

GW190521: masywne wibracje

Mimo obiektywnych trudności związanych z globalną pandemią współpraca naukowa LIGO-Virgo-KAGRA nie zwalnia tempa. Zrzeszeni w niej naukowcy mają ciągle pełne ręce roboty przy opracowywaniu detekcji zarejestrowanych podczas kampanii obserwacyjnej O3, która zakończyła się pod koniec marca 2020 roku.

Kolejny niezwykły sygnał, GW190521, został zaobserwowany jednocześnie przez trzy detektory (dwa Advanced LIGO oraz jeden Advanced Virgo) 21 maja 2019 roku; oszacowany współczynnik wystąpienia fałszywego alarmu (przypadkowej koincydencji podobnego nieastrofizycznego zakłócenia w trzech detektorach jednocześnie) wynosi 1 na 4900 lat. GW190521 trwał jedynie 0,1 sekundy w stosunkowo niskich częstotliwościach (maksimum „głośności” przy 60 Hz). Wygląda jak standardowy „ćwierk”, czyli fale emitowane podczas ostatnich orbit układu podwójnego, po których zachodzi koalescencja (połączenie się składników układu), a następnie występują drgania powstałego w ten sposób obiektu („podzwonne”). Krótki czas trwania sygnału w zakresie czułości detektorów i niska częstotliwość świadczą o tym, że jeśli sygnał rzeczywiście został wyprodukowany przez układ podwójny, to składniki muszą być dużo masywniejsze niż rejestrowane do tej pory, ponieważ czas trwania i częstotliwość ćwierku skaluje się z masą składników (zob. Δ_{20}^9). Sygnał jest zgodny z modelem koalescencji układu czarnych dziur o masach $m_1 = 85^{+21}_{-14} M_\odot$ i $m_2 = 66^{+17}_{-18} M_\odot$ oraz powstania czarnej dziury o masie $m_f = 142^{+28}_{-16} M_\odot$. Energia równoważna około $9 M_\odot$ została wyemitowana w falach grawitacyjnych. Detekcja oznacza bezpośredni pomiar amplitudy fali, co przekłada się na bezpośredni pomiar jasnościowej – czy raczej „głośnościowej” – odległości do źródła (bo amplituda jest odwrotnie proporcjonalna do odległości). Wynosi ona $5,3^{+2,4}_{-2,6}$ Gpc. Mówimy więc nie o lokalnym Wszechświecie, tylko o odległościach prawdziwie kosmologicznych. Przeliczając gigaparseki na lata świetlne, odległość do źródła to ponad 17 miliardów lat świetlnych! Nie oznacza to jednak, że koalescencja nastąpiła przed Wielkim Wybuchem (wiek Wszechświata jest szacowany na około 13,8 miliardów lat). Ten paradoksalny wynik jest możliwy z powodu ekspansji Wszechświata. W rzeczywistości składniki układu GW190521 zderzyły się około 7 miliardów lat temu.

Zmierzone wartości są ciekawe z paru powodów. Po pierwsze, czarna dziura o masie m_1 znajduje się z wielkim prawdopodobieństwem w „teoretycznie zabronionej” przerwie masowej od około $60 M_\odot$ do około $130 M_\odot$. Zakres ten jest związany z masywnymi gwiazdami wybuchającymi jako supernowe z powodu niestabilności kreacji par (pisaliśmy o tym niedawno w Δ_{20}^4 przy okazji obserwacji elektromagnetycznych, donoszących o wykryciu kandydata na równie masywną czarną dziurę). Tego typu masywne gwiazdy-supernowe nie pozostawiają po sobie czarnej dziury ani gwiazdy neutronowej, jak to się dzieje w przypadku gwiazd

mniej masywnych. Mamy więc interesującą zagadkę: jak powstały masywne składniki układu? Najlepiej dopasowany model sygnału zawiera w sobie informacje o różnym od zera tempie obrotu obu składników (spinie czarnych dziur). Możliwe jest zatem, że obiekty te powstały w wyniku wcześniejszych hierarchicznych koalescencji, albo bardziej egzotycznych procesów (np. powstały tuż po Wielkim Wybuchu jako tzw. pierwotne czarne dziury).

Pozostałość po GW190521 o masie m_f jest natomiast bezsprzecznie *czarną dziurą o masie pośredniej* (od 100 do 100 000 M_\odot), czyli pomiędzy populacjami czarnych dziur „gwiazdowych” i supermasywnymi czarnymi dziurami o masach od milionów do miliardów M_\odot . Obserwacje elektromagnetyczne zidentyfikowały dotychczas bardzo niewiele kandydatów na czarne dziury o masie pośredniej, a GW190521 dostarcza pierwszego pomiaru masy takiego obiektu za pomocą fal grawitacyjnych. Przedział mas czarnych dziur od 100 do 1000 M_\odot od wielu lat był szczególnie tajemniczy z powodu braku obserwacji w tym zakresie. Zainteresowanie populacją czarnych dziur o masach pośrednich wiąże się z jedną z najbardziej fascynujących i trudnych zagadek stojących przed astrofizykami i kosmologami: dotyczy ona powstawania supermasywnych czarnych dziur. Ta i przyszłe podobne masywne detekcje pomogą w ustaleniu, czy supermasywne czarne dziury formują się poprzez akrecję lżejszych obiektów podobnych do pozostałości GW190521, czy też w jakiś inny sposób.

Dodatkowego kolorytu całej sprawie nadają niezależne od LIGO-Virgo-KAGRA obserwacje wykonane w ramach projektu Zwicky Transient Facility. Zespół ZTF twierdzi, że mniej więcej po miesiącu od alertu GW190521 zaobserwował promieniowanie optyczne z kierunku i w odległości zgodnych w granicach błędu z pomiarami detektorów LIGO i Virgo. Krzywa zmian blasku jest konsystentna z modelem masywnej (około 100 M_\odot) czarnej dziury przelatującej z dużą prędkością (około 200 km/s) przez dysk akrecyjny wokół supermasywnej czarnej dziury. Z powodu spinu i nierównych mas składników GW190521 utworzona czarna dziura może posiadać niezerowy pęd. Poruszając się z dużą prędkością, rozgrzewa ona gaz dysku, co powoduje charakterystyczne zmiany krzywej blasku, znacząco inne (według ZTF) od podobnych zjawisk przejściowych, takich jak mikrosoczewkowanie czy rozerwanie pływowe gwiazdy w pobliżu masywnego towarzysza. Model teoretyczny przewiduje, że po około 1,5 roku (dla supermasywnej czarnej dziury o $M = 10^8 M_\odot$) czarna dziura GW190521 znajdzie się z powrotem w pobliżu dysku i ponownie wywoła efekt optyczny. Jeśli ta prognoza się potwierdzi, będzie to kolejny po GW170817 przykład zastosowania astronomii wieloaspektowej.

Michał BEJGER

Abbott et al., *Phys. Rev. Lett.* 125, 101102 (2020).
Abbott et al., *ApJ*, 900:L13 (2020).
Graham et al., *Phys. Rev. Lett.* 124, 251102 (2020).