

Klima(wandel) im Physikunterricht

DPG-Lehrerfortbildung

Auf welchen Wegen sich der „Klima(wandel) im Physikunterricht“ und darüber hinaus interdisziplinär behandeln lässt, war Gegenstand der Fortbildung, die vom 18. bis 21. Mai im Physikzentrum Bad Honnef stattgefunden und rund 70 Teilnehmende begeistert hat. Zum Auftakt legte Harald Lesch in seinem Vortrag dar, wie ein persönlicher Bezug zum abstrakten Phänomen Klimawandel gelingt: Schlüssel sind dabei die vielgestaltigen Veränderungen, etwa FSME-Diagnosen im Januar, die den Klimawandel unmittelbar erfahrbar machen. Darüber das Klimabewusstsein und -handeln zu (be)fördern – das kann und muss Schule leisten!

An den darauffolgenden Vormittagen beleuchteten die Referierenden den Komplex Klimawandel aus fachlicher, unterrichtlicher und bildungspolitischer Sicht. Stefan Rahmsdorf brachte beispielsweise die Teilnehmenden auf den neuesten Stand der Klimaforschung. Welche Medien- und Kommunikationskompetenzen bei den Lernenden im Unterricht für eine souveräne Auseinandersetzung mit dem Klima(wandel) zu fördern sind, legte Dietmar Höttecke dar. Thomas Schubatzky und Rainer Wackermann untersuchten den Bereich „Klimakompetenz / Schülervorstellungen“.

Ein breites Workshopangebot lud dazu ein, methodisch-didaktische Zugänge zu erproben: So lernten die Teilnehmenden im Workshop von Cecilia Scorza-Lesch und Harald Lesch den „Klimakoffer“ kennen und anwenden. Susanne Heinicke und Stefan Heusler führten in die Nutzung der eigens entwickelten „Wunderbooks“ ein. Welches Potenzial Mysterys für den Physikunterricht haben, zeigten Frederik Bub und Thorid Rabe. Einen Ort zum Austausch über den aktuell entstehenden Orientierungsrahmen für die Sekundarstufe II mit dem Themenbeispiel Treibhauseffekt im Physikunterricht bot der Workshop von Rita Wodzinski.

In diesem Spannungsfeld von Theorie und Praxis sammelten die Teilnehmenden wertvolle (Er-)Kenntnisse, die für den Unterrichtsbetrieb einen unmittelbaren Zugewinn versprechen. Jetzt liegt es an den einschlägigen Gremien, allen voran der KMK, die dafür nötigen Rahmenbedingungen zu schaffen, innerhalb derer das Lernen rund um den Klimawandel im Curriculum prominent verankert und im Schulbetrieb verwirklicht wird. Ein Positionspapier mit entsprechenden Forderungen, das aus der Fortbildung heraus entstanden ist, wird in naher Zukunft veröffentlicht.

Viktoria Helms, U Göttingen,
David Niklas Jansen, U Münster,
Andreas Schnellbögl, Gymnasium
 Neutraubling, und **Darwin J. Scholz**,
 U Frankfurt/Main

New Frontiers at Heavy Ion Storage Rings: From Atomic Collisions to Many-Body Systems

738. WE-Heraeus-Seminar

Geladene Teilchen in Form atomarer oder molekularer Ionen sind im Universum allgegenwärtig. Das Verständnis von Interaktionen dieser Ionen auf mikroskopischer Ebene spielt eine große Rolle in vielen Disziplinen, von der Kern- und Atomphysik bis zur Bio- und Astrochemie. Laborexperimente mit atomaren und molekularen Ionen bedeuten allerdings weiterhin eine enorme Herausforderung, da einerseits Ionen wegen ihrer hohen Reaktivität von der Umgebung isoliert werden müssen und andererseits nur eine sorgfältige Präparation in kontrollierten Quantenzuständen aussagekräftige Experimente ermöglicht.

In diesem Zusammenhang haben sich Schwerionen-Speicherringe (Heavy ion storage rings) als unverzichtbare Instrumente für die Untersuchung geladener Teilchen etabliert. Während die meisten Speicherringe ursprünglich für Experimente in den Bereichen der Hochenergie- und Kernphysik zum Einsatz kamen, haben sie sich in den letzten Jahren als sehr vielseitig für die Untersuchung gekühlter Atom- und Molekülstrahlen sowie Ionen-Elektronen-Kollisionen erwiesen. Insbesondere die aktuelle Entwicklung hin zu elektrostatischen Anlagen erlaubt es, geladene Moleküle nahezu unabhängig von ihrer Masse zu speichern. Dies öffnet die Tür für Experimente mit molekularen Clustern bis hin zu biologisch relevanten Spezies. Weil sich die modernsten Speicherringe sogar bei kryogenen Temperaturen nur wenige Grad oberhalb des absoluten Nullpunkts betreiben lassen, stellen sie nahezu ideale Laborumgebungen dar, um atomare und molekulare Reaktionen im interstellaren Medium zu reproduzieren.

Aktuelle und zukünftige Entwicklungen von Schwerionenspeicherringen waren das Thema dieses Seminars, das vom 20. bis 24. Juni in Bad Honnef stattfand. Mehr als 60 Teilnehmende aus 15 Ländern, unter ihnen viele junge Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler, kamen hierbei zusammen, um ein breites Spektrum an experimentellen und theoretischen Entwicklungen auf diesem Gebiet zu diskutieren. Neben den Präzisionsexperimenten an magnetischen Speicherringen wurden neuartige Methoden mit überlagerten Strahlen unterschiedlichen Vorzeichens und mit neutralen Atomen präsentiert. Verschiedene Ansätze, um die Komplexität größerer Molekülionen zu behandeln, waren Gegenstand mehrerer Vorträge und Poster und intensiver Diskussionen in den Kaffeepausen.

Im Namen aller Teilnehmer und des wissenschaftlichen Organisationskomitees möchten wir uns für die großartige finanzielle und administrative Unterstützung durch

die Wilhelm und Else Heraeus-Stiftung und die Gastfreundschaft der Mitarbeiter des Physikzentrums in Bad Honnef bedanken. Diese Unterstützung trug zu einem erfolgreichen und äußerst lebhaften Seminar bei.

Prof. Dr. Klaus Blaum,
Priv.-Doz. Dr. Holger Kreckel,
 MPI für Kernphysik Heidelberg,
Prof. Dr. Stefan Schippers,
 Universität Gießen

Science and Applications of Plasma-Based Accelerators

767. WE-Heraeus-Seminar

Plasmen haben das Potenzial, ungeahnt kompakte, neue Beschleunigeranwendungen in der Grundlagenforschung und zum Wohle der Gesellschaft zu ermöglichen. Im Plasma können große elektrische Felder von 10 bis 100 GV/m auftreten – drei Größenordnungen jenseits der Feldstärken, die in modernen, auf Metallstrukturen basierenden Radiofrequenzbeschleunigern auftreten. Dadurch sind grundsätzlich plasmabasierte Teilchenbeschleunigermodule möglich, die Größenordnungen kompakter sind als traditionelle Konzepte. Die Forschung an diesen sog. Plasmabeschleunigern macht derweil große Fortschritte, insbesondere seitdem Kurzpuls laser mit Spitzenleistungen von bis zu Petawatt in vielen Forschungseinrichtungen verfügbar sind. Daher sind in wenigen Jahren erste Anwendungen in der Grundlagenforschung, Industrie und Medizin zu erwarten.

Der Zeitpunkt für dieses Seminar, das vom 15. bis 18. Mai im Physikzentrum Bad Honnef stattfand, hätte daher kaum besser sein können. Die mehr als 90 internationalen Teilnehmer:innen diskutierten in neun Sitzungen mit Übersichtsvorträgen weltweit führender Wissenschaftler:innen auf dem Gebiet die Zukunft der Technologie für plasmabasierte Elektronen- und Ionenbeschleuniger und neuartige Ansätze, um die noch ausstehenden Herausforderungen für einen breiten Einsatz zu lösen. Dabei wurden u. a. interessante Querverknüpfungen zwischen plasmabasierten Beschleunigern im Labor und als Quellen der höchstenergetischen Teilchen im Universum beleuchtet und das hohe Potenzial der Kontrolle kompakter Beschleuniger durch Konzepte des maschinellen Lernens analysiert. Das breite Anwendungsspektrum plasmabasierter Konzepte für die Hochenergiephysik, die Physik der Photonen, die industrielle Bildgebung und die Medizin war Gegenstand lebhafter Diskussionen. An Präsentationen über den erstaunlichen Fortschritt in den letzten Jahren knüpften Studierende und Nachwuchswissenschaftler:innen an und präsentierten ihre Forschungsprojekte in Flash-Talks und auf 58 Postern.

Nach der langen, dem Corona-Virus geschuldeten Abstinenz von Präsenzveranstal-

tungen war dieses Seminar eines der ersten Treffen in diesem lebendigen Forschungsfeld seit mehr als zwei Jahren. Daher stand das Networking für viele Teilnehmer im Vordergrund. Die neuen Verbindungen werden in Zukunft sicherlich zu einer intensiveren Kooperation der verschiedenen Experimente und Gruppen führen. Nun ist der Schritt von der Grundlagenforschung hin zu einem erfolgreichen Einsatz von plasmabasierter Beschleunigertechnologie notwendig. Diese Transformation signalisiert einen Paradigmenwechsel in der Community, zu dem dieses, von allen Teilnehmern als überaus erfolgreich empfundene Seminar einen signifikanten Beitrag geleistet hat. Die Organisatoren danken der Wilhelm und Else Heraeus-Stiftung für die Finanzierung und die professionelle und tatkräftige Unterstützung bei der Organisation.

Prof. Allen Caldwell, MPI für Physik München
Prof. Wim Leemans, Dr. Jens Osterhoff, DESY Hamburg

Integrable quantum many-body systems

768. WE-Heraeus-Seminar

Ein besseres Verständnis quantenmechanischer Vielteilchensysteme ist unabdingbar, um viele offene Fragen der theoretischen Physik zu beantworten, von der Formulierung fundamentaler Modelle, die den Aufbau der Materie beschreiben, über deren Niederenergieverhalten in der Kernphysik bis hin zu niedrigsten Energieskalen in der Festkörperphysik. Technisch ist immer die gleiche Frage zu beantworten: Wie berechnen wir effizient die Korrelationsfunktionen lokaler Operatoren, die in Experimenten gemessen werden.

In vielen praktisch relevanten Fällen ist diese Frage mit heutigen Methoden der theoretischen Physik nicht befriedigend zu beantworten. Integrable Vielteilchenmodelle bieten einen methodischen Rahmen und liefern – sofern sie auf das betrachtete System anwendbar sind –, mit großer Sicherheit und Genauigkeit eine Antwort. Das Interesse an integralen Vielteilchenmodellen reicht von der reinen Mathematik bis zur Experimentalphysik. Eine der diesjährigen Fields-Medaillen erhielt Hugo Duminil-Copin, ein Kollege aus der Mathematik, der sich um die mathematische Beschreibung von Phasenübergängen, also von Einpunktfunktionen, in integralen Modellen verdient gemacht hat. Auf der anderen Seite stehen spektakuläre experimentelle Realisierungen integraler Vielteilchensysteme etwa in kalten Atomgasen.

Dieses Seminar, das vom 23. bis 27. Mai stattfand, hat die ganze Breite von Fragestellungen von der Mathematik bis zu experimentellen Anwendungen abgedeckt. Zugleich diente es dazu, die Ergebnisse der DFG-Forschungsgruppe 2316 in einen

größeren Zusammenhang zu stellen und international zu diskutieren. Themen waren unter anderem die exakte Berechnung von Formfaktoren und Korrelationsfunktionen von integralen Gittermodellen und Quantenfeldtheorien, der Einfluss von Störstellen und Rändern sowie integrable Modelle bei endlicher Temperatur und fern ab vom thermischen Gleichgewicht. Das Seminar fand in der gewohnt angenehmen Atmosphäre des Physikzentrums Bad Honnef unter reger internationaler Beteiligung statt. Für viele Teilnehmende war es die erste Konferenz im Präsenzmodus seit Beginn der Covid-19-Pandemie. Dementsprechend groß waren die Begeisterung und der Enthusiasmus. Neben etablierten Wissenschaftlern aus dem In- und Ausland nahmen Promovierende und Postdocs aus Deutschland und dem nahen Ausland teil. Sie nutzten die Gelegenheit, ihre Arbeiten in Postern vorzustellen und mit den führenden Experten in ihrem Arbeitsgebiet zu diskutieren.

Ermöglicht wurde das Seminar durch die großzügige finanzielle und organisatorische Förderung durch die Wilhelm und Else Heraeus-Stiftung, bei der sich die Organisatoren, auch im Namen aller Teilnehmenden, herzlich bedanken.

Prof. Dr. Hermann E. Boos, Dr. Frank Göhmann, Prof. Dr. Andreas Klümper, Universität Wuppertal

Novel Quantum Phases in Superconducting Heterostructures

769. WE-Heraeus-Seminar

Die Suche nach neuen Quantenphänomenen prägt die heutige Festkörperphysik. Sie sind eine wichtige Motivation, um neuartige Quantenphasen zu konstruieren, zu untersuchen, zu charakterisieren und zu steuern. So sind zum Beispiel zweidimensionale Van-der-Waals-Heterostrukturen aus einer Vielfalt zweidimensionaler Kristalle zusammengesetzt. Es entstehen synthetische Materialien mit Eigenschaften, die in einzelnen Schichten nicht vorkommen. Über den Proximity-Effekt zwischen Supraleitern und magnetischen Materialien lässt sich wahlweise eine ferromagnetische, eine antiferromagnetische oder eine nicht-kollineare magnetische Ordnung in einen zweidimensionalen Supraleiter einbringen. Diese ermöglicht neue Paarungszustände der Elektronen und spinpolarisierte Supraströme. Die Spin-Bahn-Kopplung kann in diesen Materialien die fundamentalen Paarungsmechanismen kontrollieren und ungewöhnliche Ising-Supraleitung erzeugen. Generell kann an Grenzflächen eine starke Spin-Bahn-Kopplung auftreten und neuartige supraleitende Phasen erzeugen, die sich durch ungewöhnliche Eigenschaften wie einen paramagnetischen Meißner-Effekt

auszeichnen. Dieser und verwandte Effekte lassen sich durch ausgefeilte Methoden seit kurzem auch experimentell nachweisen.

Dieses Seminar, das vom 30. Mai bis 2. Juni im Physikzentrum Bad Honnef stattfand, hatte zum Ziel, ein breites Spektrum von Expertinnen und Experten und jungen Wissenschaftlern zu diesem Thema in Kontakt zu bringen. Nach langer, pandemiebedingter Workshop-Abstinenz war die Resonanz mit 80 Teilnehmenden – davon über 60 Prozent aus dem Ausland – sehr gut. Neben dem Vortragsprogramm sowie den gut und ausdauernd besuchten Postersitzungen gab es ausreichend Zeit für informelle Diskussionen. Ein besonderer Höhepunkt war der Eröffnungsvortrag von Katharina Franke (FU Berlin), in dem sie eine lineare Kette von 51 Fe-Atomen auf NbSe₂ zeigte, deren kollektive Anregungszustände mittels Rastertunnel-Spektroskopie untersucht wurden. Der Abendvortrag mit dem „Blick über den Tellerrand“ von Silke Bühler-Paschen (TU Wien) gab einen Einblick in unkonventionelle Supraleitung in Schwer-Fermion-Systemen und anderen hochkorrelierten Elektronensystemen. Daneben waren die Beobachtung und theoretische Erklärung von supraleitenden Gleichrichtungseffekten ein wiederkehrendes Thema in vielen Vorträgen.

Wir bedanken uns bei der WE-Heraeus-Stiftung sowie dem Team des Physikzentrums für die ausgezeichnete finanzielle, organisatorische und logistische Unterstützung.

Prof. Dr. Elke Scheer,
Prof. Dr. Wolfgang Belzig,
 Universität Konstanz,
Prof. Dr. Christoph Strunk,
 Universität Regensburg