

## Popularno-naukowe streszczenie projektu

### *Rola obłoków w wykorzystaniu opóźnień w kontinuum w aktywnych galaktykach do pomiarów tempa ekspansji Wszechświata*

Aktywne jądra galaktyk, a w szczególności ich najjaśniejsza forma – kwazary – to niezwykle jasne źródła obecne w każdym zakątku Wszechświata. **A zatem kwazary są potencjalnie doskonałymi sondami do badania ekspansji Wszechświata.**

A takie sondy są pilnie potrzebne. Pomiar wartości stałej Hubble'a wykonany różnymi metodami daje niejasne rezultaty. Większość pomiarów wykonanych z wykorzystaniem obiektów na bliskim czy pośrednim przesunięciu ku czerwieni, jak gwiazdy Supernowe typu Ia wskazują w ogólności na większe tempo ekspansji Wszechświata niż pomiary własności mikrofalowego promieniowania tła, powstającego przy przesunięciu ku czerwieni około 1000, gdzie pomiary te są przeliczone na obecne tempo ekspansji. Jeżeli model standardowy dobrze opisuje ekspansję Wszechświata wszędzie dla wszystkich epok, wtedy obie metody pomiaru powinny dać ten sam wynik. Niezgodność sugeruje, że może niezbędna jest nowa fizyka. Pomiary są jednak trudne, a błędy systematyczne tych pomiarów nie są łatwo do oszacowania. Dlatego planujemy wykorzystanie aktywnych galaktyk jako niezależnych próbników.

Promieniowanie powstające w bezpośrednim otoczeniu centralnej czarnej dziury jest silnie zmienne, i to zmienne promieniowanie padające na dysk akrecyjny otaczający czarną dziurę tworzy echo świetlne. Opóźnienie czasowe tego echa, zgodnie z teorią, jest wprost powiązane z absolutną jasnością (monochromatyczną) źródła. Zatem mierząc to opóźnienie czasowe oraz strumień obserwowany, możemy określić odległość (dokładniej – odległość jasnościową) do danego źródła. Dodatkowo mierząc przesunięcie ku czerwieni do tej galaktyki aktywnej możemy ją umieścić na diagramie Hubble'a i mierzyć ekspansję Wszechświata, w tym stałą Hubble'a.

Problem jednak polega na tym, że obserwowane echo od dysku wydaje się być mocno zanieczyszczony drugim echem świetlnym, pochodzącym od innego ośrodka położonego dość daleko od dysku akrecyjnego, najprawdopodobniej od obłoków, które są także źródłami szerokich linii emisyjnych. W tym projekcie proponujemy **czterostopniową** metodę rozłożenia obserwowanego sygnału na sygnał z dysku i sygnał z drugiego reprocessora. Echo od tych dwóch ośrodków ma inny charakter zależności od długości fali ponieważ dysk świeci lokalnie jak ciało czarne, natomiast drugi ośrodek, częściowo zjonizowany i najprawdopodobniej o charakterze chmur, odciska wyraźne cechy widmowe jak linie emisyjne i pseudo-continua. Zamierzamy szczegółowo modelować oba echa, a następnie przygotować oprogramowanie, które połączy je oba w jeden sygnał, gotowy do porównania z obserwacjami. Zatem **etap pierwszy** obejmie tylko połączenie dwóch skal czasowych, a **etap drugi** włączy ich specyfikę widmową. Aby określić jeszcze lepiej drugi niejednorodny ośrodek, rozwiniemy jego opis teoretyczny. Jedno z podejść (**etap trzeci**) będzie oparte o nasz model powstawania obłoków w wietrze dyskowym i wynoszenia ich z dysku przez ciśnienie promieniowania działające na pył. Inne, bardziej ogólne podejście (**etap czwarty**) obejmie modelowanie innych oddziaływań jak rozrywanie obłoków przez siły przyływowe, zderzenia obłoków z dyskiem, a także sderzenia gwiazd z dyskiem. To pozwoli na uwzględnienie rozkładu tej materii w 3-D.

Finalnie, kod zawierający opis oby ech świetlnych będzie porównany z danymi z **Vera C. Rubin Observatory**, które wykona Legacy Survey of Space and Time (**LSST**), rozpoczynając od roku 2023. W połowie roku 2024 dane z pierwszego sezonu powinny być dostępne. My wykorzystamy aktywne galaktyki z Deep Drilling Fields gdzie spodziewamy się ok. 3000 obiektów. Określimy na tej podstawie wartość stałej Hubble'a i ocenimy dokładność pomiaru poprzez wykonanie szeroko zakrojonych symulacji.