



LIGO  
Scientific  
Collaboration



## Eine Suche nach dem Gravitationswellen-Hintergrund während Advanced LIGOs zweitem Beobachtungslauf

Wir haben jetzt Gravitationswellen von einigen der lautesten Ereignisse im Universum beobachtet. Was aber passiert mit Gravitationswellen der leiseren Ereignisse? Aktuelle Schätzungen zeigen, dass ungefähr alle 13 Sekunden eine Verschmelzung von zwei Neutronensternen und alle 223 Sekunden eine Verschmelzung von zwei schwarzen Löchern stattfindet. Leider sind die meisten dieser Ereignisse zu schwach, um einzeln nachgewiesen zu werden. Der kombinierte Effekt dieser fernen, unauflösbaren Verschmelzungen wird als stochastischer Gravitationswellen-Hintergrund (stochastic gravitational-wave background, SGWB) bezeichnet und könnte uns viel über die Geschichte des Universums verraten.

Die Überlagerung von Gravitationswellen, die den stochastischen Gravitationswellen-Hintergrund bilden, kann aus astrophysikalischen Quellen stammen, wie z. B. zwei schwarzen Löchern (GW150914), zwei Neutronensternen (GW170817) und Supernovae oder sie können aus kosmologischen Quellen, wie kosmischen Strings, stammen. Es könnte auch exotischere Quellen geben, die zu diesem stochastischen Hintergrund beitragen. Ihre Beiträge zum Hintergrund sind schwieriger zu modellieren und könnten verborgen bleiben bis Detektoren der dritten Generation anfangen, Daten zu erfassen.

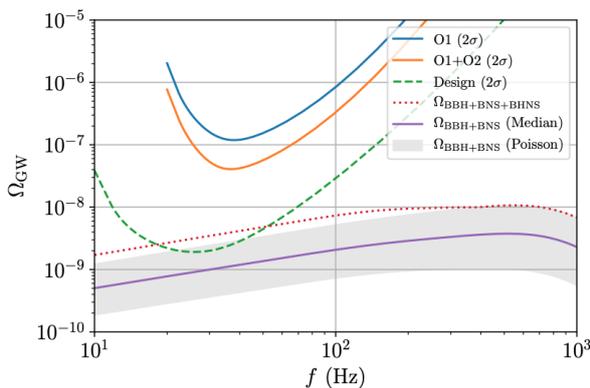


Abb. 1: Wahrscheinlichkeit, bei verschiedenen Beobachtungsläufen einen stochastischen Gravitationswellen-Hintergrund nachzuweisen. Die violette Linie ist der mittlere stochastische Gesamthintergrund der kombinierten Ereignisse aus Doppelsystemen schwarzer Löcher (BBH) und Neutronensternen (BNS), und das graue Band stellt den Unsicherheitsbereich (bei angenommener Poisson-Statistik) dar. Die gepunktete rote Linie ist die Summe der Obergrenze für die BBH + BNS-Hintergründe mit der Obergrenze für den Hintergrund von Doppelsystem eines Schwarzen Lochs mit einem Neutronenstern. Um einen Nachweis des Hintergrunds durchzuführen, müsste die Detektorempfindlichkeit (blaue, orange und grüne Kurve) unter die Vorhersagen abfallen.

Hintergrund konnten wir neue Grenzen für die String-Spannung von kosmischen Nambu-Goto-Strings setzen und den Polarisationsgehalt des stochastischen Gravitationswellen-Hintergrunds testen. Da die allgemeine Relativitätstheorie besagt, dass Gravitationswellen eine bestimmte Art von Polarisation haben sollten (Tensor-Moden), können wir die Daten testen, um die „Wahrscheinlichkeit“ zu ermitteln, mit der die Natur Vektor- und Skalarmoden von Gravitationswellensignalen erzeugt. Das Vorhandensein dieser

Um den stochastischen Hintergrund besser zu verstehen, lässt sich folgende Analogie verwenden: Stellen Sie sich vor, Sie sollten nachts die Scheinwerfer von Autos betrachten. Wenn sich das Auto in der Nähe befindet, können Sie die beiden Scheinwerfer einzeln erkennen. In großer Entfernung verschmelzen die Scheinwerfer und bilden einen einzigen hellen Fleck. In ähnlicher Weise erwarten wir, dass entfernte Doppelsysteme schwarzer Löcher und Neutronensterne miteinander verschmelzen, Sterne als Supernovae explodieren, und all diese phänomenal energetischen Ereignisse verschwimmen zusammen zu einem Gravitationswellen-„Leuchten“ in der Ferne.

Die Suche nach einem isotropen stochastischen Gravitationswellen-Hintergrund während des zweiten Beobachtungslaufs von Advanced LIGO (Ende November 2016 bis August 2017) ergab keine Hinweise auf diesen Hintergrund. Dank der verbesserten Empfindlichkeit der Detektoren aufgrund von Hardware- und Software-Upgrades wurden jedoch neue Obergrenzen für die Energiedichte dieses Hintergrunds festgelegt. Dies entspricht einem Anstieg der Empfindlichkeit um einen Faktor drei gegenüber dem ersten Beobachtungslauf von Advanced LIGO. Zusätzlich zu den verbesserten Obergrenzen für den stochastischen

anderen Moden würde auf neue Physik jenseits der Allgemeinen Relativitätstheorie hindeuten. Obwohl wir Einsteins Theorie nicht direkt testen können, bis der stochastische Gravitationswellen-Hintergrund nachgewiesen wurde, können wir das Vorhandensein eines Hintergrunds mit Polarisationsmoden einschränken. Die aktuellen Ergebnisse stimmen mit den Vorhersagen der Allgemeinen Relativitätstheorie überein.

Eine einzigartige Herausforderung für die Suche nach dem stochastischen Hintergrund wird zukünftig der Störeinfluss von Schumann-Resonanzen sein. Zwischen der Erdoberfläche und der Ionosphäre werden elektromagnetische Resonanzwellen erzeugt, die sich über sehr große Entfernungen erstrecken. Dies führt zu einem anhaltendem Rauschen, das zwischen beiden Detektoren korreliert ist. An jedem Interferometer sind zahlreiche Magnetometer installiert, die ständig das Magnetfeld an den Detektor-Standorten überwachen. Dieser Effekt ist zu klein, um die hier berichteten Beobachtungen zu stören. Für zukünftige Untersuchungen mit optimierter Detektor-Empfindlichkeit kann dieses magnetische Hintergrundrauschen jedoch möglicherweise die Empfindlichkeit der Detektoren für den stochastischen Hintergrund begrenzen, so dass es mit besonderer Sorgfalt behandelt werden muss.

Wenn Sie mehr darüber erfahren möchten, werfen Sie einen Blick auf die Suche nach dem isotropstochastischen Hintergrund in O1-Daten. Während Advanced LIGO auf den dritten Beobachtungslauf vorbereitet wird, erwarten wir dank der Verbesserungen und damit höheren Empfindlichkeit mehr Ereignisse als je zuvor.

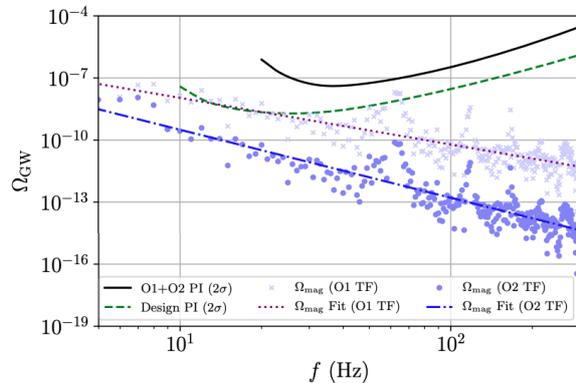


Abb. 2: Die Wahrscheinlichkeit, dass Messungen des stochastischen Gravitationswellen-Hintergrunds durch magnetisches Rauschen (Schumann-Resonanzen) verunreinigt sind. Die beiden Trendlinien für die Magnetometer-Spektren folgen dem Potenzgesetz, skaliert mit den Transferfunktionen aus O1 (violett gepunktet) und zum Ende von O2 (blau gestrichelt). Dies zeigt den Effekt der Verringerung der magnetischen Kopplung in O2. Der Trend für das Rauschbudget liegt deutlich unterhalb der durchgezogenen schwarzen O2-Kurve, was darauf hinweist, dass korreliertes magnetisches Rauschen in O2 vernachlässigbar ist. Bei zukünftigen Beobachtungsläufen kann jedoch die magnetische Kontamination ein Problem darstellen.

## Glossar

**Beobachtungslauf:** Ein Zeitraum, in dem Beobachtungsdaten erfasst werden.

**Empfindlichkeit:** Eine Beschreibung der Fähigkeit eines Detektors, ein Signal nachzuweisen. Detektoren mit geringerem Rauschen können schwächere Signale nachweisen und haben daher eine höhere (oder bessere) Empfindlichkeit.

**Neutronenstern:** Ein extrem dichter Überrest aus dem Kollaps massereicher Sterne.

**Rauschen:** Schwankungen im Gravitationswellen-Messsignal aufgrund verschiedener Geräte- und Umwelteinflüsse. Die Empfindlichkeit eines Gravitationswellendetektors ist durch Rauschen begrenzt.

**Schwarzes Loch:** Ein massereiches, kompaktes Objekt, dessen Anziehungskraft so stark ist, dass nicht einmal Licht entweichen kann.

**Stochastisch:** Von Natur aus zufällig und daher unmöglich genau vorherzusagen.

## Weiterführende Informationen

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

Ein Vorabdruck der Publikation ist unter <https://arxiv.org/abs/1903.02886> kostenlos abrufbar.