

Vorschläge, um diese einzigartige Experimentierumgebung zu nutzen. Dies betrifft bessere Tests des Äquivalenzprinzips, Tests mit Bose-Einstein-Kondensaten, Tests mit großen Molekülen oder Nanoteilchen, um die Grenzen der Quantenmechanik auszuloten, oder Experimente von Suprafluiden, also makroskopischen Quantensystemen. Mit Letzterem könnten universelle Eigenschaften, kritische Phänomene und Phasenübergänge viel genauer als auf der Erde ausgemessen werden, da diese mit ihrer Schwerkraft die Symmetrie des Systems stören.

Dies alles sowie aufkommende Technologien und Modellierungsverfahren wurde beim 565. WE-Heraeus-Seminar, das vom 23. bis 27. Oktober 2017 in Bremen stattfand, vorgestellt und diskutiert. Als Redner kamen die Projektverantwortlichen sowie leitenden Wissenschaftler einer Reihe von Raumfahrtprojekten, darunter F. Everitt aus Stanford (GP-B), M. Rodrigues aus Paris (MICROSCOPE) und I. Ciufolini aus Lecce (LAGEOS und LARES). Zudem haben Vertreter von Raumfahrtagenturen teilgenommen. Auch wenn wie so oft die Zeit zu kurz war, gab es doch viel Gelegenheit zur angeregten Diskussion. Als ein Ergebnis dieses Seminars soll eine Roadmap für Projekte aus dem Bereich Fundamental Physics in Space formuliert werden.

Wir danken der WE-Heraeus-Stiftung ganz herzlich für ihre großzügige finanzielle Unterstützung.

Meike List und Claus Lämmerzahl

## QCD – Old Challenges and New Opportunities

### WE-Heraeus Physikschule

Die Theorie der starken Wechselwirkung zwischen den Quarks, den Bausteinen, aus denen Protonen, Neutronen und Atomkerne aufgebaut sind, ist die Quanten-Chromodynamik (QCD). Diese Theorie ist als nicht-Abelsche Eichtheorie mit einer zugrunde liegenden SU(3)-Farbsymmetrie der wechselwirkenden Quarks und Gluonen, der Austauschbosonen der QCD, formuliert. Der Freiheitsgrad der Farbladung führt zu Selbstkopplung von Gluonen und zu den zwei charakteristischen Eigenschaften der QCD, Confinement und asymptotische Freiheit. Die theoretische Beschreibung von QCD-Prozessen auf einer harten Skala, das heißt bei großen Impulsüberträgen, beruht auf einer störungstheoretischen Entwicklung nach der starken Kopplungskonstanten. Bei QCD-Prozessen mit kleinen Impulsüberträgen ist die Konvergenz dieser störungstheoretischen Behandlung nicht mehr gegeben, und effektive hadronische Freiheitsgrade werden zur Beschreibung in diesem nicht-perturbativen Bereich verwendet.

Bei dieser Physikschule, die vom 24. bis 30. September im Physikzentrum Bad Honnef stattfand, fassten einführende Vorlesungen das gegenwärtige Verständnis der Struktur des Protons innerhalb der QCD zusammen und vermittelten den Teilnehmern das Rüstzeug zum Verständnis der folgenden Vorlesungen. Diese stellten viele Aspekte des nicht-perturbativen Bereichs der QCD vor, z. B. den Schwinger-Dyson-Ansatz, die chirale Dynamik, das Tensor-Pomeron-Modell zum Verständnis der Spin-Struktur des Pomerons sowie die Formulierung der QCD als Gittertheorie. Übersichtsvorträge behandelten die Experimente zur QCD bei HERA (DESY), am TEVATRON (Fermilab) sowie am RHIC (Brookhaven). Sprecher der ALICE-, ATLAS-, CMS-, LHCb- und TOTEM-Kollaborationen am LHC präsentierten den Stand der Analysen von QCD-Prozessen.

Vorträge der Teilnehmer sowie Posterbeiträge mit eigenen Resultaten ergänzten das Programm. Eine Wanderung rundete das wissenschaftliche Programm ab und gab Gelegenheit für Diskussionen. Weitere Möglichkeiten für anregende Diskussionen gab es für die 82 Teilnehmer aus 24 Ländern im Lichtenberg-Keller des Physikzentrums. Im Namen aller Teilnehmer möchten wir uns bei der WE-Heraeus Stiftung herzlich bedanken für die großzügige finanzielle Unterstützung und für die perfekte Organisation.

Antoni Szczurek und Rainer Schicker

## Foundations and New Methods in Theoretical Physics

### WE-Heraeus-Sommerschule und 23. Doktorandenschule „Saalburg“

Vom 4. bis 15. September 2017 fand in Wolfersdorf (nahe Jena) die 23. Auflage der Doktorandenschule statt, welche bis 2001 in Saalburg (Thüringen) beheimatet war. Es kamen 28 Studentinnen und Studenten aus 17 Institutionen zusammen, um ihre Ausbildung im Hinblick auf eine Postdoktoranden-Phase zu verbreitern in den Gebieten Quantenfeldtheorie, Teilchenphysik und Gravitation. Ziel der Schule ist das Heranführen an neue Methoden, Techniken und mathematische Hilfsmittel, die wegen der starken Vernetzung der modernen theoretischen Physik für eine akademische Karriere nutzbringend sind.

Geboten wurden fünf Kurse über Three dimensional gravity (Maximo Bañados, Universidad Católica de Chile, Santiago de Chile), Dark matter, baryogenesis and all that (Laura Covi, U Göttingen), Entanglement (Jan de Boer, U Amsterdam), Cosmology, where smallest and largest scales meet (Ruth Durrer, U Genf) und Exact perturbation theory (Marco Serone, SISSA, Triest).

Die üblichen vormittäglichen Vorlesungen wurden nachmittags ergänzt durch vierstündige Übungssitzungen, in denen unter Betreuung eines Dozenten in Kleingruppen eine Reihe von Übungsaufgaben zu bearbeiten und zu diskutieren waren. Lange Mittagspausen und ein gelegentliches Abendprogramm (Barbecue, Bowling, Fußball) erlaubten die notwendige Entspannung zwischendurch.

Traditionell wird an der Tafel vorgelesen, und gelegentlich finden sich Freiwillige, die aus ihren Aufzeichnungen mit Unterstützung des Dozenten ein LaTeX-Skript erstellen, welches später auf den Webseiten der Schule zu finden ist. Die Doktorandinnen und Doktoranden arbeiteten mit hoher Motivation und großem Einsatz an den Übungen und mussten häufig mit sanfter Gewalt zum Abendessen geholt werden.

Wie erstmalig 2015 fanden zunächst drei Kurse an sechs Tagen statt, der Sonntag war frei, danach wurden zwei Kurse an fünf Tagen durchgeführt. Aufgrund terminlicher Einschränkungen einiger Dozenten wurde die erste Woche erstmalig in Block-Form durchgeführt: Die Kurse fanden sequenziell statt und nicht parallel. Das Feedback der Teilnehmer hierzu war uneinheitlich. Der thematische Schwerpunkt lag in diesem Jahr auf „Gravitation“, was zu unerwarteten Synergieeffekten zwischen den Vorlesungen führte.

Etwa 65 % der Teilnehmer waren nicht deutschsprachig, gut ein Drittel (10) kamen aus dem Ausland, u. a. aus dem Iran, Japan, Mexiko und den USA. Der enge Kontakt zu den Dozenten und die informelle Atmosphäre eines abgeschiedenen Hotels tragen mit bei zum Erfolg der Schule, der sich auch in diesem Jahr wieder in einer sehr positiven studentischen Evaluation zeigte. Die elf Arbeitstage wurden durch einen Exkursionstag unterbrochen, der für Wanderungen zu Schlössern der Umgebung und für einen Besuch der Stadt Weimar genutzt wurde.

Wir danken der Wilhelm und Else Heraeus-Stiftung für ihre großzügige Förderung der Sommerschule.<sup>#)</sup>

Laura Covi, Olaf Lechtenfeld, Ivo Sachs und Stefan Theisen

#) Weitere Informationen zu der Sommerschule, einschließlich aller bisherigen Auflagen, lecture notes und Teilnehmer-Fotos finden sich unter <https://saalburg.aei.mpg.de>

Dr. Meike List, Prof. Dr. Claus Lämmerzahl; ZARM, Uni Bremen

Prof. Antoni Szczurek, Institute of Nuclear Physics PAN und Universität Krakau, Polen; Dr. Rainer Schicker, Universität Heidelberg

Prof. Dr. Laura Covi, Universität Göttingen; Prof. Dr. Arthur Hebecker, Universität Heidelberg; Prof. Dr. Olaf Lechtenfeld, Universität Hannover; Prof. Dr. Ivo Sachs, LMU München; Prof. Dr. Stefan Theisen, Albert-Einstein-Institut Potsdam