Hessisches Kompetenzzentrum
für Hochleistungsrechnen

Simulation von Zwei-Farb-Quantenchromodynamik



Researchers
David Scheffler, Philipp Scior and Dominik Smith

Principal Investigator
Prof. Dr. Lorenz von Smekal

Project Term
2013 - 2015

Project Areas
Optics, Quantum Optics and Physics of Atoms, Molecules and Plasmas

Clusters
Lichtenberg Cluster Darmstadt

Institute
Theoriezentrum Institut für Kernphysik

University
Technische Universität Darmstadt

Introduction

Das Verhalten von Quarks und Gluonen wird durch die starke Wechselwirkung bestimmt, die theoretisch durch die Quantenchromodynamik (QCD) beschrieben wird. Die Elementarteilchen können in verschiedenen Formen auftreten. In „normaler“ Materie sind sie zu Neutronen und Protonen im Atomkern und zu weiteren Hadronen wie beispielsweise Pionen verbunden. Bei extrem hohen Temperaturen oder Dichten bildet sich allerdings ein Quark-Gluon-Plasma, wie es auch kurz nach dem Urknall existiert hat. Der Zustand von stark wechselwirkender Materie in Abhängigkeit von Temperatur und Dichte wird im Phasendiagramm zusammengefasst. Experimentell wird das Phasendiagramm der QCD zumeist durch hochenergetische Schwerionenstöße untersucht (z. B. am LHC, demnächst auch bei FAIR).

Methods

Monte-Carlo-Simulationen im Rahmen der Gittereichtheorie bieten einen wichtigen nicht-störungstheoretischen Zugang zur Untersuchung des QCD-Phasendiagramms. Dabei wird die vierdimensionale Raum-Zeit auf einem Gitter diskretisiert. Auf den Gitterpunkten werden dann Bewegungsgleichungen für Quarks und Gluonen gelöst. Aus den Ergebnissen von Simulationen bei verschiedenen Gitterabständen kann man zum Kontinuumslimes extrapolieren. Der Aufwand der Simulationen ist dabei abhängig von der verwendeten Gittergröße und den gewählten Parametern. Der interessante Fall von kleinen Quarkmassen verlangt besonders lange Rechnungen. Aufgrund des sogenannten Fermion-Vorzeichenproblems sind allerdings

JUSTUS-LIEBIG-UNIVERSITÄT GIESSEN · TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT · UNIKASSEL VERSITÄT · Philipps Universität Marburg

keine solchen QCD-Simulationen bei endlicher Dichte möglich. Ein Ausweg bietet die Untersuchung von QCD mit zwei statt drei Farbfreiheitsgraden. Diese QCD-artige Theorie hat kein Vorzeichenproblem. Zwei-Farb-QCD unterscheidet sich in manchen Punkten zur gewöhnlichen QCD. So sind beispielsweise Baryonen Bosonen. Außerdem ist die chirale Symmetriegruppe erweitert und es ergibt sich dadurch ein anderes Brechungsmuster der chiralen Symmetrie. Dennoch ist die Simulation von Zwei-FarbQCD ein wichtiges Mittel zur Entwicklung und zur Kontrolle von Methoden bei endlicher Baryonendichte. Bei der Diskretisierung der Bewegungsgleichungen gibt es gewisse Wahlfreiheiten, die im Kontinuumsgrenzfall äquivalent werden. Wir nutzen den Staggered-Fermion-Formalismus für zwei leichte Quarksorten und eine (tree-level) verbesserte Eichwirkung. Der Rational Hybrid Monte Carlo (RHMC) Algorithmus zur Generierung von Gitterkonfigurationen und die Messung von diversen Observablen ist vollständig in CUDA implementiert, sodass die Rechenleistung der NVIDIA-Grafikkarten des Lichtenberg-Clusters genutzt werden kann. Zentrales Element ist ein Conjugate Gradient-Modul zur Matrixinversion.

Results

In einem ersten Projekt wurden bei mehreren großen Quarkmassen das effektive Polyakov-LoopPotential und Polyakov-Loop-Korrelatoren bestimmt. Dieses Potential kann als Input für Modellrechnungen und funktionale Methoden genutzt werden. Aus dem Vergleich mit Rechnungen in der reinen Eichtheorie (Theorie ohne Quarks) lässt sich die Rückkopplung der Quarks auf die Eichfreiheitsgrade (Gluonen) bestimmen. Zudem dienen die Ergebnisse als Vergleichsunkt für effektive Feldtheorie, die ebenfalls in der Gruppe behandelt wird. Als Vorarbeiten zu Untersuchungen bei endlicher Dichte haben wir in einem zweiten Projekt zunächst Simulationen entlang der Temperaturachse bei verschwindender Dichte durchgeführt. Von hohem Interesse ist das Verhalten der Ordnungsparameter für die chirale Restoration und des Deconfinement-Übergangs als Funktion der Temperatur. Beide Übergänge treten als kontinuierliche Crossover auf. Für kleine Quarkmassen wurde das Skalierungsverhalten des chiralen Kondensats und der chiralen Suszeptibilität und daraus kritische Exponenten bestimmt. Weiter wurden Mesonenmassen berechnet. Für genauere Aussagen sind noch Rechnungen mit größeren Gittern nötig. In der Zukunft sind außerdem Simulationen bei endlicher Dichte geplant.

Reference

1. D. Scheffler, C. Schmidt, D. Smith, and L. von Smekal (2013), Chiral restoration and deconfinement in two-color QCD with two flavors of staggered quarks, PoS (LATTICE 2013) 191. https://doi.org/10.22323/1.187.0191

2. P. Scior, D. Scheffler, D. Smith, and L. von Smekal (2014), Effective SU(2) Polyakov Loop Theories with Heavy Quarks on the Lattice, PoS (LATTICE 2014) 173. https://doi.org/10.48550/arXiv.1412.7089

JUSTUS-LIEBIG-UNIVERSITÄT GIESSEN TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT UNIKASSEL VERSITÄT Philipps Universität Marburg

Last Update: 2022-06-30 22:56

JUSTUS-LIEBIG-UNIVERSITÄT GIESSEN
TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT
UNIKASSEL VERSITÄT
Philipps Universität Marburg