

Fluctuation-induced Forces

729. WE-Heraeus-Seminar

Fluktuationen sind in der Natur allgegenwärtig, sei es in Form von Wasserwellen, bei der zufälligen Bewegung atomarer oder mesoskopischer Teilchen in Flüssigkeiten oder beim stochastischen Verhalten von Photonen der elektromagnetischen Strahlung. Fluktuationen können thermischer Natur oder ein intrinsischer Effekt der Quantenmechanik sein. Oftmals sind sie weder von besonderem Interesse noch von physikalischer Relevanz und werden sogar manchmal – denken wir an Rauschen – als störend empfunden. Allerdings spielen sie eine fundamentale Rolle, wenn sie räumlich korreliert sind, wenn sie also mesoskopische Entfernungen im Raum überbrücken. Sind sie zusätzlich räumlich begrenzt, können sie physikalische Kräfte hervorrufen – sog. fluktuationsinduzierte Kräfte, oftmals auch als Casimir-Kräfte bezeichnet. Diese Kräfte wurden in verschiedenen Systemen und Versuchsanordnungen auf der Mikrometerskala gemessen, und praktische Anwendungen befinden sich in der Entwicklungsphase.

Wichtige Beispiele, in denen räumlich korrelierte Fluktuationen auftreten, sind das elektromagnetische Feld, das zum Casimir-Effekt der Quantenelektrodynamik (QED) führt, und Flüssigkeiten in der Nähe eines kritischen Punktes, die den sog. kritischen Casimir-Effekt verursachen. Diese beiden Fälle geben weiten Raum für Untersuchungen verschiedenster Szenarien, z. B. Kräfte in Flüssigkeiten, die ins Gleichgewicht relaxieren. Darüber hinaus öffnet sich ein weiterer Bereich von Systemen fern vom Gleichgewicht, in denen generisch langreichweitige Korrelationen auftreten, z. B. in aktiver Materie oder in „Cavity-QED“. Tatsächlich sind für das Auftreten fluktuationsinduzierter Effekte nur recht wenige Zutaten erforderlich. So treten sie in verschiedenen Wissenschaftsbereichen auf.

Das Seminar, das vom 14. bis 17. Februar stattfand (durchgeführt als reine online-Konferenz über die Plattform MeetAnyWay), brachte führende Experten aus verschiedenen Forschungsbereichen zusammen und deckte so erfolgreich ein breites Spektrum an fluktuationsinduzierten Effekten ab. Es wurden beeindruckende theoretische und experimentelle Fortschritte beschrieben und diskutiert. So berichteten einige der Vortragenden über Entwicklungen bezüglich fluktuierender elektromagnetischer Felder, z. B. interatomare Wechselwirkungen oder Kräfte oder Drehmomente, die zwischen speziellen Oberflächen wirken. Unter anderem wurden für strukturierte Oberflächen, oder solche mit besonderen optischen Eigenschaften, neue Phänomene beobachtet oder vorhergesagt. Andere Vortragende präsentierten neue Arbeiten zur Kontrolle und Vorhersage fluktuationsinduzierter Kräfte thermischen Ursprungs, mit denen sich wichtige Aspekte weicher Materie steuern lassen, z. B. die

Wechselwirkung zwischen Kolloiden, deren Dynamik und ihre Aggregation.

Das Seminar und die lebhaften Diskussionen im Anschluss an die Vorträge trugen dazu bei, den Austausch und die gegenseitige Inspiration sowohl in Bezug auf Phänomenologie als auch Methodik zu fördern und dadurch Vorhersage, Kontrolle und Nutzung fluktuationsinduzierter Kräfte zu verbessern. Wir danken der Wilhelm und Else Heraeus-Stiftung für die hervorragende organisatorische Unterstützung sowie für die Bereitstellung der online-Plattform.

Prof. Dr. Siegfried Dietrich, MPI für Intelligente Systeme, Stuttgart; **Prof. Dr. Andrea Gambassi**, SISSA, Triest, Italien;

Prof. Dr. Matthias Krüger, Universität Göttingen; **Prof. Dr. Anna Maciolek**, Polnische Akademie der Wissenschaften, Warschau, Polen

Non-Linear Magnetism

757. WE-Heraeus-Seminar

In den letzten Jahren ist Nichtlinearität als Thema zunehmend in den Fokus der Wissenschaft gerückt, da nicht nur die meisten Phänomene in der Natur von sich aus nichtlinear sind, sondern auch zunehmend Nichtlinearität in Anwendungen genutzt wird. Dieses Seminar befasste sich mit der Nichtlinearität im Magnetismus und beinhaltete eine Reihe von Anwendungen, die von neuartigen Computertechnologien bis zu nichtlinearen Effekten in optimierten Geometrien reichen.

Das Seminar fand vom 5. bis 7. Januar im Physikzentrum Bad Honnef in einem hybriden Format statt, mit 40 (63) Teilnehmenden und 10 (10) Vortragenden vor Ort (online). Trotz des anspruchsvollen Formats ermöglichte die hervorragende technische Ausstattung viele lebhaft diskussionen unabhängig vom Ort der Diskutanten. Obwohl der nichtlineare Magnetismus während des Seminars aus verschiedenen Perspektiven behandelt wurde, zeichneten sich viele grundlegende sowie experimentelle Überschneidungen zwischen den verschiedenen Themengebieten ab.

Nach einem umfassenden Überblick über die neuen magnetischen Effekte, die kürzlich in gekrümmten dreidimensionalen Systemen gefunden wurden, folgten eine Diskussion neuer dreidimensionaler Spinstrukturen sowie ein Einblick in die jüngsten experimentellen Ergebnisse von gezielt designten dreidimensionalen Systemen, die sowohl neue Texturen als auch dynamische Effekte offenbaren. Auch die Vorteile der Dreidimensionalität für fortschrittliche Computer wurden hervorgehoben.

Nach einem Eröffnungsvortrag zu topologischen Texturen, welcher die Stabilität und Nutzung topologischer Teilchen aus einer grundlegenden Perspektive erörterte, wurden solche Texturen im Kontext neuar-

tiger Berechnungsschemata diskutiert – mit Aussichten für analoge Anwendungen mit Skyrmionen bis hin zur Realisierung neuer Hopfion-Strukturen.

Entscheidend für die Zukunft dieses Bereichs sind Fortschritte bei den experimentellen Techniken. Zahlreiche Experimentatoren präsentierten Bildgebungsverfahren, die von der Abbildung der Nanostruktur chiraler Spintexturen mit Elektronen-holografie bis zu fortschrittlichen statischen und dynamischen Bildgebungsverfahren mit Synchrotron-Röntgenstrahlen reichten.

Solche Untersuchungen sind nicht auf Ferromagnete beschränkt, wie Vorträge zu Röntgenuntersuchungen an antiferromagnetischen Systemen sowie zur antiferromagnetischen Spintronik zeigten. Einen spannenden Ausblick gab es zum Thema „Altermagnete“, einer neuen Untergruppe von Materialien, die eine Nettomagnetisierung von Null mit einer signifikanten Spinaufspaltung kombinieren und viel Fortschritt im Bereich nichtlinearer magnetischer Materialien versprechen.

Das Seminar zeigte, dass nichtlinearer Magnetismus sehr vielfältig ist und sich viele Interessen zwischen den Unterthemen überschneiden. Wir danken der Wilhelm und Else Heraeus-Stiftung für die finanzielle und organisatorische Unterstützung.

Dr. Kai Litzius, MPI für intelligente Systeme, Stuttgart; **Dr. Claire Donnelly**, MPI für Chemische Physik fester Stoffe, Dresden

Metamaterials – Designing Wave Propagation with a Focus on Electrodynamics

760. WE-Heraeus-Seminar

Metamaterialien sind künstlich hergestellte Strukturen, die gezielt elektromagnetische, akustische oder andere Wellen und Felder beeinflussen können und breite Anwendung in der Optik, Elektrotechnik, Akustik bis hin zur Geophysik haben. Diesen Anwendungen liegen sehr ähnliche geometrische Konzepte zugrunde, die dieses Gebiet zu einem interdisziplinären Querschnittsthema machen. Bei diesem Seminar, das vom 7. bis 11. Februar stattfand, wurden u. a. allgemeine, nichtlokale und nichtlineare Strukturen diskutiert, exotische mechanische Modelle von Metamaterialien explizit konstruiert und maßgeschneiderte Effekte auf die Ausbreitung elektromagnetischer Wellen beschrieben. Neben der theoretischen Beschreibung wurden viele technische, aber auch grundlagenphysikalische Anwendungen besprochen: Verbesserung der Gravitationswelleninterferometrie vermöge speziell strukturierter Spiegel, Studium von gravitativen wie auch bisher unbeobachteten quantengravitativen Effekten (Hawking-Strahlung) in analogen Fluid-Modellen, Quanten-Metamaterialien

zur besonderen Manipulation z. B. kalter Atome, Anwendungen zur Signalverbesserung in der medizinischen Bildgebung mittels Magnetfeldresonanz, Radartechnik, drahtlose Kommunikation (NFC und WPT) und die Erdbebenforschung, bei der es darum geht, wie es in den Boden eingelassene Strukturen erlauben, z. B. Kraftwerke besser vor seismischen Wellen zu schützen. Das Programm umfasste auch Beiträge von eingeladenen Start-up-Unternehmen zu industriellen Anwendungen sowie einen Abendvortrag zur Energiewende aus wissenschaftlicher Perspektive.

Leider fiel das Seminar in eine Hochphase der Corona-Neuinfektionen, sodass trotz des guten Hygienekonzepts nur etwa die Hälfte der eingeladenen Sprecherinnen und Sprecher in Präsenz teilnahm, was der Idee des interdisziplinären Seminars etwas entgegenstand. Die Anwesenden waren aber froh, nach langer Zeit wieder einmal persönlich eine Tagung mit Diskussionen besuchen zu können – dafür war im Programm extra Freiraum definiert. Das hybride Format wurde durch die exzellente technische Ausstattung des Physikzentrums sehr unterstützt. Wir danken dem Physikzentrum für die hervorragende Gastfreundschaft und der WE-Heraeus-Stiftung für die großzügige finanzielle und die sehr hilfreiche organisatorische Unterstützung.

Prof. Dr. Matthias Günther, Fraunhofer MEVIS, Bremen; **Dr. Dennis Philipp**, ZARM, U Bremen und Fraunhofer MEVIS, Bremen;
Priv.-Doz. Dr. Volker Perlick, **Prof. Dr. Claus Lämmerzahl**, ZARM, U Bremen

Diffraction Limited Synchrotron Light Sources and Next Generation Free Electron Lasers

762. WE-Heraeus Seminar

Dieses Seminar fand vom 7. bis 11. März in hybrider Form im Physikzentrum Bad Honnef statt und befasste sich mit den wissenschaftlichen Möglichkeiten, die moderne beschleunigerbasierte Lichtquellen eröffnen, sowie mit den technischen Fragen, um dieses Gebiet weiterzuentwickeln. Mehr als 90 Forschende von Universitäten und Forschungseinrichtungen aus vielen Ländern der Welt nutzten die Gelegenheit zu einem regen Austausch. Beschleunigerbasierte Lichtquellen wie Synchrotronstrahlungs- und Freie-Elektronen-Laser (FEL)-Anlagen haben sich zu unverzichtbaren Analyseinstrumenten für die moderne Wissenschaft entwickelt. Sie können extrem intensive und kollimierte Photonenstrahlen erzeugen, die sich vom sichtbaren Bereich bis zum härtesten Röntgenbereich erstrecken und auf Zeitskalen von wenigen Femtosekunden reichen. In den Sitzungen wurden die Quellen der vierten Generation mit erhöhter Brillanz

und Kohärenz, wie die ESRF-EBS, sowie geplante Quellen wie PETRA IV, BESSY III und auch im Umbau befindliche FELs wie FLASH 2020+ vorgestellt. PETRA IV und BESSY III sind Teil der kürzlich vorgestellten „Helmholtz Photon Science Roadmap“. Sie werden revolutionäre neue Möglichkeiten mit Nanometerauflösung für alle bekannten Synchrotronstrahlungsmethoden zur Analyse komplexer Materialien und Proben zur Verfügung stellen. Bildgebende Verfahren, insbesondere von Nanopartikeln und biologischen Proben mit hoher Auflösung, waren eines der Hauptthemen, z. B. die Charakterisierung von Nanostrukturen oder Phasenkontrast-Röntgentomographie von Zellen und Geweben. Auch die Untersuchung magnetischer Ordnung oder die kohärenten bildgebenden Verfahren von dreidimensionalen magnetischen Systemen oder von Spin-Texturen im Nanometerbereich wurden diskutiert. Darüber hinaus wurde die benötigte Instrumentierung, wie neue ToF-Elektronen-Detektoren und andere Entwicklungen, sowie achromatische Röntgen- oder Mehrschicht-Laue-Linsen vorgestellt. Zunehmend wichtiger werden Ansätze wie mathematisch basiertes maschinelles Lernen zum Verständnis oder die theoretische Berechnung elektronischer Strukturen und Röntgenspektren für XFEL-Experimente.

Wir danken dem Physikzentrum für die Bereitstellung der hervorragenden Infrastruktur, der WE-Heraeus-Stiftung für die finanzielle Unterstützung und allen Beteiligten für die hervorragende Organisation.

Prof. Edgar Weckert, DESY
Prof. Wim Leemans, DESY

Prof. Robert Feidenhansl, European XFEL

Optoelectronic Processes at Nanostructured Interfaces

763. WE-Heraeus-Seminar

Wie viele Veranstaltungen im Frühjahr 2022 fand auch dieses Seminar vom 14. bis 16. März im Physikzentrum in Bad Honnef in einem hybriden Format statt. Über 50 begeisterte Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler waren vor Ort und konnten die anregende Umgebung sowie die herausragende technische Ausstattung genießen. Hinzu kamen fast 20 weitere Teilnehmende per Zoom.

Inhaltlich lieferten alle Beiträge einen glänzenden Überblick über den aktuellen Stand der Forschung zu den Grenzflächeneigenschaften von Materialien im Nanometerbereich. In puncto Materialien standen zweidimensionale Materialien im Fokus, insbesondere Übergangsmetall-Dichalkogenide, aber auch CdSe, PbSe, PbS, Bi₂Se₃ oder ZnS-Nanoplättchen. Dies wurde ergänzt durch eindimensionale Nanostrukturen wie Kohlenstoff-Nanoröhrchen, ZnO oder CdSe-Nanodrähte sowie nulldimensionale

Nanopartikel und -cluster aus HgTe, CdSe/CdS, InSe, Gold und Perowskiten verschiedener Zusammensetzung. Dass auch dreidimensionale Materialien reichlich Raum für nanostrukturierte Oberflächen bieten, wurde anhand von kovalenten organischen Gerüstverbindungen eindrucksvoll gezeigt.

Große Vielfalt herrschte auch bei den gezeigten Methoden: Hier ist vor allem die optische Pump-Probe-Spektroskopie hervorzuheben, aber auch orts- und zeitaufgelöste Photolumineszenz, Spektroelektrochemie, Kathodolumineszenz und Laserraster-Photoströmikroskopie. Synthetische Methoden für die Isolation hochreiner Kohlenstoff-Nanoröhrchen oder für die Darstellung von Heterostrukturen aus Übergangsmetall-Dichalkogeniden wurden gezeigt. Molekulardynamik-Simulationen und die Berechnung von Minibändern sowie Bandstrukturen von topologischen Isolatoren sorgten für Einblicke in die theoretische Beschreibung der behandelten Materialien. Verschiedene Ansätze für ein gezieltes Gating der Nanostrukturen unterstrichen den hohen Anwendungsaspekt des Seminarthemas, wobei licht-emittierende Dioden, Feldeffekttransistoren, Laser, Photodetektoren, topologische Isolatoren und Solarzellen konkret vorgestellt und diskutiert wurden. Große Einigkeit herrschte darüber, dass das gezielte Stapeln von zweidimensionalen Heterostrukturen enormes Potenzial für solche Anwendungen hat.

Als übergeordnete Kernbotschaften nahmen die Teilnehmenden mit nach Hause, dass a) Bleihalogenidperowskite furchtbar instabile Materialien sind mit herausragenden optoelektronischen Eigenschaften, die jedoch dank großer Forschungsbemühungen immer stabiler werden, dass b) zweidimensionale Materialien vielversprechende Kandidaten für die überüberrückste Generation von Prozessoren sind und dass c) der Schlüssel zu ultraschnellen optischen Schaltprozessen in Materialien mit gebrochener Symmetrie liegt.

Insgesamt wurde das Seminar für regen Ideenaustausch und ausführliche Diskussionen genutzt. Wir danken der Wilhelm und Else Heraeus-Stiftung für die großzügige finanzielle Unterstützung.

Prof. Dr. Christian Klinke, U Rostock
Philipp Haizmann und
Prof. Dr. Marcus Scheele, U Tübingen

Photonic Quantum Technologies – A Revolution in Communication, Sensing, and Metrology

764. WE-Heraeus Seminar

Die zweite Quantenrevolution verbindet die Grundlagenforschung in der Quantenphysik mit neuartigen Anwendungen in den Quantentechnologien. Dieses Seminar brachte

den wissenschaftlichen Nachwuchs und internationale Expertinnen und Experten zusammen, um photonische Quantentechnologien zu diskutieren. Dabei wurden die verschiedenen Teilgebiete von der Quantenkommunikation bis zur Quantenmetrologie ebenso beleuchtet wie übergreifende Querschnittsthemen.

Das ursprünglich für den Winter 2020 geplante Seminar wurde pandemiebedingt auf den 17. bis 19. März 2022 verschoben und fand als hybride Veranstaltung statt. Die hohe Aktualität und Relevanz des Themas spiegeln sich in einer erfreulich regen Teilnahme wider: 98 Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler aus 17 Ländern gestalteten das Seminar aktiv im Hörsaal oder auf der virtuellen Bühne mit. Fast drei Viertel davon reisten nach Bad Honnef.

Das wissenschaftliche Programm war so vielfältig und hochqualitativ, dass es schwer fällt, einzelne Höhepunkte herauszugreifen. Schwerpunkte der eingeladenen Vorträge bildeten jüngste Entwicklungen auf den Gebieten der Quantenkommunikation, einschließlich abhörsicherer Satelliten-gestützter Quantennetzwerke, die Herstellung und Charakterisierung festkörperbasierter Quantenlichtquellen für den Einsatz in Telekommunikations-Netzwerken, bis hin zu der Entwicklung photonischer Quantencomputer und neuer metrologischer Standards. Besondere Höhepunkte stellten auch die beiden Postersitzungen sowie das von Nachwuchswissenschaftlern organisierte abendliche Wissens-Quiz im Lichtenberg-Keller dar. Hier konnten sich die Forschenden, aufgeteilt in Kleingruppen, an einem breitgefächerten Spektrum an Fragen zum Allgemeinwissen messen.

Zusammenfassend war das Seminar mit seinem vielseitigen wissenschaftlichen Programm, den engagierten Teilnehmerinnen und Teilnehmern sowie der besonderen Atmosphäre des Physikzentrums ein großer Erfolg. Unser besonderer Dank gilt der Wilhelm und Else Heraeus-Stiftung für die professionelle Organisation und Finanzierung dieser Veranstaltung.

Dr. Tobias Heindel, TU Berlin; **Dr. Simone Luca Portalupi**, U Stuttgart; **Prof. Dr. Eleni Diamanti**, CNRS, U Sorbonne, Francen

Gravitational Wave and Multi-Messenger Astrophysics

765. WE-Heraeus Seminar

Seit im September 2015 die ersten Gravitationswellen von kilometerlangen Laserinterferometern gemessen wurden, haben sich die Astronomie und die Gravitationsphysik rasant verändert. Die Entdeckung verschmelzender Doppelsysteme aus Schwarzen Löchern ist mittlerweile zur Routine geworden. Auch Neutronensternverschmel-

zungen und die Kollision von Schwarzen Löchern und Neutronensternen wurden inzwischen beobachtet, und die Entdeckungen nehmen täglich zu.

Dieses Seminar, das vom 25. bis 28. April im Physikzentrum Bad Honnef stattfand, bot eine exzellente Gelegenheit für (insbesondere junge) Forschende verschiedener Fachbereiche, die Zukunft dieser neuen Art der Astronomie zu diskutieren. Expert:innen der Technologieentwicklung für die aktuelle und nächste Generation von Gravitationswellendetektoren kamen mit Datenanalytiker:innen, Modellierer:innen und Astrophysiker:innen zusammen, um die Chancen und Herausforderungen der Multimessenger-Astronomie aus verschiedenen Perspektiven zu diskutieren. Denn wenn Neutronensterne in Doppelsystemen verschmelzen und dabei zumindest teilweise zerrissen werden, erschüttert das nicht nur die Raumzeit, sondern erzeugt auch eine Vielzahl elektromagnetischer Signale und sendet Neutrinos aus. Eine gemeinsame Messung all dieser Signaturen kann Aufschluss über das Verhalten der Materie bei extremen Dichten und stark gekrümmter Raumzeit, aber auch über die Ausdehnung und Entwicklung des Universums geben.

Fast 80 Teilnehmende vor Ort und weitere 20 online trugen zu einem fruchtbaren und interaktiven Austausch bei. Neben Vorträgen und Poster-Sitzungen luden Tutorien zum Mitmachen ein und erlaubten den Teilnehmenden, selbst Gravitationswellensignale in verrauschten Datenströmen zu finden und die Empfindlichkeit am Computer simulierter Interferometer zu analysieren. Der Fokus der Vorträge lag vor allem auf den großen Fragen der zukünftigen Astronomie und wie sich diese mithilfe geplanter elektromagnetischer Teleskope sowie Neutrino- und Gravitationswellendetektoren beantworten lassen. Schließlich bestand die Zuhörerschaft zum Großteil aus jungen Forschenden, die in den nächsten Jahrzehnten zu den Leitfiguren z. B. in der Analyse von LISA-Daten und beim Bau und Betrieb des Einstein-Teleskops werden können. Das Feedback, das uns aus dem Kreise der Teilnehmenden erreichte, war durchweg positiv.

Wir danken den Mitarbeitenden des Physikzentrums Bad Honnef und der Wilhelm und Else Heraeus-Stiftung für die wunderbare, hoch professionelle Organisation vor Ort und für die großzügige Unterstützung.

Dr. Frank Ohme, MPI für Gravitationsphysik, Hannover; **Prof. Dr. Michèle Heurs**, U Hannover

High-Precision Measurements and Searches for New Physics

766. WE-Heraeus Seminar

Die Suche nach neuer Physik und neuen Wechselwirkungen jenseits des Standardmodells der Elementarteilchenphysik ist eines der aufregendsten Ziele der modernen Wissenschaft. Zwei komplementäre Strategien werden heute verfolgt, um diese Suche zu verwirklichen. Neben dem Einsatz von großen Beschleunigeranlagen, wie dem Large Hadron Collider am CERN, werden Laborexperimente in der Atom- und Molekülphysik sowie optischen Physik bei niedrigeren Energien durchgeführt. Der große Vorteil dieser eher „table-top“ Messungen ist ihre unglaublich hohe Präzision, die dank der außergewöhnlichen Fortschritte bei der Quantenkontrolle von Materie und Licht möglich ist.

Aktuelle und zukünftige hochpräzise Tests des Standardmodells bei niedrigsten Energien waren das Kernthema dieses Seminars, das vom 8. bis 13. Mai in Bad Honnef stattfand. Das Thema hat mehr als 90 Teilnehmer aus 16 Ländern angezogen, die ein breites Spektrum an experimentellen und theoretischen Entwicklungen auf diesem Gebiet diskutierten. Eine Reihe von Vorträgen und Postern war z. B. der Suche nach ultraleichter Dunkler Materie mithilfe von Quantensensoren im Labor und im Welt- raum gewidmet. Besondere Aufmerksamkeit wurde auch den Tests fundamentaler Symmetrien der Natur in atomaren und molekularen Systemen gewidmet. Darüber hinaus stand die Präzisionspektroskopie hochgeladener Ionen sowie exotischer atomarer Systeme, wie Anti- und Myonen-Atome, im Mittelpunkt mehrerer Vorträge.

Zwischen hochpräzisen Experimenten in der Grundlagenphysik und ihren Anwendungen in der Metrologie besteht eine enge Verbindung. Um dies zu betonen, wurde die Verleihung des Helmholtz-Preises 2022 in das WE-Heraeus-Seminar integriert. Dieser Preis gilt als der prestigeträchtigste auf dem Gebiet der Präzisionsmessungen. Der Preisverleihung folgte ein gemeinsames Abendessen mit Raum für informelle Diskussionen zwischen den Seminarteilnehmern, den Helmholtz-Preisträgern und den Gästen.

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 des Physikzentrums in Bad Honnef bedanken.

Prof. Dr. Klaus Blaum, MPI für Kernphysik Heidelberg; **Prof. Dr. Dmitry Budker**, Helmholtz-Institut und U Mainz; **Prof. Dr. Joachim Ulrich** und **Prof. Dr. Andrey Surzhykov**, PTB Braunschweig