



LIGO
Scientific
Collaboration



Die jüngsten Neutronensterne in unserer Galaxie: ein tieferer Blick in die Daten

Aus der ersten Beobachtung einer Verschmelzung von Neutronensternen haben wir viel über die extremste Form der Materie im Universum gelernt. Aber auf lange Sicht können wir mehr aus kontinuierlichen Gravitationswellen von Neutronensternen (die nicht in Doppelsystemen sein müssen) lernen. Die Materie tief im Inneren eines Neutronensterns ist hunderte Billionen mal dichter als Gestein, kann Magnetfelder haben, die eine Billiarde Mal stärker sind als auf der Erde und kann aus seltsameren Teilchen bestehen, als wir sie von irgendwoher sonst kennen, außer kurzzeitig in Teilchenbeschleunigern. Gravitationswellen übertragen Informationen über diese Materie direkter als elektromagnetische Wellen (Licht, Röntgenstrahlen usw.), die uns nur von der Oberfläche des Sterns erreichen. Insbesondere kontinuierliche Gravitationswellen könnten uns etwas über einige Eigenschaften der Neutronensternmaterie verraten, die aus Gravitationswellen von Verschmelzungen schwer zu gewinnen sind. Dazu zählen die Elastizität der festen Bestandteile oder die Viskosität der flüssigen Anteile.

Junge Neutronensterne sind vielversprechende Objekte für die Abstrahlung kontinuierlicher Gravitationswellen, denn die Supernova-Explosionen, aus denen sie entstehen, sind heftige, asymmetrische Ereignisse, die die neuen Sterne für eine Zeit „aufmischen“ könnten. Das heißt, die feste Kruste, die die Neutronensterne sicherlich haben, ist möglicherweise nicht glatt. Und wenn ein solcher Stern sich dreht, wird jede Unebenheit in der sehr dichten Materie Gravitationswellen aussenden. Auch elektromagnetische Beobachtungen von Pulsaren – Neutronensterne, die als blinkende Punkte in Radiowellen, Röntgenstrahlen, sichtbarem Licht usw. erscheinen – verraten uns, dass viele junge Pulsare kontinuierlich viel Rotationsenergie verlieren, und so auch starke Gravitationswellen aussenden könnten. Die jüngsten Neutronensterne (bis zu einigen tausend Jahren alt) könnten auch noch aktive r -Moden aufweisen. Das ist eine Art Welle in der Flüssigkeit, die den größten Teil des Sterns ausmacht, die sich durch die Abstrahlung von Gravitationswellen aufrecht erhalten kann (ähnlich den Rossby-Wellen in der Erdatmosphäre).

Während sich einige der jüngsten Neutronensterne als Pulsare beobachten lassen, die auch von anderen LIGO- und Virgo-Suchen untersucht werden, lassen sich viele andere nur (mit Röntgenteleskopen) als stetig leuchtende Punkte in Supernovaüberresten beobachten. Die Positionen, die wir aus Röntgenbeobachtungen (oft mit dem NASA-Satelliten Chandra) erhalten, sind so genau, dass wir nach kontinuierlichen Gravitationswellen von diesen Sternen suchen können, obwohl wir deren Frequenz nicht kennen. So müssen wir über ein Frequenzband suchen und über verschiedene Raten, wie die Frequenz mit der Zeit abnehmen könnte.

Mit den gleichen Methoden, mit denen wir die Daten von Initial LIGO nach Gravitationswellen von neun Supernovaüberresten durchsuchten, haben wir jetzt in den empfindlicheren Advanced-LIGO-Daten nach kontinuierlichen Gravitationswellen von jungen Neutronensternen in fünfzehn Supernovaüberresten gesucht. Zu diesen Überresten gehören Cas A, der den jüngsten bekannten Neutronenstern beherbergt, und Vela Junior, der den jungen Neutronenstern in der geringsten Entfernung zur Erde beherbergt.

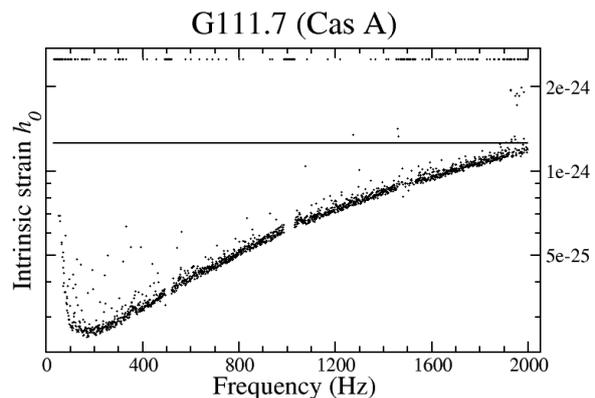
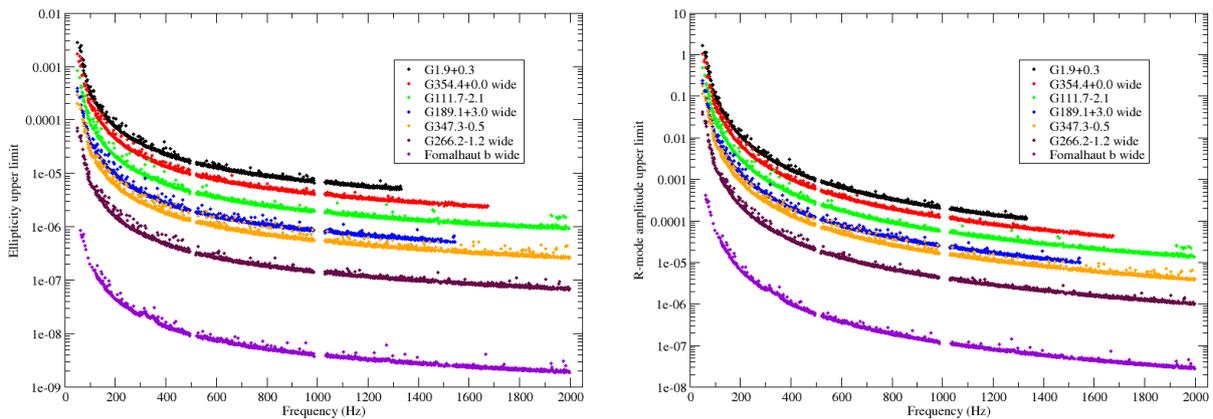


Abb. 1: Obere Grenzwerte für die intrinsische Gravitationswellenstärke h_0 (dies entspricht in etwa einer relativen Änderung der LIGO-Armlängen) für eines unserer Ziele, den Supernovaüberrest Cas A, in Abhängigkeit von der Frequenz in 1-Hertz-Bändern. Die Punkte in einer Reihe nahe der Oberkante zeigen die Bänder, die aufgrund von schmalbandigen Störungen in den Instrumenten nicht untersucht wurden. Die durchgehende Linie stellt das stärkste Signal dar, auf das wir hoffen konnten, basierend auf dem Energieerhaltungssatz, dem Alter und der Entfernung des Supernovaüberrestes, und zeigt, dass wir auch viel schwächere Signale hätten nachweisen können.

Abb. 2



(a) Wie die vorherige Abbildung, aber mit Obergrenzen der Elliptizität der Neutronensterne. Diese entspricht grob gesprochen der relativen Höhe eines Berges in der festen Kruste des Neutronensterns.

(b) Wie die vorherige Abbildung, jedoch mit Obergrenzen für die Amplitude einer r -Mode. Diese entspricht grob gesprochen der relativen Geschwindigkeitsänderung im flüssigen Teil des Neutronensterns.

könnte. Zudem haben wir auch nach Fomalhaut b gesucht, einem Objekt, das ein Exoplanet oder ein alter Neutronenstern sein könnte. Dieses ungewöhnliche Objekt ist eine Untersuchung wert, da es sehr nah an der Erde ist und daher Gravitationswellen relativ leicht zu erkennen wären.

Wir haben keine Gravitationswellen von einem dieser sechzehn Ziele gefunden. Also haben wir statistische Obergrenzen für die Signale ermittelt, die im Detektorrauschen versteckt sein könnten, ohne dass wir sie gefunden hätten. Die Obergrenzen der Gravitationswellenstärke hängen hauptsächlich von der Frequenz ab, da das Detektorrauschen von der Frequenz abhängt. Die Obergrenzen der Elliptizität und der Amplitude der r -Moden, die sich hauptsächlich aus unabhängigen Schätzungen der Entfernung zu den Neutronensternen ableiten lassen, hängen stärker von der Frequenz ab, da (unter ansonsten gleichen Umständen) ein schnell rotierender Stern stärkere Gravitationswellen aussendet als ein langsam rotierender. Die Abbildungen zeigen grafische Beispiele der Ergebnisse. In den kommenden Jahren werden wir in der Lage sein, nach immer schwächeren Signalen zu suchen, wenn sich das Rauschen der Gravitationswellen-Detektoren verringert.

Weiterführende Informationen

Kostenloser arXiv-Vorabdruck unter <https://arxiv.org/abs/1812.11656>.

Im *Astrophysical Journal*, Volume 875, Number 2, publizierter Artikel.

Kostenloser arXiv-Vorabdruck einer ähnlichen Suche in älteren Daten auf dem arXiv unter <http://arxiv.org/abs/1412.5942>.

Kostenloser arXiv-Vorabdruck der ersten Suche dieser Art <http://arxiv.org/abs/1006.2535>.