

Pierwsza bezpośrednia detekcja fal grawitacyjnych

Sebastian J. Szybka

Obserwatorium Astronomiczne UJ

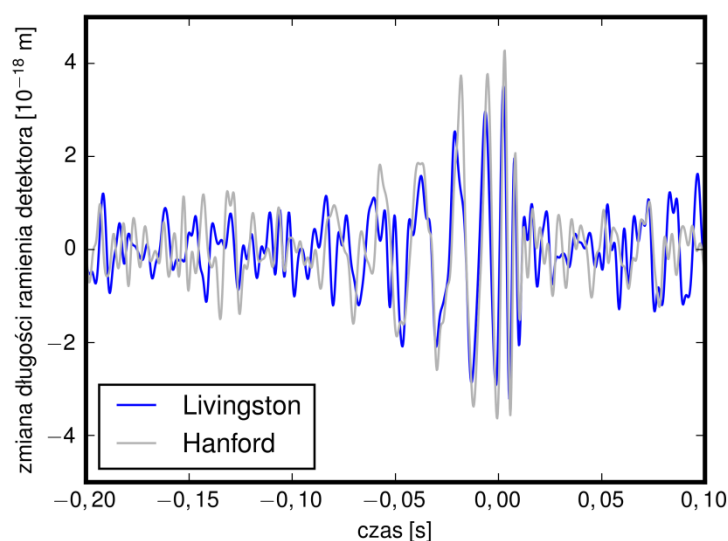
Sto lat temu Albert Einstein opublikował równania pola swojej teorii grawitacji. Teoria Einsteina zakłada, iż czas i przestrzeń stanowią integralną całość zwaną czasoprzestrzenią. Grawitacja to nic innego niż zakrzywienie geometrii czasoprzestrzeni pod wpływem nagromadzonej w niej energii. Einstein, tuż po odkryciu równań pola zauważył, iż zaburzenia geometrii czasoprzestrzeni mogą się propagować, nawet jeśli czasoprzestrzeń nie zawiera materii. W podobny sposób rozprzestrzeniają się fale na powierzchni wody, gdy ktoś wrzuci do niej kamień. Takie rozbiegające się „zmarszczki” czasoprzestrzeni to właśnie fale grawitacyjne.

Obserwacje astronomiczne układu podwójnego gwiazd neutronowych PSR B1913+16 potwierdzają pośrednio istnienie fal grawitacyjnych. Pomimo trwających pół wieku prób, fal tych nie udawało się zaobserwować bezpośrednio na Ziemi. Przełom nastąpił dopiero teraz. Podczas konferencji prasowej, która odbyła się 11 lutego 2016 roku, przedstawiciele projektu LIGO (*the Advanced Laser Interferometer Gravitational-Wave Observatory*) poinformowali o pierwszej bezpośredniej detekcji fal grawitacyjnych. Dokonano jej za pomocą dwóch interferometrów naziemnych znajdujących się w USA. Monitorując za pomocą wiązki światła lasera odległość pomiędzy dwoma zwierciadłami, można zmierzyć odkształcenia czasu i przestrzeni wywołane przez przechodzącą falę grawitacyjną. Daleko od źródła zaburzenia efekt ten jest bardzo subtelny.

14 września 2015 o godz. 9:50:45 UTC fala grawitacyjna, po przebyciu odległości 1,3 mld lat świetlnych, dotarła do detektora LIGO Livingston. 6,9 milisekund później zaobserwowano oscylacje czasoprzestrzeni w odległym o około 3000 km detektorze LIGO Hanford. Chociaż amplituda tych drgań była niezmiernie mała, rzędu tysięcznych części średnicy protonu tzn. 10^{-18} m (rys. 1), to z ich przebiegu udało się odczytać szczegółową informację dotyczącą źródła zaburzeń. Otóż dawno temu w odległej galaktyce dwie czarne dziury o masach 36 i 29 razy większych od masy Słońca i rozmiarach rzędu kilkuset kilometrów zderzyły się ze sobą, tworząc czarną dziurę o masie 62 razy większej od masy Słońca. W trakcie zderzenia trwającego ułamek sekundy, energia równoważna 3 masom Słońca została wypromieniowana w postaci fal grawitacyjnych. Chociaż czarne dziury biorące udział w tym zderzeniu to zaledwie drobinki w kosmicznej skali czarnych dziur (najcięższe czarne dziury mają masę rzędu kilkunastu miliardów mas Słońca), to energia wyemitowana w kulminacyjnej fazie procesu łączenia się tych obiektów przewyższała około 50 razy energię wypro-

mieniowaną w tym czasie przez wszystkie gwiazdy w obserwowalnym Wszechświecie.

W odkryciu dokonany przez LIGO mają swój udział polscy naukowcy. Zespół LIGO współpracuje ściśle z zespołem naukowym europejskiego detektora fal grawitacyjnych Virgo. Do konsorcjum Virgo przynależy polska grupa Virgo-POLGRAW. Polski zespół pracuje pod kierownictwem prof. Andrzeja Królaka z Instytutu Matematycznego PAN w Warszawie i zajmuje się analizą danych, teoretycznym badaniem emisji fal grawitacyjnych z obiektów astrofizycznych, jak i przygotowaniem wzorców do poszukiwania tych fal w danych z detektorów. Polska grupa brała również udział w budowie interferometru Virgo we Włoszech. Od zeszłego roku do zespołu naukowego Virgo-POLGRAW należy zespół z Uniwersytetu Jagiellońskiego kierowany przez prof. Michała Ostrowskiego z Obserwatorium Astronomicznego. Zespół ten, pracujący wspólnie z grupą dr hab. Andrzeja Kułaka z Katedry Elektroniki AGH, analizuje wpływ fal elektromagnetycznych ekstremalnie niskich częstości (fale te w naturalny sposób powstają na Ziemi) na pomiary detektorów Virgo i LIGO.



Rys. 1. Sygnały z obu detektorów po odfiltrowaniu szumów. Dane z Livingston zostały przesunięte o 6,9 milisekundy w celu łatwiejszego porównania sygnałów. Rysunek został opracowany na podstawie surowych danych upublicznionych przez zespół LIGO (opracowanie własne)

Koncepcje fali grawitacyjnej i czarnej dziury przez dziesiątki lat z wielkim trudem wyłaniały się z gąszczu matematycznych zawłości teorii grawitacji Einsteina. Sam Einstein, po przeprowadzeniu dokładniejszej analizy, wskutek pomyłki przestał wierzyć w ich istnienie. Detekcja fal nie byłaby możliwa bez

pracy kilku pokoleń fizyków. Praca ta trwa już od 100 lat w wielu ośrodkach naukowych na świecie. Równania Einsteina są przedmiotem badań prowadzonych na Uniwersytecie Jagiellońskim w Zakładzie Astrofizyki Relatywistycznej i Kosmologii OA, w Zakładzie Teorii Względności i Astrofizyki Instytutu Fizyki UJ, a także w innych zakładach. Chociaż fale zaobserwowane w LIGO są bardzo słabe, to ich kształt wynika z niewyobrażalnie gwałtownych procesów zachodzących miliardy lat świetlnych od nas we Wszechświecie. Obserwacja LIGO potwierdziła, iż te procesy przebiegają zgodnie z równaniami, które sto lat temu zaproponował Albert Einstein. Chciałoby się rzec, iż detekcja dokonana w LIGO jest ukoronowaniem 100 lat pracy nad tymi równaniami. Tak właśnie jest, ale to nie koniec tylko początek nowej ery badań Wszechświata.

Prawie cała informacja, jaką dotychczas zdobyliśmy o Wszechświecie, dotarła do nas za pomocą fal elektromagnetycznych. Każdy nasz kolejny krok (począwszy od Galileusza, który spojrział w niebo za pomocą teleskopu, do rozpoczętych w XX wieku obserwacji astronomicznych na innej długości fali niż światło widzialne) prowadził do nieoczekiwanych odkryć, które dogłębnie odmieniały nasz obraz rzeczywistości. Fale grawitacyjne są zupełnie nowym źródłem informacji. Nikt wcześniej nie nasłuchiwał wieści z Kosmosu w ten sposób. Detekcja fal grawitacyjnych otworzyła nam nowe szerokie okno na Wszechświat i jego nieznane dotychczas tajemnice. To odkrycie z całą pewnością zasługuje na Nagrodę Nobla.

Pierwsza wersja tego artykuł została oryginalnie opublikowana na stronie internetowej www.nauka.uj.edu.pl.



Rys. 2. Detektor fal grawitacyjnych LIGO Livingston (źródło: www.ligo.org)