

## Algebro-geometric methods in fundamental physics

### 515. WE-Heraeus-Seminar

Das Hauptziel dieses Seminar war es, eine Brücke zwischen der Mathematik und ihren Anwendungen in der Physik zu schlagen. Speziell ging es um neue Entwicklungen in algebro-geometrischen Methoden sowie der Integrabilität partieller Differentialgleichungen und ihrer Anwendungen in der Eichtheorie, Stringtheorie, Quantenmechanik und Allgemeinen Relativitätstheorie. Etwas allgemeiner ausgedrückt ging es um die vom Fields-Medaillen-Gewinner Sir Michael Atiyah (Edinburgh) gestellte Frage: „The Future of Physics: Algebra or Geometry?“, was letztlich wieder in dem großen Problem der heutigen theoretischen Physik, der Vereinbarkeit von Allgemeiner Relativitätstheorie und Quantentheorie, mündete.

In all diesen Überlegungen spielt die Zahlentheorie eine entscheidende Rolle. Dies wurde in dem Vortrag von Don Zagier (Bonn) deutlich, der neue auf Ramanujan zurückgehende Konzepte einführte und auf die Quantenmechanik Schwarzer Löcher, auf die AdS/CFT-Korrespondenz und die Stringtheorie anwendete. Weiter ging es auf der mathematischen Seite um analytische Lösungen integrierbarer partieller Differentialgleichungen sowie um die Konstruktion und Eigenschaften verschiedener spezieller Funktionen wie Theta-Funktionen oder multivariabler Sigma-Funktionen und deren Verallgemeinerungen. Auch die Knotentheorie spielt in diesem Zusammenhang eine Rolle.

Damit war der Rahmen dieser Tagung definiert. Es ging dann im Folgenden um (i) Lösungen mechanischer Systeme wie Kirchhoff-Gleichungen oder Euler-Frahm-Kreisel, (ii) solitäre Lösungen der Einsteinschen Feldgleichungen und Lösungen der Geodätengleichung in verschiedenen Raumzeiten, (iii) Lösungen des Skyrme-Modells für Nukleonen und Kerne und der Yang-Mills-Gleichungen für magnetische Monopole, (iv) Lösungen von weiteren speziellen Gleichungen wie der nichtlinearen Wärmeleitungsgleichung oder der Gross-Pitaevskii-Gleichung, (v) konform-invariante Feldtheorien, (vi) Stringtheorie, sowie um (viii) festkörpertheoretische Fragestellungen.

Zum Schluss gab es einen Ausblick auf eine Verallgemeinerung des gesamten Formalismus, nämlich die „tropische Geometrie“, für die es aber noch nicht so viele physikrelevante Anwendungen gibt. Abgerundet wurde das Seminar durch einen Abendvortrag von M. Kramer (Bonn) über die Methoden der genauen Ausmessung von Binärsystemen, einer physikalischen Fragestellung, in der dieses Gebiet der Mathematik seinen Ursprung hat.

Wir danken den vielen Rednerinnen und Rednern für ihre engagierten Vorträge bei einem insgesamt recht intensiven

Programm. Auch war das Seminar sehr gut besucht, so dass wir daran denken, dieses in ähnlicher Form zu wiederholen. Wir danken der WE-Heraeus-Stiftung ganz herzlich für ihre Unterstützung und dem Physikzentrum Bad Honnef für die Gastfreundschaft.

Claus Lämmerzahl

## Quantum Chromodynamics: History and Prospects

### 516. WE-Heraeus-Seminar

Von 3. bis 8. September 2012 trafen sich in Oberwölz, Österreich, über 50 Physiker und Physikerinnen beim 516. WE-Heraeus-Seminar. Wesentlicher Anlass war, dass vor 40 Jahren, im Herbst 1972, auf der Hochenergiephysik-Konferenz in Chicago die Quantenchromodynamik (QCD) als grundlegende Theorie der starken Wechselwirkung vorgeschlagen wurde. Die Theorie wurde schließlich mit allen Details im Frühjahr 1973 von H. Fritzsch, M. Gell-Mann und H. Leutwyler publiziert. Sie bildet seither die Basis für die starke Wechselwirkung der Hadronen. Auf Grundlage der QCD sollten nicht nur der Aufbau und die Reaktionen sämtlicher Hadronen, sondern darüber hinaus auch die starken Kräfte in und zwischen den Atomkernen beschreibbar sein. Obwohl die QCD seit nunmehr fast 40 Jahren vorliegt, gelang es bis dato nicht, eine umfassende Lösung zu erzielen, vielmehr steht eine solche als Millenniumsproblem, wie vom Clay Mathematics Institute mit einer Belohnung von einer Million US Dollar ausgeschrieben, immer noch aus.

In Oberwölz waren nicht nur die Gründungsväter der Theorie, H. Fritzsch und H. Leutwyler, anwesend (M. Gell-Mann musste seine Teilnahme kurzfristig absagen), sondern auch einige wesentliche Forscher aus den Anfängen der QCD, wie etwa M. Bander, J. M. Cornwall, P. Minkowski, F. Ravndal, G. Zweig u. a. Der erste Tag war daher den Ursprüngen der QCD und ihrer frühen Entwicklung gewidmet, wobei T. Cao von der Boston University auch eine wissenschaftstheoretisch motivierte Präsentation über die Teilchenphysik Anfang der 1970er-Jahre bot.

An den folgenden vier Tagen wurde versucht, die aktuelle Situation darzustellen. Angefangen von perturbativer QCD, die eine gute Übereinstimmung mit Hochenergie-Experimenten erzielt, wurden die meisten derzeit verfolgten Methoden zur Lösung bzw. zur Modellierung der QCD in Hauptvorträgen behandelt. Insbesondere wurde die Gitter-QCD mit dem Blick auf bisher Erreichtes und zukünftige Anwendungsfelder dargestellt, funktionale, holographische und Hamiltonsche Zugänge zur QCD diskutiert, relativistische Konstituenten-Quarkmodelle

**Prof. Dr. Claus Lämmerzahl**, Universität Bremen / ZARM, Bremen

**Prof. Dr. Harald Fritzs**ch, LMU München; **Prof. Dr. Willibald Plessas**, Karl-Franzens-Universität Graz

**Dr. Lisa Edelhäuser**, RWTH Aachen

**Dr. Jens Elgeti**, Forschungszentrum Jülich, **Dr. Benjamin M. Friedrich**, MPI für Physik komplexer Systeme, Dresden

mit ihren Möglichkeiten präsentiert sowie die Phänomene der chiralen Symmetriebrechung, des Confinements und des Quark-Gluon-Plasmas besprochen. Einige Vorträge widmeten sich schließlich den Sichtweisen über die originäre QCD hinaus, etwa in Bezug auf Flavor-Symmetrie, Dunkle Materie und große Vereinheitlichung aller Wechselwirkungen.

Insgesamt wurden 22 Haupt- und ebenso viele Kurzvorträge gehalten. Das Rahmenprogramm versuchte, den Teilnehmer/innen aus weltweit 15 Nationen die lokalen Attraktionen näher zu bringen, etwa durch eine Wanderung in den Wölzer Tauern, einen Besuch im Holzmuseum St. Ruprecht ob Murau oder eine Bewirtung (Heraeus-Abend) in einer traditionellen Oberwölzer Gastwirtschaft. Wir danken der WE-Heraeus-Stiftung für ihren Beitrag zur Finanzierung des Seminars.

Harald Fritzs

## Heavy particles at the LHC

### DPG-Physikschule

„We live in exciting times“ war das eigentliche Motto der ersten Teilchenphysik-Herbstschule in Bad Honnef. Unter der Organisation von Tilman Plehn und Thomas Schörner-Sadenius gab es zu fünf Themenschwerpunkten Vorträge von international führenden Theoretikern und Experimentalphysikern (drei Sprecherinnen, neun Sprecher), die in einer ausgewogenen Mischung die Vermessung bereits bekannter schwerer Elementarteilchen, Neuentdeckungen und das Entdeckungspotenzial für unbekannte und exotische schwere Teilchen am LHC abdeckten. „Schwer“ sind dabei von den bekannten Teilchen die W/Z-Bosonen, das Top-Quark und natürlich auch die aktuellste Teilchen-Neuentdeckung am LHC, ein Boson, das bis jetzt im Rahmen der Messgenauigkeit die Eigenschaften des Standardmodell-Higgs-Bosons aufweist. Dazu kommen mögliche noch unbekannte Teilchen, z. B. Dunkle-Materie-Kandidaten, supersymmetrische oder exotische und stabile schwere Elementarteilchen.

Nach einer Diskussion experimenteller Grundlagen zum Thema LHC, QCD, schwere Eichbosonen und Jets von Lucia di Ciaccio (Annecy), beleuchteten Adrian Signer (PSI) und Yvonne Peters (Göttingen/DESY) aus theoretischer und experimenteller Sicht das Thema Top-Quark. Von experimenteller Seite aus bekam das internationale Publikum aus Doktoranden und Postdocs u. a. einen Überblick über unterschiedliche Variablen zur Bestimmung der Top-Quark Eigenschaften, während der theoretische Vortrag sich mit der Berechnung der Topproduktion in höheren Ordnungen und deren Schwierigkeiten beschäftigte.

Vivek Sharma (UC San Diego) und Tao

Han (Pittsburgh) beleuchteten das Thema „Higgs Boson at the LHC“ aus experimenteller und theoretischer Sicht und besprachen insbesondere die einzelnen Entdeckungskanäle, ihr Entdeckungspotenzial am LHC und die Übereinstimmung der Messungen mit den theoretischen Standardmodell-Vorhersagen.

Ein großer Teil der Schule behandelte auch mögliche schwere, aber noch unentdeckte Teilchen jenseits des Standardmodells. Bei eher trauriger Datenlage zur Supersymmetrie sind sich zumindest beide Experimente, Atlas und CMS, darin einig, dass Supersymmetrie nicht „um die Ecke“ zu finden ist, sondern sich entweder gut versteckt oder mögliche Superpartner erst bei höheren Energien zu finden sind. Die Möglichkeit, aktuelle Suchen nach supersymmetrischen Teilchen und die Suchgrenzen zu verstehen, lieferte Richard Cavanaugh (UI Chicago), während Graham Kribs (Oregon) die theoretischen Grundlagen dieser Modellklasse vermittelte.

Zu den eher ungewöhnlichen Suchen und Theorien gab es Vorträge zu „stabilen schweren Teilchen“ von Aafke Kraan (INFN Pisa), zu „Exotica“ von Albert Roeck (CERN) und „other exciting stuff“ von Graham Kribs. Den Gegenpol zur Diskussion schwerer Teilchen bildete der Vortrag von Jörg Jäckel über sehr leichte Teilchen. Dabei entführte er die Zuhörer in die Welt der Produktion und Detektion von sehr leichten Bosonen und diskutierte Experimente wie „Light shines through walls“ und Axion-Suchen.

Den Vortragsmarathon rundeten zwei unterhaltsame Abendvorträge ab: Einen Abstecher in die Astrophysik lieferte Dan Hooper (FNAL/ U Chicago) zur Dunklen Materie. Er ging insbesondere auf eine umstrittene 130-GeV-Diphoton-Linie in den Fermi-Daten ein, die seit einiger Zeit in der Diskussion steht, und besprach ausführlich die Zusammenhänge und mögliche Interpretationen. Den zweiten Abendvortrag hielt Tom Ferbel (Rochester), der einen historischen, teils philosophischen und amüsanten Auszug zum Thema Top-Quark und (Nicht-) Entdeckungen in der Teilchenphysik lieferte.

Das Vortragsprogramm der Herbstschule spiegelte somit die nahe Zusammenarbeit und das Ineinandergreifen von Theorie und Experiment in den Zeiten aktueller Daten vom LHC wider und bot den Zuhörern einen guten Überblick und einige tiefere Zusammenhänge, die oft unerklärt und verschlossen bleiben. Die angenehme Atmosphäre des Physikzentrums lieferte ihren eigenen Beitrag zum Gelingen der Schule, was sich in interessanten Kaffeepausen und nächtlichen Diskussionen zeigte. Man möchte der Schule wünschen, dass sie sich in den nächsten Jahren mit ähnlich hervorragenden Sprechern zu einer „europäischen TASI“ weiterentwickelt.

Lisa Edelhäuser

## Forces and Flow in Biological Systems

### DPG-Physikschule

Kräfte und Bewegungen sind essentiell für viele Lebensprozesse. Die Eigenschaften von aktiver, lebendiger Materie unterscheiden sich allerdings stark von denen passiver Systeme und bedürfen deshalb oftmals einer ganz eigenen physikalischen Beschreibung. Die internationale DPG-Schule „Forces and Flows in Biological Systems“, welche vom 24. bis 28. September im Physikzentrum Bad Honnef stattfand, bot eine umfassende Einführung in diese interdisziplinäre Thematik, die vor allem von Studenten höherer Semester und von Doktoranden wahrgenommen wurde.

Die Organisatoren Gerhard Gompper (FZ Jülich) und Ulrich Schwarz (U Heidelberg) konnten gleich eine ganze Reihe von international ausgewiesenen Kapazitäten gewinnen, um anhand aktueller Forschung sowohl den state-of-the-art aktueller Modelle und Methoden vorzustellen als auch ein breites Spektrum von biologischen Anwendungen aufzuzeigen. Ein besonderes Element waren drei einführende Vorträge zu Hydrodynamik, Elastizitätstheorie und Simulationsmethoden, die wichtige Grundlagen für alle Teilnehmer bereitstellten. Darauf aufbauend wurden dann zahlreiche Themen der aktuellen Forschung behandelt, z.B. Strukturbildung in einfachen Modellsystemen aus Polymeren und molekularen Motoren, das Schwimmen von Mikroorganismen, die Symmetriebrechung in der Embryonalentwicklung und die Modellierung ganzer Organe wie der Leber. Die Physik des Nichtgleichgewichts zog sich dabei wie ein Roter Faden durch alle Vorträge. Während in einigen Fällen die Modellierung auf etablierte Konzepte zurückgreifen kann (z. B. lässt sich die Kontraktilität biologischer Systeme in manchen Zusammenhängen mit Methoden der Thermoelastizität behandeln), müssen in vielen Fällen vollkommen neue Theorien entwickelt werden (z. B. für die Beschreibung von Gewebe als „aktive Flüssigkeit“). Mit der Kombination aus einführenden Vorträgen am Anfang der Tagung und der Darstellung aktueller Forschung während des Rests der Woche ist es gelungen, Studenten einen profunden Einblick in dieses faszinierende und sich rasch entwickelnde Feld der Physik zu vermitteln. Auch Dank des neu renovierten Lichtenberg-Kellers, der traditionellen Wanderung ins Siebengebirge und zweier Poster-Sessions hatten die über 80 Teilnehmer reichlich Gelegenheit, auch außerhalb der Vorträge mit den Vortragenden und anderen Teilnehmern ins Gespräch zu kommen. Dank gebührt den Organisatoren für die Vorbereitung dieser sehr gelungenen Schule sowie der Wilhelm und Else Heraeus-Stiftung für die großzügige finanzielle Unterstützung.

Jens Elgeti und Benjamin M. Friedrich