NewCompStar

DIE GRUNDLAGEN DER PHYSIK MIT NEUTRONENSTERNEN ERFORSCHEN



Kompakte Sterne, also Neutronensterne, Hybridsterne (Neutronensterne mit einem Kern aus Quarkmaterie) und seltsame Sterne (Sterne rein aus Quarkmaterie), bieten einzigartige Möglichkeiten, um die elementaren Bestandteile der Materie und ihre Wechselwirkungen unter Bedingungen zu untersuchen, die in erdgebundenen Laboratorien nicht erreicht werden können.

Diese außergewöhnlichen Himmelskörper haben bereits revolutionäre Entdeckungen in Kern-, Teilchen- und subatomarer Physik erlaubt. Auch Tests der Theorie der Gravitation, bisher in perfektem Einklang mit Einsteins allgemeiner Relativitätstheoire (ART), bisher in perfektem Einklang mit Einsteins Theorie, lassen sich mit Neutronensternen durchführen.

Die Aktion MPNS COST MP1304 "Die Grundlagen der Physik mit kompakten Sternen erforschen" (NewCompStar) hat anerkannte Experten in Astrophysik, Kernphysik und Gravitationsphysik zusammengeführt, um dieses faszinierende Forschungsgebiet im Rahmen eines interdisziplnären Zugangs voran zu bringen. Zusätzlich zu einem vorher festgelegten Forschungsprogramm, hat sich das Forschungsnetzwerk NewCompStar zur Aufgabe gemacht, eine neue Generation von jungen Wissenschaftlern auszubilden mit einer breiten Basis in den verschiedenen Bereichen und der Bereitschaft, die interdisziplinären Kenntnisse innovativ einzusetzen.

Fig. 1 - Das XMM-Newton-Teleskop, Röntgenobservatorium der europäischen Weltraumorganisation. Bild: Spacecraft Icons at NASA Science

BEOBACHTUNG 1. UND MODELLIERUNG KOMPAKTER STERNE



Fig. 2 – Gammablitze und Magnetare. Gammablitze sind sehr energiereiche Ausbrüche im Universum. Man unterschei-det "lange" und "kurze" Gammablitze. Heute wissen wir, dass lange Gammab-litze entstehen, wenn sehr massereiche Sterne sterben, wärhend kurze Gammablitze vermultich bei der Fusion zweier kompakter Sterne (Neutronensterne oder schwarze Löcher) entstehen. Die Beobachtung einer Fusion zweier Neutronensterne und des zugehörigen Gammablitzes ducrh LIGO/Virgo und den Satellit Fermi im August 2017 haben diese Theorie eindrucksvoll bestätigt. Das Bild zeigt eine künstlerische Darstellung eines Gammblitzes, erzeugt durch einen sogennanten Magnetar, einen schnell rotierenden Neutronenstern mit einem extrem starken Magnetfeld. Bild: ESO (http://www.eso.org/public/ <u>images/eso1527a/</u>)

Die nächste Generation von Teleskopen und Gravitationswellendetektoren wird weitere Entdeckungen ermöglichen, und die Informationen aus den bestehenden Instrumenten und Kernphysikexperimenten vervollständigen. Zu den geplanten und teilweise kürzlich in Betrieb genommenen Teleskopen gehören FAST, das aktuell größte Radioteleskop der Welt, NICER, ein Projekt im All zur präzisen Be-stimmung von Neutronensternradien und das Radioteleskop SKA, das momentan in Südafrika und Australien gebaut wird. All diese Instrumente werden uns viele neue Informationen liefern.

Um bestehende Beobachtungen zu erklären und zukünftige vorzubereiten, haben im Rahmen der Aktion Theoretiker eng mit den Beobachtern zusammengearbeitet. Zusätzlich verlangt eine theoretische Beschreibung eines Neutronensternes, mikroskopische Eigenschaften subatomarer Materie mit einer Beschreibung der Raumzeit im Rahmen der ART zusammenzubringen.

Ziel von NewCompStar war es hier, die verschiedenen Ergebnisse zu kombinieren. Auf Beobachterseite waren dies Daten in veschiedenen elektromagnetischen Wellenlängen, von Radiowellen bis hin zu Gammastrahlung. Diese wurden mit den theoretischen Vorhersagen und Modellen konfrontiert, z.B. mit numerischen (magneto)hydrodynamischen Simulationen von Neutronensternen, der Emissionsprozesse in der Atmosphäre, Simulationen des Entstehungsprozesses in einer Supernova oder der Fusion zweier Neutronensterne.

17.5

15.0

12.5

10.0

7.5

5.0

2.5





Fig. 3 - Kollaps-Supernova: faszinierendes kosmisches Feuerwerk. Schnappschuss aus einer dreidimensionalen Simulation einer Kollaps-Supernova: Entropie pro Baryon am Anfang der Explosion in einem Bereich von 1000km um das Zentrum. Bild: K. Ebinger, O. Heinimann, M. Liebendörfer

2. PHYSIK DER STARKEN WECHSELWIRKUNG: THEORIE UND LABOREXPERIMENTE

K. S. Still ()

Die Beobachtung kompakter Sterne erlaubt es, die Eigenschaften extrem dichter und heißer stark wechselwirkender Materie zu untersuchen. Eine grundlegende Grösse ist hierbei die Zustandsgleichung, die Masse und Radius eines Neutronensterns bestimmt. Um Phänomene wie die sogenannten "Glitches" – aprubte Änderungen der Rotationsfrequenz des Sterns- oder die Abkühlung eines Neutronensterns zu verstehen, muss man jedoch auch die elastischen Eigenschaften der Kruste verstehen und den Wärmetransport in den verschiedenen Teilen des Sterns bestimmen können. Zusätzlich zeigen die Glitches, dass im Stern, trotz der Temperturen von Millionen Kelvin, ein Superfluid auftritt. Theoretische Modelle sprechen dafür, dass es sich dabei um ein superfluides Neutronengas handelt. Die Modellierung von Neutronensternmaterie wird dadurch stark erschwert, dass die extremen Dichten und Temperturen nicht im Labor erzeugt werden können, und dass es keine Methode gibt, stark wechselwirkende Materie in diesem Bereich mit ab-initio Zugängen zu berechnen. Bisherige theoretische Vorhersagen deuten darauf hin, dass Neutronensternmaterie in vielen verschiedenen Phasen auftreten kann, vom kristallinen Gitter aus exotischen neutronenreichen Kernen bis hin zu supraleitender Materie aus Quarks und Gluonen.

Wie bereits erwähnt, können Laborexperimente nicht direkt Neutronensternmaterie erzeugen. Dennoch können einige Eigenschaften untersucht werden, und im Rahmen von NewCompStar haben Theoretiker und Experimentatoren zusammen gearbeitet, um experimentelle Ergebnisse für die Neutronensternphysik zu nutzen.



Fig. 4 - Woraus bestehen Neutronensterne? Dieses Bild illustriert einige Modellvorhersagen für die Materie im Inneren eines Neutronensterns. Bild: F. Weber



Fig. 5 - Woraus besteht die Neutronensternkruste? Die innere Kruste enthält ein Gitter aus stark deformierten Atomkernen, die exotische Strukturen bilden, die man "Pasta"-Phasen nennt. Sie sind eingetaucht in ein Gas aus Neutronen und relativistischen Elektronen. Die Pasta-Strukturen können verschiedene Formen annehmen, von kugelförmigen Kernen über Röhren und Platten bis hin zu Kernmaterieblasen. Eine der Herausforderungen NewCompStars war es, beobachtbare Konsequenzen der Pasta-Phasen zu identifizieren. Bild: H. Pais und J. Stone

3 GRAVITATION: THEORIE UND BEOBACHTUNG

Auf Grund ihres starken Gravitationsfeldes sind Neutronensterne prädestiniert als Quelle von Gravitationswellen. In der Tat ist es im August 2017 den Detektoren LIGO und Virgo zum ersten Mal gelungen, Gravitationswellen ausgehend von der Fusion zweier Neutronensterne zu messen. Auch die Geburt eines Neutronensterns in einer Supernova oder ein rotierender oder oszilierender deformierter Stern lässt sich im Prinzip mit den Gravitationswellendetektoren der aktuellen oder nächsten Generation beobachten. Die Detektion im August 2017 hat bereits gezeigt, wie wertvoll diese Messungen sind, um die Theorie der Gravitation, stark wechselwirkende Materie und die Entstehung von Gammablitzen zu verstehen.

Die Messung von Gravitationswellen ist nach wie vor äußerst schwierig und man benötigt eine genaue theoretische Modellierung des potentiellen Signals im Detektor, um letzteres aus dem Rauschen zu extrahieren. In einem Binärsystem aus zwei Neutronensternen lassen sich in der Anfangsphase, während der sich die zwei Sterne immer näher kommen, analytische Methoden verwenden. Für eine Beschreibung der Fusion und des schnell rotierenden heißen Objekts nach der Fusion, das nach einiger Zeit zu einem schwarzen Loch kollabiert, sind dagegen numerische Simulationen essentiell.







Fig. 8 - Numerische Modellierung des Gravitationswellensignals, das bei der Fusion zweier Neutronensterne emittiert wird. Jede einzelne Spalte zeigt dabei ein anderes Modell für die Zustandsgleichung und die verschieden Farben entsprechen verschiedenen Gesamtmassen des Binärsystems. Image Credit: FIAS/GU/AEI



Fig. 6 — Diese Daten von LIGO zeigen das Signal, das in einem Binärsystem aus Neutronensternen vor der Fusion ensteht. Diese Signal nennt man "chirp" (Zwitschern). Bild: LIGO



COST Association AISBL Avenue Louise 149, 1050 Brussels, Belgium T +32 (0)2 533 3800, F +32 (0)2 533 3890 office@cost.eu, www.cost.eu



COST wird im Rahmen des europäischen Horizon 2020-Programms finanziert.

DAS NETZWERK

Institute aus 29 Ländern waren Teil von NewCompstar. Hinzu kommen vier Institute aus zwei anderen Ländern, sogenannten Near Neighbouring Countries Institutions und drei Institute aus International Partner Countries.

TEILNEHMENDE LÄNDER

Belgien, Bulgarien, Dänemark, Deutschland, Finnland, Frankreich, Griechenland, Island, Israel, Italien, Kroatien, Malta, Niederlande, Norwegen, Österreich, Polen, Portugal, Rumänien, Schweden, Schweiz, Serbien, Slowakei, Slowenien, Spanien, Tschechische Republik, Türkei, Ungarn, vereinigtes Königreich

COST NEAR NEIGHBOURING

Countries Institutions IOFFE, JINR Dubna, MEPhI, Sternberg Astronomical Institute und Yerevan State University

COST International Partner

Countries Institutions Monash University, University of Melbourne und Kent State University

NewCompStar COST Action

L. Rezzolla (Präsident), P. Pizzochero (Vize-Präsident)

Direktionsgremium

G. Barnafoldi, F. Burgio, M. Chernyakova, V. Ferrari, J. A. Font, I. Jones, P. Haensel, P. Pizzochero, C. Providência, M. Oertel, N. Rea, L. Rezzolla, A. Sedrakian, I. Vidaña

https://compstar.uni-frankfurt.de

Urheber der Bilder

Ninber der black Röntgen: NASA/CXC/SAO; Optisch: NASA/STScl; Infrarot: NASA/JPL/Caltech; Radio: NSF/NRAO/VLA; Ultraviolett: ESA/XMM-Newton

Dokument erstellt von Estúdio Gráfico 21, Portugal 2017 Graphic design & Typeface by Bürocratik