

Virgo i LIGO odkrywają nową i niezwykłą populację czarnych dziur

Virgo i LIGO ogłosiły wykrycie fal grawitacyjnych z niezwykle masywnego układu dwóch czarnych dziur o masach 66 i 85 mas Słońca, które połączyły się tworząc czarną dziurę o masie około 142 mas Słońca. Utworzony w wyniku połączenia obiekt jest najbardziej masywną czarną dziurą, jaką kiedykolwiek wykryto za pomocą fal grawitacyjnych. Znajduje się ona w zakresie mas, w którym nigdy wcześniej nie obserwowaliśmy czarnych dziur: ani za pomocą fal grawitacyjnych, ani obserwacji elektromagnetycznych. Detekcja może pomóc wyjaśnić powstawanie czarnych dziur o masie pośredniej. Ponadto, bardziej masywny składnik układu podwójnego ma masę w zakresie wzbronionym przez teorię ewolucji gwiazd, a zatem stanowi wyzwanie dla naszego zrozumienia końcowych etapów życia masywnych gwiazd.

Naukowcy z międzynarodowego konsorcjum obsługującego detektor Advanced Virgo w Europejskim Obserwatorium Grawitacyjnym (EGO) we Włoszech i dwa detektory Advanced LIGO w USA ogłosili odkrycie czarnej dziury o masie równej około 142 mas Słońca, która powstała w wyniku koalescencji dwóch czarnych dziur o masach 66 i 85 mas Słońca. Zarówno składniki układu, jak i obiekt utworzony w efekcie połączenia dwóch czarnych dziur, mają masy z zakresu nigdy wcześniej nie obserwowanego za pomocą fal grawitacyjnych, jak i elektromagnetycznych. Powstała w wyniku koalescencji czarna dziura jest najbardziej masywną, jaką kiedykolwiek wykryto za pomocą fal grawitacyjnych. Fala grawitacyjna została zarejestrowana 21 maja 2019 roku przez trzy detektory interferometryczne tworzące globalną sieć. Sygnał - nazwany GW190521 - został następnie przeanalizowany przez naukowców, którzy oszacowali odległość źródła sygnału na około 17 miliardów lat świetlnych. Dwa artykuły naukowe informujące o odkryciu i jego astrofizycznych konsekwencjach zostały dziś opublikowane w *Physical Review Letters* i *Astrophysical Journal Letters*.

„Sygnał zaobserwowany 21 maja ubiegłego roku jest bardzo złożony, a ponieważ wykryty układ jest bardzo masywny, obserwowaliśmy go tylko przez krótki czas: około 0,1 sekundy”, mówi Nelson Christensen, dyrektor ds. badań w CNRS w zespole ARTEMIS w Nicei (Francja), członek współpracy Virgo. „Sygnał nie brzmi jak typowy »ćwierk«, które wykrywamy zazwyczaj, z powodu swojego krótkiego czasu trwania; jest raczej przykładem krótkiego »łup« czy też »trzasku«, bo układ, który go wyemitował jest najbardziej masywny, jaki do tej pory wykryły LIGO i Virgo.”

Pobicie rekordu masy czarnych dziur zaobserwowanych w dotychczasowych kampaniach obserwacyjnych Advanced Virgo i LIGO jest tylko jedną z kilku szczególnych cech, które świadczą o wyjątkowości tej obserwacji. Ważnym aspektem, który szczególnie zwrócił uwagę astrofizyków, jest to, że końcowa czarna dziura należy do klasy tak zwanych „czarnych dziur o masie pośredniej” (zakres wynoszący od stu do stu tysięcy mas Słońca). Zainteresowanie tą populacją czarnych dziur wiąże się z jedną z najbardziej fascynujących i trudnych zagadek stojących przed astrofizykami i kosmologami: dotyczy ona pochodzenia supermasywnych czarnych dziur. Te gigantyczne monstra, miliony a nawet miliardy razy cięższe od Słońca, zwykle znajdujące się w centrach galaktyk, mogą powstać w wyniku łączenia się mniejszych czarnych dziur o masie pośredniej.

Do dziś zidentyfikowano dzięki obserwacjom elektromagnetycznym bardzo niewielu kandydatów na czarne dziury o masie pośredniej, a GW190521 jest pierwszą obserwacją takiej czarnej dziury za pomocą fal grawitacyjnych. Jest ona tym bardziej interesująca, że jej masa mieści się w przedziale od 100 do 1000 mas Słońca, który od wielu lat stanowi swego rodzaju „pustynię”, ze względu na niewiele obserwacji czarnych dziur o masach w tym przedziale.

Analiza parametrów składników i dynamiki układu podwójnego GW190521 prowadzi do niezwykle ciekawych wniosków. Cięższy z dwóch składników jest bardziej masywny niż jakakolwiek czarna dziura obserwowana do tej pory przez LIGO i Virgo, a lżejszy znajduje się na masywnym końcu rozkładu mas czarnych dziur zarejestrowanych dotychczas. W szczególności masa gwiazd, z których powstały czarne dziury, stanowi wyzwanie dla modeli astrofizycznych opisujących kolaps (zapadanie się) najcięższych gwiazd pod koniec ich życia. W teorii, najbardziej masywne gwiazdy są całkowicie rozrywane przez wybuch supernowej, z powodu efektu zwanego niestabilnością par, pozostawiając po sobie tylko gaz i pył kosmiczny. Dlatego też astrofizycy nie spodziewali się wykrycia czarnej dziury o masie pomiędzy około 60 a 120 masami Słońca: dokładnie w takim zakresie masy, w jakim znajdował się bardziej masywny składnik GW190521. W związku z tym, detekcja ta otwiera nowe perspektywy badania masywnych gwiazd i mechanizmów wybuchów supernowych.

„Istnieje kilka scenariuszy przewidujących powstawanie czarnych dziur w tzw. przerwie masowej związanej z niestabilnością par: mogą one być związane z łączeniem się mniejszych czarnych dziur lub ze zderzeniem (wielu) masywnych gwiazd, a nawet z bardziej egzotycznymi procesami”, mówi prof. Michela Mapelli z Uniwersytetu w Padwie i INFN, członek współpracy Virgo. „Jest także możliwe, że musimy uaktualnić nasze obecne rozumienie końcowych etapów życia gwiazd i wynikających z nich ograniczeń na masy powstających czarnych dziur. Tak czy inaczej, GW190521 jest bardzo ważnym wkładem w badania nad powstawaniem czarnych dziur”.

W szczególności, detekcja GW190521 przez Virgo i LIGO pokazuje istnienie nieobserwowanej dotychczas, nieoczekiwanej przez teorię populacji czarnych dziur, a tym samym stawia nowe, intrygujące pytania o mechanizmy ich powstawania. Pomimo bardzo krótkiego czasu trwania sygnału, który ogranicza nasze możliwości wnioskowania o właściwościach astrofizycznych źródła, najbardziej zaawansowane analizy i obecnie dostępne modele sugerują, że czarne dziury wchodzące w skład układu podwójnego posiadały nieznanie dotychczas „spin”, to znaczy, że obracały się szybko wokół własnych osi.

„W zarejestrowanym sygnale wykrywamy słabe efekty precesji, to znaczy rotacji płaszczyzny orbity układu wywołanej przez momenty pędu («spiny») składników układu, które muszą mieć duże wartości i szczególną orientację”, stwierdza Tito Dal Canton, naukowiec w CNRS w IJCLab w Orsay we Francji i członek współpracy Virgo. „Ponieważ efekt jest słaby, nie możemy twierdzić z całą pewnością, że jest obecny w danych, ale jeśli to prawda, to potwierdzałby on hipotezę, że czarne dziury powstały w bardzo niestabilnym i zatłoczonym otoczeniu kosmicznym, takim jak gęsta gromada gwiazdowa lub dysk akrecyjny wokół aktywnego jądra galaktyki.”

Kilka różnych scenariuszy jest nadal zgodnych z przedstawionymi wynikami i nawet hipoteza, że składniki układu mogą być pierwotnymi czarnymi dziurami (powstałymi tuż po Wielkim Wybuchu), nie została odrzucona przez naukowców. W rzeczywistości szacujemy, że koalescencja miała miejsce około 7 miliardów lat temu, czyli w głębokiej przeszłości Wszechświata.

W porównaniu do poprzednich detekcji fal grawitacyjnych, obserwowany sygnał GW190521 trwał dużo krócej, co utrudnia analizę. Ze względu na złożony charakter tego sygnału rozważano inne, bardziej egzotyczne źródła jego pochodzenia, a możliwości te zostały opisane w towarzyszącej mu publikacji. Możliwości te wydają się jednak mniej możliwe do zaistnienia w rzeczywistości w porównaniu do modelu koalescencji w układzie dwóch czarnych dziur.

„Obserwacje dokonane przez Virgo i LIGO rzucają nowe światło na ciemny wszechświat i określają nowy kosmiczny krajobraz”, stwierdza Giovanni Losurdo, rzecznik projektu Virgo i kierownik badań w Istituto Nazionale di Fisica Nucleare we Włoszech. „Dziś, po raz kolejny, ogłaszamy bezprecedensowe odkrycie. Ciągłe ulepszamy nasze detektory, aby poprawić ich działanie i zagłębiać coraz dalej we Wszechświat.”

Dodatkowe informacje o obserwatoriach fal grawitacyjnych:

Virgo Collaboration składa się obecnie z około 580 naukowców, inżynierów i techników ze 109 instytucji w 13 różnych krajach: Belgii, Francji, Niemczech, Grecji, Węgrzech, Irlandii, Włoszech, Holandii, Polsce, Portugalii, Hiszpanii, Monako i Japonii. Europejskie Obserwatorium Grawitacyjne (EGO) w okolicy Pizy we Włoszech, w którym znajduje się detektor Advanced Virgo, jest finansowane przez Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS) we Francji, Istituto Nazionale di Fisica Nucleare (INFN) we Włoszech i Nikhef w Holandii. Lista grup badawczych należących do konsorcjum Virgo znajduje się na stronie <http://public.virgo-gw.eu/the-virgo-collaboration/>. Lista polskich uczonych biorących udział w pracach Virgo i LIGO tworzy grupę POLGRAW <https://polgraw.camk.edu.pl>, wśród nich są badacze z Obserwatorium Astronomicznego UW prof Tomasz Bulik, prof Dorota Rosińska, dr Maria Tringali, dr Przemysław Figura, dr Bartosz Idzkowski, mgr Neha Singh, mgr Małgorzata Curyło oraz mgr Paweł Szewczyk. Więcej informacji jest dostępnych na stronie internetowej Virgo pod adresem <http://www.virgo-gw.eu>.

LIGO jest finansowany przez National Science Foundation (NSF) i obsługiwany przez Caltech i MIT, które stworzyły LIGO i kierują projektem. Wsparcie finansowe dla projektu Advanced LIGO było prowadzone przez NSF z udziałem Niemiec (Max Planck Society), Wielkiej Brytanii (Council for Science and Technology Facilities Council) i Australii (Australian Research Council-OzGrav), które wniosły znaczący wkład w projekt. Około 1300 naukowców z całego świata pracuje w ramach konsorcjum naukowego LIGO, które obejmuje także projekt GEO. Lista dodatkowych partnerów jest dostępna na stronie <https://my.ligo.org/census.php>.

Kontakt z mediami w Europie

EGO

Vincenzo Napolano
napolano@ego-gw.it
+393472994985

Virgo

Livia Conti
livia.conti@pd.infn.it

CNRS, Francja

communication@in2p3.fr

INFN, Włochy

Antonella Varaschin
antonella.varaschin@presid.infn.it

Nikhef, Holandia

Martijn van Calmthout
martijn.van.calmthout@nikhef.nl
phone +31 6 46637876

Polgraw, Polska

polgraw@camk.edu.pl

Kontakt z mediami w USA

Caltech

Whitney Clavin
wclavin@caltech.edu
626-390-9601

MIT

Abigail Abazorius
abbya@mit.edu
617-253-2709

NSF

Josh Chamot
jchamot@nsf.gov
703-292-4489