



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
WIEN
Vienna University of Technology

INSTITUTE for
THEORETICAL
PHYSICS

Vienna University of Technology



Bachelor- / Projekt- / Masterarbeiten aus Fundamentale Wechselwirkungen

Daniel Grumiller, Andreas Ipp, Johanna Knapp,
Anton Rebhan, Andreas Schmitt

Projektarbeit:

- Black Hole Physics (136.025)
- Symmetrien in den fundamentalen Wechselwirkungen (135.026)
- Teilchenphysik (135.027)
- Thermal Field Theory (136.023)

14. März 2013

Bachelor- / Projektarbeit

- Wissenschaftliches Arbeiten
 - Einlesen in bestehende Literatur (~1 paper + Referenzen)
 - Darauf aufbauend eigenständige Arbeit
 - Gesamtaufwand: 6-8 Wochen Vollzeitäquivalent
- Bachelorarbeit
 - Umfang: 20-50 Seiten
 - Gesetzt in TeX, LyX
 - Richtig zitieren (kein Plagiat!)

Fundamentale Wechselwirkungen

- Gravitation (→ Schwarze Löcher)
- Elektromagnetische Kraft (→ QED Plasma)
- Schwache Kernkraft
- Starke Kernkraft (→ Neutronensterne, Quark Gluon Plasma)

Vereinheitlichte Beschreibung:

- Stringtheorie
- AdS/CFT-Korrespondenz

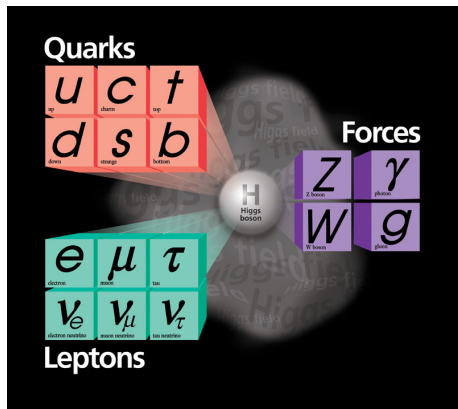
PrA Teilchenphysik

PrA Thermische Feldtheorie

Anton REBHAN

Institut für Theoretische Physik

Standardmodell der Teilchenphysik



Alle bekannten Elementarteilchen (hunderte!) aus diesen aufgebaut

Theoretische Beschreibung durch **Quantenfeldtheorie**
(nicht-Abelsche Eichtheorien)

Bsp. für PrA: Asymptotic Freedom analysed in Coulomb gauge

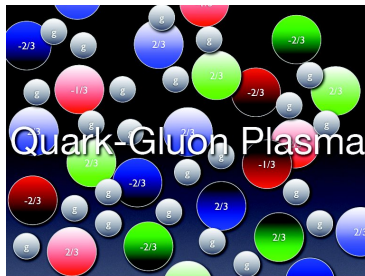
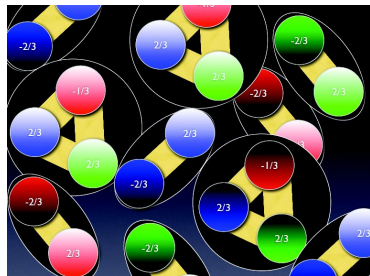
Quark-Gluon-Plasma



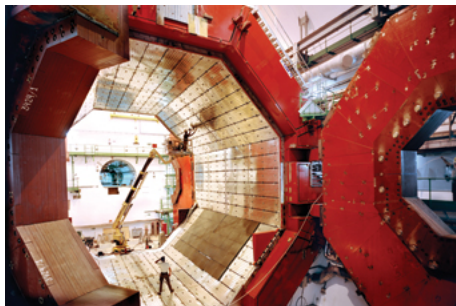
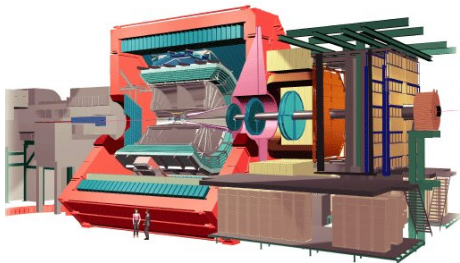
Confinement \Rightarrow

Hadronen (Bindungszustände von Quarks) können nicht "ionisiert" werden!

Aber bei ultrarelativistischen Temperaturen ($T_c \approx 2 \cdot 10^9$ K) steigt die Dichte ($\propto T^3$) so, dass Quarks nicht mehr wissen, an wen sie gebunden sind \rightarrow **Deconfinement**



Am LHC des CERN: **A** Large **I**on **C**ollider **E**xperiment
(zusätzlich zu CMS und ATLAS)

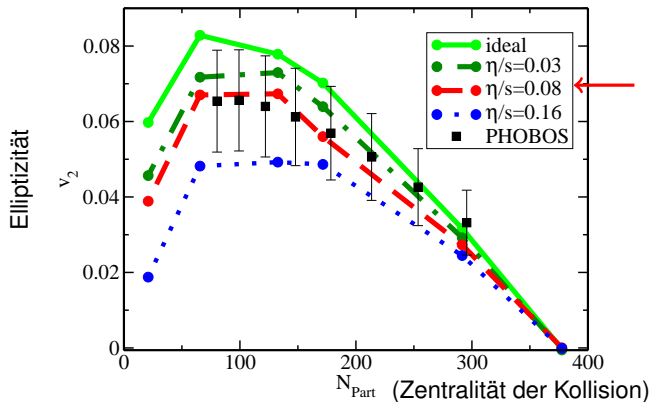


Pb+Pb mit 5.5 TeV/Nukleon

Hydrodynamische Simulationen

P. Romatschke & U. Romatschke, Phys.Rev.Lett.99:172301,2007:

Hydrodynamische Simulation mit verschiedenen Werten von spezifischer Viskosität η/s :

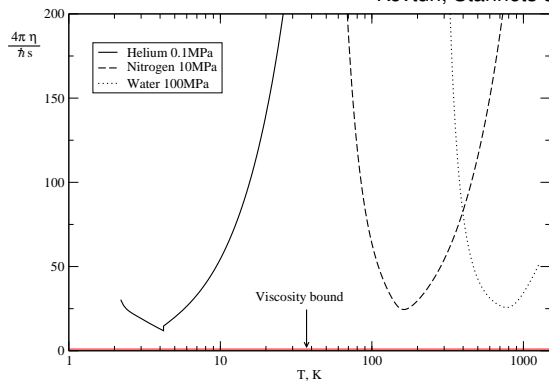


Perfektste Flüssigkeit?

Spezifische Viskosität des QGP liegt gerade bei (vermutetem) Minimalwert, der quantenfeldtheoretisch möglich ist

$$\eta/s\hbar \geq \frac{1}{4\pi} \approx 0.08$$

Kovtun, Starinets & Son (2005), Phys.Rev.Lett.94:111601



Superstring-Verbindung

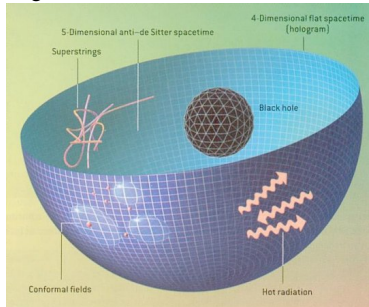
Hypothetischer Minimalwert für spezifische Viskosität

$$\eta/s\hbar = \frac{1}{4\pi} \approx 0.08$$

realisiert in einer besonders symmetrischen Variante der Quark-Gluon-Theorie bei unendlich starker Kopplung

(maximal supersymmetrisch, im Limes unendlich vieler Farbladungen)

Ergebnis basiert auf Maldacena-Vermutung der **Superstring-Theorie**



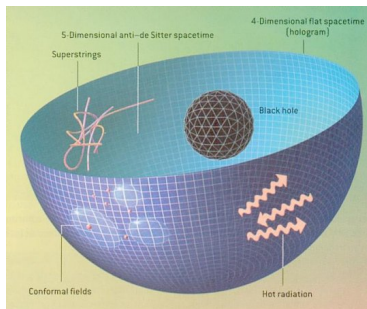
“Holographische Dualität” dieser Theorie zu Superstring-Theorie in einem 10-dimensionalen Raum ($AdS_5 \times S^5$) mit schwarzem Loch, mit Hawking-Temperatur gleich der Temperatur des (supersymmetrischen) Quark-Gluon-Plasma



Einstein Hawking Maldacena Witten

- Inzwischen verallgemeinert auf andere stark gekoppelte Theorien; andere Größen (Thermalisierungszeit, jet quenching & Mach cones, Phasendiagramm)
- neuerdings auch Festkörperphysik (quantum criticality) und kalte Atome

Superstring-Verbindung



“Holographische Dualität” dieser Theorie zu Superstring-Theorie in einem 10-dimensionalen Raum ($AdS_5 \times S_5$) mit schwarzem Loch, mit Hawking-Temperatur gleich der Temperatur des (supersymmetrischen) Quark-Gluon-Plasma



Einstein Hawking Maldacena Witten

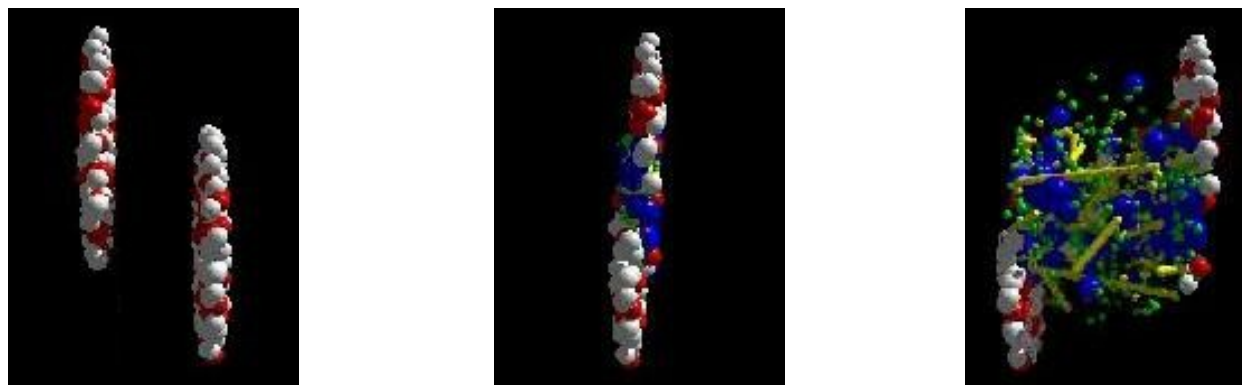
- Inzwischen verallgemeinert auf andere stark gekoppelte Theorien; andere Größen (Thermalisierungszeit, jet quenching & Mach cones, Phasendiagramm)
- neuerdings auch Festkörperphysik (quantum criticality) und kalte Atome

Themen:

- Aspekte von Gravitations-dualen (“top-down”) Modellen
- phänomenologische “bottom-up” Modelle

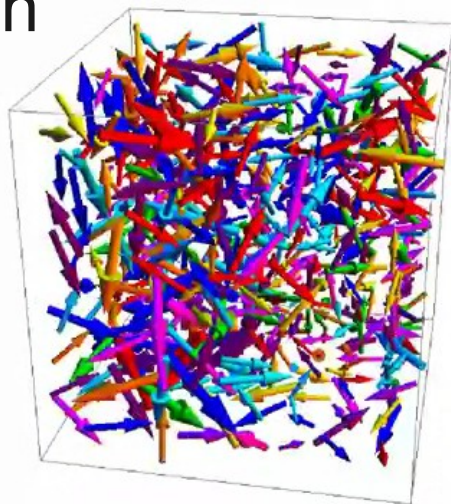
Quark-Gluon-Plasma

Schwerionenkollisionen am CERN LHC:



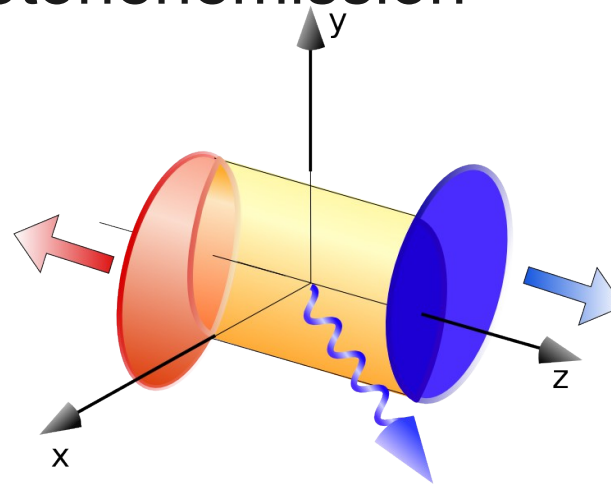
(Simulation by UrQMD group, Frankfurt)

Simulation von QGP-Instabilitäten



Andreas Ipp

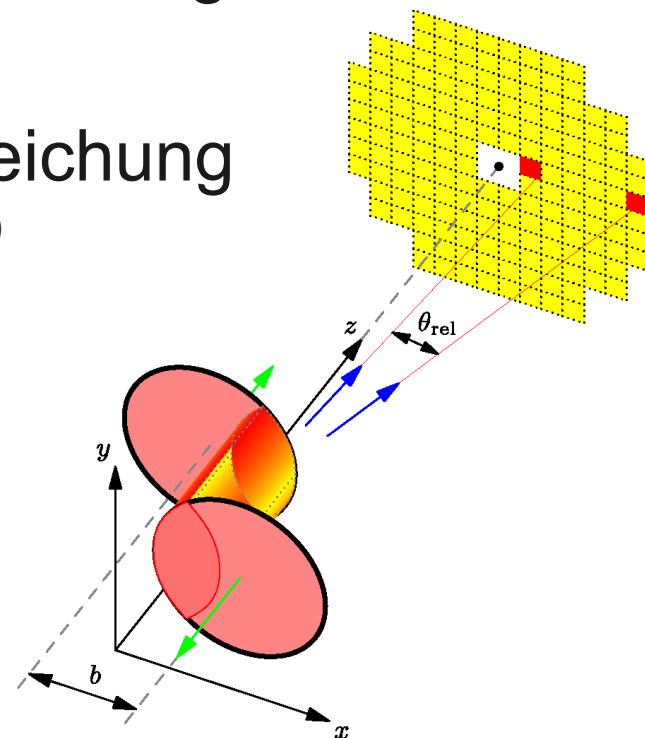
Berechnung von
Photonenemission



Mögliche Bachelor- / Projektarbeiten

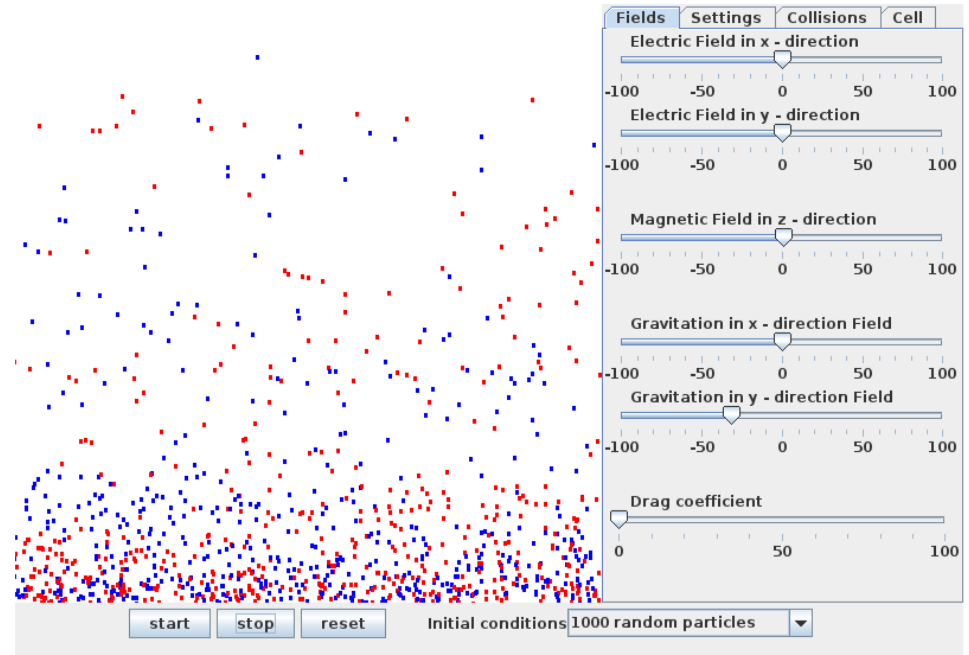
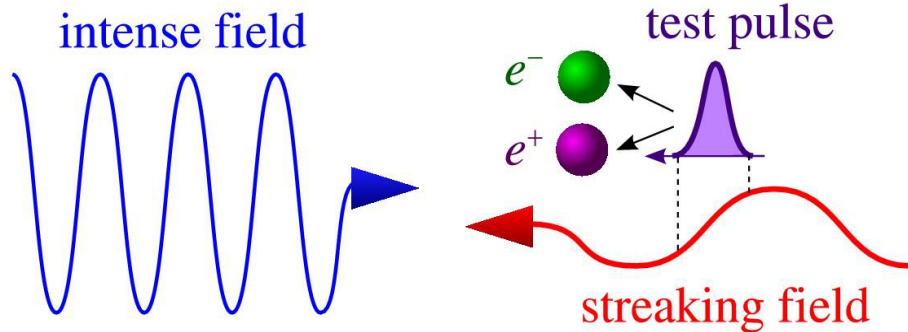
- Photonenrate mit „A-Hydro“-Modell berechnen
(z.B. Peter Somkuti: Berechnung mit altem Strickland-Modell)
- Fehlerabschätzung numerischer Differentialgleichungen
(z.B. Isabella Floss: Untersuchung des Gaußschen Gesetzes)
- Implementierung nichtabelscher Eichfixierungsroutinen am Gitter
- Funktionale Renormierungsgruppengleichung
(z.B. Alexander Haber: Thermodynamik des φ^4 -Modells)

Voraussetzungen: Quantentheorie, Relativitätstheorie,
(Quantenfeldtheorie)



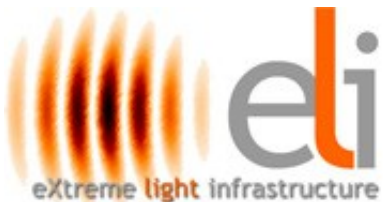
(Q)ED-Plasma / Particle-in-cell Simulation

Plasma Instabilitäten,
Paarerzeugung in starken Laserfeldern



OpenPixi: Ognen Kapetanovski, Kirill Streltsov

Extreme Light Infrastructure (2015)



Andreas Ipp

Gemeinsam mit:



Institut für Computergraphik und Algorithmen

Mögliche Bachelor- / Projektarbeiten

- Analyse/Verbesserung numerischer Verfahren
(z.B. Ognen Kapetanoski: Boris-Algorithmus mit Dämpfung)
- Thermische Randbedingungen implementieren
- Breit-Wheeler Paarerzeugung
(z.B. Matthias Kühmayer: Induzierter Photopionen-Zerfall)
- PIC Simulation auf andere Systeme anwenden

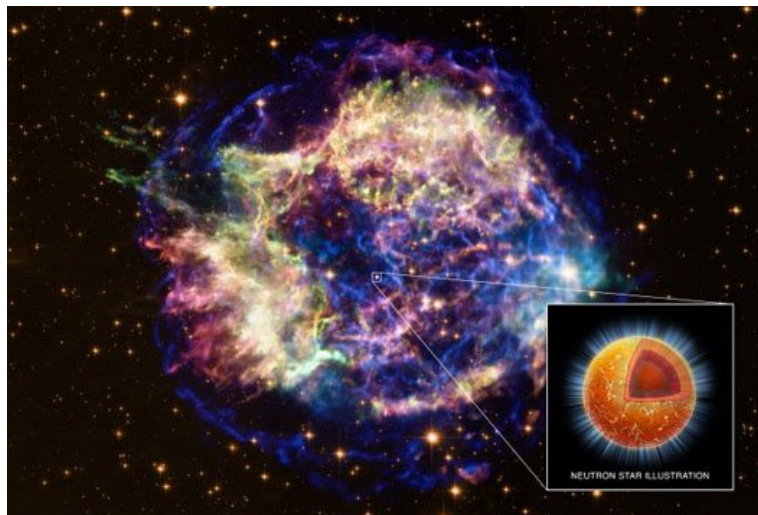
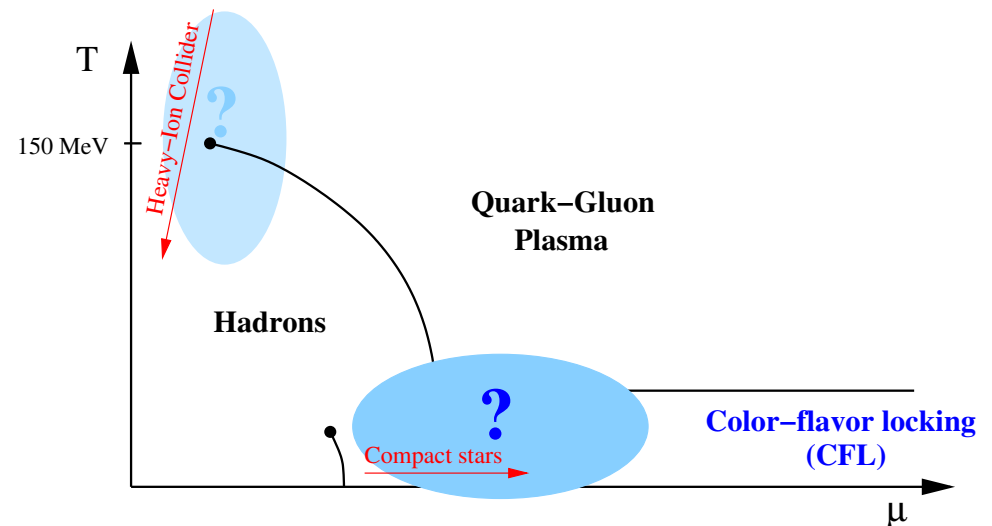


Voraussetzungen: Elektrodynamik, Programmieren, (Quanten[feld]theorie)

Andreas Ipp

● Themengebiete

- QCD-Phasendiagramm
- Neutronensterne
- Ultradichte Quark-(Kern-)materie
- Farbsupraleitung
(= Cooper-Paarung von Quarks)
- Materie in starken Magnetfeldern



● Zugehörige Spezial-Vorlesungen

- Thermal Field Theory SV 135.006
- Physics of Compact Stars VO 136.024
- Unusual Superfluids VO 136.048 (SS 2013)

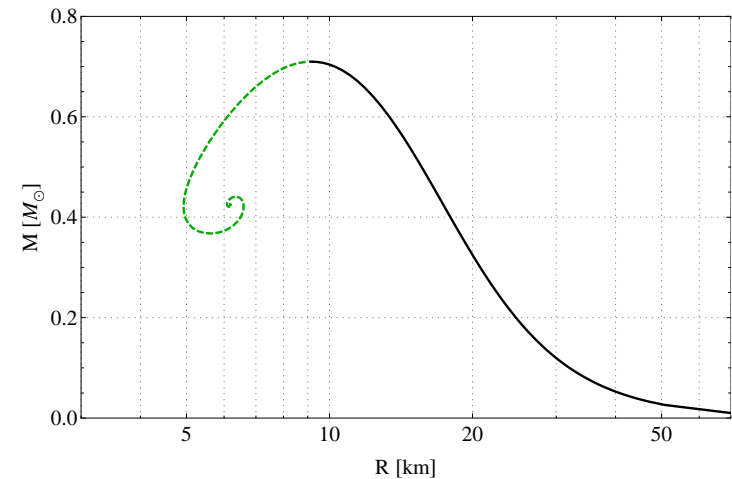
Skripte:

http://www.itp.tuwien.ac.at/Homepage_Andreas_Schmitt

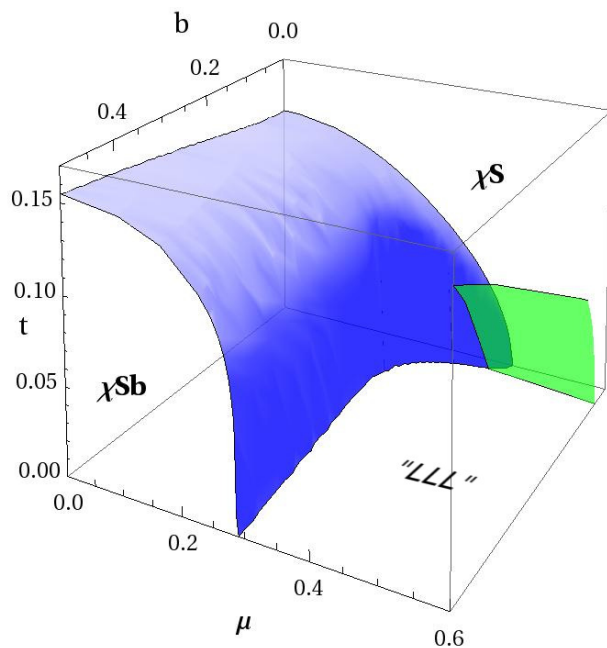
● Methoden und Voraussetzungen

● Methoden

- Quantenfeldtheorie (QCD oder Modell)
- Hydrodynamik (z.B. Supraflüssigkeit)
- AdS/CFT-Korrespondenz



(David Müller, Projektarbeit)



(Florian Preis, Doktorarbeit)

● Voraussetzungen

- Statistische Physik, Thermodynamik
- spezielle Relativitätstheorie
- Quantenmechanik

● Hilfreich bzw. erlernbar während der Arbeit

- Feldtheoretische Methoden
- gekrümmte Räume (Gravitation)
- numerische Methoden (Mathematica)

PA Black Hole Physics (136.025)

Daniel Grumiller

Institut für Theoretische Physik
Technische Universität Wien

$$S_{BH} = \frac{A}{4}$$



grumil@hep.itp.tuwien.ac.at,
<http://quark.itp.tuwien.ac.at/~grumil>

Gauge/gravity correspondence

aka AdS/CFT correspondence aka gauge-string duality aka holographic correspondence

Most quoted (fundamental interactions) theory papers (source: INSPIRE):

1. J. Maldacena 1998, “The Large N limit of superconformal field theories and supergravity” (8861 citations)
2. S. Weinberg 1967, “A Model of Leptons” (8309 citations)
3. M. Kobayashi and T. Maskawa 1973, “CP Violation in the Renormalizable Theory of Weak Interaction” (7156 citations)
4. E. Witten 1998, “Anti-de Sitter space and holography” (5934 citations)
5. L. Randall, R. Sundrum, “A Large mass hierarchy from a small extra dimension” (5720 citations)
6. S. Gubser, I. Klebanov and A. Polyakov 1998, “Gauge theory correlators from noncritical string theory” (5208 citations)

Gauge/gravity correspondence

aka AdS/CFT correspondence aka gauge-string duality aka holographic correspondence

Most quoted (fundamental interactions) theory papers (source: INSPIRE):

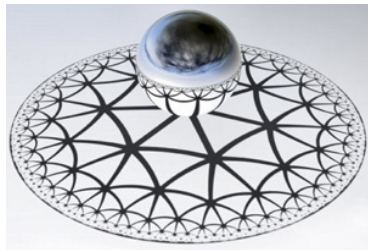
1. J. Maldacena 1998, “The Large N limit of superconformal field theories and supergravity” (8861 citations)
2. S. Weinberg 1967, “A Model of Leptons” (8309 citations)
3. M. Kobayashi and T. Maskawa 1973, “CP Violation in the Renormalizable Theory of Weak Interaction” (7156 citations)
4. E. Witten 1998, “Anti-de Sitter space and holography” (5934 citations)
5. L. Randall, R. Sundrum, “A Large mass hierarchy from a small extra dimension” (5720 citations)
6. S. Gubser, I. Klebanov and A. Polyakov 1998, “Gauge theory correlators from noncritical string theory” (5208 citations)

Gravity in $d + 1$ dimensions \leftrightarrow Gauge theory in d dimensions

Gravity applications of gauge/gravity correspondence

Possible topics for bachelor theses:

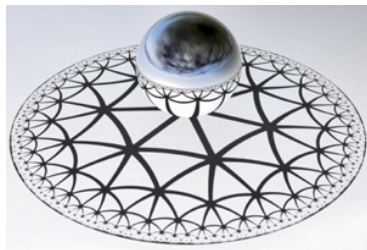
- ▶ Quantum gravity in lower dimensions
- ▶ $\text{AdS}_3/\text{CFT}_2$
- ▶ Non-AdS holography
- ▶ Higher spin gravity
- ▶ Classical solutions



Gravity applications of gauge/gravity correspondence

Possible topics for bachelor theses:

- ▶ Quantum gravity in lower dimensions
- ▶ $\text{AdS}_3/\text{CFT}_2$
- ▶ Non-AdS holography
- ▶ Higher spin gravity
- ▶ Classical solutions



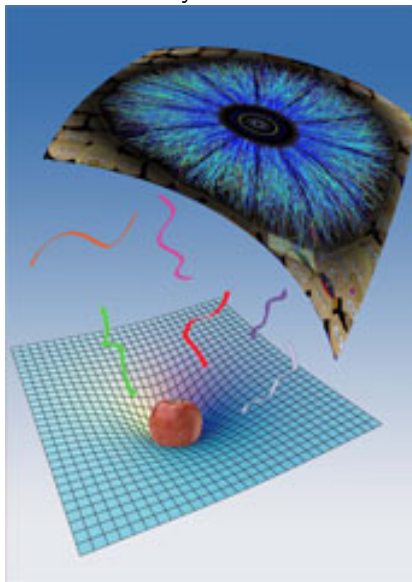
People at our institute you may consult if you have further questions:

- ▶ **Faculty:** Radoslav Rashkov
- ▶ **Postdocs:** Hamid Afshar, Pascal Anastasopoulos, Michael Gary, Mauricio Leston, Jan Rosseel, Stefan Stricker
- ▶ **PhDs:** Maria Irakleidou, Max Riegler
- ▶ **Master students:** Stefan Prohazka, Wolfgang Riedler, Jakob Salzer, Frieddrich Schöller

Selected recent papers on arXiv: 1302.0280, 1212.3609, 1211.4454

Gauge theory applications of gauge gravity correspondence

Presentation by Prof. Rebhan!

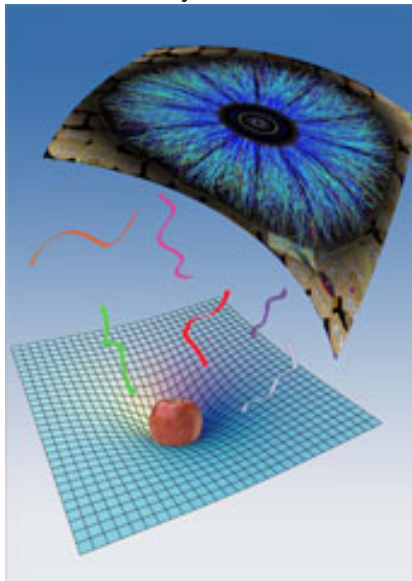


Gauge theory applications of gauge gravity correspondence

Presentation by Prof. Rebhan!

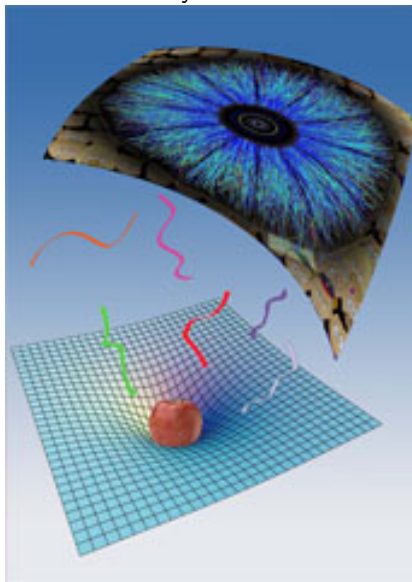
Pre-requisites:

- ▶ Quantum theory
- ▶ Special relativity
- ▶ Electrodynamics



Gauge theory applications of gauge gravity correspondence

Presentation by Prof. Rebhan!



Pre-requisites:

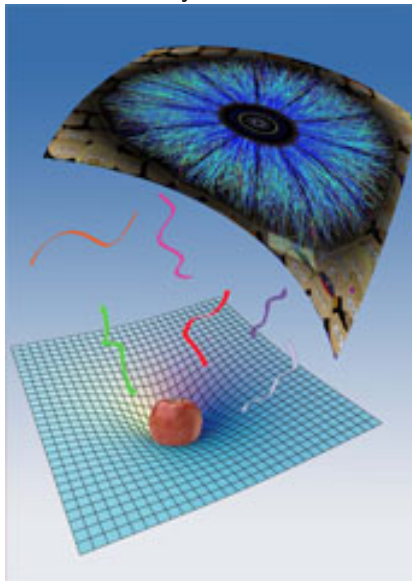
- ▶ Quantum theory
- ▶ Special relativity
- ▶ Electrodynamics

Useful:

- ▶ Quantum field theory [Rebhan, Ipp]
- ▶ General relativity [Balasin]
- ▶ Black holes [Grumiller]
- ▶ String theory [Knapp, Rashkov]
- ▶ Lie algebras [Schaller]
- ▶ Geometry, Topology and Physics [Skarke]

Gauge theory applications of gauge gravity correspondence

Presentation by Prof. Rebhan!



Pre-requisites:

- ▶ Quantum theory
- ▶ Special relativity
- ▶ Electrodynamics

Useful:

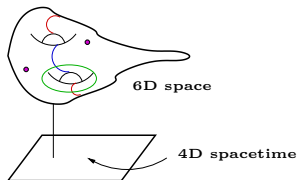
- ▶ Quantum field theory [Rebhan, Ipp]
- ▶ General relativity [Balasin]
- ▶ Black holes [Grumiller]
- ▶ String theory [Knapp, Rashkov]
- ▶ Lie algebras [Schaller]
- ▶ Geometry, Topology and Physics [Skarke]

Prospects:

- ▶ Master, PhD, Scientific paper, ...

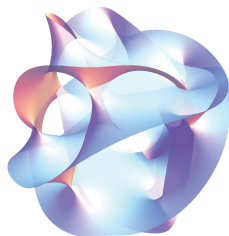
- Stringtheorie ermöglicht die **Vereinheitlichung der Naturkräfte**.
 - Beschreibung der Gravitation und der Wechselwirkungen der Teilchenphysik in einer physikalischen Theorie.
- Die fundamentalen Objekte sind kleine Fäden oder "Strings".
- **Grundlegende Eigenschaften:**
 - Höherdimensionale Raumzeit
 - Supersymmetrie
- **Kompaktifizierung:**

Wenn die Extradimensionen klein sind, sieht die Welt um uns herum effektiv vierdimensional aus.



Kompaktifizierung und Calabi-Yau

- Die Eigenschaften der Extradimensionen haben großen Einfluss auf die Physik in vier Dimensionen:
 - Teilchenmassen, Wechselwirkungen, etc.
- **Calabi-Yau** Mannigfaltigkeiten sind besonders wichtige Kandidaten für Extradimensionen.
- Typisches Beispiel: **Quintik**



Allgemeine Themen zur Stringtheorie

- **Superstrings und GSO-Projektion**
 - Supersymmetrische Theorien
 - Konsistente Superstringtheorien und ihr Spektrum
 - Laufende Arbeit: L. Giam: Gegenüberstellung von supersymmetrischen Theorien in 4 und 2 Dimensionen
- **T-Dualität**
 - Einfache Kompaktifizierungen
 - Elementares Verständnis von Stringdualitäten
 - D-branes und offenen Strings
- **Seibergdualität**
 - Elektrisch-magnetische Dualität in supersymmetrischen Theorien

Voraussetzungen: Quantentheorie, Quantenfeldtheorie, String Theory I

Themengebiete zu Calabi-Yaus

- **Calabi-Yaus basierend auf nicht-abelschen Eichtheorien**
 - Supersymmetrische Feldtheorien
 - Gruppentheorie
 - Berechnung von Zustandssummen
- **Calabi-Yaus in F-Theorie**
 - Geometrie von Calabi-Yaus
 - Vereiheitlichte Theorien aus Calabi-Yau Kompaktifizierungen
- **Matrixfaktorisierungen**
 - D-branes auf Calabi-Yaus
- **Mirrorsymmetrie**

Voraussetzungen: Quantentheorie, Quantenfeldtheorie, String Theory 1,2, GTP 1,2