



LIGO  
Scientific  
Collaboration



# Ganzhimmelssuche nach kurzen vorübergehenden Gravitationswellen im zweiten Beobachtungslauf von Advanced LIGO

Im zweiten Beobachtungslauf (O2) haben Advanced LIGO und Advanced Virgo Gravitationswellen von zehn Verschmelzungen zweier schwarzer Löcher und eine Verschmelzung von zwei Neutronensternen nachgewiesen. Verschmelzungen von schwarzen Löchern und Neutronensternen sind nicht die einzigen vorhergesagten Quellen von Gravitationswellen. Es gibt eine Vielzahl anderer potenzieller Quellen – von Signalen mit langer Lebensdauer bis zu Signalen mit sehr kurzer Dauer (wie die Signale von einem Doppelsystem schwarzer Löcher). In dieser Suche konzentrieren wir uns auf letztere Kategorie – welche wir als kurzzeitige Gravitationswellen-Transienten bezeichnen. Neben den Signalen eines Doppelsystems schwarzer Löcher gibt es weitere mögliche Quellen dieser Signale, zum Beispiel Supernovae, Pulsarglitches, kosmische Strings, sowie neue bislang unbekannte Quellen.

## Unmodellerte Suchen

Für einige Signale kurzer Dauer, wie z. B. die von Doppelsystemen schwarzer Löcher oder von kosmischen Strings, gibt es gut verstandene Modelle für die Wellenformen dieser Signale. Sie können mit einer Technik namens „Optimalfilter“ gesucht werden. Für andere Quellen gibt es keine robusten (oder gar keine) Wellenformmodelle. Dies bedeutet, dass es wichtig ist, Methoden zur Erfassung der Gravitationswellen von nahezu jeder Quelle zu haben. Hier verwenden wir drei verschiedene Pipelines, die nach kurzen Gravitationswellensignalen suchen, ohne dass wir wissen müssen, aus welcher Himmelsrichtung das Signal kommt oder welche Form dieses Signal hat. Wir nennen dies eine „unmodellerte“ Suche. Die unmodellierten Suchen sind nicht so empfindlich wie Suchen mit Optimalfiltern, haben aber den Vorteil, dass sie flexibler sind und eine größere Vielfalt von Signalquellen erkennen können. Ein erschwerender Faktor bei der Suche nach kurzzeitigen Gravitationswellen ist das Vorhandensein von Rauschartefakten in den Instrumenten, die als Störimpulse bezeichnet werden. Wenn Störungen in zwei oder mehr Detektoren gleichzeitig auftreten, könnten wir sie möglicherweise mit einem echten Gravitationswellenereignis verwechseln. Die unmodellierten Analysen sind so aufgebaut, dass sie zwischen diesen Störungen und den echten Ereignissen unterscheiden können.

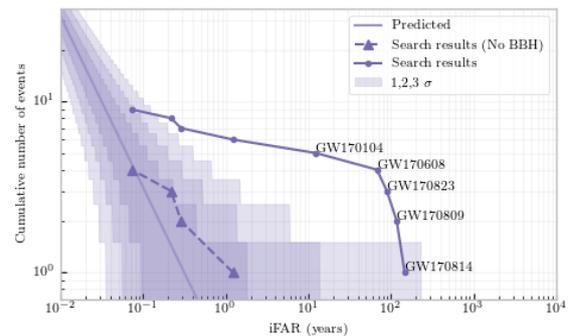


Abb. 1: Suchergebnisse aus einer der unmodellierten Pipelines. Das Diagramm zeigt die kumulative Summe aller Trigger bei der Suche im Vergleich zu ihrer Fehlalarmrate (ein Maß für die Signifikanz des Triggers). Dieses Diagramm zeigt die Ergebnisse mit und ohne die bekannte Signale von Doppelsystemen schwarzer Löcher. Außer diesen bekannten Signalen gab es keine signifikanten Ereignisse. Die Ergebnisse aller Pipelines finden Sie in der Veröffentlichung.

## Kosmische Strings

Kosmische Strings sind hypothetische eindimensionale Objekte (wie eine Linie), die sich im frühen Universum gebildet haben könnten. Sie wurden zum ersten Mal vom theoretischen Physiker Tom W. B. Kibble Ende der 1970er Jahre vorausgesagt. Es wurden Anstrengungen unternommen sie zu finden, aber derzeit gibt es keinen Beobachtungsnachweis für die Existenz kosmischer Strings. Kosmische Strings verlieren hauptsächlich durch das Aussenden von Gravitationswellen Energie. Wenn sich ein String in einem Netzwerk kosmischer Strings selbst kreuzt, wird die entstehende Schleife vom String getrennt. Diese oszilliert und strahlt Gravitationswellen aus. An den Abschnürpunkten (sogenannten

Kuspen) der Schleife, die sich mit einer Geschwindigkeit nahe der Lichtgeschwindigkeit bewegen, entstehen starke Gravitationswellen auf. Gravitationswellenausbrüche, die von den Abschnürpunkten ausgesendet werden, sind eines der vielversprechendsten Beobachtungsmerkmale für kosmische Strings. Die Suche nach diesen Signalen mit Gravitationswellendetektoren wie Advanced LIGO und Advanced Virgo kann uns ein neues Verständnis des sehr frühen Universums ermöglichen. Diese Signale sind theoretisch gut modelliert, so dass es möglich ist, eine angepasste Filtersuche für diese kurzlebigen Signale durchzuführen.

## Ergebnisse

Weder die unmodellerte Suche noch die Suche nach kosmischen Strings fanden neue Gravitationswellen. Die unmodellierten Pipelines fanden fast alle Doppelsysteme schwarzer Löcher aus O2, die im Katalog der Gravitationswellenereignisse vorgestellt wurden. Auch ohne die Entdeckung neuer Signale erhalten wir einige astrophysikalisch interessante Ergebnisse. Mithilfe von simulierten Signalen können wir bestimmen, wie empfindlich wir auf kurzlebige Ereignisse bei verschiedenen Frequenzen reagieren. Wir setzen dann Obergrenzen für die Rate, mit der diese Ereignisse im Universum stattfinden. Da wir uns hier auf die Entdeckung neuer Gravitationswellenquellen konzentrieren, begrenzen wir die Rate der Gravitationswellenereignisse, die aus anderen Quellen als die Verschmelzung von zwei schwarzen Löchern stammen. Für den Fall der kosmischen Strings konnten wir Bedingungen für die Modelle setzen, die die Verteilung von Schleifen vorhersagen. Genauer gesagt, konnten wir für jedes Modell Obergrenzen für den als Stringspannung bezeichneten Parameter festlegen. Dieser Parameter spiegelt das Alter des Universums wieder, in dem sich kosmische Strings gebildet haben könnten. Diese Beobachtungsergebnisse können mit theoretischen Modellen des frühen Universums verglichen werden.

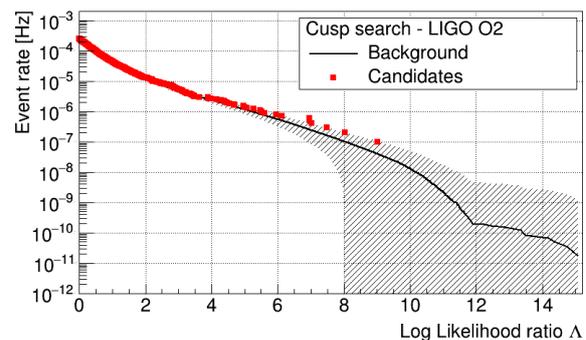


Abb. 2: Ergebnisse aus der Suche nach kosmischen Strings. Das Diagramm zeigt die kumulative Anzahl (d. h. die Summe) aller Trigger in der Suche, die höher sind als eine bestimmte Ranglistenstatistik (auch ein Maß für die Signifikanz des Triggers). Wie bei der unmodellierten Suche stimmen alle potenziellen Kandidaten mit den Erwartungen der Suche überein, die wir aufgrund zufälliger Rauschschwankungen erwarten.

## Glossar

**Kuspe oder Spitze:** (aus dem Englischen *cusp*) Der Ort auf einer Kurve, an dem ein Punkt, der auf der Kurve läuft, seine Bewegungsrichtung genau umkehren würde.

**Neutronenstern:** Kollabierter Kern eines toten Sterns; sie haben normalerweise die 1,4-fache Masse unserer Sonne, sind aber nur etwa 20 km groß und damit unglaublich dicht.

**Pulsare:** Neutronensterne, die durch die von ihnen ausgesandten elektromagnetischen Strahlungsimpulse (normalerweise im Radioband) beobachtet wurden. Ein großer Teil der erwarteten Neutronensterne kann nicht als Pulsare beobachtet werden, entweder weil sie keine elektromagnetische Strahlung abgeben oder weil ihre elektromagnetische Strahlung nicht in Richtung der Erde abgestrahlt wird.

**Pulsarglitch:** Eine plötzliche Erhöhung der Rotationsrate eines Pulsars. Die Ursache dafür ist noch unbekannt.

**Transient:** Astronomisches Phänomen auf kurzer Zeitskala; im Gegensatz zu astrophysikalischen Ereignissen, die Tausende bis Milliarde Jahre dauern.

**Wellenform:** Darstellung, wie sich ein Gravitationswellensignal mit der Zeit ändert.

## Weiterführende Informationen

Kostenloser Vorabdruck der Veröffentlichung unter <https://arxiv.org/abs/1905.03457>.

Wissenschaftliche Zusammenfassung für eine vorherige (2015 O1) Version der Suche nach kosmischen Strings

Wissenschaftliche Zusammenfassung für eine vorherige (S5S6) Version der Suche nach kosmischen Strings