

Rzec można, że odwieczną tajemnicą świata
jest jego poznawalność

Albert Einstein

Nowe przełomowe odkrycia w astronomii fal grawitacyjnych

Materiały prasowe

PAN
POLSKA AKADEMIA NAUK

LIGO i Virgo

rejestrują pierwsze w historii fale grawitacyjne z układu podwójnego gwiazd neutronowych

To także pierwsza w historii równoczesna detekcja fal grawitacyjnych i światła pochodzących z tego samego kosmicznego kataklizmu

Po raz pierwszy naukowcy bezpośrednio zarejestrowali fale grawitacyjne – „zmarszczki” w czasoprzestrzeni – oraz, jednocześnie, fotony o różnych energiach pochodzące ze zderzenia się gwiazd neutronowych. To pierwsza w historii równoczesna detekcja fal grawitacyjnych i światła pochodzącego z tego samego kosmicznego kataklizmu.

Odkrycia dokonało amerykańskie laserowe interferometryczne obserwatorium fal grawitacyjnych LIGO, europejskie laserowe interferometryczne obserwatorium fal grawitacyjnych Virgo, oraz około 70 obserwatoriów naziemnych i kosmicznych.

Gwiazdy neutronowe to najmniejsze i najgęstsze znane nauce gwiazdy, które powstają, gdy masywne gwiazdy zapadają się i eksplodują jako supernowe. Układ dwóch gwiazd neutronowych zacieśnia stopniowo swoją orbitę (gwiazdy zbliżają się do siebie) emitując fale grawitacyjne, które były rejestrowane przez detektory interferometryczne przez około 100 sekund. Wytworzone podczas zderzenia światło w postaci wysokoenergetycznych fotonów gamma zostało wykryte na Ziemi około dwie sekundy po momencie zderzenia. W trakcie kolejnych dni i tygodni wykryto promieniowanie elektromagnetyczne o różnych energiach pochodzące z miejsca zdarzenia – w tym promieniowanie rentgenowskie, ultrafioletowe, optyczne, podczerwone i radiowe.

Detekcja ta dała astronomom bezprecedensową okazję do zbadania procesu zderzenia się dwóch gwiazd neutronowych. Obserwacje dokonane przez US Gemini Observatory, European Very Large Telescope oraz teleskop kosmiczny Hubble’a ujawniają w rejestrowanym świetle linie widmowe nowo powstałych pierwiastków, w tym złota i platyny. Udziela to odpowiedzi na nierozwiązane od dziesięć lat pytanie, skąd bierze się w Kosmosie około połowa pierwiastków cięższych od żelaza.

Wyniki LIGO-Virgo opublikowano dziś w czasopiśmie Physical Review Letters. Dodatkowe prace zespołów LIGO i Virgo oraz obserwatoriów astronomicznych zostały przekazane lub zaakceptowane do publikacji w różnych czasopismach.

„To niezmiernie ekscytujące być świadkiem tak niecodziennego wydarzenia, zmieniającego nasze zrozumienie tego, w jaki sposób działa Wszechświat”, mówi France A. Córdova, dyrektor Narodowej Fundacji Nauki (NSF), podmiotu finansującego LIGO. „To odkrycie realizuje długoterminowy cel wielu z nas, a mianowicie równoczesne obserwacje rzadkich zdarzeń kosmicznych przy wykorzystaniu zarówno tradycyjnych obserwacji astronomicznych, jak i obserwacji fal grawitacyjnych. Dzięki czterdziestoletniej inwestycji NSF w obserwatoria fal grawitacyjnych, w połączeniu z teleskopami, które obserwują fotony od radiowych do gamma, jesteśmy w stanie rozszerzyć nasze możliwości wykrywania nowych zjawisk astrofizycznych i rzucić nowe światło na fizykę narodzin gwiazd i ich śmierci”.

Gwiazdny znak

Sygnal grawitacyjny o nazwie GW170817 został wykryty w dniu 17 sierpnia o godzinie 8:41 EDT (14:41 CEST); rejestracji dokonały bliźniacze detektory LIGO, zlokalizowane w Hanford w stanie Waszyngton i w Livingston w stanie Louisiana. Informacje dostarczone przez trzeci detektor, Virgo, położony w pobliżu Pizy we Włoszech, umożliwiły dokładniejszą lokalizację źródła sygnału na niebie. W momencie detekcji LIGO zbliżało się do końca drugiego, od czasu zwiększenia czułości, okresu obserwacji, a Virgo zaczęło swój pierwszy okres obserwacji po niedawnym zwiększeniu czułości.

Obserwatoria LIGO, które zostały sfinansowane przez NSF, zostały zaprojektowane, zbudowane i są zarządzane przez instytuty Caltech i MIT. Detektor Virgo jest finansowany przez Istituto Nazionale di Fisica Nucleare (INFN) we Włoszech oraz Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS) we Francji, i jest zarządzany przez Europejskie Obserwatorium Grawitacyjne (EGO). W LIGO Scientific Collaboration i Virgo Collaboration pracuje ok. 1500 naukowców, którzy wspólnie obsługują detektory oraz przetwarzają i analizują zbierane przez nie dane.

Każde obserwatorium składa się z dwóch długich tuneli rozmieszczonych w kształcie litery L, na złączeniu których wiązka lasera jest rozdzielana na dwie części. Światło jest wysyłane wzdłuż każdego z tuneli, a następnie odbite z powrotem przez zawieszony na końcu tunelu zwierciadło. Jeśli przez detektor nie przechodzi fala grawitacyjna, światło lasera przebywa w każdym z ramion przez określony czas i wraca do centrum instrumentu z niezmienną fazą. Jeśli jednak fala grawitacyjna przechodzi przez detektor, zmienia ona długości ramion (czas przebywania w nich światła laserowego), powodując zmianę ich fazy i w konsekwencji sygnału wyjściowego.

17 sierpnia działająca w czasie rzeczywistym procedura analizy danych zbieranych przez detektory LIGO zidentyfikowała w jednym z nich silny sygnał fal grawitacyjnych pochodzący z Kosmosu. Praktycznie w tym samym czasie detektor Gamma-ray Burst Monitor na pokładzie obserwatorium satelitarnego Fermi (NASA) zarejestrował błysk gamma. Stworzone specjalnie do tego celu narzędzia analizy danych LIGO-Virgo wykazały, że te dwie detekcje nie są przypadkowe. Kolejna zautomatyzowana procedura analizy danych LIGO ujawniła, że drugi detektor LIGO również zarejestrował sygnał fali grawitacyjnej. Szybka detekcja fal grawitacyjnych przeprowadzona przez zespół LIGO-Virgo, w połączeniu z wykryciem błysku gamma przez satelitę Fermi, umożliwiła uruchomienie obserwacji przez teleskopy na całym świecie.

Z danych LIGO wynika, że obserwowany układ podwójny zlokalizowany jest stosunkowo blisko w skali kosmicznej, w odległości około 130 milionów lat świetlnych od Ziemi. Okazało się także, że obiekty układu podwójnego nie są tak masywne jak poprzednio wykrywane przez LIGO-Virgo czarne dziury. Masy obiektów oszacowano na od 1,1 do 1,6 mas Słońca, co jasno wskazuje na gwiazdy neutronowe. Gwiazda neutronowa ma średnicę około 20 kilometrów, a materia z której się składa jest tak gęsta, że łyżeczka do herbaty takiego materiału waży około miliarda ton.

Czarne dziury w układach podwójnych wytwarzają, tuż przed zderzeniem się, fale grawitacyjne w postaci charakterystycznego „ćwierku”, trwającego ułamek sekundy w przedziale częstotliwości odpowiadającym czułości detektorów LIGO i Virgo. „Ćwierk” obserwowany 17 sierpnia był śledzony przez prawie dwie minuty w praktycznie całym zakresie czułości detektorów LIGO (który jest podobny, jeśli chodzi o częstotliwość fal, do instrumentów muzycznych i obejmuje częstotliwości od 10 Hz do 10000 Hz). Dzięki temu naukowcy zidentyfikowali źródło sygnału jako układ podwójny mas o wiele lżejszych od poprzednio rejestrowanych czarnych dziur.

„Od razu okazało się dla nas jasne, że źródłem fal jest układ gwiazd neutronowych, inny rodzaj układów podwójnych, które chcemy obserwować – i które obiecywaliśmy, że będziemy wykrywać”, mówi David Shoemaker, rzecznik projektu LIGO Scientific Collaboration i badacz MIT Kavli Institute for Astrophysics and Space Research. „Z punktu widzenia różnych dziedzin fizyki (od gęstych wnętrz gwiazd neutronowych, emisji promieniowania podczas zderzenia, do bardziej fundamentalnych aspektów teorii grawitacji) obserwacja której dokonaliśmy jest po prostu kopalnią wiedzy, z której będziemy jeszcze przez długi czas czerpać”.

„Analiza częstości występowania sygnałów tego typu o mocy podobnej do obserwowanej pozwala nam oszacować możliwość pojawienia się takiego sygnału w wyniku losowej zbieżności szumu: nie częściej niż raz na 80000 lat”, mówi Laura Cadonati, profesor Georgia Tech i zastępca rzecznika LIGO Scientific Collaboration. „Ta detekcja daje nam szeroki dostęp do nowych metod uprawiania astrofizyki. Przewiduję, że zapamiętamy tę obserwację jako jedną z najlepiej zbadanych w historii”.

Teoretycy od dawna przewidywali, że podczas kolizji gwiazd neutronowych emitowane są fale grawitacyjne i promieniowanie gamma, wraz z potężnymi dżetami promieniującymi światło w szerokim zakresie spektrum elektromagnetycznego. Błysk gamma zarejestrowany przez satelitę Fermi i chwilę później potwierdzony przez satelitę Europejskiej Agencji Kosmicznej INTEGRAL, należy do podklasy nazywanej krótkimi błyskami gamma. Przedstawiane dziś obserwacje dowodzą, że co najmniej niektóre krótkie błyski gamma są generowane przez zlewające się gwiazdy neutronowe – postulat, który do tej pory był jedynie teoretyczną hipotezą.

„Od dekad podejrzewaliśmy, że krótkie błyski gamma są wywoływane przez zderzające się gwiazdy neutronowe”, mówi Julie McEnery z Goddard Space Flight Center NASA, lider projektu obserwatorium Fermiego. „Teraz, dzięki wyjątkowym danym LIGO i Virgo, mamy w końcu potwierdzenie. Fale grawitacyjne przenoszą informacje o masach składników, które są konsystentne z masami gwiazd neutronowych, a błysk promieniowania gamma obserwowany w tym samym czasie dowodzi, że składnikami nie mogą być czarne dziury, jako że podczas zderzenia się czarnych dziur nie powstaje promieniowanie elektromagnetyczne”.

Gdy jedna z zagadek wydaje się być rozwiązana, pojawiają się nowe. Obserwowany krótki błysk gamma jest jak do tej pory jednym z najbliższych Ziemi, ale jednocześnie bardzo słabym jak na tę odległość. Naukowcy dopiero formułują modele wyjaśniające ten aspekt obserwacji, mówi McEnery, dodając, że dzięki przedstawianym dziś obserwacjom przez następne lata dokona się duży postęp.

Plamka na niebie

Mimo, że detektory LIGO zarejestrowały sygnał jako pierwsze, umieszczony we Włoszech interferometr Virgo odegrał kluczową rolę podczas lokalizacji źródła sygnału na niebie. Dzięki szczególnemu położeniu względem źródła w momencie detekcji, Virgo zarejestrował sygnał o małej amplitudzie (mimo, że był dostatecznie czuły, by przy tej mocy sygnału zarejestrować o wiele silniejszy sygnał). Oznacza to, że sygnał znajduje się bardzo blisko minimum rozkładu charakterystyki czułości anteny Virgo. W połączeniu ze względnymi amplitudami sygnału w LIGO i czasami nadejścia sygnału, pozwoliło to na niezwykle precyzyjną triangulację sygnału na niebie. Po przeprowadzeniu dokładnej weryfikacji w celu stwierdzenia, że sygnał rzeczywiście pochodzi

z Kosmosu (a nie jest lokalnego, ziemskiego pochodzenia), naukowcy wywnioskowali, że fale grawitacyjne nadchodzą ze względnie małego obszaru na południowej półkuli nieba.

„W ramach obserwacji dokonano jak dotąd najdokładniejszej lokalizacji źródła fali grawitacyjnej”, mówi Jo van den Brand z Nikhef (Holenderski Narodowy Instytut Fizyki Subatomowej) i VU University Amsterdam, rzecznik prasowy konsorcjum Virgo Collaboration. „Ta rekordowa dokładność umożliwiła astronomom przeprowadzenie obserwacji, które doprowadziły do osiągnięcia wielu zapierających dech w piersiach rezultatów”.

„Ten rezultat jest znakomitym przykładem na to, jak efektywna może być praca grupowa, jak ważne jest koordynowanie działań, i jak wartościowa jest współpraca naukowa”, mówi Federico Ferrini, dyrektor EGO. „Jesteśmy bardzo zadowoleni, że odegraliśmy tak istotną rolę w tym nadzwyczajnym naukowym przedsięwzięciu: bez udziału detektora Virgo zlokalizowanie źródła fal grawitacyjnych byłoby rzeczą bardzo trudną”.

Fermi był w stanie podać lokalizację, która później została w znacznym stopniu ulepszona za pomocą współrzędnych ustalonych przez sieć LIGO-Virgo. Mając do dyspozycji te współrzędne, garść obserwatoriów na świecie była w stanie, godziny później, rozpocząć przeszukiwanie obszaru nieba, z którego zarejestrowano sygnał. Nowe źródło światła, przypominające nowo powstałą gwiazdę, zostało najpierw znalezione przez teleskopy optyczne. Ostatecznie około 70 obserwatoriów, tak naziemnych jak i satelitarnych, obserwowało zdarzenie za pomocą instrumentów rejestrujących fale elektromagnetyczne o różnej długości.

„Ta obserwacja oznacza początek długo oczekiwanej astronomii »wieloaspektowej«” („multi-messenger astronomy”), mówi David H. Reitze z Caltech, dyrektor wykonawczy LIGO Laboratory. „Po raz pierwszy zaobserwowaliśmy, wytworzone podczas tego samego katastroficznego astrofizycznego procesu, zarówno fale grawitacyjne jak i elektromagnetyczne – naszych, tak różnych od siebie, kosmicznych posłańców. Astronomia fal grawitacyjnych oferuje nowe możliwości zrozumienia gwiazd neutronowych, których nie może zaproponować astronomia fal elektromagnetycznych”.

„Ognista kula” i poświata

Każde obserwatorium rejestrujące fale elektromagnetyczne będzie ogłaszało wyniki swoich własnych szczegółowych obserwacji, jednak już teraz ogólny obraz wyłaniający się z tych obserwacji potwierdza to, że zaobserwowany sygnał fali grawitacyjnej pochodził z układu dwóch zlewających się gwiazd neutronowych.

Około 130 milionów lat temu dwie gwiazdy neutronowe znalazły się w odległości około 300 km od siebie, ciągle zwiększając swoją szybkość i nadal zbliżając się do siebie. Taki ruch odkształcał czasoprzestrzeń w sąsiedztwie gwiazd, uwalniając – jeszcze zanim gwiazdy zderzyły się ze sobą – coraz więcej energii w postaci fal grawitacyjnych.

W momencie zderzenia materia obu gwiazd połączyła się w jeden ultra-gęsty i gorący obiekt emitując „ognistą kulę” („fireball”) promieniowania gamma. Rejestracja czasu nadejścia tego promieniowania w porównaniu z czasem detekcji fal grawitacyjnych potwierdziła inne przewidywanie ogólnej teorii grawitacji Einsteina mówiące, że fale grawitacyjne propagują się z prędkością światła.

Teoretycy przewidzieli, że po błysku gamma pojawi się „kilonova” (przez podobieństwo do zjawiska supernowej) – wybuch o nieco mniejszej niż supernowa energii, w którym materia pozostała po zderzeniu się gwiazd neutronowych, emitująca nieco promieniowania widzialnego, jest wyrzucana z miejsca zderzenia daleko w przestrzeń. Obserwacje tego promieniowania widzialnego wskazują na tworzenie się ciężkich pierwiastków, takich jak ołów i złoto, które są następnie rozpraszane we Wszechświecie.

W najbliższych tygodniach i miesiącach teleskopy na całym świecie będą kontynuować obserwacje poświaty powstałej po zderzeniu się gwiazd neutronowych, zdobywając nowe informacje o różnych etapach tego procesu, o jego oddziaływaniu na kosmiczne otoczenie i o mechanizmach produkcji ciężkich pierwiastków we Wszechświecie.

„Kiedy opracowywaliśmy pierwsze plany LIGO w późnych latach 1980tych, wiedzieliśmy, że będziemy potrzebować międzynarodowej sieci obserwatoriów fal grawitacyjnych, obejmującej Europę, by móc zlokalizować źródła fal grawitacyjnych na tyle dokładnie, aby teleskopy optyczne mogły zaobserwować i badać poświatę promieniowania elektromagnetycznego wytwarzaną na przykład przez zderzające się gwiazdy neutronowe, mówi Fred Raab z Caltech, wicedyrektor LIGO do spraw obserwacji. Dzisiaj możemy powiedzieć, że nasza sieć trzech detektorów znakomicie współpracuje z obserwatoriami optycznymi, zapoczątkowując nową erę w astronomii, i że w przyszłości współpraca ta będzie jeszcze lepsza dzięki planowanemu uruchomieniu detektorów fal w Japonii i Indiach”.

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 oraz australijską współpracę OzGrav. Inni partnerzy są wymienieni na stronie <http://ligo.org/partners.php>.

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, finansowane przez CNRS, INFN i Nikhef.

Tekst napisany przez Jennifer Chu, MIT News Office (tłumaczenie Virgo-Polgraw)

MATERIAŁY ONLINE

Artykuł: “GW170817: Observation of gravitational waves from a binary neutron star merger.”

** Artykuł będzie dostępny online o godzinie 16:00, 16 października 2017.

Kontakt dla mediów

**Biuro Upowszechniania i Promocji Nauki
Polska Akademia Nauk**

tel. (22) 182 66 03

materiały do pobrania: www.informacje.pan.pl
w zakładce Media