

35 nowych wstrząsów czasoprzestrzeni wykrytych przez Virgo i LIGO

35 nowych zdarzeń wykrytych przez LIGO i Virgo w ich ostatniej kampanii obserwacyjnej zwiększa do 90 liczbę wykrytych do tej pory sygnałów fal grawitacyjnych. Zdarzenia te to drgania czasoprzestrzeni generowane przez połączenie się dwóch czarnych dziur, dwóch gwiazd neutronowych lub pary czarna dziura-gwiazda neutronowa. Zbiór danych, opublikowany dzisiaj w tak zwanym trzecim katalogu sygnałów przejściowych, dostarcza nowych informacji na temat populacji czarnych dziur, których masy, wraz z masami obserwowanych gwiazd neutronowych, dostarczają wskazówek na temat życia i śmierci gwiazd, dodatkowo poszerzając horyzonty astronomii fal grawitacyjnych.

Dane o 35 nowych obserwacjach fal grawitacyjnych dokonanych między listopadem 2019 r. a marcem 2020 r. w drugiej części trzeciej i najnowszej kampanii obserwacyjnej LIGO-Virgo (O3b), zwiększają liczbę sygnałów fal grawitacyjnych wykrytych przez globalną sieć trzech interferometrów łącznie do 90.

Większość nowych sygnałów została wyemitowana w procesie łączenia się dwóch czarnych dziur, który wytwarza potężny wybuch fal grawitacyjnych wstrząsający strukturą czasoprzestrzeni. Dwa inne zdarzenia, z których jedno zostało ogłoszone już w czerwcu ubiegłego roku, zostały zidentyfikowane jako wyniki łączenia się gwiazdy neutronowej z czarną dziurą, ten rodzaj źródła został zaobserwowany po raz pierwszy w ostatniej kampanii obserwacyjnej LIGO-Virgo. Kolejne zdarzenie, wykryte w lutym 2020 r., może pochodzić z pary czarnych dziur lub mieszanej pary czarnej dziury z gwiazdą neutronową. Masa lżejszego obiektu mieści się w zakresie mas – w tak zwanej przerwie masowej – w której przed obserwacjami fal grawitacyjnych nie oczekiwano formowania się gwiazd neutronowych ani czarnych dziur, co pozostaje zagadką dla naukowców.

Te nowe odkrycia zostały dzisiaj opublikowane przez konsorcja naukowe Virgo, LIGO i KAGRA, w trzecim katalogu źródeł przejściowych fal grawitacyjnych (**GWTC-3**), w internetowym archiwum ArXiv.

Gdy tylko sygnał zostanie rozpoznany jako potencjalne zdarzenie astrofizyczne przez system analizy danych detektora i starannie sprawdzony przez badaczy, pewne wstępne informacje o lokalizacji na niebie źródła fali grawitacyjnej i jego naturze (czy jest to para czarnych dziur, para gwiazd neutronowych, lub para mieszana) są upubliczniane niemal w czasie rzeczywistym. Te „alerty o niewielkim opóźnieniu” umożliwiają poszukiwanie sygnału za pomocą innych niż fale grawitacyjne „posłańców”, czyli poszukiwanie przez teleskopy i obserwatoria na Ziemi, lub w kosmosie, np. sygnałów elektromagnetycznych i neutrin emitowanych przez to samo źródło, które wyemitowało fale grawitacyjne.



Podczas ostatniej kampanii obserwacyjnej konsorcja LIGO i Virgo ogłosiły w czasie rzeczywistym 39 alertów informujących społeczność naukową o potencjalnych zdarzeniach związanych z falami grawitacyjnymi. 18 kandydatów z tych alertów zostało potwierdzonych, a 17 kolejnych zdarzeń zostało znalezionych w rezultacie dalszej analizy offline. Wyniki tej bardziej kompletnej i dopracowanej analizy zostały opublikowane dzisiaj w Katalogu GWTC-3. Do tej pory nie zgłoszono żadnych pewnych innych niż związane z falami grawitacyjnymi sygnałów odpowiadających umieszczonym w tym katalogu zdarzeniom.

Analiza danych offline była kontynuowana przez wiele miesięcy po zakończeniu obserwacji, ponieważ wymagała długiej i złożonej pracy związanej z kalibracją i analizą danych, prowadzonej przez różne zespoły badawcze pracujące równolegle i przy użyciu różnych technik, mówi Viola Sordini, pracownik naukowy CNRS w Institut de Physique des deux Infinis de Lyon. Rzeczywiście, w niektórych przypadkach szukamy w danych sygnałów, które jak najbardziej przypominają „kształty” przewidywane przez modele teoretyczne. Inne grupy zamiast tego rozważają i analizują szczegółowo wszystkie te cechy sygnału, które odróżniają go od szumu w detektorze, nie zakładając żadnego konkretnego kształtu szukanego sygnału. To niezwykle intensywne działanie, w której współpracują ze sobą setki naukowców z całego świata.

Również dzisiaj konsorcja naukowe LIGO, Virgo i KAGRA udostępniły pełny zestaw skalibrowanych danych zarejestrowanych przez detektory LIGO i Virgo od listopada 2019 r. do marca 2020 r. Dzięki temu cała społeczność naukowa może wykonywać niezależne analizy i weryfikować już opublikowane rezultaty, maksymalizując bogactwo otrzymanych wyników naukowych.

Nowy horyzont astronomii fal grawitacyjnych

Opublikowany dzisiaj Katalog pozwala na nowe spojrzenie na ekstremalne zdarzenia kosmiczne i przedstawia charakterystykę populacji czarnych dziur, ustanawiając nowe rekordy i ograniczenia na masy czarnych dziur i gwiazd neutronowych.

Kilka czarnych dziur powstałych w wyniku zaobserwowanych połączeń ma masę przekraczającą 100 razy masę Słońca i jest klasyfikowanych jako czarne dziury o masie pośredniej. Ten typ czarnej dziury jest bardzo interesujący, ponieważ może odgrywać kluczową rolę w formowaniu się supermasywnych czarnych dziur znajdujących się w centrach galaktyk. Od dawna o takich czarnych dziurach teoretyzują astrofizycy, po raz pierwszy zostały one jednak bezpośrednio wykryte dopiero za pomocą sygnałów fal grawitacyjnych zarejestrowanych przez detektory LIGO-Virgo-KAGRA.

Inne zdarzenie obejmuje połączenie masywnej czarnej dziury (o masie około 33 mas Słońca) i gwiazdy neutronowej o bardzo małej masie (wynoszącej około 1,2 masy naszego Słońca). Jest to jedna z najmniej masywnych gwiazd neutronowych, jakie kiedykolwiek wykryto, wykorzystując fale grawitacyjne lub obserwacje elektromagnetyczne.



Wreszcie zaobserwowano układ podwójny, dla którego naukowcy nie mogą z całą pewnością określić, czy jego lżejszy składnik to gwiazda neutronowa, czy czarna dziura. Jego masa, równa 2,8 masy Słońca, jest zastanawiająca, ponieważ naukowcy spodziewają się, że najmasywniejsza gwiazda neutronowa musi mieć masę około 2,5 razy większą od masy Słońca. Jednak za pomocą obserwacji elektromagnetycznych nie odkryto jak dotąd żadnych czarnych dziur o masie poniżej około 5 mas Słońca.

Warto podkreślić, że rozkład mas zaobserwowanych czarnych dziur i gwiazd neutronowych podważa modele astrofizyczne opisujące ewolucję i śmierć gwiazd, których pozostałościami są zwarte obiekty. Co więcej, właściwości fizyczne wykrytych źródeł dostarczają nowych wskazówek na temat środowisk astrofizycznych, w których najprawdopodobniej zachodzą badane ekstremalne zdarzenia kosmiczne: są to gęste środowiska gwiazdne, takie jak gromady kuliste, lub młode gromady, a nawet dyski akrecyjne w aktywnych jądrach galaktyk.

Wciąż doskonale pamiętam entuzjazm wszystkich naukowców, gdy słuchaliśmy publicznego ogłoszenia pierwszego odkrycia fal grawitacyjnych na początku 2016 roku – powiedział Edoardo Milotti, członek Virgo Collaboration na Uniwersytecie w Trieście i INFN. Teraz, mniej niż sześć lat później, odkrycia ogłoszone w katalogu GWTC-3 dodają nowe cenne informacje do rozwijającej się nowej dziedziny astronomii fal grawitacyjnych i zapewniają nowe spojrzenie na wiele aspektów Wszechświata, takich jak na przykład populacje układów podwójnych czarnych dziur lub gwiazd neutronowych.

Przyszłość

Postęp osiągnięty w ciągu kilku lat przez naukowców zajmujących się falami grawitacyjnymi jest zdumiewający, przechodząc od pierwszej detekcji do obserwacji wielu zdarzeń miesięcznie. Było to możliwe dzięki programowi ciągłych ulepszeń technologicznych, które przekształciły pierwsze pionierskie instrumenty w coraz bardziej czułe detektory. Postęp w zwiększaniu czułości detektorów spowodowany ich ciągłym unowocześnianiem jest oczywisty, biorąc pod uwagę, że spośród 90 opublikowanych dzisiaj obserwacji fal grawitacyjnych, aż 79 odnosi się wyłącznie do ostatniej kampanii obserwacyjnej, która trwała od kwietnia 2019 r. do marca 2020 r.

Obserwatoria LIGO i Virgo przechodzą obecnie dalszą modernizację i nową, czwartą kampanię obserwacyjną rozpoczną w drugiej połowie 2022 r., z czułością umożliwiającą obserwację części Wszechświata o objętości prawie 10 razy większej niż wcześniej, co znacznie zwiększy prawdopodobieństwo odbierania sygnałów fal grawitacyjnych.

Wśród różnych ulepszeń w Virgo skonstruowaliśmy dodatkową wnękę optyczną (tzw. wnękę recyklingu sygnału), która pozwala poprawić pasmo czułości detektora przy wysokich częstotliwościach – powiedział Sebastian Steinlechner, adiunkt w Maastricht University i Nikhef. Odpowiada to zwiększonej zdolności detektora do „słuchania” końcowych etapów łączenia się par czarnych dziur lub gwiazd neutronowych.



W Japonii trwa uruchamianie detektora KAGRA, który planuje dołączyć do detektorów LIGO-Virgo w kolejnej kampanii obserwacyjnej. Rozbudowa sieci detektorów zdolnych do wspólnego zbierania danych zwiększy dokładność lokalizacji źródła sygnału na niebie, co jest kluczową cechą umożliwiającą przysze postępy w astronomii wykorzystującej wielu „posłańców”.

Nowy artykuł pokazuje, jak Virgo, LIGO i KAGRA szybko wkraczają w nową fazę, mówi Giovanni Losurdo, rzecznik prasowy Virgo i badacz INFN. Od odkrycia i obserwacji pojedynczych zdarzeń po badania populacyjne, które są potężnym sposobem na badanie natury ciemnego Wszechświata. Ta zmiana będzie jeszcze bardziej istotna w następnych kampaniach obserwacyjnych, w których dzięki ostatnim ulepszeniom spodziewamy się wykrywać nawet jedno zdarzenie dziennie.

Obserwatoria fal grawitacyjnych

Virgo Collaboration ma obecnie około 700 członków ze 129 instytucji w 16 różnych (głównie europejskich) krajach. Europejskie Obserwatorium Grawitacyjne (EGO) zarządza detektorem Virgo znajdującym się w pobliżu Pizy we Włoszech i jest finansowane przez Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS) we Francji, Istituto Nazionale di Fisica Nucleare (INFN) we Włoszech oraz Narodowy Instytut Fizyki Subatomowej (Nikhef) w Holandii. Listę grup Virgo Collaboration można znaleźć na stronie <http://public.virgo-gw.eu/the-virgo-collaboration/>. Więcej informacji można znaleźć na stronie Virgo pod adresem <http://www.virgo-gw.eu>.

LIGO jest finansowane przez Narodową Fundację Nauki (NSF) i obsługiwane przez Caltech i MIT, które są autorami projektu LIGO i nim kierowały. Wsparcie finansowe projektu Advanced LIGO zapewniła NSF, znaczące zobowiązania i wkład w projekt podjęły Niemcy (Max Planck Society), Wielka Brytania (Science and Technology Facilities Council) i Australia (Australian Research Council-OzGrav). Około 1300 naukowców z całego świata uczestniczy w pracach w ramach LIGO Scientific Collaboration, która obejmuje GEO Collaboration. Lista dodatkowych partnerów jest dostępna pod adresem <https://my.ligo.org/census.php>.

Interferometr laserowy KAGRA z ramionami o długości 3 km znajduje się w Japonii w Kamioka Observatory, prefektura Gifu. Projektem zarządza Institute of Cosmic Ray Researches (ICRR) na Uniwersytecie Tokijskim, a współorganizatorem projektu jest Narodowe Obserwatorium Astronomiczne w Japonii (NAOJ) oraz High Energy Accelerator Research Organisation (KEK). Budowa detektora KAGRA została zakończona w 2019 roku, później dołączył on do międzynarodowej sieci detektorów fal grawitacyjnych LIGO i Virgo. Detektor rozpoczął zbieranie danych w lutym 2020 r. podczas ostatniego etapu kampanii obserwacyjnej O3b. KAGRA Scientific Congress liczy ponad 470 członków ze 115 instytucji w 14 krajach/regionach. Lista badaczy dostępna jest pod adresem <http://gwwiki.icrr.u-tokyo.ac.jp/JGWwiki/KAGRA/KSC/Researchers>. Informacje o detektorze KAGRA dostępne są na stronie: <https://gwcenter.icrr.u-tokyo.ac.jp/en/>.

Media contacts in Europe

EGO

Vincenzo Napolano
napolano@ego-gw.it



+393472994985

Virgo

Livia Conti

livia.conti@pd.infn.it

CNRS, France

Véronique Etienne

veronique.etienne@cnrs.fr

+33 1 44 96 51 37

INFN, Italy

Antonella Varaschin

antonella.varaschin@presid.infn.it

Nikhef, Netherlands

Martijn van Calmthout

martijn.van.calmthout@nikhef.nl

+31 6 46637876

Media Contacts in the US

Caltech

Whitney Clavin

wclavin@caltech.edu

626-390-9601

MIT

Abigail Abazorius

abnya@mit.edu

617-253-2709

NSF

Josh Chamot

jchamot@nsf.gov

703-292-4489