

Streszczenie Popularnonaukowe: "Astrofizyka fal grawitacyjnych" (PI: K.Belczyński)

Jednym z najważniejszych przewidywań Einsteina były fale grawitacyjne wynikające z jego *Ogólnej Teorii Względności*. Od 1915 roku, naukowcy próbują udowodnić istnienie fal grawitacyjnych. Pierwsza wskazówka, że fale te istnieją, ukazuje się w 1974 roku. Russel Hulse oraz Joseph Taylor odkryli układ pulsarów: system gwiazdowy składający się z dwóch gwiazd neutronowych. Według teorii Einsteina dwie orbitujące się gwiazdy neutronowe emitują fale grawitacyjne, a więc ich wzajemna odległość powinna się zacieśniać. I rzeczywiście, takie zbliżanie się zostało zaobserwowane, potwierdzając tym samym (choć nie wprost) istnienie fal grawitacyjnych. Dwójka odkrywców otrzymała w 1974 roku Nobla.

Następuje okres prób bezpośredniej detekcji fal grawitacyjnych. Fale te zaburzają czasoprzestrzeń; np. zmieniają odległość między dwoma obiektami. Im silniejsza fala, tym większa zmiana odległości. Czasoprzestrzeń jest sztywnym medium i zmiany odległości są wyjątkowo niewielkie. Tylko katastroficzne wydarzenia mogą wygenerować fale na tyle silne aby były one mierzalne. Astronomowie, w swoich badaniach Wszechświata, wskazali tego typu wydarzenia. Dla przykładu, orbitujące się dwie gwiazdy neutronowe nie emitują fal na tyle silnych aby były mierzalne na Ziemi. Jednakże, jeżeli dwie gwiazdy neutronowe zderzą się z prędkością porównywalną do prędkości światła, wtedy fale grawitacyjne są na tyle silne, że ich detekcja może okazać się możliwa.

Budowa olbrzymiego amerykańskiego *Laser Interferometric Gravitational-wave Observatory* (LIGO) rozpoczęła się w 1990 roku. Kosztujące 300 milionów dolarów obserwatorium rozpoczęło poszukiwania fal grawitacyjnych w 2000 roku. Obserwacje trwały 10 lat, i nie przyniosły detekcji. W okresie 2010–2015 LIGO przeszło rewitalizację: zwiększono czułość obserwatorium. Pierwsze dni obserwacji przynoszą detekcję fal grawitacyjnych w 2015 roku. Zaskakujący okazał się sam sygnał; nie pochodził on od kolizji gwiazd neutronowych... LIGO zaobserwowało zderzenie dwóch czarnych dziur. Nie były to typowe czarne dziury które obserwuje się w naszej Galaktyce, a były to czarne dziury olbrzymie, o masach jakich dotąd nie obserwowano. Notujemy narodziny nowej dyscypliny: astronomii fal grawitacyjnych.

Kolizje czarnych dziur były rozważane w kontekście fal grawitacyjnych już od początku lat 1990. Jednakże, dopiero w 2010 roku nasze badania pokazują, że czarne dziury mogą mieć masy dużo większe niż te jakich dotąd oczekiwano oraz że tempo zderzeń jest dużo większe poza Drogą Mleczną, której do tej pory używano jako standardu kalibracyjnego. Przy pomocy naszego nowego modelu, oceniliśmy że zderzenie czarnych dziur nie tylko będzie pierwszym zaobserwowanym źródłem fal grawitacyjnych, ale również że tego typu zderzenia zdecydowanie przewyższą liczbę obserwacji zderzeń gwiazd neutronowych. Do chwili obecnej LIGO oraz Virgo (Europejski odpowiednik LIGO) zaobserwowało 6 zderzeń czarnych dziur oraz 1 zderzenie gwiazd neutronowych.

Nasza grupa bierze aktywny udział w rozwoju dyscypliny fal grawitacyjnych. Te dodatkowe okno obserwacyjne rokuje szansę nowej jakości w badaniach Wszechświata. Nasz projekt jest dedykowany wykorzystaniu w całej pełni istniejących już obserwacji LIGO/Virgo. Wykorzystamy też przyszłe detekcje do budowy nowoczesnego modelu ewolucji masywnych gwiazd we Wszechświecie. Procesy tworzenia się czarnych dziur oraz gwiazd neutronowych z masywnych gwiazd wiążą się z całą listą nierozwiązanych problemów astrofizyki gwiazdowej. Czy wszystkie masywne gwiazdy kończą ewolucję w supernowych? Jak gwiazdy przeżywają interakcje w układach podwójnych? Jaka jest maksymalna masa czarnej dziury pochodzenia gwiazdowego? Jaka jest rola zderzeń gwiazd neutronowych w chemicznej ewolucji Wszechświata? Jakie konsekwencje dla astrofizyki niesie z sobą pierwsza detekcja gwiazd neutronowych przez LIGO/Virgo? Jakie są najbardziej prawdopodobne scenariusze tworzenia się źródeł fal grawitacyjnych i w jakich galaktykach źródła te powstają najczęściej? To są pytania, którymi zajmiemy się dzięki dotacji Narodowego Centrum Nauki w ciągu następnych 5 lat.

Nasz model komputerowy pozwala na wygenerowanie syntetycznego Wszechświata wypełnionego gwiazdami. Przez miliardy lat, gwiazdy neutronowe oraz czarne dziury powstają w naszym syntetycznym Wszechświecie, gdzie testujemy ich potencjalną detekcję przez LIGO/Virgo. Rezultaty naszych symulacji zależą od procesów fizycznych rządzących narodzinami, ewolucją i końcem życia masywnych gwiazd. Zmiany tej fizyki (modelowanie) będzie ukierunkowane obserwacjami fal grawitacyjnych (porównanie naszego modelu z rzeczywistością) i pozwoli uzyskać wgląd w sekrety życia gwiazd. Te wymagające obliczenia (miliardy gwiazd) będą prowadzone na superkomputerach oraz w ramach naszego programu społecznościowego (Universe@home) przy współpracy tysięcy wolontariuszy.