Monte-Carlo-Simulationen von G_2-QCD bei endlicher Baryonendichte

Researchers
Björn Wellegehausen

Principal Investigator
Prof. Dr. Lorenz von Smekal

Project Term
2015 - 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

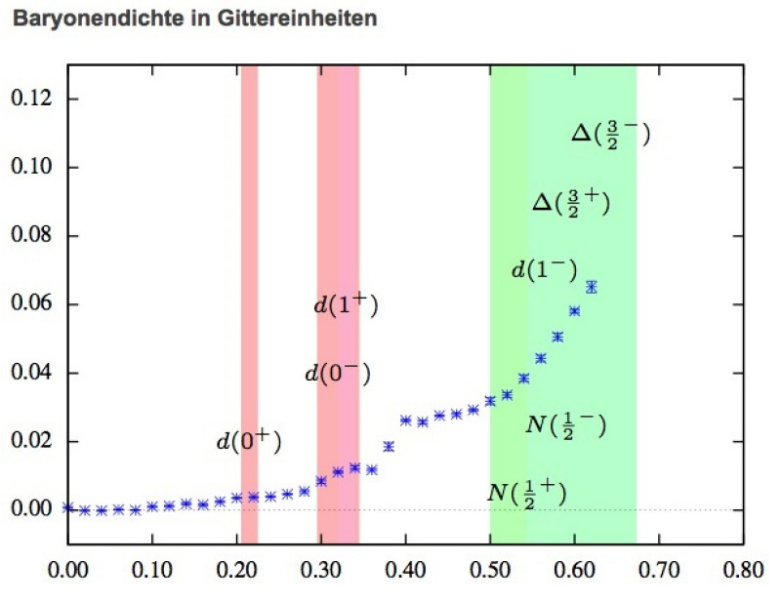

Abbildung: Baryonendichte in Gittereinheiten. Die vertikalen Bänder entsprechen den Baryonenmassen pro Quarkzahl (2 für Diquarks (δ). 3 für Nukleonen (N) und Deltas (Δ))

Introduction

Stark wechselwirkende Materie befeuert die Sterne und bildet fast die gesamte Masse des sichtbaren Universums. Die zugrunde liegende Theorie ist die Quantenchromodynamik (QCD). Diese Wechselwirkungen sind jedoch so komplex, dass unsere Beschreibung noch immer unvollständig ist. Sie sind dafür verantwortlich, dass Quarks und Gluonen in Hadronen wie dem Proton, dem Neutron oder dem Pion eingeschlossen sind. Bei extrem hohen Temperaturen, wie sie etwa 10 Millisekunden nach dem Urknall geherrscht haben, schmelzen die Hadronen und es entsteht ein neuer Materiezustand, den man das Quark-Gluon-Plasma nennt. Materie bei derartig extremen Temperaturen wird heute in relativistischen Schwerionenkollisionen wie im RHIC des Brookhaven National Laboratory oder im LHC am CERN künstlich erzeugt und experimentell untersucht.

Methods

Die theoretische Beschreibung des dabei beobachteten QCD-Phasenübergangs durch Monte-Carlo-Simulationen im Gitter-QCD ist sehr weit fortgeschritten und liefert Resultate, die mit den experimentellen Beobachtungen auf einem hohen Niveau übereinstimmen. Etwas anders ist die Situation bei vergleichbar

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

extremen Dichten, wie sie etwa im Inneren von Neutronensternen herrschen. Hier brechen unsere derzeitigen Simulationsmethoden aufgrund des Fermionen-Vorzeichenproblems zusammen, und man ist auf effektive Modelle und Theorien angewiesen, um das Phasendiagramm der QCD, die verschiedenen Phasen stark-wechselwirkender Materie und die Übergänge zwischen ihnen als Funktion von Temperatur und Baryonendichte theoretisch zu beschreiben. Für ein Verständnis der generellen Phänomene bei endlicher Baryonendichte bieten sich QCD-artige Theorien ohne Vorzeichenproblem als Alternative an. Selbst wenn sich solche Theorien von der QCD unterscheiden, sind sie doch auch für die Weiterentwicklung effektiver Theorien und Modelle zur Beschreibung dichter Materie von großer Bedeutung.

Results

Wir haben in (Wellegehausen et al.)[1] eine QCD-artige Theorie vorgeschlagen, die im Unterschied dazu alle relevanten Eigenschaften der QCD in sich vereint und für Simulationen auch bei großen Dichten und vergleichsweise niederen Temperaturen geeignet ist. Diese Theorie, die G_2-QCD, enthält Quarks mit sieben unterschiedlichen anstatt der üblichen drei Farben und 14 anstatt der üblichen acht verschiedenen Gluonen. Sie ist noch teurer zu simulieren als die QCD selbst, aber man darf noch reichhaltigere Phänomene erwarten. Wir sind zuversichtlich, dass mit dieser Theorie z. B. die Eigenschaften von Kernmaterie zumindest qualitativ untersucht werden können. In ersten Simulationen ist es uns gelungen, dass auch der problematische Bereich des Phasendiagramms, in dem das chemische Potential für die Baryonendichte groß im Vergleich zur Temperatur ist, tatsächlich GitterMonte-Carlo-Simulationen zugänglich ist, und neue Einblicke in die Theorie der starken Wechselwirkung ermöglicht.[1]

Discussion

Erste Evidenz für einen Phasenübergang zu gebundener Kernmaterie konnten wir durch Vergleich des von uns berechneten Baryonenspektrums dieser Theorie mit unseren Messungen der Baryonendichte als Funktion des chemischen Potentials bei niederen Temperaturen liefern.[2,3]

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

Reference

1. B.H. Wellegehausen, A. Maas, A. Wipf, and L. von Smekal (2012), The phase diagram of a gauge theory with fermionic baryons, Phys. Rev. D86, 111901. https://doi.org/10.1103/PhysRevD.86.111901

2. L. von Smekal, B.H. Wellegehausen, A. Maas, and A. Wipf (2013), G2-QCD: Spectroscopy and the phase diagram at zero temperature and finite density, PoS (LATTICE 2013) 186. https://doi.org/10.22323/1.187.0186

3. A. Maas, L. von Smekal, B.H. Wellegehausen, and A. Wipf (2014), Hadron masses and baryonic scales in G2-QCD at finite density, Phys. Rev. D89, 056007. https://doi.org/10.1103/PhysRevD.89.056007

http://www.pro-physik.de/details/news/4260621/Das_Innere_von_Neutronensternen_berechnen.html

Last Update: 2022-11-02 16:03