Einerseits gab es einen Überblick über den Stand der Forschung bei den Analogien zwischen der Quantenphysik und der klassischen Physik, vor allem was die Thematik der dynamischen Wechselwirkung der Quantensysteme betrifft. Viel Raum erhielt dabei die Analogie zwischen der Schrödinger- und der Helmholtz-Gleichung, die die Ausbreitung eines Lichtfeldes in der paraxialen Näherung beschreibt. Diese Analogien unterstreichen, dass der Austausch von Konzepten und Ideen zwischen zwei auf den ersten Blick nicht miteinander verwandten Gebieten zu einem tieferen Verständnis der ihnen zugrunde liegenden Physik führen kann. Andererseits förderte das Seminar einen regen interdisziplinären Austausch mit der Möglichkeit, neue Ideen im Bereich der Optik zu schaffen, was auch zur Entwicklung neuer Methoden bei Lichterzeugung und -manipulation führt.

Zunächst wurde das Gebiet der „PT-symmetrischen Quantenmechanik“ vorgestellt und Realisierungen in optischen Strukturen dargelegt mit einer geeigneten Kombination von Verlusten und Verstärkung. P und T stehen für Parität und Zeitumkehr. Bei der PT-Symmetrie geht es um Hamilton-Funktionen, die zwar nicht hermitesch sind, aber trotzdem ein reelles Eigenwertspektrum besitzen, das erst nach Überschreiten eines Grenzwertes komplexwertig wird. Interessante Effekte wie die asymmetrische Streuung, die vollständige kohärente Absorption (Anti-Laser), die nicht-reziproke Ausbreitung von Lichtfeldern sowie die Analogie zwischen der PT-Symmetrie und der De-Sitter-Raum-Zeit-Beziehung lösten eine lebhaft Diskussion aus. Andere Präsentationen befassten sich mit quantenkorrelierten Systemen und der Quanten-Zufallsbewegung in nichtlinearen Wellenleiteranordnungen, wobei Strukturen untersucht wurden, die entweder im Raum oder in der Zeit periodisch sind.

Weitere interessante Themen waren die Beziehung zwischen der nicht spiegelnden Reflexion an einer optischen Grenzschicht sowie Bahn- und Spin-Drehimpuls des Lichts; ein optisches Honigwabengitter, in dem sich die Photonen wie Elektronen in Graphen verhalten (photonisches Graphen) und auch die Nutzung von Verschränkung, um ein Quantensystem zu erzeugen, das die Riemannsche Zeta-Funktion ausgibt.

Zur Abrundung und um Aufschluss über das rätselhafte Grenzgebiet zwischen

klassischer Physik und Quantenphysik zu geben, befassten sich die Seminarteilnehmer mit Fragen der Beziehungen zwischen dem Quantenmessprozess und dem Kopieren von Quantensystemen. Dazu gehörte auch ein sehr interessanter Beitrag über mögliche Ursprünge des Verschränkungskonzepts in der klassischen Physik, bei denen es auch nicht-separierbare Vektorräume gibt. Daraus entwickelte sich eine packende Diskussion über Implikationen für das Konzept der Bellschen Ungleichungen und der Grenze zwischen der klassischen und der Quantenwelt.

Das von der Wilhelm und Else Heraeus-Stiftung durchgeführte Seminar ist bei allen Teilnehmern ausgesprochen gut angekommen. Dank der Stiftung konnten drei Poster prämiert werden. Die neu renovierten Räume im Physikzentrum boten einen idealen und sehr angenehmen Rahmen für das Seminar. Vielen Dank für die Organisation und die gute Zusammenarbeit mit der Wilhelm und Else Heraeus-Stiftung!

Andrea Aiello, Gerd Leuchs und Marco Ornigotti

## Hybrid Quantum Systems

### 519. WE Heraeus Seminar

Hybride Quantensysteme bestehen aus zwei oder mehr verschiedenartigen physikalischen Systemen, die kohärent miteinander gekoppelt sind. Auf diese Weise lassen sich die vorteilhaften Eigenschaften der Systeme miteinander kombinieren, und es ergeben sich zahlreiche Möglichkeiten für die Kontrolle und Manipulation von Quantenzuständen. Kurz gesagt ist das Ganze mehr als die Summe seiner Teile.

Die Forschung an hybriden Quantensystemen ist derzeit ein äußerst aktives Teilgebiet der Quantenoptik und beschäftigt sich damit, die Kopplung zwischen den Teilsystemen genau zu verstehen und geschickt einzusetzen. Dank der Unterstützung durch die Wilhelm und Else Heraeus-Stiftung konnten vom 25. bis 28. November fast 80 Teilnehmer aus 15 Ländern – darunter viele international führende Experten – ins Physikzentrum nach Bad Honnef eingeladen werden. Dabei wurden im Verlauf der drei Tage die neuesten experimentellen und theoretischen Ergebnisse sowie Vorschläge für zukünftige Experimente vorgestellt und diskutiert.

Einer der Schwerpunkte waren Quanten-Schnittstellen zwischen Licht und Materie, wie sie z. B. bei der Kopplung zwischen Mikrowellenphotonen und Farbzentren in Diamant mit Hilfe von chip-basierten supraleitenden Mikrowellenresonatoren verwirklicht werden. Gerade auf diesem Gebiet zeigen sich die enormen Fortschritte der letzten Jahre mit

zunehmend komplexeren Systemen und Protokollen. Ein weiterer thematischer Schwerpunkt war die Kopplung von mechanischen Oszillatoren an Lichtfelder. Dies ist zum Beispiel möglich mit elastischen Mikrostrukturen, durch die Licht propagiert, oder mit schwingend aufgehängten reflektierenden Membranen. Hierbei lässt sich mit Hilfe des Lichts die Schwingungsamplitude herab bis zu einzelnen Schwingungsquanten bestimmen und kontrollieren. Neben der praktischen Bedeutung für Hochpräzisionsmessungen erlaubt dies, quantenmechanische Effekte von Oszillatoren zu untersuchen, die teilweise mit dem bloßen Auge sichtbar sind.

Neben dem Vortragsprogramm stand ausreichend Zeit für lebhaft Diskussions- und für lebhafte Diskussionen zur Verfügung. Diese fanden zum Beispiel während der abendlichen Posterpräsentationen statt und hielten teilweise bis in die Nacht hinein an. Dieser Wissensaustausch zwischen Nachwuchswissenschaftlern und Experten bildet ein entscheidendes Element der WE-Heraeus-Seminare und ist eine wichtige Voraussetzung für die weitere Entwicklung des behandelten Gebiets.

Wir bedanken uns im Namen aller Teilnehmer bei der Wilhelm und Else Heraeus-Stiftung und allen Mitarbeitern im Physikzentrum für die Förderung und die Unterstützung bei der Organisation des Seminars.

Arno Rauschenbeutel und Fedor Jelezko

## Spin-orbit-driven transverse transport phenomena

### 520. WE-Heraeus-Seminar

Zum Nikolaustag 2012 ging das 520. WE-Heraeus-Seminar zu Ende. An vier Tagen hatten sich 70 junge und etablierte Wissenschaftler zusammengefunden, um über durch Spin-Bahn-Wechselwirkung induzierte Hall-Transport-Phänomene zu diskutieren. Der Themenkomplex umfasst lang bekannte Effekte wie den anomalen Hall-Effekt, aber auch neue bisher nur vorhergesagte Zustände wie den quantisierten anomalen Hall-Effekt. Das Programm war thematisch äußerst fokussiert und brachte führende Experimentatoren und Theoretiker zusammen. Am ersten Tag stand der seit mehr als 100 Jahren bekannte anomale Hall-Effekt im Vordergrund. Seine vor 60 Jahren beschriebenen Ursachen werden weiterhin äußerst intensiv diskutiert. Der gleiche Mechanismus der transversalen Ablenkung von Elektronen in einem elektrischen Feld in Abhängigkeit von ihrem Spin verursacht auch den Spin-Hall-Effekt. Der entscheidende Unterschied ist der Verzicht auf magnetische Materialien. Dieser Effekt ist zwar seit 40 Jahren theoretisch vorhergesagt, es dauerte aber 30 Jahre, bis sein ganzes Potenzial zur Erzeugung von Spinströmen

Dr. Andrea Aiello, Prof. Dr. Gerd Leuchs, Dr. Marco Ornigotti, MPI für die Physik des Lichts, Erlangen

Prof. Dr. Arno Rauschenbeutel, Vienna Center für Quantum Science & Technology Atominstitut, TU Wien, Prof. Dr. Fedor Jelezko, Institut für Quantenoptik, Universität Ulm

Dr. Martin Gradhand, University of Bristol, UK, Dr. Die-mo Ködderitzsch, LMU München, Dr. Yuriy Mokrousov, Forschungszentrum Jülich, Prof. Dr. Yoshichika Otani, University of Tokyo, Japan

Dr. Kerstin Borras, Prof. Dr. Georg Weiglein, Dr. Klaus Mönig, DESY

Dr. Uwe Kahlert, RWTH Aachen, ist Sprecher der AGI

Prof. Dr. René Reifarh, Dr. Kerstin Sonnabend, Universität Frankfurt/Main, Priv.-Doz. Dr. Yuri Litvinov, GSI Helmholtz Zentrum für Schwerionenforschung, Darmstadt