

GWTC-3, Trzeci Katalog Detekcji Fal Grawitacyjnych

Wstęp

GWTC-3 to trzeci Gravitational-Wave Transient Catalog, czyli trzeci katalog przejściowych Źródeł fal grawitacyjnych, opracowany na podstawie danych zebranych przez sieć detektorów [LIGO](#), [Virgo](#) i [KAGRA](#). GWTC-3 dodaje do poprzednich katalogów informacje o obserwacjach fal grawitacyjnych dokonanych w drugiej części kampanii obserwacyjnej O3 (nazwanej O3b), która trwała od listopada 2019 do marca 2020. Katalog GWTC-3 zawiera największą liczbę zebranych do tej pory obserwacji fal grawitacyjnych.

Jakie inne katalogi fal grawitacyjnych opublikowano do tej pory?

- [GWTC-1](#) - zawiera łącznie 11 zdarzeń z pierwszej (O1) i drugiej (O2) kampanii obserwacyjnej.
- [GWTC-2](#) - dodał 39 zdarzeń do GWTC-1, zwiększając ich łączną liczbę do 50 (z O1, O2, i O3a - pierwszej części O3).
- [GWTC-2.1](#) - zweryfikował analizę danych z O3a znajdując 8 dodatkowych 8 kandydatów, ale także zmienił klasyfikację 3 kandydatów z GWTC-2, ponieważ ich prawdopodobieństwo, że są sygnałami astrofizycznymi, spadło do mniej niż 50% (zobacz "[Wykrywanie fal grawitacyjnych](#)" poniżej). Dało to w sumie 55 zdarzeń.
- GWTC-3 (ta publikacja) - dodaje kolejne 35 zdarzeń fal grawitacyjnych z O3b, podnosząc całkowitą liczbę zaobserwowanych do tej pory zdarzeń do aż 90. (Rysunek 3 poniżej ilustruje samą liczbę i rosnącą populację wykrytych zdarzeń).

Detektor KAGRA dołączył do LIGO i Virgo pod koniec kampanii O3b, a dodatkowo w kwietniu 2020 r. przeprowadził, wraz z detektorem [GEO 600](#) znajdującym się w Niemczech, [dwutygodniową kampanię obserwacyjną](#). Wyniki tej kampanii zostaną zaprezentowane oddzielnie.

Wszystkie dotychczasowe obserwacje fal grawitacyjnych pochodzą z koalescencji (łączenia się) czarnych dziur lub gwiazd neutronowych w układach podwójnych. Czarne dziury i gwiazdy neutronowe tzw. obiekty zwarte są pozostałościami po masywnych gwiazdach. Zarejestrowane zdarzenia obejmują koalescencje podwójnych czarnych dziur, koalescencje podwójnych gwiazd neutronowych i koalescencje gwiazdy neutronowej z czarną dziurą. Ponieważ detektory stały się bardziej czułe, tempo detekcji znacznie się zwiększyło. Przeszliśmy długą drogę od pierwszej detekcji w 2015 roku.

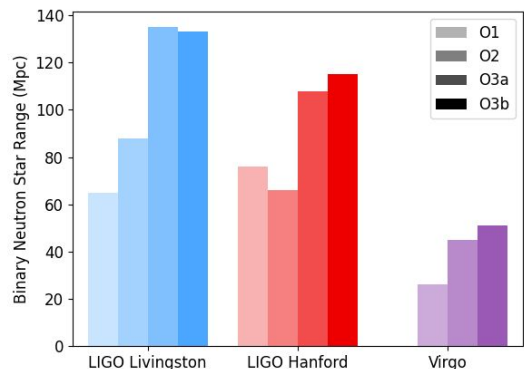
W tym podsumowaniu możesz przeczytać o tym, w jaki sposób zbieramy dane, jak wykrywamy fale grawitacyjne, jak szacujemy właściwości Źródeł sygnałów, a także znajdziesz tutaj najważniejsze informacje o nowych sygnałach z GWTC-3 i o planowanych przyszłych kampaniach obserwacyjnych.

Detektory fal grawitacyjnych

Z biegiem lat czułość detektorów LIGO i Virgo ulegała poprawie zarówno dzięki ulepszeniom samych detektorów, jak i dzięki lepszej jakości danych i lepszym technikom używanym do ich analizy. Istnieje kilka sposobów określenia czułości detektora fal grawitacyjnych. Jednym z nich jest oszacowanie przybliżonego zasięgu, do którego detektor może wykrywać typowe połączenie się dwóch gwiazd neutronowych: *im większy zasięg, tym dalej można wykrywać sygnały, a więc tym więcej detekcji możemy się spodziewać*. O3 podzielono na dwie połowy (oznaczone O3a i O3b), rozdzielone miesięczną przerwą w październiku 2019 r. W tym miesiącu zakończono wiele modernizacji i napraw, w tym [czyszczenie luster w LIGO Livingston](#), [wymianę sprzętu próżniowego w LIGO Hanford](#) oraz [zwiększenie mocy lasera w Virgo](#). Te prace, jak również ciągła konserwacja trwająca przez cały okres obserwacji, pozwoliła detektorom na utrzymanie lub zwiększenie czułości. Rysunek 1 pokazuje, jak mediana zasięgu dla układów podwójnych gwiazd neutronowych zmieniła się dla każdego detektora. Pomiędzy O3a i O3b średni zasięg dla podwójnych gwiazd neutronowych wzrósł o 13,3% dla Virgo, 6,5% dla LIGO Hanford i pozostał na podobnym poziomie dla LIGO Livingston (który jest najczulszym z detektorów), z niewielkim spadkiem czułości o 1,5%.

Surowe dane z detektora fal grawitacyjnych pochodzą ze zmiennego w czasie natężenia światła laserowego mierzonego na wyjściu interferometru. Te surowe dane należy [skalibrować](#), aby uzyskać odpowiednią amplitudę odkształcenia fali grawitacyjnej. Kalibrację należy wykonać ostrożnie. Używamy światła laserowego do precyzyjnego „popychania” luster, co pozwala zmierzyć, jak zmienia się sygnał na wyjściu interferometru. Wstępna kalibracja odbywa się w czasie zbliżonym do rzeczywistego. W razie potrzeby późniejsza ponowna kalibracja i odejmowanie długotrwałego szumu są wykorzystywane do uzyskania możliwie najlepszych danych dotyczących odkształceń, które są wykorzystywane w tej analizie.

Po kalibracji i odjęciu szumu dane muszą zostać sprawdzone pod względem jakości. Najczęstszym problemem, jaki mamy podczas oceny jakości danych dla sygnałów z podwójnych gwiazd neutronowych, są glicze, czyli krótkotrwałe (trwające od kilku sekund do kilku minut) zakłócenia w danych. Niektóre glicze mają znane pochodzenie, takie jak rozpraszanie światła, ale czasami ich pochodzenie jest tajemnicą. Glicze czasami nakładają się na sygnał fali grawitacyjnej i w takich przypadkach możemy wykonać *odejmowanie gliczy*, aby usunąć je z danych, co pokazano na Rysunku 2. Odejście zakłóceń było ważną częścią analizy związanej z wykryciem pierwszego sygnału z podwójnego układu gwiazd neutronowych, GW170817, a w GWTC-3 7 zdarzeń z 35 wymagało odejmowania zakłóceń. Jeśli chcesz dowiedzieć się więcej o usterkach i pomóc nam w lepszym ich zrozumieniu, przejdź do projektu społecznościowego [Gravity Spy](#).



Rysunek 1. Mediana odległości, do której poszczególne detektory mogły wykrywać układy podwójne gwiazd neutronowych, w pierwszej (O1), drugiej (O2), w pierwszej połowie trzeciej (O3a) i w drugiej połowie trzeciej (O3b) kampanii obserwacyjnej. Zasięg jest wyrażony w megaparsekach. Rysunek pochodzi od LIGO-Virgo-KAGRA Collaborations/Hannah Middleton/OzGrav.

Wykrywanie fal grawitacyjnych

W czasie kampanii O3a i O3b ogłaszano [publiczne alerty](#) o prawdopodobnym wykryciu sygnału fali grawitacyjnej. Takie szybkie alerty umożliwiają społeczności astronomicznej poszukiwanie za pomocą teleskopów [elektromagnetycznych](#) i detektorów [neutrino](#) sygnałów związanych z prawdopodobnie zarejestrowanym sygnałem fali grawitacyjnej. Publiczne alerty były zwykle publikowane w ciągu kilku minut od wykrycia sygnału w O3b. Późniejsza ponowna analiza danych mogła prowadzić do wycofania niektórych zdarzeń i do odkrycia dalszych zdarzeń. Ostateczna analiza przedstawiona w GWTC-3 korzysta z poprawy kalibracji i jakości danych oraz z analizy danych z całej kampanii obserwacyjnej, aby ocenić, czy kandydaci są interesujący, czy nie. W O3b ogłoszono 39 publicznych alertów, z których 18 przetrwało ponowną analizę i zostało włączonych do GWTC-3 jako kandydaci z większym niż 50% prawdopodobieństwem istnienia. Kolejnych 17 zdarzeń opisano po raz pierwszy w katalogu GWTC-3.

Używamy dwóch typów analiz do poszukiwania kandydatów na fale grawitacyjne: wyszukiwania opartego na szablonach i wyszukiwania minimalnie modelowanego. Szablonami są symulowane sygnały ze zwartych układów podwójnych, używamy ich do filtrowania danych szukając elementów pasujących do kształtu szablonu i jego zmian w czasie. Minimalnie modelowane wyszukiwania nie zakładają dokładnego typu sygnału, ale wymagają, aby ten sam sygnał pojawiał się w wielu detektorach. Podejście szablonowe jest zwykle lepsze w znajdowaniu sygnałów z układów podwójnych (ponieważ wiemy, jak one wyglądają), natomiast podejście z minimalnym modelowaniem zapewnia, że niczego nie przegapimy z powodu braku odpowiedniego szablonu. Oceniając, czy kandydat może być rzeczywistym sygnałem, obliczamy prawdopodobieństwo, że losowy szum może przypadkowo wyglądać tak jak sygnał kandydata. Zwykle im bardziej spójny jest sygnał między detektorami, tym bardziej możemy być pewni, że jest on prawdziwy.

W GWTC-3 wymieniamy wszystkich kandydatów, co do których szacujemy, że mają co najmniej 50% szans na bycie prawdziwymi, tzn. nie wywołanymi szumem. Szacunek ten opiera się nie tylko na zrozumieniu szumu w naszych detektorach, ale także na tym, jak często sygnały fal grawitacyjnych powinny być obserwowane przez nasze detektory. Ponieważ dopiero zaczynamy poznawać populację zlewających się zwartych obiektów, liczby te mogą być niepewne. Gdy w przyszłości dokonując kolejnych obserwacji dowiemy się więcej o tej populacji, będziemy mogli ponownie sprawdzić kandydatów, co do których jesteśmy obecnie mniej pewni.

Dodatkowo GWTC-3 zawiera listę słabszych sygnałów, które nie przekraczają progu 50% szans na prawdziwość. Podobnie jak w [GWTC-2.1](#), lista ta w GWTC-3 zawiera dowolne zdarzenie charakteryzujące się częstością fałszywych alarmów niższą niż 2 dziennie. Spodziewamy się, że z 1048 kandydatów podprogowych większość to szum; jednak lista ta może być użyteczna, aby pomóc astronomom w identyfikacji potencjalnych zdarzeń z wykorzystaniem obserwacji wieloaspektowych.

Nazywanie sygnałów fal grawitacyjnych

Nazwy sygnałów fal grawitacyjnych reprezentują datę i godzinę wykrycia sygnału wyrażoną w uniwersalnym czasie koordynowanym ([Coordinated Universal Time, UTC](#)). Nazwy niektórych wcześniej wykrytych sygnałów zawierają tylko datę, ale ponieważ detektory poprawiają swoją czułość, możemy wykryć więcej niż jedno zdarzenie dziennie. Dlatego w GWTC-3, tak jak w GWTC-2 i GWTC-2.1, dodajemy godzinę wykrycia sygnału do jego nazwy. Na przykład sygnał GW200208_222618 zaobserwowano 8 lutego 2020 roku o godzinie 22:26:18 czasu UTC.

Właściwości Źródeł fal grawitacyjnych

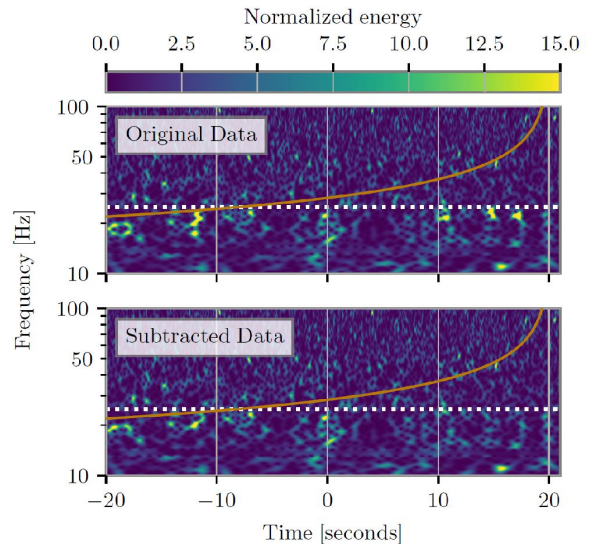
Zaobserwowane fale grawitacyjne zawierają informacje o właściwościach układów podwójnych, które je wytworzyły. Właściwości mogą być *wewnętrzne* lub *zewnętrzne*. Właściwości wewnętrzne opisują samo źródło, należą do nich masy i spiny zwartych obiektów. Właściwości zewnętrzne opisują jak zdarzenie wygląda z punktu widzenia obserwatora na Ziemi i obejmują położenie źródła na niebie, jego odległość od Ziemi oraz orientację płaszczyzny, w której dwa zwarte objekty krążą wokół siebie.

O właściwościach układów podwójnych dowiadujemy się estymując ich parametry. Używamy do tego statystycznej techniki, w której porównujemy wiele możliwych sygnałów fal grawitacyjnych (generowanych przez układy o różnych parametrach) z danymi obserwacyjnymi. Porównanie mówi nam, jakie wartości parametrów źródła są zgodne z danymi (przy założeniu, że mamy rzeczywisty sygnał fali grawitacyjnej). Jako ostateczny wynik wybieramy przedział o 90% wiarygodności, co oznacza, że jesteśmy w 90% pewni, że parametry układu leżą wewnątrz tego przedziału.

Kontury na Rysunku 4 pokazują obszary o 90% wiarygodności dla dwóch parametrów: masy całkowitej i stosunku mas. Całkowita masa mówi nam, jak masywny był układ podwójny. Masy są mierzone w jednostkach masy Słońca M_{\odot} . Stosunek mas składników układu pokazuje, jak asymetryczne były masy dwóch zwartych obiektów, które się połączyły. Stosunek mas bliski 1 oznacza, że dwa zwarte objekty miały niemal taką samą masę.

Badanie właściwości populacji jako całości pomaga nam dowiedzieć się, jak powstały te systemy. Możemy również wykorzystać te obserwacje, aby przetestować ogólną teorię względności Alberta Einsteina, a nawet zmierzyć tempo rozszerzania się wszechświata.

Poniżej podsumowano wybrane najciekawsze zdarzenia z O3b.



Rysunek 2 (Rys. 14 z publikacji). Przykład odjęcia glicza. Na wykresach przedstawione są w płaszczyźnie (czas, częstotliwość) dane dla zdarzenia GW200115_042309, kolor wskazuje energię w każdym czasowo-częstotliwościowym binie. Górny wykres przedstawia dane nieprzetworzone, zaś dolny dane po odjęciu zakłóceń. Szacowana trajektoria sygnału w płaszczyźnie (czas, częstotliwość) jest oznaczona pomarańczową linią, nie ma na nią wpływu proces odejmowania zakłóceń.

Najważniejsze wyniki GWTC-3

Badając własności 35 detekcji z GWTC-3, 32 z nich to najprawdopodobniej połączenia czarnych dziur, zaś trzy to potencjalne połączenia czarna dziura-gwiazda neutronowa. Przyjmujemy, że obiekty o masie poniżej $3M_{\odot}$ to prawdopodobnie gwiazdy neutronowe. W katalogu O3b nie ma podwójnych gwiazd neutronowych. Na Rysunku 5 przedstawiamy oszacowanie wartości trzech kluczowych parametrów dla ośmiu wybranych detekcji.

Połączenia gwiazdy neutronowej- czarna dziura

Trzy potencjalne połączenia gwiazdy neutronowej z czarną dziurą to:

- **GW191219_163120** jest połączeniem gwiazdy neutronowej z czarną dziurą, o bardzo dużym stosunku mas. Masa czarnej dziury to $31M_{\odot}$ zaś masa gwiazdy neutronowej to $1.2M_{\odot}$. Gwiazda neutronowa w tym układzie jest jedną z najmniej masywnych zaobserwowanych dotychczas.
- **GW200115_042309** to połączenie gwiazdy neutronowej z czarną dziurą opisane szczegółowo w [osobnej publikacji](#).

Masa czarnej dziury to około $6M_{\odot}$, zaś gwiazdy neutronowe to $1.4M_{\odot}$.

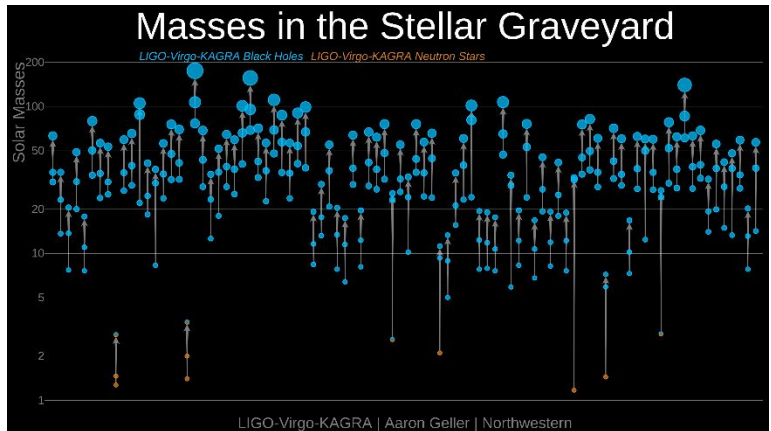
- **GW200210_092254** to prawdopodobne połączenie gwiazdy neutronowej i czarnej dziury. Bardziej masywny składnik to z pewnością czarna dziura o masie około $24M_{\odot}$. Masa mniejszego składnika to $2.8M_{\odot}$, co oznacza albo masywną gwiazdę neutronową albo lekką czarną dziurę. Ta detekcja jest bardzo podobna do [GW190814](#) z katalogu O3a. Z tego co wiemy o gwiazdach neutronowych sądzimy, że GW200210_092254 to połączenie dwóch czarnych dziur, ale to nie jest pewne.

Można zauważyć, że nie umieściliśmy sygnału GW200105_162426 w katalogu GWTC-3, choć poprzednio opisałyśmy to zdarzenie razem z GW200115_042309 w [osobnej publikacji](#). Biorąc pod uwagę wszystkie detekcje w O3b, prawdopodobieństwo tego, że GW200105_162426 jest prawdziwym sygnałem astrofizycznym, wynosi 36%, co jest poniżej progu 50% potrzebnego dla umieszczenia w katalogu. Więcej informacji na ten temat jest pod hasłem GW200105_162426 w słowniczku poniżej. Mimo, że sygnał ten jest poniżej progu, jest on powyżej szumu, a zatem jest bardzo interesujący! Jeśli GW200105_162426 to prawdziwy sygnał, to w jego skład wchodzi czarna dziura o masie $9M_{\odot}$ i gwiazda neutronowa o masie $1.9M_{\odot}$.

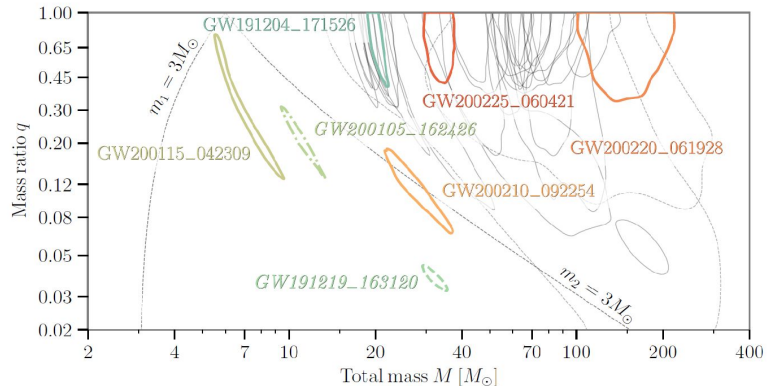
Połączenia czarnych dziur

Najciekawsze wyniki dotyczące połączeń czarnych dziur to:

- **GW200220_061928** to najpewniej układ podwójny czarnych dziur o największej masie w O3b (ale mniejszej niż [GW190521](#) i [GW190426_190642](#) w O3a). Suma mas dwóch czarnych dziur to $148M_{\odot}$ ($87M_{\odot}$ i $61M_{\odot}$ dla poszczególnych czarnych dziur). Masa końcowa nowej czarnej dziury to $141M_{\odot}$, a zatem powyżej wartości $100M_{\odot}$ potrzebnej do zakwalifikowania jej jako [czarna dziura o masie pośredniej](#).
- **GW191204_171526** to układ podwójny czarnych dziur, dla którego jesteśmy pewni, że jego efektywny spin jest dodatni. Efektywny spin to parametr, który można łatwo zmierzyć w sygnale fal grawitacyjnych. Wartość dodatnia parametru oznacza, że co najmniej jedna czarna dziura rotuje i to w kierunku zgodnym z ruchem orbitalnym. Ta informacja jest bardzo ważna do badania pochodzenia układu. Pierwszym układem o dodatnim spinie był [GW151226](#). W przypadku GW191204_171526, masy czarnych dziur to $12M_{\odot}$ i $8M_{\odot}$, zaś końcowa masa powstającej czarnej dziury to $19M_{\odot}$.
- **GW191129_134029** ma najniższą masę całkowitą spośród wszystkich układów czarnych dziur w O3b, czyli około $17.5M_{\odot}$ ($10.7M_{\odot}$ i $6.7M_{\odot}$ dla poszczególnych czarnych dziur). Masa powstałej czarnej dziury to $16.8M_{\odot}$.
- **GW191109_010717** to podwójna czarna dziura o potencjalnie ujemnym efektywnym spinie.. Oznacza to, że spin czarnych dziur miał kierunek przeciwny do kierunku orbitalnego momentu pędu, a zatem czarne dziury obracały się przeciwnie do ruchu orbitalnego. Prawdopodobieństwo tego, że spin jest ujemny to 90%.



Rysunek 3. Masy obiektów zwartych. Koła oznaczają poszczególne obiekty zwarte, skala pionowa to ich masa wyrażona w masach Słońca. Niebieskie koła to czarne dziury, zaś pomarańczowe oznaczają gwiazdy neutronowe. Niebiesko-pomarańczowe koła to obiekty, których klasyfikacja jest niejednoznaczna. Każde zdarzenie obejmuje trzy obiekty: dwa łączące się i jeden obiekt końcowy. Strzałki wskazują obiekty łączące się i obiekt końcowy. Podziękowania: LIGO Virgo Collaboration/Frank Elavsky, Aaron Geller/Northwestern.



Rysunek 4 (Rys. 8 z naszej publikacji). Oszacowanie masy całkowitej (M) i stosunku mas pomiędzy składnikiem mniej a bardziej masywnym (q), dla wszystkich detekcji w O3b. Każdy kontur odpowiada detekcji i pokazuje obszar, w którym zawierają się parametry z prawdopodobieństwem 90%. Niektóre ciekawsze detekcje są zaznaczone kolorami (patrz tekst i artykuł).

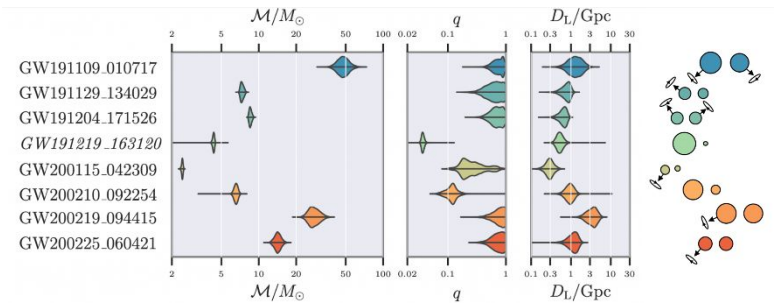
Ujemny spin efektywny jest znacznie rzadszy niż dodatni. GW191109_010717 zawierał także jedno z najbardziej masywnych składników: około $65M_{\odot}$ i $47M_{\odot}$, co dało końcową czarną dziurę o masie $107M_{\odot}$. Te masy są bardzo podobne do mas GW200220_061928, a zatem na wykresach wyróżniliśmy GW200225_060421 – drugi obiekt o wysokim prawdopodobieństwie (około 85%) ujemnego spinu.

Patrząc w przyszłość

Konsorcja LIGO i Virgo odkryły bogactwo czarnych dziur we Wszechświecie. Jak na razie zaobserwowano 90 zdarzeń. GWTC-3 to dodatkowe 35 detekcji, w tym mocni kandydaci na układy typu gwiazda neutronowa z czarną dziurą. Wraz z kolejnymi detekcjami dowiadujemy się coraz więcej o powstawaniu tych układów i o ich własnościach statystycznych. Możemy je wykorzystać także do testowania przewidywań Ogólnej Teorii Względności. Wykrywając coraz więcej układów zwiększamy szanse na wykrycie obiektów o wyjątkowych własnościach.

Obecnie detektory LIGO i Virgo są wyłączane w celu zwiększenia ich czułości przed nadchodzącym czwartą, [planowaną na rok 2022](#), kampanią obserwacyjną O4. Japoński detektor [KAGRA](#) dołączy do obserwacji w O4. Większa liczba detektorów w sieci oznacza lepszą lokalizację Źródeł na niebie.

W międzyczasie kontynuujemy analizę danych, dowiadujemy się nowych rzeczy o obiektach zwartych, a także poszukujemy fal grawitacyjnych z dotychczas nie wykrytych zdarzeń takich jak źródła ciągłe czy stochastyczne tło fal grawitacyjnych. Jesteśmy również otwarci na zupełnie nowy typ sygnału.



Rysunek 5. Ograniczenia na wartości trzech podstawowych parametrów dla ośmiu detekcji z GWTC-3: masa gwiazdy M , stosunek masy mniej do bardziej masywnego składnika q , oraz odległość jasnościowa D_L . Po prawej stronie przedstawione są schematy układów, gdzie rozmiar oznacza masę i zaznaczone są spiny. Podziękowania: LIGO-Virgo-KAGRA Collaborations/Isobel Romero-Shaw/OzGraw.

Dowiedz się więcej

Śledź nowości na naszych stronach

<https://www.ligo.org/news.php>

<https://www.virgo-gw.eu/#news>

Nasz artykuł:

<https://dcc.ligo.org/LIGO-P2000318/public/main>

Dane GWTC-3:

<https://www.gw-openscience.org>

Odwiedź nasze strony

www.ligo.org

www.virgo-gw.eu

gwcenter.icrr.u-tokyo.ac.jp/en/



Słowniczek

Podwójna czarna dziura. Układ dwóch czarnych dziur krążących wokół wspólnego środka masy po bliskich sobie orbitach. (Więcej informacji znajdziesz [tutaj](#).)

Podwójna gwiazda neutronowa. Układ dwóch gwiazd neutronowych krążących wokół wspólnego środka masy po bliskich sobie orbitach. (Więcej informacji znajdziesz [tutaj](#).)

Czarna dziura. Obszar czasoprzestrzeni ekstremalnie ugięty przez niezwykle zwartą masę, w którym grawitacja jest tak silna, że nic, nawet światło, nie może go opuścić.

Masa gwiazdy. Pewna kombinacja mas składników układu podwójnego (wzór znajdziesz [tutaj](#)). Od masy gwiazdy zależy jak z upływem czasu rośnie częstotliwość fal grawitacyjnych emitowanych przez zwarte układy podwójne o mniejszej masie.

Obiekt zwarty. Czarna dziura lub niezwykle gęsty obiekt astrofizyczny, taki jak gwiazda neutronowa lub [biały karzeł](#).

Efektywny spin. Najlepiej mierzalny parametr sygnału fali grawitacyjnej zawierający informacje o spinie. Opisuje, jaka część spinu każdej pojedynczej czarnej dziury ma kierunek zgodny z kierunkiem ruchu orbitalnego (czyli oba kierunki są jednocześnie zgodne z kierunkiem ruchu wskazówek zegara albo przeciwnie do tego kierunku).

Częstość fałszywego alarmu. Jest miarą tego, jak często fluktuacja szumu w detektorze może generować sygnał podobny do rozważanego potencjalnego zdarzenia. Im mniejsza jest częstość fałszywego alarmu, tym bardziej prawdopodobne jest, że rozważane zdarzenie ma astrofizyczną przyczynę.

Postać (ang. *waveform*) fali grawitacyjnej. Reprezentacja ewolucji sygnału fali grawitacyjnej w czasie.

GW200105_162426. Możliwa koalescencja gwiazdy neutronowej z czarną dziurą [opisaną wcześniej](#), która z 36% prawdopodobieństwem jest prawdziwym sygnałem astrofizycznym. Z dwóch powodów jest to sygnał szczególnie trudny do analizy. Po pierwsze, został on zaobserwowany tylko przez jeden detektor – LIGO Livingston. W czasie zdarzenia detektor LIGO Hanford nie zbierał danych, natomiast detektor Virgo zbierał dane, ale nie udało się w nich zidentyfikować tego sygnału. Zdarzenie widoczne w jednym tylko detektorze nie jest czymś nieoczekiwanym; zależy to od względnej czułości instrumentów oraz od położenia Źródła sygnału na niebie (podobna sytuacja miała miejsce w przypadku [GW170817](#)). Oszacowanie istotności sygnału jest zawsze trudne, jeśli dane pochodzą tylko z jednego detektora. Drugim powodem jest to, że na obecnym etapie niewiele wiadomo o populacji układów podwójnych gwiazd neutronowa-czarna dziura, ponieważ nie zaobserwowano ich zbyt wielu. Utrudnia to wiarygodną klasyfikację koalescencji jako pochodzącej od układu gwiazdy neutronowej i czarnej dziury. Gdy będziemy obserwować coraz więcej układów gwiazd neutronowa-czarna dziura, dowiemy się więcej o tych układach i będziemy mogli ponownie sprawdzić istotność kandydatów takich, jak GW200105_162426.

Całkowita masa. Suma mas dwóch zwartych obiektów w układzie podwójnym.

Rozpraszanie światła. Kiedy światło lasera uderza w jakiś element optyczny, niewielka jego część może zostać rozproszona (czyli odbita pod losowym kątem). Rozproszona światło może zostać odbite od innych powierzchni i wrócić do wiązki laserowej detektora powodując zakłócenia (glicze). Aby uzyskać więcej informacji na temat gliczy i innych usterek, zajrzyj do [Gravitv Spy](#).

M_{\odot} . Symbol oznaczający masę Słońca równą około 2×10^{30} kilogramów. Masa Słońca jest jednostką powszechnie reprezentującą masę w astronomii.

Stosunek mas. Stosunek masy lżejszego zwanego obiektu do masy cięższego zwanego obiektu.

Mediana. Liczba reprezentująca środek rozkładu zbioru wartości liczbowych, tak aby połowa wartości była większa, a połowa mniejsza niż mediana.

Megaparsek. Jednostka długości. Jeden megaparsek (1 Mpc) to około 3,26 miliona lat Światłnych.

Gwiazda neutronowa. Relikt masywnej gwiazdy. Kiedy masywna gwiazda wyczerpie swoje paliwo jądrowe, umiera w katastrofalny sposób – jako supernowa – co może spowodować powstanie gwiazdy neutronowej: obiektu tak masywnego i gęstego, że tworzące go atomy nie zachowują swojej struktury, którą mają tworząc materię na Ziemi. Gwiazdy te są mniej więcej tak masywne jak nasze Słońce, ale mają promień około dziesięciu kilometrów.

Układ podwójny gwiazda neutronowa-czarna dziura. Układ składający się z jednej czarnej dziury i jednej gwiazdy neutronowej na bliskiej orbicie wokół siebie. (Więcej informacji znajdziesz [tutaj](#).)

Kampania obserwacyjna. Okres czasu, w którym detektory fal grawitacyjnych zbierają dane do obserwacji astrofizycznych.

Estymacja parametrów. Statystyczna technika używana do wnioskowania o wartościach parametrów astrofizycznych, od których zależy sygnał fali grawitacyjnej.

Prawdopodobieństwo bycia zdarzeniem astrofizycznym. Prawdopodobieństwo tego, że zarejestrowany sygnał jest prawdziwą falą grawitacyjną. Zależy ono zarówno od tego, jak głośny jest sygnał w porównaniu do szumu tła, jak i od naszego zrozumienia populacji, do której należy Źródło sygnału. Zaobserwowanie wielu podwójnych czarnych dziur pozwala lepiej zrozumieć ich populację i pomaga obliczyć prawdopodobieństwo, że kandydujące sygnały tego typu są astrofizyczne. Ponieważ mamy mniej obserwacji łączenia się gwiazdy neutronowej z czarną dziurą, prawdopodobieństwo jest trudniejsze do obliczenia dla tej populacji i być może będziemy musieli wrócić do obecnych szacunków, gdy będziemy mieć więcej obserwacji i wiedzieć więcej o tej populacji.

Spin. Szybkość i kierunek obrotu (tj. moment pędu) czarnej dziury rotującej wokół własnej osi.