

1) www.entria.de

2) Mehr Informationen zu der Sommerschule finden sich auf: www.sif.it/attivita/scuola\_fermi/mmxxvi

## Radiation Exposure and Disposal Options for Nuclear Waste

### WE-Heraeus-Physikschule

Vom 6. bis 16. August fand im Physikzentrum Bad Honnef unter Leitung von Werner Rühm (HMGU, München) und Clemens Walther (U Hannover) im Rahmen des BMBF-Verbundprojekts ENTRIA<sup>1</sup> eine Sommerschule mit knapp 60 Teilnehmern aus 12 Ländern statt.

Nach einführenden Vorträgen zu Grundlagen der Radioaktivität, Dosismetrie und physikalischen Strahlenwirkungen sprachen Experten aus den Bereichen Verwendung von Radionukliden in der Medizin (Frank Rösch, JGU Mainz; Petra Kudejova, TU München), Entstehung radioaktiver Abfälle in medizinischen Anlagen (Helmut Fischer, U Bremen) und Bestimmung von Inkorporationsdosen (Martina Froning, FZ Jülich). Es folgten Vorträge zu biologischen Effekten von ionisierender Strahlung (Andrzej Wojcik, U Stockholm) und Risiken kleiner Strahlendosen (Steven Simon, NCI, USA; Mike Atkinson, HMGU, München) sowie zu geologischen und Biosphärenmodellen (Jack Valentin, ehem. ICRP). Den Transfer von Radionukliden in Pflanzen und Effekte auf Tiere beleuchteten Brenda Howard (Lancaster, UK) und Gayle Woloschak (Northwestern U, USA).

Nach einem Vortrag von Don Reed (Los Alamos, USA) zu Endlageroptionen und zum derzeitigen Stand in der Waste Isolation Pilot Plant (WIPP) in Carlsbad, NM, folgten Vorträge zu Optionen der Endlagerung, die ENTRIA nicht betrachtete. Frank Schilling (KIT) stellte mögliche Vorteile der Verbringung in tiefe Bohrlöcher zur Diskussion. Reduzierung der Abfallvolumina durch Partitioning und Transmutation stellten Giuseppe Modolo (FZJ) und Walter Tromm (KIT) vor und beleuchteten dies im Rahmen der derzeitigen politischen und rechtlichen Situation in Deutschland und Europa. Gerold Spykman (TÜV Nord) befasste sich mit der Zwischenlagerung und wichtigen Erkenntnissen z. B. zur Wasserstoffbildung in Lagerbehältern und daraus folgenden Konsequenzen der Handhabung. Der Vortrag von Charles Spencer Pitcher vom Fusionsreaktor ITER war äußerst interessant: Dort werden bereits vor Inbetriebnahme des Reaktors detailliert die Entsorgungswege durchdacht und ausgearbeitet. Aus dem Kreis der ENTRIA-Mitarbeiter gab es Vorträge von Klaus-Jürgen Röhlig (U Clausthal) zu Szenarien, Horst Geckeis (KIT) zu „exotischen Optionen“, Ralf Wolters (TU Clausthal) zu Störungen der geologischen Zonen durch Errichtung eines Endlagers und Franziska Semper (TU Braunschweig) zu Entwicklungen des EU-Rechts im Bereich Atomrecht, Strahlenschutz und nukleare Entsorgung.

Mit den Herausforderungen bei der Entsorgung nach Unfällen in Russland,

der Ukraine und Fukushima beschäftigten sich die Vorträge von Aleksei Konoplev (Fukushima U) und Takayuki Sasaki (Kyoto U). Abgerundet wurde das Programm durch Experimente wie der Bestimmung des Radongehalts im Boden sowie zweier Panel Discussions, aufbauend auf Vorträgen zu Risiken im Beruf von Herbert Bender (Gefahrstoff Consulting Compliance) und im Notfallschutz von Rolf Michel (U Hannover). Die wichtige Rolle der Partizipation von Bürgern und Stakeholdern arbeitete Anne Bergmans (U Antwerpen) heraus.

Clemens Walther

## Foundations of Quantum Theory

### International School of Physics „Enrico Fermi“ in Zusammenarbeit mit der Wilhelm und Else Heraeus-Stiftung

Quantenmechanik ist charakterisiert durch einen einzigartigen Zwiespalt: Auf der einen Seite stimmen die Vorhersagen der Quantentheorie perfekt mit den experimentellen Messungen überein. Das beste Beispiel hierfür ist das anormale magnetische Moment des Elektrons. Auf der anderen Seite gibt es eine Vielzahl von Interpretationen des zugrundeliegenden Formalismus. Richard P. Feynman hat diese Situation sehr pragmatisch zusammengefasst: „Halt den Mund und rechne einfach!“ („Shut up and calculate!“)

Der rapide Fortschritt der experimentellen Techniken der Quantenoptik und das Gebiet der Quantentechnologie, das die Korrelationen von verschränkten Quantensystemen ausnutzt, haben die Frage nach der Interpretation der Quantentheorie neu belebt und zu intensiven Diskussionen geführt. Diese Entwicklung ist teilweise durch eine neue Interpretation, die unter dem Namen „Quantum Bayesianism“ (QBism) zusammengefasst wird, ausgelöst worden. QBism wurde von Chris Fuchs (Boston) und seinen Kollegen vorgeschlagen und vom Altmeister der Grundlagen der Quantenmechanik, David Mermin, unterstützt.

Um diese Fragen näher zu beleuchten, hat die Wilhelm und Else Heraeus-Stiftung gemeinsam mit der Italienischen Physikalischen Gesellschaft (SIF) eine International School of Physics „Enrico Fermi“ zum Thema Foundations of Quantum Theory abgehalten. Diese fand in der Villa Monastera in Varenna am Comer See vom 7. bis 13. Juli statt. Die letzte Enrico Fermi Sommerschule zu diesem Thema war 1977.

Weil es den Rahmen dieser Zusammenfassung sprengen würde, alle Themen im Detail zu referieren, seien hier nur einige wenige aufgeführt. Neben der Geschichte und den verschiedenen Interpretationen der Quantentheorie sowie dem Prinzip der Komplementarität wurden auch die

Fragen nach der Realität der Wellenfunktion und der Anknüpfung der Quantenmechanik an die Allgemeine Relativitätstheorie diskutiert. Der Messprozess und das Konzept des Photons spielten eine genauso große Rolle wie optische Tests der Quantentheorie.<sup>2</sup> Es versteht sich von selbst, dass diese Thematik und die bezaubernde Umgebung des Comer Sees zu intensiven Diskussionen zwischen allen Teilnehmern geführt haben.

Abschließend möchten wir uns recht herzlich bei der Wilhelm und Else Heraeus-Stiftung für die Möglichkeit bedanken, diese Sommerschule in Kollaboration mit der SIF durchzuführen. Für die enorme administrative und organisatorische Unterstützung durch das Team von Barbara Alzani mit Ramona Brigatti und Maria Bianchi sind wir außerordentlich dankbar. Es war sicher nicht leicht, 67 Teilnehmer aus 17 Ländern und zahlreiche Beobachter zu koordinieren.

Ernst M. Rasel, Wolfgang P. Schleich und Sabine Wölk

## Quantenphysik an der Schule

### Dritter Workshop der Heisenberg-Gesellschaft

Mit dem Ziel, die moderne Physik und die Quantenmechanik im Unterricht weiterführender Schulen zu verankern, veranstaltet die Heisenberg-Gesellschaft e.V. praxisnahe Workshops zum Thema Quantenphysik an der Schule für Lehrkräfte und Dozentinnen und Dozenten, die sich in der Lehramtsausbildung engagieren. Der dritte Workshop dieser Reihe fand vom 8. bis 10. Juli im Konferenzzentrum Schloss Waldthausen bei Mainz statt. Drei Viertel der 60 Teilnehmer waren Lehrerinnen und Lehrer aus dem gesamten Bundesgebiet. Den thematischen Schwerpunkt bildeten didaktische Konzepte, die konkrete Unterrichtsgestaltung sowie Betrachtungen zur Geschichte und Deutung der Quantenmechanik. Fortbildungsvorträge über aktuelle Forschung und technologische Anwendungen ergänzten das Angebot.

Mit einem Überblick über die Grundlagen und Entwicklung von Quanteninformation und Quantencomputern schaffte Harald Weinfurter (München) einen stimulierenden Einstieg in die Materie. Didaktische Überlegungen standen im Mittelpunkt der Referate von Josef Leisen (Mainz), der die altersgemäße Lehr- und Lernbarkeit der Quantenphysik am Beispiel des Doppelspaltexperiments illustrierte, und von Thomas Filk (Freiburg), der die Welleneigenschaften von Teilchen und Polarisationsseigenschaften von Licht als komplementäre Zugänge zur Quantentheorie verglich. Aus der Unterrichtspraxis berichtete Bernadette Schorn (Aachen) über ein neues Konzept für die

Prof. Dr. Clemens Walther, U Hannover

Prof. Dr. Ernst M. Rasel, Institut für Quantenoptik, U Hannover; Prof. Dr. Wolfgang P. Schleich, Institut für Quantenphysik, U Ulm; Dr. Sabine Wölk, Naturwissenschaftliche-Technische Fakultät, U Siegen

qualitative Einführung in die Quantenphysik in der 10. Jahrgangsstufe, während Andreas Kellerer (Memmingen) ein Projekt in der Begabtenförderung vorstellte. Dass wirkungsvolle Unterstützung bei der Gestaltung des Schulunterrichts existiert, demonstrierte Volker Geis von der experimenta Heilbronn mit einem Querschnitt durch das vielfältige Angebot an Experimenten und Kursen. Mit Blick auf übergreifende Fragen der Verbesserung des Physikunterrichts präsentierte Ingolf Hertel (Berlin) die DPG-Studie „Physik in der Schule“. Zur Geschichte und Interpretationsdebatte der Quantenmechanik und schulrelevanten Implikationen beleuchtete Oliver Passon (Wuppertal) den historische Kontext, in dem die Heisenbergsche Unbestimmtheitsrelation entdeckt wurde, sowie neuere Entwicklungen hinsichtlich ihrer Deutung. Tobias Jung (München) widmete sich der Beziehung antiker Naturphilosophien zur modernen Physik und der Darstellung bei Heisenberg. Manfred Stöckler (Bremen) rekapitulierte den Disput Quantentheorie und Realismus und setzte sich kritisch mit neuen epistemischen Deutungen der Quantenmechanik auseinander, während Klaus Mainzer (München) Bewertungskriterien der verschiedenen Interpretationen der Quantenmechanik unter dem Blickwinkel der Quanteninformation diskutierte. Erweitert wurde der wissenschaftliche Horizont durch fesselnde Darstellungen des Fortschritts in der Präzision von Atomuhren (Ekkehard Peik, Braunschweig) und der Entdeckung von Neutrino-Oszillationen (Christian Spiering, Zeuthen).<sup>3)</sup>

Die exzellenten Referate und die Diskussionsbeiträge der Lehrerinnen und Lehrer aus der Praxis machten den Workshop zu einer sehr lebendigen und fruchtbaren Veranstaltung. Spezieller Dank gebührt der Wilhelm und Else Heraeus-Stiftung, die durch ihre großzügige finanzielle Unterstützung erheblich zum Erfolg des Workshops beigetragen hat.

Reinhold Rückl

## From Photosynthesis to Photovoltaics: Theoretical Approaches for Modelling Supramolecular Complexes and Molecular Crystals

### 621. WE-Heraeus-Seminar

Das Vorbild für die artifizielle organische Photovoltaik ist die biologische Photosynthese, die hohe Effizienz mit niedrigem Materialaufwand zu kombinieren vermag. Der Vielzahl experimenteller Daten bezüglich biologischer und artifizieller Photosysteme stehen im Verhältnis nur wenige theoretische Beschreibungen der auftretenden Prozesse gegenüber. Dies liegt an der Schwierigkeit, die Schrö-

dingler-Gleichung für große Systeme zu lösen. Um dies zu bewerkstelligen, existieren verschiedene Näherungen. Um den aktuellen Forschungsstand in der Methodenentwicklung zu erfahren, fanden sich vom 26. bis 29. Juli in Bad Honnef 47 Teilnehmerinnen und Teilnehmer ein.

Zur Erdung der theoretischen Vorträge wurde jeder Programmblock von einer Sprecherin bzw. Sprechern aus der experimentellen Physik angeführt. Tobias Brixner (U Würzburg), Greg Scholes (Princeton U) und Elizabeth von Hauff (VU Amsterdam) gelang es, die Anforderungen an theoretische Untersuchungen deutlich zu machen. Dank der ausgereiften Kurzzeitlaser-Spektroskopie ist inzwischen ein sehr genauer Vergleich zwischen Theorie und Experiment möglich.

Von der theoretischen Seite wurde ein volles Spektrum von Ab-initio-Methoden bis zur Dynamik von offenen Quantensystemen abgedeckt. Ein beliebter Ansatz ist es, das molekulare System auf die relevanten elektronischen Zustände zu reduzieren. Der Hamilton-Operator wird so zu einer (zeitabhängigen) Hamilton-Matrix und die Schrödinger-Gleichung auf eine numerisch zu lösende Matrixgleichung reduziert. Dabei ist die akkurate Parametrisierung der Hamilton-Matrix entscheidend, was eine enge Zusammenarbeit zwischen theoretischer Physik und Quantenchemie erfordert. Von hoher Bedeutung für die Beschreibung von Energietransfer in natürlichen Photosystemen ist die Modellierung der Kopplung von elektronischen Freiheitsgraden an die Schwingungsmoden der Kerne.

Welche quantendynamische Methodik sich in den nächsten Jahren zur Vorhersage von photoaktiven Prozessen am besten eignen wird, bleibt eine spannende Frage. Den Teilnehmerinnen und Teilnehmern gilt unser Dank für die rege Teilnahme im Rahmen des Posterflashes, der Postersitzung und in den Diskussionen der Vorträge. Bei der WE-Heraeus-Stiftung bedanken wir uns für die reibungslose Durchführung und die großzügige finanzielle Unterstützung.

Tobias Kramer und Jörg Megow

## Neuronal Mechanics

### 622. WE-Heraeus-Seminar

Im Rahmen dieses Seminars fanden sich rund 50 Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler aus fünf Nationen und verschiedenen Fachbereichen zusammen, um sich über neueste methodische und konzeptionelle interdisziplinäre Ansätze zur Erforschung mechanischer Wechselwirkungen zwischen Nervengewebszellen und ihrer Umgebung auszutauschen.

Sowohl während der Entwicklung des Nervensystems als auch während neurodegenerativer und -regenerativer Prozesse

migrieren Zellen über weite Distanzen durch verschiedene Nervengewebe, und Neurone entsenden lange Zellfortsätze, (Axone) zu weit entfernten Regionen. Um sich durch ihre dreidimensionale Umgebung bewegen zu können, müssen die Zellen Kräfte ausüben und mechanisch mit dem sie umgebenden Gewebe interagieren. Trotz immenser Fortschritte im Verständnis der Rolle biochemischer Signale bei der Regulation neuronalen Wachstums wissen wir immer noch relativ wenig über die mechanische Kontrolle von physiologischen und pathologischen Vorgängen im Nervensystem.

Um sich allen relevanten Aspekten zu widmen, war das Seminar in fünf Abschnitte untergliedert, in denen auf verschiedenen Längenskalen aktive und passive mechanische Eigenschaften diverser Zell- und Gewebestrukturen, Mechanismen der Signalübertragung sowie die Rolle mechanischer Signale in Nervensystemerkrankungen beleuchtet wurden. Der Fokus lag auf neuen experimentellen und theoretischen Ansätzen, die biologische und physikalische Methoden vereinen. Sprecher aus der Physik, Biologie und Medizin stellten quantitative, biophysikalische und zellbiologische Studien in verschiedenen Systemen vor, welche wiederum die Grundlage für physikalische Modelle bildeten. Den Vorträgen schlossen sich lange und angeregte Diskussionen an.

Erwähnenswert ist die sehr hohe Qualität der präsentierten Poster. Posterspreise gingen an Stephanie Möllmert (TU Dresden), Eva Pillai (U Cambridge) und Gonzalo Rosso (U Münster). Die Nachwuchsteilnehmer nutzten nicht nur die Postersessions, sondern auch Kaffeepausen, Mittagessen und die Abende intensiv, um ihre Forschung mit Experten auf verschiedenen Gebieten zu diskutieren und Netzwerke auf- und auszubauen. Das Seminar profitierte sehr von zahlreichen Diskussionen in kleinen Gruppen, begünstigt durch die exzellente Atmosphäre im Physikzentrum Bad Honnef.

Die wissenschaftlichen Organisatoren danken der Wilhelm und Else Heraeus-Stiftung für die großzügige finanzielle Unterstützung und die ausgezeichnete organisatorische Begleitung des Seminars sowie den Mitarbeitern des Physikzentrums für ihren unermüdlichen Einsatz.

Kristian Franze, Kyle Miller  
und Daniel Suter

## Frontiers of Quantum Matter

### Bad Honnef Physics School

Vom 11. bis 16. September fand im Physikzentrum Bad Honnef eine Sommerschule zum Thema „Frontiers of Quantum Matter“ statt – finanziell unterstützt von der Wilhelm und Else Heraeus-Stiftung.

Prof. Dr. Reinhold Rückl, Universität Würzburg

Dr. Tobias Kramer, Zuse-Institut Berlin und Humboldt-Universität zu Berlin;  
Dr. Jörg Megow, Institut für Chemie, Universität Potsdam

Dr. Kristian Franze, University of Cambridge; Prof. Kyle Miller, Michigan State University;  
Prof. Daniel Suter, Purdue University

<sup>3)</sup> Die Vortragsfolien sind unter [www.heisenberg-gesellschaft.de/unterlagen-workshop-2016.html](http://www.heisenberg-gesellschaft.de/unterlagen-workshop-2016.html) einsehbar.