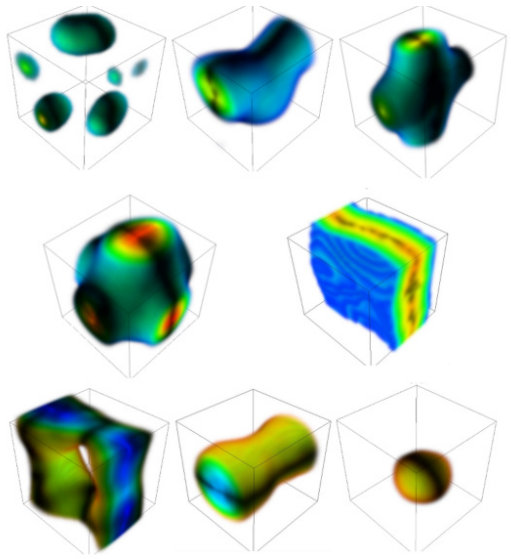
Hessisches Kompetenzzentrum
für Hochleistungsrechnen

Zeitabhängige Simulation nuklearer Pastamaterie



Researchers
B. Schütrumpf, M. Klatt, K. Mecke, P. G. Reinhard, G. Schröder-Turk and K. Iida

Principal Investigator
Prof. Dr. Joachim Maruhn

Project Term
2015 - 2015

Project Areas
Astrophysics and Astronomy

Clusters
LOEWE CSC Cluster Frankfurt

Institute
Fachgebiet Nukleare Astrophysik

University
Goethe Universität Frankfurt am Main

Introduction

Kernkollaps-Supernovaexplosionen sind relevant für viele astrophysikalische Phänomene wie z. B. die Synthese schwerer Elemente oder die Entstehung von Neutronensternen und schwarzen Löchern. Trotzdem ist der Mechanismus, der den Stern in der Endphase seines Daseins zur Explosion zwingt, bis heute nicht geklärt, auch wenn man die wichtigsten Beiträge zu kennen glaubt. Zu diesem Zweck werden in dieser Arbeit nukleare Pastastrukturen untersucht, die sowohl in solchen Supernovaexplosionen, wie auch in Neutronensternen auftreten können. Diese Strukturen wurde der Name „Pasta“ gegeben, weil die Materie oberhalb von zehn Prozent der nuklearen Sättigungsdichte zylindrische (Spaghetti) und auch plattenartige (Lasagne) Strukturen ausbildet, statt nahezu kugelförmige Kerne, aus denen Materie auf der Erde besteht. Diese beeinflussen die Neutrinostreuung, wobei die Neutrinos die wesentliche Rolle bei der Explosion einnehmen.

Methods

In dieser Arbeit wird die zeitabhängige wie auch die statische Hartree-Fock Näherung verwendet, um die Kernmaterie zu beschreiben. Die Wechselwirkung zwischen den Nukleonen wird hier über ein mittleres Feld vermittelt. Es wird also ein Selbstkonsistenzproblem gelöst ohne weitere Annahmen von Symmetrien aber mit periodischen Randbedingungen. Zur Analyse der Strukturen wird das mathematische Konzept der Minkowskifunktionale verwendet. Dies sind Werkzeuge der Integralgeometrie, die außer der Topologie auch die Größe, Oberfläche, Krümmung und sogar Deformationen der Struktur

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

beschreiben können.

Results

Die Rechnungen zeigen eine Vielzahl von verschiedenen, exotischen Formen (s. Abb. 1), die alle eindeutig mit den Minkowskifunktionalen klassifiziert werden können.[1] Außer den gut bekannten Spaghetti- und Lasagnephasen wurden auch netzartige, zusammenhängende Zylinder in zwei und drei Dimensionen gefunden. Darü- ber hinaus konnten Aussagen über das Vorkommen der verschiedenen Formen in Abhängigkeit des Protonenanteils gemacht werden.[2] Es konnte außerdem gezeigt werden, dass eine exotische Struktur, das Gyroid (s. Abb. 2), das auch schon in Polymerrechnungen und in den Flügeln von Schmetterlingen gefunden wurde, spontan aus einer zufälligen Anfangsverteilung gebildet wird.[3]

Discussion

Diese Struktur ist besonders interessant, da sie, wie auch der dreifach zusammenhängende Zylinder, eine dreifach periodische Minimalfläche begrenzt, die eine schraubenförmige Symmetrie aufweist und deshalb eine bestimmte Händigkeit hat. Es tritt, wie auch die Lasagnephase, bei ungefähr halber nuklearer Sättigungsdichte auf. Die Bindungsenergien dieser beiden Strukturen liegen sehr nahe, wobei die Bindungsenergie der plattenartigen Struktur leicht höher zu sein scheint. Das legt nahe, dass das Gyroid ein metastabiler Zustand ist.

Figures

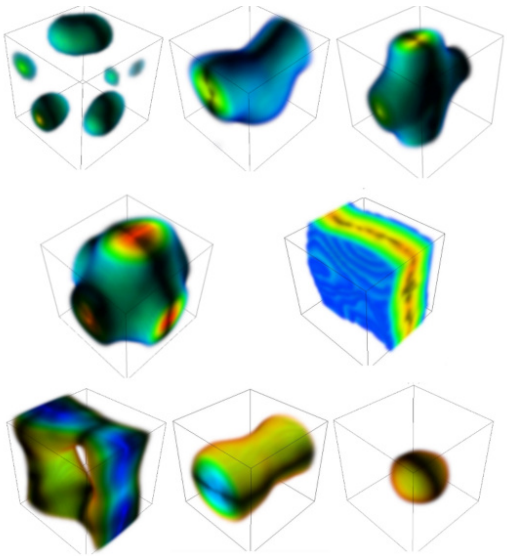


Abb. 1: Verschiede periodische Pastastrukturen geordnet nach der mittleren Dichte (von oben nach unten). Untere Strukturen zeigen Löcher anstatt Kernmaterie.

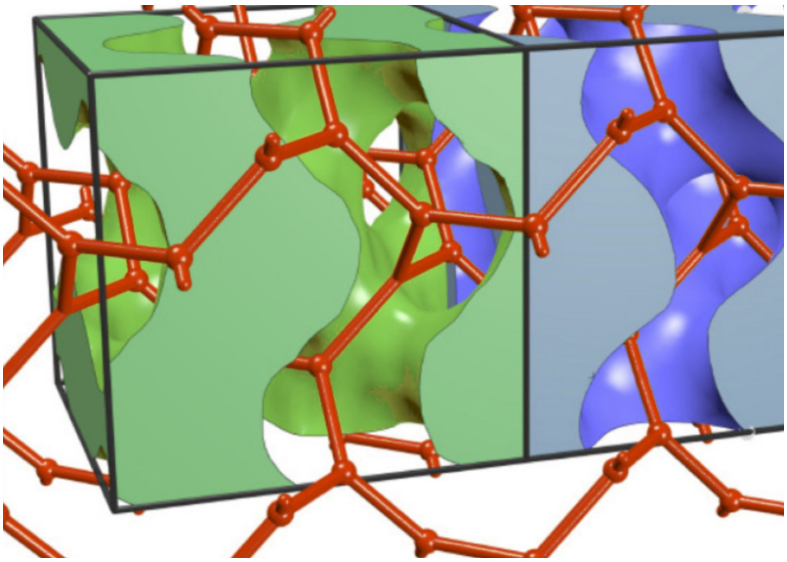


Abb. 2: Pasta Gyroid und nodale Approximation des perfekten Gyroids im Vergleich mit Gyroid-Netzwerk.

Reference

[1] B. Schuetrumpf, M A. Klatt, K. Iida, J.A. Maruhn, K. Mecke, and P.G. Reinhard (2013): Time-dependent Hartree-Fock approach to nuclear “pasta” at finite temperature. Phys. Rev. C 87, 055805. https://doi.org/10.1103/PhysRevC.87.055805

[2] B. Schuetrumpf, K. Iida, J.A. Maruhn, and P.G. Reinhard (2014), Phys. Rev. C 90, 055802.

[3] B. Schuetrumpf, M.A. Klatt, K. Iida, G.E. Schröder-Turk, J.A. Maruhn, K. Mecke, and P.G. Reinhard (2015): Appearance of the Single Gyroid Network Phase in Nuclear Pasta Matter. PRC. https://doi.org/10.48550/arXiv.1404.4760

Last Update: 2022-07-07 18:06