

Streszczenie popularnonaukowe

Astrofizyka fal grawitacyjnych to nowa, rozwijająca się gałąź astronomii, w której dokonano wielu przełomowych odkryć dotyczących natury obiektów zwartych: czarnych dziur i gwiazd neutronowych. Dziesiątki zarejestrowanych detekcji fal grawitacyjnych są obecnie wykorzystywane w badaniach nad równaniem stanu gęstej materii, ewolucją gwiazd, kosmologią i testami teorii grawitacji (by wymienić tylko kilka z nich).

Stale ulepszana globalna sieć detektorów "drugiej generacji" Advanced Era LIGO i Virgo zostanie wkrótce rozszerzona przez japoński detektor KAGRA, dostarczając nie dziesiątki, ale setki i tysiące detekcji układów podwójnych w czasie jednej kampanii obserwacyjnej. Na odkrycie czekają też inne klasy sygnałów fal grawitacyjnych, na przykład długotrwałe ("ciągłe") fale emitowane przez rotujące, nieosiowosymetryczne gwiazdy neutronowe. Odkrycie takiego sygnału pozwoliłoby poznać elastyczne, magnetyczne i nadciężkie własności materii w warunkach bardzo różnych od tych, jakie występują podczas łączenia się układów podwójnych, a także przeprowadzić dodatkowe testy teorii grawitacji, wykonać kalibrację detektorów i umożliwić powtarzalność badań. Innymi źródłami ciągłymi są spiralujące zwarte układy podwójne zawierające lekkie składniki, takie jak hipotetyczne pierwotne czarne dziury, pozostałe pod zderzeniem się gwiazd neutronowych gorące rotujące obiekty, obłoki bozonów skalarnych otaczające wirujące czarne dziury, fotonowa ciemna materia oddziałująca z detektorami. Wykrycie ciągłej fali grawitacyjnej otworzyłoby nowy rozdział w astronomii fal grawitacyjnych.

Ponadto, obecnie projektowane są przyszłe naziemne detektory "trzeciej generacji", w szczególności amerykański Cosmic Explorer i europejski Teleskop Einsteina. Ich planowany wzrost czułości o rząd wielkości pozwoli na uzyskanie dosłownie milionów detekcji rocznie, z których część będzie należeć do nowych klas fal grawitacyjnych. Zdarzenia będą rutynowo nakładać się na siebie w pozycjach na niebie i w czasie, a ich obserwowany czas trwania będzie wynosił dziesiątki godzin lub dni, a nie sekundy jak obecnie, ponieważ okno czułości będzie rozciągać się do 1 Hz zamiast dziesiątek Hz jak obecnie. Obserwowane dziś "przejściowe sygnały" z układów podwójnych gwiazd neutronowych będą więc znacznie bardziej przypominać fale ciągłe, gdy zostaną zarejestrowane przez Teleskop Einsteina. Poszerzenie okna czułości w kierunku niższych częstotliwości otworzy nowe możliwości badania nigdy wcześniej nie widzianych źródeł, takich jak bardzo masywne układy czarnych dziur, czy populacja wolno wirujących gwiazd neutronowych.

Aby podjąć kroki z wyprzedzeniem i wykorzystać obecny okres "spokoju przed burzą", chcemy przygotować się na nadchodzące bogactwo przyszłości. Motywacją projektu jest potencjał przełomowych odkryć: zamierzamy zbadać i przygotować skuteczne metody radzenia sobie z mnogością i złożonością przyszłych danych. Będziemy wdrażać nie tylko ilościowo, ale i jakościowo różne rozwiązania, motywowane symulacjami astrofizycznymi i postępem w metodach obliczeniowych. Metody analizy danych fal grawitacyjnych opracowane w Centrum Astronomicznym im. Mikołaja Kopernika PAN, oraz przez polską grupę analizy danych LIGO-Virgo-KAGRA zostaną udoskonalone technikami uczenia maszynowego i zastosowane do różnych sygnałów grawitacyjnych, takich jak długie sygnały emitowane przez układy podwójne. Metody te będą później wykorzystywane przez społeczność w pracach na danych LIGO-Virgo-KAGRA oraz Teleskopu Einsteina.

W szczególności, wprowadzimy udoskonalenia uczenia maszynowego do opracowanych w naszej grupie metod wyszukiwania fal ciągłych, aby wykorzystać charakterystyczne cechy sygnałów i poprawić detekcję słabych sygnałów o skomplikowanej morfologii (na przykład ze zmienną częstotliwością, albo sygnałów niebędących ściśle ciągłymi), użyć technik uczenia maszynowego do odsumowania danych, aby odróżnić prawdziwe sygnały astrofizyczne od artefaktów instrumentalnych, automatycznie oszacować ich parametry i przeprowadzić szybką weryfikację uzupełnioną o informacje o kształcie sygnałów. Te udoskonalenia będą wspierane przez symulacje astrofizyczne modeli gwiazd neutronowych z konkretnymi interesującymi nas cechami gęstej materii, w celu ustalenia zakresów sygnału do szumu, rozmiaru błędów pomiarowych i liczby detekcji potrzebnych do udowodnienia lub obalenia hipotezy istnienia określonych cech, np. własności sprężystych, efektów pływowych, trybów oscylacji lub istnienia przejść fazowych w gęstej materii. Przeprowadzimy zarówno szczegółowe symulacje numeryczne w ogólnej teorii względności, jak i analizy danych z symulowanych przyszłych zbiorów danych, aby ocenić wymagania stawiane przyszłym detektorom, takim jak planowany Teleskop Einsteina.