

Inhomogene Phasen im 1 + 1-dimensionalen Gross-Neveu Modell bei endlicher Anzahl von Fermionen-Flavors

Laurin Pannullo

Institut für Theoretische Physik

Der Atomkern im Zentrum eines Atoms ist aus Protonen und Neutronen aufgebaut (beide gehören zu den Hadronen), welche wiederum aus Quarks bestehen. Unserem aktuellen Verständnis nach besitzen Quarks keine weitere Substruktur und werden daher als Elementarteilchen bezeichnet. Sie interagieren über die sogenannte starke Wechselwirkung miteinander, die durch die Theorie der *Quantenchromodynamik* (QCD) beschrieben wird. Diese stark-wechselwirkenden Quarks können nun – wie z.B. Wasser – in verschiedenen Phasen auftreten. Hierbei sind für endliche Temperaturen und Baryon chemischem Potential das Quark-Gluon-Plasma und die hadronische Phase sowohl im Experiment als auch in der Theorie beobachtet worden.

Es ist mit den aktuellen Techniken in der theoretischen Physik nicht möglich das volle Phasendiagramm der QCD zu erforschen und daher werden oftmals einfachere Modelle untersucht, welche zentrale Eigenschaften der QCD abbilden. In solchen Modellen wurden weitere exotische Phasen gefunden, z.B. sogenannte inhomogene/kristalline Phasen, in der sich eine räumlich periodische Struktur wie in einem Kristall ausbildet. Diese inhomogenen Phasen wurden in solchen Modellen bisher nur in einer semi-klassischen Näherung gefunden, d.h., dass nicht alle Bestandteile des Modells Quantenfluktuationen unterliegen. Solch eine Näherung ist für bestimmte Fälle eine vertretbare Annahme, aber entspricht nicht der Realisierung in der Natur. Das einfachste Modell, das solche inhomogenen Phasen in der semi-klassischen Näherung aufweist, ist das *Gross-Neveu* (GN) Modell in einer Raum- und einer Zeitdimension.

In dieser Arbeit wurde untersucht, ob die inhomogenen Phasen im GN Modell nach dem Aufheben der semi-klassischen Näherung, d.h., unter dem Einfluss voller Quantenfluktuationen, verschwinden. Während die Untersuchungen dieses Modells in der semi-klassischen Näherung weitgehend analytisch bewerkstelligt werden konnten, erfordert das Aufheben dieser Näherung eine numerische Behandlung des Problems mit einem Computer. Die hier verwendete Technik ist die *Gitterfeldtheorie*, im Zuge derer die Raumzeit diskretisiert wird und das Problem so durch eine endliche Anzahl an Freiheitsgraden ausgedrückt wird. Damit reduziert sich das Problem auf hoch-dimensionale Integrale, welche mit einer numerischen Gitter-Monte-Carlo Simulation auf Hochleistungsrechnern berechnet werden können. Um physikalisch relevante Aussagen treffen zu können, müssen mehrere Berechnungen bei kleiner werdendem Gitterabstand ausgeführt werden, sodass die Ergebnisse zu Gitterabstand Null extrapoliert werden können.

Die weißen Linien in Abb. 1 sind die Phasengrenzen des

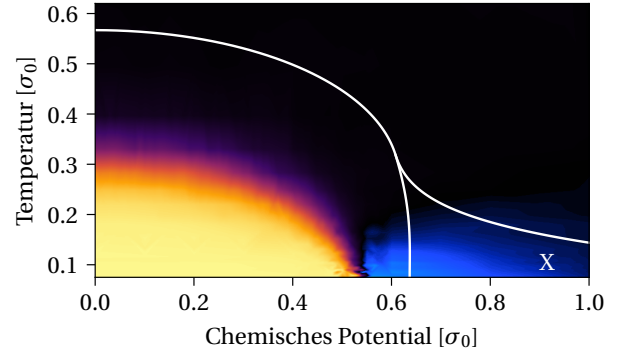


Abbildung 1: Phasendiagramm des GN Modells bei vollen Quantenfluktuationen und endlichem Gitterabstand.

GN Modells wie sie in der semi-klassischen Näherung in der Ebene von chemischem Potential und Temperatur gefunden werden. Die inhomogene Phase entspricht der mit "X" markierten Fläche. Die farbigen Bereiche sind das Hauptergebnis dieser Arbeit und stellen die Phasen dar, die unter dem Einfluss voller Quantenfluktuationen bei endlichem Gitterabstand gefunden werden – hierbei entsprechen die blauen Bereiche der inhomogenen Phase. Es muss erwähnt werden, dass die Weise, in der die Inhomogenität auftritt, nicht mehr streng als inhomogene Phase bezeichnet werden kann, jedoch für alle praktischen Betrachtungen äquivalent ist. Das Bemerkenswerte an den Ergebnissen der Arbeit ist, dass die Position im Phasendiagramm und die Gestalt der Materie in dieser inhomogenen Phase sehr ähnlich zu den Ergebnissen in der semi-klassischen Näherung ist. Dies zeigt, dass Ergebnisse, die in dieser Näherung produziert werden, tatsächlich qualitative Vorhersagen über die inhomogenen Phasen unter dem Einfluss voller Quantenfluktuationen bieten können. Dies ist sehr wertvoll, da die semi-klassische Näherung in Untersuchungen zu inhomogenen Phasen in anderen Modellen häufig einen ersten Startpunkt bietet.

Diese Ergebnisse stellen den ersten Fund von Inhomogenitäten bei vollen Quantenfluktuationen dar und bieten einen ersten Schritt zu einem umfänglicheren Verständnis wie und ob diese Phasen in QCD auftreten könnten. Dies ist zum Beispiel interessant für die Untersuchung von Neutronensternen, da in deren Innerem ähnliche Materiedichten zu finden sind, wie diese, bei denen inhomogene Phasen auftreten könnten. Die Bestätigung solcher Phasen könnte daher unser Verständnis über die innere Struktur solcher Objekte nachhaltig verändern.