Badania fal grawitacyjnych w dobie odkryć LIGO-Virgo-KAGRA

Astronomia fal grawitacyjnych rozpoczęła się od wykrycia połączenia dwóch czarnych dziur w 2015 roku. Od tamtej pory zaobserwowaliśmy jej wykładniczy wzrost. Obecnie znamy około 100 źródeł fal grawitacyjnych. Obserwacje fal grawitacyjnych pozwoliły nam dokonać wielu przełomowych odkryć. Wykazały one istnienie czarnych dziur o masach znacznie przekraczających te mierzone w układach rentgenowskich. Ogólna teoria względności została potwierdzona w reżimie silnego pola, co jeszcze niedawno było nieosiągalne. Wykrycie połączenia się dwóch gwiazd neutronowych GW170817, któremu towarzyszył rozbłysk gamma, otworzyło nową dziedzinę astronomii wieloaspektowej. Samo to wydarzenie przyniosło kilka przełomowych odkryć, oprócz rozwiązania niemal półwiecznego problemu pochodzenia rozbłysków gamma. Pozwoliło nam między innymi zmierzyć prędkość rozchodzenia się grawitacji, rozwiązać problem powstawania ciężkich pierwiastków we Wszechświecie, a także zmierzyć tempo rozszerzania się Wszechświata niezależnie od kosmicznej drabiny odległości. Obecnie wchodzimy w kolejny etap rozwoju astronomii fal grawitacyjnych: właśnie rozpoczęła się kampania obserwacyjna O4.

Polscy naukowcy uczestniczyli w tych odkryciach jako część grupy POLGRAW, wchodzącej w skład konsorcjum Virgo Collaboration. W tym wniosku przedstawiamy szeroki zestaw działań, które podejmą polscy naukowcy z sześciu instytutów, mających na celu jak najpełniejsze wykorzystanie możliwości naukowych, jakie dają obserwacje fal grawitacyjnych, oraz wkład w poprawę czułości detektora Virgo.

Wnioskowany projekt obejmuje trzy pakiety działań. Pierwszy pakiet jest poświęcony poprawie czułości detektora Virgo poprzez zrozumienie i ograniczenie dwóch rodzajów szumów: szumu gradientu grawitacyjnego i szumu magnetycznego. Drugi pakiet koncentruje się na analizie danych i opracowaniu narzędzi i algorytmów do analizy danych. W szczególności będziemy pracować nad poszukiwaniem ciągłych fal grawitacyjnych przeszukując całe niebo, poszukując fal wywołanych drganiami (tzw. modów r) konkretnego pulsara w Wielkim Obłoku Magellana, a także nad nowoczesnymi narzędziami analizy danych do wykrywania istotnych informacji w dużej liczbie wiadomości tekstowych dotyczących rozbłysków elektromagnetycznych. Dodatkowo będziemy pracować nad poszukiwaniem krótkich sygnałów pochodzących z pobliskich supernowych, mając na celu zrozumienie tych kosmicznych eksplozji i procesu powstawania obiektów zwartych. Trzeci pakiet koncentruje się na astrofizycznych aspektach astronomii fal grawitacyjnych. Będziemy pracować nad strukturą obiektów zwartych i badać, jak ograniczenia astronomiczne pomagają analizie fal grawitacyjnych, ale także jakie ograniczenia dotyczące obiektów zwartych wynikają z obserwacji fal grawitacyjnych. Będziemy również badać właściwości populacji łączących się obiektów zwartych i scenariusze ich powstawania. Będzie to obejmować analizę statystycznych właściwości populacji, ale także szczegółowe badanie poszczególnych zderzeń o dobrze określonych parametrach.

Zwiększymy istotny już teraz polski wkład w postęp interdyscyplinarnej i międzynarodowej dziedziny, jaką jest astrofizyka fal grawitacyjnych, wspierając jej rozwój w Polsce. W szczególności instytuty zaangażowane w ten projekt są uznawane za liderów w analizie danych z detektorów fal grawitacyjnych, badaniach wnętrz gwiazd neutronowych, interpretacji i modelowaniu wykrywanych zdarzeń będących źródłami fal grawitacyjnych oraz w rozwoju oprzyrządowania detektorów fal grawitacyjnych. W celu utrzymania konkurencyjności w tej dynamicznie rozwijającej się dziedzinie badawczej, ten projekt dalej umocni Polskę jako ośrodek doskonałości w astrofizyce fal grawitacyjnych i pomoże przyciągnąć do Polski studentów i badaczy światowej klasy.