

## Exploring the limits of the quantum superposition principle

WE-Heraeus-Physikschule

Eine Physikschule, die sich mit den Grenzen des Quantensuperpositionsprinzips befasst, mag für manchen Leser wie Häresie klingen. Stellt die Quantentheorie nicht die am besten bestätigte Naturbeschreibung dar, die uns zur Verfügung steht? Haben ihre Vorhersagen bisher nicht alle experimentellen Überprüfungen bravourös bestanden? Warum sollte man das grundlegendste Prinzip der Quantenphysik, die Linearität ihrer Grundgleichungen, in Frage stellen? Die wohl ehrlichste Antwort lautet: Weil es unserem an den Alltagserfahrungen gebildeten Verstand auch nach hundert Jahren Quantenforschung sehr schwer fällt, die verblüffendste Konsequenz dieser Linearität zu begreifen, die gleichzeitige Koexistenz scheinbar völlig unvereinbarer physikalischer Zustände.

Jedes physikalische System, ob groß oder klein, sollte dem Superpositionsprinzip unterworfen sein. Dies reicht von im Doppelspalt delokalisierte Materie über makroskopische Quantengase bis zu massiven Pendeln, die hinreichend gekühlt in ihrer Bewegung unscharf werden. Gleichzeitig bilden Superpositionszustände die Grundlage zahlreicher technologischer Anwendungen. Sie werden in Quantensensoren benötigt, etwa in hochsensiblen Atominterferometern und Elektronenmikroskopen. In modernen metrologischen Verfahren werden Neutronen über große Distanzen delokalisiert, ja selbst Moleküle, die aus Hunderten von Atomen bestehen. Auch basiert die Zukunft der Quanteninformationstechnologie auf der Überlagerung von Mehrteilchenzuständen, die zur quantenmechanischen Verschränkung führt.

Es gibt also zwei klare Motive, sich mit dem Superpositionsprinzip zu beschäftigen: Wir wollen zum einen verstehen, warum die verrückten Effekte der Quantenphysik in unserer Alltagswelt nicht sichtbar werden, ob es etwa eine objektive Grenze ihrer Gültigkeit gibt. Zum anderen wollen wir experimentelle Techniken so weit treiben, dass sich Quantenphänomene für zunehmend komplexe Systeme nutzen lassen, um auch technologisches Neuland zu beschreiten.

Die WE-Heraeus-Physikschule, die vom 12. bis 17. Mai 2013 im Physikzentrum Bad Honnef stattfand, bot einer Gruppe von über 30 jungen und sehr motivierten Physikerinnen und Physikern Gelegenheit, von 15 europäischen Experten in jeweils zweistündigen Vorlesungen zu lernen. Besonders interessant war es zu erleben, wie sie darüber stritten, welche theoretischen und experimentellen Grenzen es für die Superposition massiver Körper geben könnte. Die Breite der Themen reichte von der Kohärenz energie-

tischer Elektronen auf der Attosekunden-skala bis zu Tests des Standardmodells, des Äquivalenzprinzips und von Gravitationsanomalien mit kalten Neutronen und Atomen. Die Quantendynamik und Dekohärenz von Molekülverbänden bis hin zu Lichtsammelkomplexen und mikroskopischen Oszillatoren wurde ebenso diskutiert wie die Grundlagen und Grenzen der Quantentheorie sowie neue Vorschläge, diese experimentell auszuloten.

Die jungen Forscherinnen und Forscher trugen mit eigenen Vorträgen und Posterpräsentationen bei. Auch wenn es tagsüber gelegentlich Scheu gab, alles zu hinterfragen, wurde abends umso intensiver diskutiert. Die Wilhelm und Else Heraeus-Stiftung ermöglichte zudem die Vergabe von zwei Posterpreisen. Sie wurden an einen Experimentalphysiker (Henning Albers, U Hannover) und einen Theoretiker (Luke Govia, U Saarbrücken) vergeben. Im Namen aller Teilnehmer bedanken wir uns ganz herzlich bei der Wilhelm und Else Heraeus-Stiftung und bei allen Mitarbeitern des Physikzentrums Bad Honnef für die perfekte Organisation.

Markus Arndt und Klaus Hornberger

## Development of High-Resolution Pixel Detectors and their Use in Science and Society

### 532. WE-Heraeus-Seminar

Hochauflösende Pixeldetektoren durchlaufen seit vielen Jahren eine stürmische Entwicklung. Ursprünglich als Sensoren für das sichtbare Licht konzipiert, hat sich ihr Anwendungsgebiet massiv erweitert und umfasst inzwischen auch den Nachweis von geladenen Teilchen in der Teilchenphysik, UV-Licht und Röntgenstrahlung.

Vom 23. bis 25. Mai dieses Jahres trafen sich über 50 Wissenschaftler aus Belgien, Deutschland, Frankreich, Großbritannien, den Niederlanden, Südkorea und den Vereinigten Staaten, um die Fortschritte auf dem Gebiet der Pixeldetektoren zu diskutieren und den Bedarf für zukünftige Entwicklungen zu evaluieren. In 18 Übersichtsvorträgen wurden innovative Pixeldetektoren vorgestellt und mögliche Einsatzgebiete diskutiert. Die Aktualität dieses Themas unterstrichen fünf Vorträge mit Fokus auf kommerziellen Anwendungen: Carsten Degenhardt und Thomas Frach von Philips informierten über neueste Entwicklungen im Bereich der digitalen Silizium-Photomultiplier, Seok-Hee Hwang von Samsung stellte aktuelle Trends für bildgebende CMOS-Dektoren vor, und Piet de Moor zeigte die Entwicklungskapazitäten von imec auf. Renato Turchetta, STFC, berichtete über Erfahrungen der Wissenschaftler mit dem Technologietransfer in die Industrie

und zurück. Ein hervorstechendes Thema vieler Präsentationen war die 3D-Integration von Sensor und Ausleseelektronik. Die Vielfalt der Detektortypen und Anwendungen spiegelte sich in den Vorträgen wider; sowohl Beiträge zu den Physikexperimenten an FAIR und RHIC, an Photonenquellen als auch medizinische Entwicklungen wie ein Mammographie-CT oder die Reichweitenmessung am Ionenstrahl wurden vorgestellt.

In einer Poster-Session präsentierten Doktoranden aktuelle Arbeiten ansprechend und spannend. Die Posterpreise gingen an Robert Schnell, Uni Gießen, für „Contributions to the development of the PANDA MVD strip detector“ sowie an Piotr Skwierawski, KIT, für „Optical data communication in particle detectors“.

Die Ziele des Workshops, zu denen die Identifikation neuer Trends und Fragestellungen, der Kontakt junger Wissenschaftler mit den führenden Experten sowie die Initiierung neuer wissenschaftlicher Kollaborationen zählten, wurden vollständig erreicht. Wir bedanken uns herzlich auch im Namen aller Teilnehmer bei der Wilhelm und Else Heraeus-Stiftung, bei Frau Jutta Lang und den Mitarbeitern des Physikzentrums Bad Honnef für die Förderung des Seminars und die Schaffung einer wissenschaftlich und kommunikativ äußerst fruchtbaren Atmosphäre.

Fine Fiedler, Hans-Günther Moser, James Ritman und Marc Weber

## Advanced Functional Polymers for Medicine

### 533. WE-Heraeus Seminar

Polymere werden in der Biomedizin vielfältig eingesetzt, wobei das Anwendungsspektrum von typischen in-vitro-Versuchen über extrakorporale Applikationen bis zum Einsatz als Implantat im lebenden Organismus reicht. Jede Anwendung von Polymeren erfordert dabei gezielt eingestellte Eigenschaften und Funktionen. Insbesondere müssen mechanische Eigenschaften, thermische Übergänge und Grenzflächeneigenschaften maßgeschneidert werden. Funktionen von Polymeren ergeben sich aus der gezielten Kombination molekularer Strukturen mit Prozessen und müssen in einem System unter bestimmten äußeren Bedingungen betrachtet werden. Beispiele für Funktionen, die auf Kombinationen von molekularen Strukturen mit physikalischen Prozessen beruhen, sind der Formgedächtniseffekt, der auf Entropieelastizität und Phasenübergängen beruht, oder der Wirkstofftransport, der sich aus Diffusionsprozessen und Wechselwirkungen an Biogrenzflächen ergibt. Um Struktur-Funktions- und Struktur-Eigenschaftsbeziehungen von (multi)

Prof. Dr. Markus Arndt, Universität Wien, Fakultät für Physik, VCQ, QuNaBioS; Prof. Dr. Klaus Hornberger, Universität Duisburg-Essen

Dr. Fine Fiedler, Helmholtz-Zentrum Dresden-Rossendorf; Dr. Hans-Günther Moser, Halbleiterlabor der Max-Planck-Gesellschaft, München; Prof. Dr. James Ritman, Forschungszentrum Jülich; Prof. Dr. Marc Weber, Karlsruher Institut für Technologie