

## ODKRYCIE FAŁ GRAWITACYJNYCH 100 LAT PO TYM, JAK PRZEWIDZIAŁ JE ALBERT EINSTEIN

Zaobserwowanie przez LIGO fał grawitacyjnych wywołanych przez zderzenia czarnych dziur otwiera nowe obserwacyjne okno na Wszechświat - astronomię fał grawitacyjnych.

Po raz pierwszy w historii naukowcy zaobserwowali zmarszczki w czasoprzestrzeni zwane falami grawitacyjnymi, które dotarły do ziemi z kataklizmu mającego miejsce w dalekim kosmosie. Potwierdza to jedną z najważniejszych konsekwencji ogólnej teorii względności Einsteina stworzonej w roku 1915 i otwiera całkowicie nowe perspektywy badania Wszechświata.

Fale grawitacyjne niosą informacje o swoim pochodzeniu i o naturze grawitacji, których nie da się uzyskać w inny sposób. Fizycy doszli do wniosku, że zarejestrowane fale grawitacyjne powstały w ostatnim ułamku sekundy połączenia się dwóch gwiazdowych czarnych dziur w jedną potężną, wirującą czarną dziurę. Zderzenia dwóch czarnych dziur były wcześniej przewidywane, ale nigdy dotąd ich nie zaobserwowano.

Fale grawitacyjne zostały zarejestrowane 14 września 2015 o godzinie 5.51 letniego czasu wschodniego, co odpowiada godzinie 9.51 czasu uniwersalnego koordynowanego przez oba detektory Laserowego Obserwatorium Interferometrycznego Fał Grawitacyjnych - LIGO (Interferometer Gravitational-wave Observatory), znajdujące się w miejscowościach Livingston w stanie Luizjana i Hanford w stanie Waszyngton. Finansowane przez National Science Foundation (NSF) obserwatoria LIGO zostały powołane do życia przez Caltech (Kalifornijski Instytut Technologiczny) i MIT (Instytut Technologiczny w Massachusetts), które obecnie prowadzą w nich badania. Fale grawitacyjne zostały odkryte na podstawie danych pochodzących z obu detektorów przez zespół LIGO Scientific Collaboration, w skład którego wchodzi GEO Collaboration, Australijskie Konsorcjum Interferometrycznej Astronomii Grawitacyjnej (Australian Consortium for Interferometric Gravitational Astronomy) oraz Virgo Collaboration. Artykuł na temat odkrycia ukaze się wkrótce w czasopiśmie *Physical Review Letters*.

Badania LIGO prowadzone są przez zespół zwany LIGO Scientific Collaboration (LSC), który składa się z ponad tysiąca naukowców pracujących w uniwersytetach w Stanach Zjednoczonych i 14 innych krajach. Ponad 90 uniwersytetów i placówek naukowych reprezentowanych w LSC zajmuje się udoskonalaniem detektorów i analizowaniem danych. Wśród osób mających wkład w badania jest też około 250 studentów. Używana przez LSC sieć aparatury obejmuje interferometrię LIGO i detektor GEO600. W zespole GEO pracują naukowcy z Instytutu Fizyki Grawitacyjnej Maxa Plancka (znanego też

jako Instytut Alberta Einsteina - AEI), Uniwersytetu Leibniza w Hanowerze, z Uniwersytetu w Glasgow, Uniwersytetu w Cardiff, Uniwersytetu w Birmingham oraz innych brytyjskich uniwersytetów, a także z Uniwersytetu Wysp Balearskich w Hiszpanii.

Powołanie LIGO w celu wyśledzenia fal grawitacyjnych zostało zaproponowane w latach 80-tych XX wieku przez emerytowanego profesora fizyki z MIT Rainera Weissa, emerytowanego profesora fizyki teoretycznej z Caltech Kipa Thorne'a (piastującego stanowisko im. Richarda P. Feynmana) oraz emerytowanego profesora fizyki również z Caltech, Ronalda Drevera.

Odkrycie fal grawitacyjnych stało się możliwe dzięki unowocześnionej wersji detektora zwanej Advanced LIGO, która dysponuje instrumentami o znacznie większej czułości niż detektory pierwszej generacji, umożliwiając obserwacje znacznie większych obszarów kosmosu i przynosząc tak doniosłe odkrycie już w pierwszej serii obserwacji. Głównym sponsorem Advanced LIGO jest amerykański fundusz nauki National Science Foundation, znaczne środki pochodzą też od Max Planck Society z Niemiec, Science and Technology Facilities Council (STFC) z Wielkiej Brytanii i Australian Research Council z Australii. Wiele z technologii, które w sposób kluczowy przyczyniły się do zwiększenia czułości Advanced LIGO zostało opracowanych przez niemiecko-brytyjski zespół GEO collaboration. Niezbędne do badań zaplecze komputerowe zostało w dużej części zapewnione przez AEI Hannover Atlas Cluster, Laboratorium LIGO, Uniwersytet w Syracuse oraz Uniwersytet w Wisconsin-Milwaukee. Wiele ośrodków uniwersyteckich uczestniczyło w projektowaniu, tworzeniu i testowaniu kluczowych elementów Advanced LIGO. Są to Australijski Uniwersytet Narodowy, Uniwersytet w Adelajdzie, Uniwersytet Florydy, Uniwersytet Stanforda, Uniwersytet Columbia w Nowym Jorku i Uniwersytet Stanowy w Luizjanie.

Program badawczy Virgo jest realizowany przez zespół Virgo Collaboration, składający się z ponad 250 fizyków i inżynierów należących do 19 różnych grup badawczych z Europy, w tym sześciu związanych z Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS) we Francji; ośmiu z Istituto Nazionale di Fisica Nucleare (INFN) we Włoszech, dwóch z Nikhef w Holandii, grupą Wigner RCP z Węgier, POLGRAW z Polski oraz Europejskim Obserwatorium Grawitacyjnym EGO (European Gravitational Observatory), które jest gospodarzem siedziby detektora Virgo niedaleko Pizy we Włoszech.

Detektor Virgo powstał dzięki wizjonerskiemu pomysłowi Alaina Brilleta i Adalberta Giazotta. Został on zaprojektowany przy zastosowaniu innowacyjnych technologii umożliwiających rozszerzenie czułości detektora na niskie częstotliwości. Budowa rozpoczęła się w 1994 roku dzięki środkom pochodzącym z CNRS i INFN a od roku 2007 Virgo i LIGO wspólnie zajmują się analizą danych zebranych przez interferometry

należące do międzynarodowej sieci badawczej. W trakcie prac nad unowocześnieniem LIGO, dane były rejestrowane przez Virgo aż do roku 2011.

Wówczas uruchomiono projekt o nazwie Advanced Virgo, finansowany przez CNRS, INFN i Nikhef, dzięki któremu nowy detektor zacznie działać już przez koniec tego roku. Wiele instytucji naukowych i uniwersytetów z pięciu krajów europejskich reprezentowanych w projekcie Virgo Collaboration ma swój wkład zarówno w projekt Advanced Virgo, jak i w badania prowadzące do odkrycia fal grawitacyjnych.

Istotny wkład w doprowadzeniu do pierwszej bezpośredniej obserwacji fali grawitacyjnej z układu podwójnego czarnych dziur wniosło 15 polskich naukowców pracujących w grupie POLGRAW, która jest członkiem projektu Virgo.

Stworzyli oni podstawy wielu algorytmów i metod służących do wykrycia i estymacji parametrów fal grawitacyjnych z układów podwójnych (prof. dr hab. Andrzej Królak, prof. dr hab. Piotr Jaranowski), przyczynili się do precyzyjnego modelowania sygnału fali grawitacyjnej z układu podwójnego (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 Belczynski, prof. dr hab. Tomasz Bulik), badali astrofizyczne własności układów podwójnych (dr hab. Michał Bejger, dr Izabela Kowalska-Leszczyńska, dr hab. Dorota Rosińska), oraz poszukiwali mogących towarzyszyć zdarzeniu błysków optycznych (dr Adam Zadrożny).

Do urzeczywistnienia odkrycia przyczyniła się również praca prof. dr hab. Andrzeja Królaka jako członka Zarządu projektu Virgo i członka Komisji Analizy Danych konsorcjum LIGO-Virgo oraz praca prof. dr hab. Tomasza Bulika jako członka jednego z Komitetów Przeglądu Prac konsorcjum. Dr hab. Michał Bejger brał udział w przeglądzie i testach kodów numerycznych, który były użyte do analizy danych, a prof. dr hab. Andrzej Królak był jednym z wewnętrznych recenzentów jednej z prac przedstawiających odkrycie.

Dziewięciu naukowców z grupy POLGRAW znalazło się wśród autorów publikacji ogłaszającej odkrycie fal grawitacyjnych.