



LIGO
Scientific
Collaboration



Geben Magnetare Gravitationswellen ab?

„Magnetare“ sind eine Klasse von Neutronensternen, die sich durch extrem starke Magnetfelder (bis zu 100 Milliarden Tesla) auszeichnet (Abbildung 1 zeigt eine künstlerische Darstellung). Astronom*innen haben etwa 20 Magnetare in der Milchstraße identifiziert. Magnetare sind auch dafür bekannt, dass sie unvorhersehbar kurze Gammastrahlenausbrüche (mit einer Dauer von etwa einer Zehntelsekunde) erzeugen. Sehr selten erzeugen sie Superflares, die viel helleren Verwandten der kurzen Gammastrahlenblitze. Es wird angenommen, dass diese Ausbrüche dann entstehen, wenn die Kruste des Neutronensterns unter Spannungen bricht, die durch Änderungen in ihrem Magnetfeld hervorgerufen werden. Solche Ereignisse könnten zu Schwingungen des Sterns führen und ihn wie eine Glocke läuten lassen. Dabei könnten Gravitationswellen entstehen.

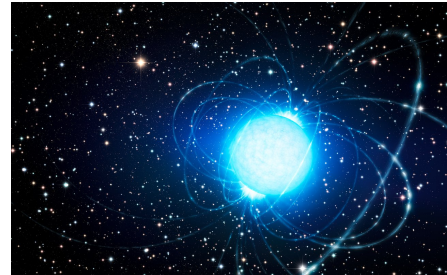


Abb. 1: Künstlerische Darstellung eines Magnetars. Quelle: ESO/L. Calçada (CC BY 4.0)

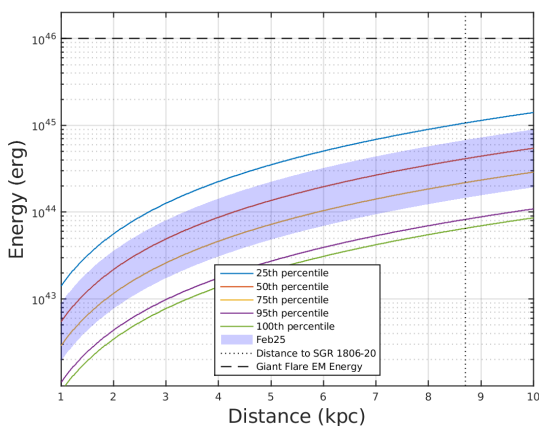


Abb. 2: (Abb. 4 der Veröffentlichung): Diese Abbildung zeigt die kleinste Menge an Gravitationswellenenergie, die diese Suche nachweisen könnte, wobei der Abstand zur Quelle auf der horizontalen Achse dargestellt ist (1 kpc oder Kiloparsec entspricht etwa 3000 Lichtjahren). Es werden eine Reihe unterschiedlicher Linien gezeigt, da die genaue Empfindlichkeit von der Position des Magnetars am Himmel zum Zeitpunkt des Ausbruchs und der Polarisation der Gravitationswellen abhängt. Die hier gezeigte elektromagnetische Energie eines Superflares (10^{46} erg) ist die Energiemenge, die die Sonne in 100.000 Jahren abgibt.

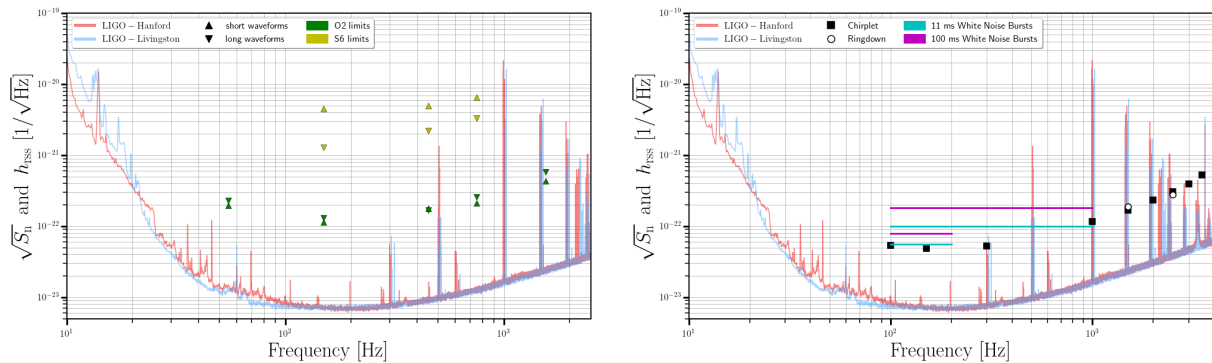
SGR 1806-20. Der vierte war GRB170304A – ein Gammastrahlenausbruch, der einem kurzer Magnetar-Ausbruch ähnelte. Da Virgo zum Zeitpunkten dieser Ausbrüche nicht im Messbetrieb war, wurden nur LIGO-Daten verwendet.

Diese Suche fand keine Hinweise für Gravitationswellen aus Magnetar-Ausbrüchen. Wir haben jedoch gezeigt, dass diese Suche viel empfindlicher ist als eine ähnliche, die 2010 mit dem ursprünglichen LIGO-Detektor durchgeführt wurde. Die Ergebnisse sind in den Abbildungen 2, 3 (a) und 3 (b) dargestellt. Dank instrumenteller und Software-Verbesserungen sind wir in der Lage, bis zu zehnmals schwächere

Der Nachweis von Gravitationswellen von Magnetaren würde es uns ermöglichen, diese Sterne auf eine ganz neue Art und Weise zu studieren. Astronom*innen untersuchen sie seit Jahren, aber es gibt vieles, das wir noch nicht über Magnetare wissen. Wahrscheinlich entstehen sie aus den Überresten von Supernova-Explosionen; aber wir wissen nicht, wie sie ein so starkes Magnetfeld erlangen. Mittels Teleskopen können wir einige ihrer Merkmale untersuchen, wie ihre Rotationsgeschwindigkeit und magnetische Feldstärke. Mit Gravitationswellen können wir jedoch das Innere des Sterns untersuchen und die Eigenschaften der Materie bestimmen, aus der er besteht.

Hier präsentieren wir Ergebnisse einer Suche nach Gravitationswellen, die von Magnetar-Ausbrüchen stammen. Wissenschaftler*innen, die mit den NASA-Satelliten Swift und Fermi arbeiten, identifizieren und katalogisieren kurze Magnetar-Ausbrüche. Sie halfen uns vier solcher Ereignisse zu identifizieren, die während des zweiten Beobachtungslaufs von Advanced LIGO (zwischen Dezember 2016 und August 2017), stattfanden (seit 2004 wurden keine Superflares beobachtet). Wir haben diese Ausbrüche mit zwei Software-Paketen analysiert: STAMP, für Gravitationswellensignale, die einige hundert Sekunden dauern, und X-Pipeline, konfiguriert für solche Signale, die weniger als vier Sekunden dauern. Drei der Ausbrüche waren vom Magnetar

Abb. 3



(a) (Abb. 3a der Veröffentlichung): Die Empfindlichkeit der Suche nach längeren Gravitationswellensignalen im Vergleich mit Ergebnissen einer ähnlichen Suche mit dem ursprünglichen LIGO-Detektor. Das durchschnittliche Rauschen beider Detektoren ist in blau und rot dargestellt. Die Empfindlichkeit für die Wellenformen wurde berechnet, indem zu den Daten simulierte Signale unterschiedlicher Stärke addiert wurden. Diese Punkte liegen aus mehreren Gründen über der Empfindlichkeitskurve: Erstens schwankt das Rauschen statistisch. Zweitens verteilen sich die simulierten Signale über einen größeren Zeitraum, wodurch sie schwerer zu erkennen sind.

(b) (Abb. 3b der Veröffentlichung): Die Empfindlichkeit der Kurzzeitsuche, ausgewertet mit drei verschiedenen Wellenformen, mit dem durchschnittlichen Rauschen der beiden Detektoren wie zuvor.

Gravitationswellen nachzuweisen als damals. Mit zunehmender Empfindlichkeit der LIGO-Detektoren werden sich die nun berechneten Obergrenzen verbessern, und wir werden gut aufgestellt sein, um im Fall eines zukünftigen Superflares eines Magnetars sinnvolle Grenzwerte für die in Form von Gravitationswellen abgestrahlt zu berechnen.

Glossar

Beobachtungslauf: Ein Zeitraum, in dem Beobachtungsdaten erfasst werden.

Gammastrahlen: Photonen (Lichtteilchen) mit extrem hoher Energie, sogar noch höher als die von Röntgenstrahlen.

Magnetar: Ein Neutronenstern, dessen starkes Magnetfeld ungewöhnliche Verhaltensweisen antreibt, wie beispielsweise Ausbrüche.

Neutronenstern: Ein Stern, der so dicht ist, dass Atome ihre Struktur verlieren und der ganze Stern einem Riesenatomkern entspricht. Seine Masse entspricht etwa dem 1 bis 2-fachen der Masse der Sonne, er haben jedoch einen Radius von nur etwa 10 km.

Kurzer (Gammastrahlen-)Ausbruch eines Magnetars: Ein zufälliger Gammastrahlenausbruch eines Magnetars, der etwa eine Zehntelsekunde dauert – manchmal von kleinen Veränderungen der Rotationsrate des Sterns begleitet. Die abgestrahlte Energie entspricht der Leistung, die unsere Sonne in wenigen Stunden oder bis zu einem Jahr abgibt.

Superflare eines Magnetars: Eine viel stärkere Version des kurzen Gammastarahlenausbruchs; die abgestrahlte Energie in einer Sekunde entspricht der, die die Sonne in 100.000 Jahren abgibt.

Tesla: Ein Maß für die Magnetfeldstärke, benannt nach Nikola Tesla. Das Magnetfeld der Erde beträgt etwa 0,00005 Tesla oder 50 Mikro-Tesla. Ein typischer Magnetresonanztomograph (MRT) kann Felder von etwa 3 Tesla erzeugen.

Weiterführende Informationen

Unsere Webseiten: <http://www.ligo.org>, <http://www.virgo-gw.eu>

Ein Vorabdruck der Publikation ist unter <https://arxiv.org/abs/1902.01557> kostenlos abrufbar.

Ein eingehende Betrachtung des aktuellen Verständnis von Magnetaren gibt es ebenfalls kostenlos unter <https://arxiv.org/abs/1803.05716>.