

Eine Suche nach transienten Gravitationswellen-Signalen mittlerer Dauer während Advanced LIGOs 2. Beobachtungslauf

Neben Verschmelzungen schwarzer Löcher wie GW₁₅₀₉₁₄ und GW₁₇₀₈₁₄ und Verschmelzungen zweier Neutronensterne wie GW₁₇₀₈₁₇, kann LIGO noch andere Quellen von Gravitationswellen aufspüren. Dazu zählen Supernovae, Pulsare oder sogar der Hintergrund stochastischer Gravitationswellen vom Urknall. In den nächsten Jahren wird ein größeres, weltweites Netzwerk von Gravitationswellen-Detektoren LIGO und Virgo unterstützen, nach einer Vielzahl von bisher unentdeckten astrophysikalischen Phänomenen suchen und damit ein großes Potenzial für neue Erkenntnisse bieten.

Eine interessante Klasse von Signalen sind transiente (vorübergehende) Gravitationswellen mittlerer Dauer, deren Energie sich über einen langen Zeitraum verteilt. Verschiedene Objekte können diese Signale abstrahlen, wie beispielsweise Verschmelzungen kompakter Objekte auf exzentrischen Bahnen, neugeborene Neutronensterne mit asymmetrisch einfallender Materie und die geringfügige Verformung der Oberfläche eines Magnetars; diese Gravitationswellensignale dauern einige Sekunden bis zu einigen Minuten. Obwohl diese Quellen interessant sind, sind die Modelle für viele dieser Objekte unsicher, und Suchen nach ihnen müssen lange Datensätze durchkämmen. Hier stellen wir eine Suche vor, die eine Vielzahl zum Aufspüren solcher Signale geeigneter Methoden mit minimalen Annahmen verwendet und die astrophysikalischen Signale dieser Art nachweisen können.

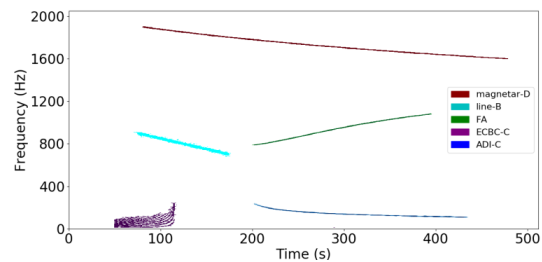


Abb. 1: Zeit-Frequenz-Darstellungen einiger Modellsignale, die bei der Suche verwendet werden; eine Mischung aus astrophysikalischen Chirp-Up- (FA, ECBC) und Chirp-Down-Signalen (Magnetar, ADI) sowie eine linear abnehmende Ad-hoc-Wellenform (LINE). Die Harmonischen von ECBC sind ebenfalls sichtbar. Der für diese Analyse gewählte Satz von Wellenformen deckt das Suchfrequenzband von 24 Hz bis 2000 Hz vollständig ab.

Die Analyse und die Ergebnisse

Vier verschiedene Suchmethoden („Pipelines“) werden verwendet, um den Parameterraum der möglichen Zeitskalen und Frequenzen dieser transienten Gravitationswellen mittlerer Dauer zu durchsuchen. Die Daten enthalten eine große Anzahl von nicht-Gaußschen Störimpulsen, die aus den Instrumenten oder der Umwelt stammen und die die Charakteristik der gesuchten Signale nachahmen. Erstmals wurden gut identifizierte Rauschquellen, die dauerhaft vorhanden sind, aus den LIGO-Daten entfernt. Die Auswirkungen der verbleibenden Störimpulse werden von jeder Pipeline durch spezifische Unterdrückungskriterien abgemildert. Kurzzeitige Störimpulse (die normalerweise die problematischsten Geräuschquellen sind) sind leicht zu unterdrücken, da die Suche auf Signale mit mittlerer Dauer zielt. Alle Pipelines ergänzen sich gegenseitig, um die Vielzahl der möglichen Signalwellenformen abzudecken. Wir berichten über die Empfindlichkeiten der Pipelines für astrophysikalische und „ad-hoc“-Modelle der Signale. Keine Pipeline fand einen signifikanten Überschuss an Ereignissen, die gleichzeitig bei den LIGO-Detektoren in Hanford und Livingston auftraten. Die lautesten Ereignisse in den 118 Tagen mit Detektordaten beider Instrumente sind konsistent mit statistischem Rauschen. Da kein Nachweis vorliegt, leiten wir Obergrenzen für die Amplitude vorübergehender Gravitationswellen mit mittlerer Dauer ab, und setzen auch Grenzen dafür wie oft diese Objekte im Universum vorkommen.

Glossar

Ad-hoc Modelle: Nichtphysikalische Wellenformen, die ausschließlich zur Charakterisierung der Pipeline-Fähigkeiten

und der Empfindlichkeit verwendet werden.

Exzentrizität: Ein Parameter, der den Betrag definiert, um den eine Bahn eines astronomischen Objekts von einem perfekten Kreis abweicht.

Magnetare: Eine Klasse von Neutronensternen mit einem extrem starken Magnetfeld.

Neutronenstern: Zusammengefallener Kern eines toten Sterns; diese Objekte haben in der Regel etwa die 1,4-fache Masse unserer Sonne und einen Durchmesser von etwa 20 km, was sie unvorstellbar kompakt macht.

Transient: Astronomisches Phänomen auf kurzer Zeitskala; im Gegensatz zu astrophysikalischen Ereignissen, die Tausende bis Milliarden Jahren andauern.

Verschmelzung kompakter Objekte: Die Verschmelzung zweier dichter, kompakter Objekte wie Neutronensterne und schwarze Löcher, die einander umrunden.

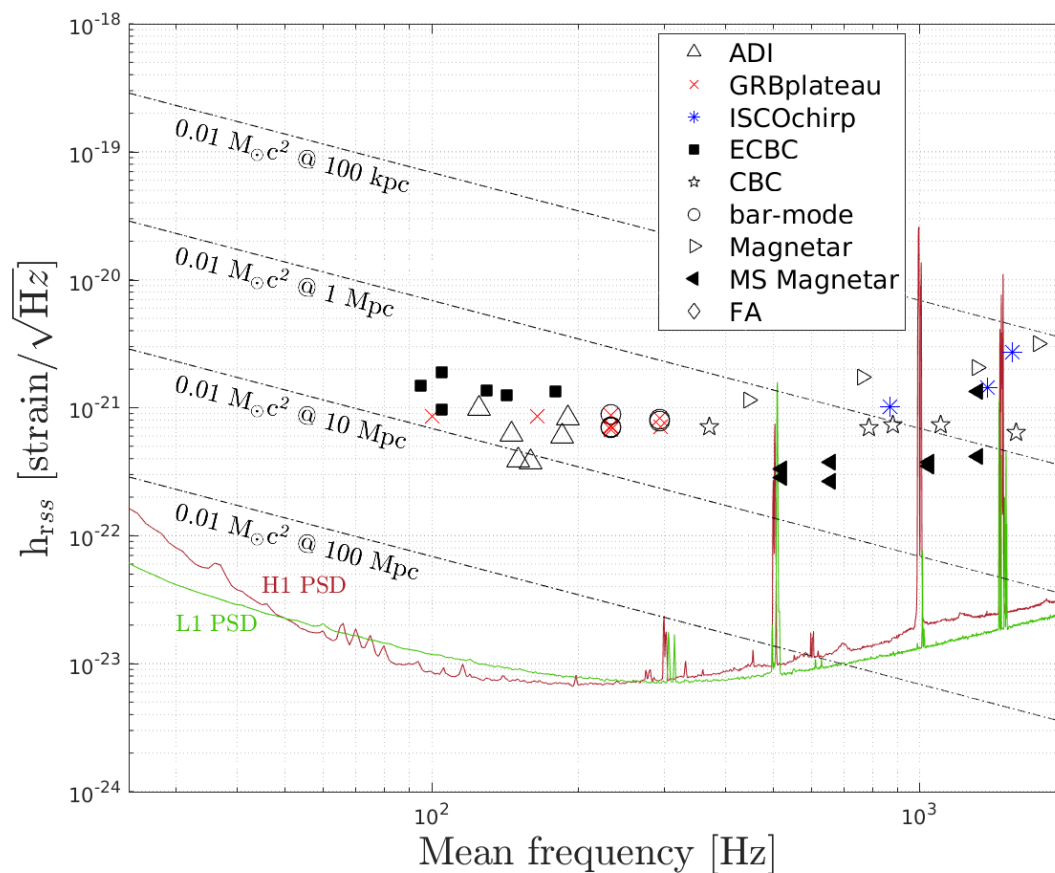


Abb. 2: Obergrenzen der Gravitationswellenamplitude von Quellen, die mit einem Wirkungsgrad von 50 % und einer Fehlalarmrate von 1 Ereignis in 50 Jahren nachgewiesen werden könnten, in Abhängigkeit von der Frequenz. Der niedrigste Wert aller vier verwendeten Pipelines wird in dieser Darstellung verwendet. Die Kurven der durchschnittlichen spektralen Rauschdichte der LIGO-Instrumente in Hanford (H1) und Livingston (L1) sind ebenfalls dargestellt.

Weiterführende Informationen

Im kostenlosen Vorabdruck unserer Publikation unter <https://arxiv.org/abs/1903.12015>.

Die wissenschaftliche Zusammenfassung für die vorherige Version der Suche aus dem Jahr 2017.