

Detekcja ponad 100 czarnych dziur w pierwszej połowie kampanii obserwacyjnej Virgo i LIGO w 2019 r.

Klasyfikacja i ostateczna analiza 39 zjawisk wykrytych przez Virgo i LIGO w trzeciej kampanii obserwacyjnej (od kwietnia do października 2019 r.) została dziś opublikowana w internetowym archiwum ArXiv. Większość z nich to koalescencje czarnych dziur w układach podwójnych - niektóre ich cechy stawiają pod znakiem zapytania niektóre ustalone modele astrofizyczne i otwierają nowe scenariusze. W tym samym okresie wykryto również sygnał prawdopodobnie z układu podwójnego gwiazd neutronowych i dwóch układów „mieszanych”, gwiazdy neutronowej i czarnej dziury.

Rok pracy zajęła złożona analiza wszystkich sygnałów fal grawitacyjnych zarejestrowanych przez interferometr Virgo, zlokalizowany w Europejskim Obserwatorium Grawitacyjnym we Włoszech, oraz przez dwa amerykańskie detektory LIGO podczas kampanii obserwacyjnej O3a, która trwała od 1 kwietnia do 1 października 2019 r. Zjawiska te obejmowały: 36 koalescencji czarnych dziur w układach podwójnych, i prawdopodobnie jedno połączenie gwiazd neutronowych w układzie podwójnym oraz dwie koalescencje czarnej dziury z gwiazdą neutronową. Wśród nich cztery „wyjątkowe wydarzenia” zostały już opublikowane w ciągu ostatniego roku, ale upubliczniony dziś katalog po raz pierwszy przedstawia pełny obraz niezwykle dużej liczby zarejestrowanych sygnałów fal grawitacyjnych i ich źródeł. Reprezentuje on bogactwo obserwacji i danych na temat fizyki czarnych dziur, co było trudne do wyobrażenia zaledwie parę lat temu. „Od zakończenia obserwacji O2 w sierpniu 2017 r. podjęto wiele wysiłków, aby zmodernizować wiele elementów technicznych i różnych części detektora, w celu zwiększenia czułości Virgo w całym zakresie częstotliwości”, powiedziała Ilaria Nardecchia, badaczka z Uniwersytetu Roma Tor Vergata i członek współpracy Virgo. „Odnieśliśmy sukces dzięki podwojeniu czułości detektora!” Rzeczywiście, między wrześniem 2017 r. a kwietniem 2019 r., czułość trzech detektorów została znacznie zwiększona. Dzięki temu detektor Virgo stał się zdolny do badania objętości otaczającego nas wszechświata prawie dziesięciokrotnie większej niż podczas poprzedniej kampanii obserwacyjnej O2.

„Obserwacje Advanced Virgo i LIGO przekroczyły wszelkie oczekiwania. Oprócz otwarcia nowego i ekscytującego etapu w historii obserwacji kosmosu, obserwujemy wydarzenia, których albo brakowało do tej pory, albo wykraczają poza nasze obecne rozumienie ewolucji gwiazdowej”, powiedział Ed Porter, naukowiec CNRS w instytucie APC w Paryżu, członek współpracy Virgo. „Zaledwie pięć lat od pierwszej detekcji fal grawitacyjnych możemy powiedzieć, że astronomia grawitacyjna jest konkretną rzeczywistością.”

Detekcje sygnałów grawitacyjnych pozwalają po raz pierwszy dokładnie obserwować dynamikę niezwyklej koalescencji czarnych dziur i gwiazd neutronowych, które uwalniają w falach grawitacyjnych ilości energii odpowiadające kilku masom Słońca. To umożliwi, jak nigdy przedtem, studiowanie fizyki czarnych dziur i procesów, które je tworzą, a nawet charakterystykę największych populacji

czarnych dziur. Okazuje się, że wyniki niniejszego katalogu nasuwają poważne pytania o zasadność niektórych scenariuszy i modeli astrofizycznych, które do tej pory wydawały się najbardziej wiarygodne.

W szczególności masy czarnych dziur, przedstawione w katalogu O3a, poddają w wątpliwość różne teoretyczne i obserwacyjne granice zakresów mas populacji czarnych dziur. Niektóre obserwacje wskazują na przykład na obecność obiektów zwartych (którymi mogą być zarówno czarne dziury jak i gwiazdy neutronowe) znajdujące się dokładnie w tzw. luce (przerwie) masowej, zdefiniowanej jako zakres pomiędzy masą najcięższych gwiazd neutronowych a masą najlżejszych czarnych dziur, obserwowanych dotychczas przez astronomów. Może zatem okazać się, że luka jest mniejsza, albo że w ogóle nie istnieje. Inne zaobserwowane czarne dziury mają masy o wartościach pomiędzy 65 a 120 masami Słońca, czyli w zakresie zabronionym przez standardowe modele ewolucji gwiazdowej. Zgodnie z tymi modelami, bardzo masywne gwiazdy, powyżej pewnej wartości masy, są całkowicie rozrywane podczas wybuchu supernowej, w procesie zwanym niestabilnością kreacji par, pozostawiając po sobie tylko gaz i pył kosmiczny. Istnienie czarnych dziur w zakresie zakazanym przez niestabilność kreacji par sugeruje inne mechanizmy powstawania czarnych dziur, takie jak łączenie się mniejszych czarnych dziur w większe, lub zderzanie się masywnych gwiazd, ale może również wskazywać na potrzebę zrewidowania opisu końcowych etapów życia gwiazdy.

Publikacja katalogu O3a jest podsumowaniem skomplikowanej pracy polegającej na kalibracji detektora, charakterystyce i analizie danych, która obejmuje wiele faz. Katalog każdej kampanii obserwacyjnej jest publikowany dopiero wtedy, gdy badacze posiadają ostateczny, zatwierdzony zbiór danych, co pozwala na oszacowanie parametrów fizycznych (m.in. takich jak odległość, masa i tempo wirowania tzw. spin składników) czarnych dziur i gwiazd neutronowych, a także na wiarygodne oszacowanie błędów tych pomiarów. Spośród 39 zdarzeń przedstawionych w opublikowanym właśnie katalogu, 26 zostało zgłoszonych bezpośrednio po wykryciu (w postaci publicznie dostępnych alertów), a 13 zostało zgłoszonych po raz pierwszy w opublikowanej dziś pracy. Stanowią one całkiem pokaźny dodatek do 11 wcześniejszych detekcji fal grawitacyjnych zgłoszonych przez LIGO i Virgo podczas poprzednich obserwacji (O1 i O2). Oprócz katalogu obserwacji LIGO-Virgo, na serwerze arXiv ukazały się dziś trzy inne artykuły: analiza właściwości astrofizycznych źródeł fal grawitacyjnych z punktu widzenia populacji obiektów, nowe testy ogólnej teorii względności oraz wyniki poszukiwania sygnałów fal grawitacyjnych emitowanych podczas obserwowanych w trakcie pracy detektorów LIGO-Virgo błysków promieniowania gamma.

„Artykuł ten jest bardzo ważny i stanowi kolejny krok naprzód w długiej i ekscytującej podróży”, powiedział Giovanni Losurdo, badacz INFN i rzecznik współpracy Virgo. „Z niecierpliwością przygotowujemy wyniki drugiej części trzeciego okresu obserwacji (O3b). Bardzo duża liczba zjawisk, które trzeba jeszcze przeanalizować i zrozumieć, pokazuje, że następny katalog będzie równie ekscytujący jak ten. W międzyczasie, modernizujemy detektor Virgo, mając na celu następne obserwacje, w 2022 r. z jeszcze bardziej poprawioną czułością”.

Projekty w ramach nauki obywatelskiej w zakresie analizy danych fal grawitacyjnych

Dwa projekty nauki obywatelskiej (ang. citizen-science), tzn. Gravity Spy (www.zooniverse.org/projects/zooniverse/gravity-spy) dla LIGO i europejski projekt REINFORCE (www.reinforceeu.eu/demonstrators/gravitational-wave-noise-hunting) dla Virgo, dają każdemu możliwość wzięcia udziału w identyfikacji fałszywych sygnałów, a tym samym do odkrycia nowych sygnałów grawitacyjnych, poprzez bezpośrednią współpracę z naukowcami zaangażowanymi w analizę danych z trzech interferometrów. Choć staramy się zminimalizować zewnętrzne i wewnętrzne źródła szumu detektorów, dane pobierane przez interferometry zawierają wciąż różnego typu zakłócenia. W niektórych przypadkach są one monitorowane przez dodatkowe czujniki, a następnie usuwane z danych w czasie rzeczywistym. Niemniej jednak identyfikacja innych zakłóceń jest bardziej problematyczna i wymaga specjalnej analizy off-line w celu ich oznaczenia. Ma to miejsce w przypadku np. zakłóceń związanych z występującym czasami rozpraszaniem światła lasera. Dokładne badania potrzebne do otrzymania prawdziwego sygnału fal grawitacyjnych wyjaśniają, dlaczego współpraca LIGO i Virgo ogłasza publiczne alerty do społeczności naukowej wkrótce po jego zmierzeniu. Alert może (ale nie musi) oznaczać prawdziwy sygnał, potwierdzony przez późniejszą analizę. Dzięki Gravity Spy i REINFORCE, udział obywatelski pomaga naukowcom w skomplikowanej pracy analitycznej poprzez bezpośredni dostęp do danych zebranych przez interferometry LIGO i Virgo.

Kontakt z mediami

EGO

Vincenzo Napolano

napolano@ego-gw.it

+393472994985

Virgo

Livia Conti

livia.conti@pd.infn.it

Virgo-Polgraw

polgraw@camk.edu.pl