



Prosto do źródła: globalna sieć detektorów LIGO-Virgo otwiera nową erę badań fal grawitacyjnych obserwując zlewanie się czarnych dziur w układzie podwójnym

Konsorcja Virgo Collaboration i LIGO Scientific Collaboration ogłaszają pierwszą wspólną detekcję fal grawitacyjnych. Jest to już czwarta z kolei obserwacja fal grawitacyjnych wytworzonych podczas zlewania się dwóch czarnych dziur. Detekcja ta ma ważne astrofizyczne konsekwencje, ale oprócz tego posiada jeszcze dodatkowy atut: jest to pierwszy statystycznie istotny sygnał fali grawitacyjnej zarejestrowany przez detektor Advanced Virgo. Odkrycie to ujawnia naukowy potencjał sieci złożonej z trzech, a nie dwóch jak do tej pory, detektorów fal grawitacyjnych, wyrażony przez lepszą lokalizację źródła fal grawitacyjnych na niebie i możliwość badania polaryzacji tych fal.

Trzy detektory dokonały swojej obserwacji 14 sierpnia 2017 o godz. 10:30:43 czasu UTC. Dwa amerykańskie detektory należące do Laser Interferometer Gravitational-Wave Observatory (LIGO, Laserowe Interferometryczne Obserwatorium Fal Grawitacyjnych), położone w Livingston w stanie Louisiana i w Hanford w stanie Washington, oraz detektor Advanced Virgo zlokalizowany w Europejskim Obserwatorium Grawitacyjnym (EGO) w Cascinie w pobliżu Pizy we Włoszech, zarejestrowały fale grawitacyjne wytworzone w procesie zlewania się dwóch czarnych dziur o masach gwiazdowych. Odkrycie to opisano w artykule przyjętym do publikacji w czasopiśmie *Physical Review Letters* (treść artykułu można znaleźć na stronie <https://dcc.ligo.org/P170814> lub <https://tds.virgo-gw.eu/GW170814>; artykuł będzie też dostępny 27 września w repozytorium arXiv), zostało dokonane przez Virgo Collaboration oraz LIGO Scientific Collaboration, w skład którego wchodzi konsorcja GEO Collaboration i OzGrav.

Jest rzeczą wspaniałą móc zobaczyć pierwszy sygnał fali grawitacyjnej w naszym nowym detektorze Advanced Virgo i to zaledwie dwa tygodnie licząc od momentu, gdy detektor zaczął oficjalnie zbierać dane, mówi Jo van den Brand z Nikhef i VU University Amsterdam, rzecznik konsorcjum Virgo Collaboration. To wielka nagroda za całą pracę włożoną w projekt Advanced Virgo, w ramach którego przeprowadzono trwającą sześć ostatnich lat modernizację detektora.

Zarejestrowane fale grawitacyjne czyli zmarszczki w przestrzeni i czasie – zostały wyemitowane w czasie ostatnich chwil przed połączeniem się dwóch czarnych dziur o masach około 31 i 25 mas Słońca i położonych w odległości ok. 1,8 mld lat świetlnych od nas. Nowo powstała rotująca czarna dziura ma masę około 53 mas Słońca, co oznacza, że w czasie zlewania się czarnych dziur około 3 masy Słońca zostały zamienione w energię wypromieniowanych fal grawitacyjnych.

To dopiero początek obserwacji wykonywanych przez sieć pracujących wspólnie detektorów Virgo i LIGO, mówi David Shoemaker z MIT, rzecznik konsorcjum LIGO Scientific Collaboration. W kolejnej kampanii obserwacyjnej planowanej na jesień 2018 spodziewamy się jednej lub więcej takich detekcji tygodniowo.

Detektor Advanced Virgo dołączył do kampanii obserwacyjnej O2 1-szego sierpnia 2017 roku o godzinie 10:00 czasu UTC. Nastąpiło to po zakończeniu wieloletniego projektu modernizacji tego detektora oraz po miesiącach intensywnej pracy nad zwiększaniem jego czułości. Wykryty sygnał został zaobserwowany w czasie rzeczywistym w danych zebranych przez każdy z trzech detektorów projektów LIGO i Virgo. Chociaż detektor Advanced Virgo jest aktualnie mniej czuły od detektorów LIGO, dwa niezależne algorytmy stosowane do wykrywania sygnałów w danych wykorzystujące informacje gromadzone przez wszystkie trzy detektory, w jednoznaczny sposób pokazały, że dane zebrane przez detektor Advanced Virgo zawierają znaczący sygnał.

Warto podkreślić, że objętość obszaru Wszechświata, w którym z dużym prawdopodobieństwem znajduje się źródło zarejestrowanego sygnału, maleje ponad 20-krotnie w sytuacji, gdy sygnał jest wykrywany przez sieć trzech detektorów, w porównaniu z sytuacją, w której sygnał jest zarejestrowany przez dwa detektory. Również obszar na niebie, w którym z dużym prawdopodobieństwem znajduje się źródło sygnału GW170814, ma rozmiar tylko 60 stopni kwadratowych, czyli jest 10-krotnie mniejszy niż byłby, gdyby sygnał został wykryty tylko przez detektory LIGO. Udział detektora Advanced Virgo poprawia również dokładność, z jaką można wyznaczyć odległość do źródła sygnału. Możliwość lokalizacji źródła w mniejszej objętości jest bardzo ważna, ponieważ spodziewamy się, iż w czasie zlewania się niektórych układów zwartych obiektów – w szczególności tych zawierających gwiazdy neutronowe – będzie również wytwarzane, oprócz fal grawitacyjnych, promieniowanie elektromagnetyczne o szerokim widmie. Dokładna informacja o położeniu źródła na niebie umożliwiła 25 zespołom obserwacyjnym poszukiwanie sygnału elektromagnetycznego związanego z sygnałem zarejestrowanym przez LIGO i Virgo. Wynik tych poszukiwań był negatywny, zgodnie z tym czego się spodziewamy w przypadku procesu zlewania się czarnych dziur.

Położenie detektora Advanced Virgo na Ziemi, odmienne od detektorów LIGO, pozwala testować inne przewidywania ogólnej teorii względności niż do tej pory, np. umożliwia badanie polaryzacji fal grawitacyjnych. Polaryzacja opisuje jak czasoprzestrzeń jest deformowana przez falę grawitacyjną w każdym z trzech wzajemnie prostopadłych kierunków. Wstępna analiza sygnału GW170814 pozwala przetestować dwa skrajne przypadki: z jednej strony hipotezę, że fala posiada jedynie polaryzację dopuszczoną przez ogólną teorię względności; z drugiej zaś strony przypuszczenie, że polaryzacja fali jest całkowicie niezgodna z tą teorią. Analiza danych pokazała, że przewidywania teorii Einsteina są zgodne z obserwacjami. *Przez wiele lat członkowie konsorcjów Virgo Collaboration i LSC wspólnie analizowali dane, by wydobyć cenne informacje z zarejestrowanego sygnału. Jednoczesne obserwacje prowadzone przez trzy detektory otwierają nowe możliwości, pozwalając na przeprowadzenie dalszych*

fundamentalnych testów przewidywań teoretycznych, mówi Frédérique Marion, doświadczona badaczka z LAPP w Annecy we Francji. Inne testy ogólnej teorii względności przeprowadzone dzięki poprzednim odkryciom również pokazują bardzo dobrą zgodność obserwacji z ogólną teorią względności.

Advanced Virgo jest detektorem fal grawitacyjnych drugiej generacji wybudowanym i obsługiwanym przez konsorcjum Virgo Collaboration. Giovanni Losurdo z INFN, który miał wielki wkład w doprowadzeniu projektu Advanced Virgo do końca, mówi: *Ta detekcja jest kamieniem milowym dla wszystkich ludzi, którzy poświęcili swój czas na rozpoczęcie, urzeczywistnienie i działanie Virgo i Advanced Virgo, przede wszystkim dla Alaina Brilleta i Adalberto Giazotto. Całe przedsięwzięcie opierało się od samego początku na wizjonerskim celu: utworzenia sieci detektorów zdolnej do lokalizacji źródła na niebie i rozpoczęcia badania Wszechświata w wieloaspektowy sposób. I wreszcie, po dziesięcioleciach, udało się to zrealizować.* Projekt detektora Advanced Virgo został opracowany 10 lat temu w czasie, gdy detektor Virgo zaczął zbierać pierwsze dane. Agencje finansujące zatwierdziły projekt Advanced Virgo w grudniu 2009 roku. Po zakończeniu obserwacji przez Virgo w październiku 2011 roku, rozpoczęły się prace nad Advanced Virgo.

Detektor Advanced Virgo został uruchomiony w lutym 2017 r.-W kolejnych miesiącach czułość instrumentu uległa znacznej poprawie dzięki pracom polegającym na charakterystyce i minimalizacji źródeł różnego rodzaju szumów. Pierwszego sierpnia, gdy czułość osiągnięta przez Advanced Virgo pozwoliła na obserwacje Wszechświata o objętości ponad 10 razy większej niż w przypadku detektora Virgo, detektor Advanced Virgo dołączył do detektorów LIGO by wspólnie prowadzić obserwacje przez ostatnie cztery tygodnie kampani obserwacyjnej O2. *Modernizacja Virgo do Advanced Virgo miała na celu znaczne zwiększenie czułości naszego detektora, aby zmaksymalizować prawdopodobieństwo wykrycia sygnałów fal grawitacyjnych, mówi Federico Ferrini, dyrektor Europejskiego Obserwatorium Grawitacyjnego. Osiągnięcie dużej czułości detektora, koniecznej dla wspólnego zbierania danych przez sieć trzech detektorów, pochłonęło wiele lat intensywnej i innowacyjnej pracy. W związku z pierwszą obserwacją dokonaną przez Advanced Virgo, pragnę wyrazić swoje uznanie dla zaangażowania członków konsorcjum Virgo, personelu EGO i uczestniczących laboratoriów.*

Advanced LIGO jest projektem dysponującym dwoma detektorami fal grawitacyjnych drugiej generacji. Są to identyczne interferometry laserowe zlokalizowane w Stanach Zjednoczonych, jeden w Hanford, WA, a drugi w Livingston, LA. W celu wykrycia fal grawitacyjnych detektory LIGO wykorzystują interferometrię laserową, tak jak detektor Advanced Virgo. Począwszy od września 2015 r. detektory LIGO przeprowadziły dwie kampanie obserwacyjne. Druga kampania, nazwana O2, rozpoczęła się 30 listopada 2016 r. i zakończyła się 25 sierpnia 2017 r. David Reitze z Kalifornijskiego Instytutu Technologicznego (Caltech), dyrektor Laboratorium LIGO, dodaje: *Dokonując tej pierwszej wspólnej rejestracji przez detektory LIGO i Virgo, zrobiliśmy jeden krok dalej w głąb kosmosu fal grawitacyjnych. Projekt Virgo dostarcza nowych*

możliwości wykrywania i lepszego lokalizowania źródeł fal grawitacyjnych, które niewątpliwie doprowadzą do ekscytujących i nieoczekiwanych wyników w przyszłości.

**

*

Współpraca pomiędzy projektami LIGO i Virgo dojrzywała w ciągu ostatniej dekady. Wspólne spotkania i wspólna analiza danych scementowała społeczność naukowców. Koordynacja i planowanie obserwacji prowadzonych przez wszystkie trzy detektory są konieczne do osiągnięcia maksymalnej ilości wyników naukowych. W szczególności znaczna poprawa dokładności lokalizacji źródeł fal grawitacyjnych jest wielką nadzieją na przyszłość astronomii wieloaspektowej (multi-messenger astronomy). Kolejne wyniki wykorzystujące dane zebrane przez trzy detektory zostaną ogłoszone wkrótce; ich analiza jest obecnie w ostatniej fazie.

**

*

Projekt Virgo to ponad 280 fizyków i inżynierów należących do 20 różnych europejskich grup badawczych: sześć grup reprezentuje Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS) we Francji; osiem z Istituto Nazionale di Fisica Nucleare (INFN) we Włoszech; dwie z Holandii (razem z instytutem Nikhef); grupa MTA Wigner RCP na Węgrzech; grupa POLGRAW w Polsce; zespół z hiszpańskiego Uniwersytetu w Walencji oraz konsorcjum EGO nadzorujące detektor Advanced Virgo ulokowany niedaleko Pizy we Włoszech.

LIGO jest finansowane przez National Science Foundation (NSF) i zarządzane przez Caltech i MIT, które opracowały i zrealizowały projekt. Finansowanie projektu LIGO było prowadzone głównie przez amerykański NSF przy wkładzie finansowym z Niemiec (Towarzystwo Maxa Plancka), Wielkiej Brytanii (Council of Science and Technology Facilities Council) oraz Australii (Australijska Rada ds. Badań). Ponad 1200 naukowców z całego świata uczestniczy w projekcie LIGO poprzez konsorcjum LIGO Scientific Collaboration (LSC). LSC obejmuje również brytyjsko-niemiecki projekt GEO600. Inni partnerzy są wymienieni na stronie <http://ligo.org/partners.php>.

**

*

Polska grupa POLGRAW jest częścią konsorcjum Virgo Collaboration. W jej skład wchodzi naukowcy z Instytutu Matematycznego PAN, Centrum Astronomicznego im. Mikołaja Kopernika PAN, Narodowego Centrum Badań Jądrowych, Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie, a także Uniwersytetów: w Białymstoku, Jagiellońskiego w Krakowie, Mikołaja Kopernika w Toruniu, Warszawskiego, Wrocławskiego i Zielonogórskiego. *Naszymi zadaniami*

w ramach prac prowadzonych przez konsorcja Virgo Collaboration i LSC są: analiza danych uzyskanych z detektorów LIGO i Virgo, prowadzenie badań astrofizycznych źródeł fal grawitacyjnych, opracowywanie teoretycznych modeli sygnałów fal grawitacyjnych oraz udział w rozbudowie detektora Advanced Virgo – mówi prof. dr hab. Andrzej Królak z Instytutu Matematycznego PAN oraz Narodowego Centrum Badań Jądrowych, członek zarządu projektu Virgo.

Polscy uczeni stworzyli podstawy wielu algorytmów i metod służących do wykrywania i estymacji parametrów fal grawitacyjnych emitowanych przez układy podwójne zwartych obiektów (prof. dr hab. Andrzej Królak, prof. dr hab. Piotr Jaranowski), przyczynili się do precyzyjnego modelowania sygnału fali grawitacyjnej z takich układów podwójnych (prof. dr hab. Piotr Jaranowski, prof. dr hab. Andrzej Królak), przeprowadzili symulacje pokazujące, że układy podwójne czarnych dziur są najlepiej wykrywalnymi przez detektory LIGO-Virgo źródłami promieniowania grawitacyjnego (prof. dr hab. Krzysztof Belczyński, prof. dr hab. Tomasz Bulik), badali astrofizyczne własności układów podwójnych gwiazd neutronowych i czarnych dziur (dr hab. Michał Bejger, dr Izabela Kowalska-Leszczyńska, dr hab. Dorota Rosińska), prowadzili badania charakteryzujące źródła szumów i ulepszające czułość detektora Virgo oraz kontrolowali jakość danych zbieranych przez ten detektor podczas niedawno zakończonej kampanii obserwacyjnej (dr hab. Michał Bejger, dr Izabela Kowalska), a także poszukiwali potencjalnie stowarzyszonych z falami grawitacyjnymi błysków optycznych (dr Adam Zadrożny).