WIS wissenschaft in die schulen!

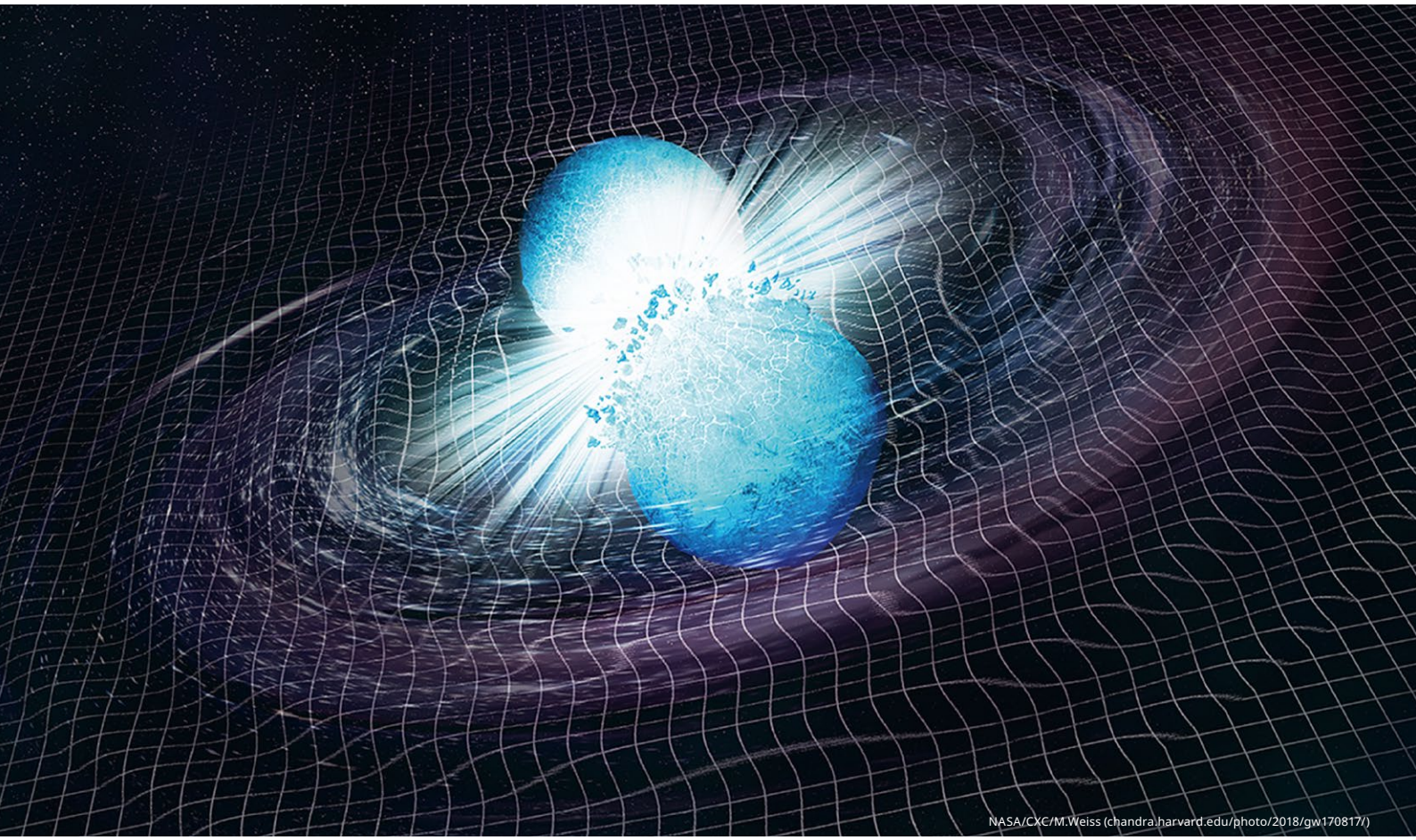
Auf der Jagd nach Signalen kollidierender Neutronensterne

Prallen zwei Neutronensterne aufeinander, entsteht manchmal kurzzeitig ein einzelner massereicher Neutronenstern. Danach kollabiert er zu einem Schwarzen Loch. Hinweise auf derartige Ereignisse könnten periodisch oszillierende Gammablitze liefern.

Wenn zwei Neutronensterne miteinander verschmelzen, bildet sich kurzfristig ein hypermassereicher Neutronenstern. Das Attribut »hypermassereich« bezieht sich darauf, dass er deutlich mehr Masse besitzt als ein gewöhnlicher Vertreter seiner Art. Nach maximal 300 Millisekunden kollabiert dieses Übergangsobjekt allerdings schon wieder und verwandelt sich in ein stellares Schwarzes Loch. Damit ist es wohl so gut wie ausgeschlossen, einen solchen Exoten überhaupt jemals direkt beobachten zu können. Ein Forschungsteam um Cecilia Chirenti von der University of Maryland beschreibt nun im Fachjournal »Nature«, dass es in Archivdaten eines ehemaligen NASA-Weltraumteleskops Hinweise auf zwei derartige Ereignisse gefunden hat.

Durchbruch für die Multimessenger-Astronomie

Kollisionen kompakter Objekte aller Art sind üblicherweise ein Fall für Gravitationswellendetektoren. Seit im Jahr 2016 erstmals das Gravitationswellensignal zweier verschmelzender Schwarzer Löcher der Öffentlichkeit vorgestellt worden war, konnte der Gravitationswellendetektor LIGO (Laser Interferometer Gravitational Wave Observatory) Dutzende solcher Signale aufzeichnen (siehe SuW 4/2016, S. 24, und SuW 2/2019, S. 38). Noch mehr freuten sich Forschende auf der ganzen Welt allerdings über das Signal GW170817 aus dem Jahr 2017 (siehe

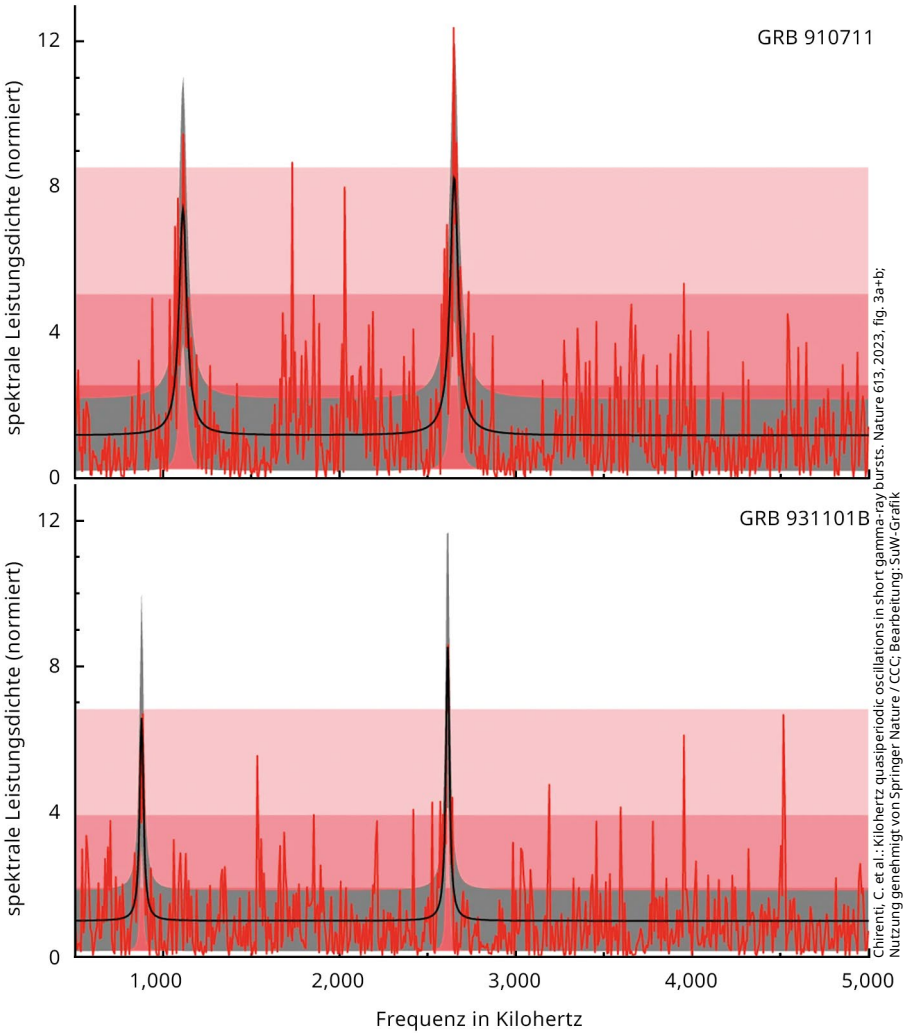


NASA/CXC/M.Weiss (chandra.harvard.edu/photo/2018/gw170817/)

Kollidierende kompakte Sternüberreste So wie in dieser künstlerischen Darstellung kann man es sich vorstellen, wenn zwei Neutronensterne zusammenstoßen und verschmelzen. Damit erschüttern sie massiv die Raumzeit und senden Gravitationswellen aus.

NASA/CXC/Trinity University/D. Pooley et al. (chandra.harvard.edu/photo/2018/gw170817/)

Verräterischer Röntgenausbruch Das Gravitationswellensignal GW170817 ist mit der Kollision zweier Neutronensterne assoziiert. Diese ereignete sich in einer stattlichen Distanz von 130 Millionen Lichtjahren. Das NASA-Röntgenteleskop Chandra zeichnete auf, wie die Trümmerteile energiereiche elektromagnetische Wellen abgaben. Die gering ausfallende, hier dargestellte Röntgenemission legt als Überbleibsel eher ein stellares Schwarzes Loch nahe.



Chirenti, C. et al.: Kilohertz quasiperiodic oscillations in short gamma-ray bursts. Nature 613, 2023, fig. 3a+b; Nutzung genehmigt von Springer Nature / CCC; Bearbeitung: SuW-Grafik

Oszillationsverhalten in Gammablitzen Das Instrument BATSE registrierte in den Jahren 1991 und 1997 die beiden Gammablitze GRB 910711 (oben) und GRB 931101B. Die Lichtkurven der Blitze lassen sich mit einer Fourier-Transformation von einer Zeit- in eine Frequenzdarstellung überführen. Sofort erkennt man so in dem resultierenden Leistungsspektrum (rote Linie) zwei auffällige Peaks bei Frequenzen von etwa 1 und 2,6 Kilohertz für beide Blitze. Beide Signale liegen deutlich über dem Grundrauschen (rote Schattierungen). Hier wird viel Leistung abgestrahlt. Der Peak bei der höheren Frequenz lässt Rückschlüsse auf Größe und Rotation des hypermassereichen Neutronensterns zu. Die Interpretation des Peaks bei der niedrigeren Frequenz ist schwieriger, weil die Modellrechnungen noch nicht ausgereift sind.

SuW 12/2017, S. 24), denn zeitgleich mit dem Gravitationswellensignal empfingen zahlreiche Teleskope ein elektromagnetisches Begleitsignal bei allen möglichen Wellenlängen. Auch der Satellit Fermi nahm einen Gammablitz auf, der von GW170817 ausging. Ein Nachglühen war für viele Observatorien tagelang beobachtbar.

Das Besondere: Bei GW170817 verschmolzen zwei Neutronensterne miteinander (siehe »Kollidierende kompakte Sternüberreste«, S. 23). Damit war es nicht nur das erste Mal, dass Astronominnen und Astronomen sowohl Gravitationswellen als auch elektromagnetische Strahlung desselben astronomischen Ereignisses messen konnten. Es war damit endgültig klar, dass bei einer Verschmelzung zweier Neutronensterne tatsächlich kurze Gammablitze entstehen können – eine lange gehegte Vermutung. Seitdem hat sich der Glücksfall von GW170817 nicht mehr wiederholt; zu den derzeitigen Gravitationswellensignalen fehlt das elektromagnetische Gegenstück. Deshalb wissen Forschende oft nicht, welche Objekte eigentlich genau zusammengestoßen sind. Die Wellenform des Gravitationswellensignals enthält sowohl einen Hinweis darauf, welche kompakten Objekte kollidierten, als auch darauf, welches Relikt daraus hervorging. Letzteres steckt im finalen Abschnitt des Signals, dem so genannten Ring-Down. Die entsprechenden Unterschiede sind allerdings zu klein für die derzeitigen Gravitationswellendetektoren. Eine kürzlich erschienene Studie zeigte: Erst in rund zehn Jahren könnte die dritte Generation an irdischen Gravitationswellendetektoren diese winzigen Modulationen aufspüren (siehe S. 16).

Spuren im Gammablitz

Das Team um Cecilia Chirenti hat nun möglicherweise eine Abkürzung gefunden, denn, so vermuten die Forscher, wenn die Entstehung eines hypermassereichen Neutronensterns ihre Spuren im Gravitationswellensignal hinterlässt, dann gilt das vielleicht auch für den kurzen Gammablitz, der dabei ausgesendet wird. Die Forschenden begaben sich daher in den Archivdaten von verschiedenen Gammastrahlenteleskopen auf die Suche und wurden bei BATSE fündig: einem Experiment, das auf dem bis zum Jahr 1999 betriebenen und 2000 kontrolliert zum Absturz gebrachten Compton Gamma Ray Observatory (CGRO) der NASA betrieben wurde. Die beiden Signale namens GRB 910711 und GRB 931101B weisen eine quasiperiodische Schwankung im Kilohertzbereich auf. Ein hypermassereicher Neutronenstern könnte während seiner kurzen Lebenszeit dem Gammablitz derartige Schwankungen aufgeprägt haben. Ein solches Objekt kann nur existieren, weil seine rasante Rotation es zumindest kurzzeitig vor dem Kollaps zum Schwarzen Loch schützen kann. Dieses empfindliche Kräftegleichgewicht lässt den hypermassereichen Neutronenstern oszillieren. Die Frequenz dieser Oszillation lässt sich im gemessenen Gammablitzsignal ablesen (siehe »Oszillationsverhalten in Gammablitzen«). Zusammen mit den Ergebnissen vieler Simulationen kann diese Frequenz einiges über das kurzlebige Objekt verraten: seinen Radius von rund 12 Kilometern und seine Rotationsgeschwindigkeit.

Die beiden Signale sehen im Großen und Ganzen so aus, wie es numerische Simulationen solcher Ereignisse vorhersagen. Weitere derartige Signale könnten somit noch mehr Einblicke in kollidierende Neutronensterne bieten – ganz ohne die dazugehörigen Gravitationswellen.

Dieser neue Ansatz eröffnet einen völlig neuen Zugang, um verschmelzende Neutronensterne zu erforschen. Er hat das Potenzial, die gemessenen Gravitationswellensignale solcher Kollisionen komplementär zu ergänzen.

Franziska Konitzer studierte Physik und Astrophysik an der University of York in Großbritannien und ist in München als Journalistin tätig.

Literaturhinweis

Chirenti, C. et al.: Kilohertz quasiperiodic oscillations in short gamma-ray bursts. Nature 613, 2023

WIS Didaktische Materialien: www.wissenschaft-schulen.de/artikel/1051441

Anzeige