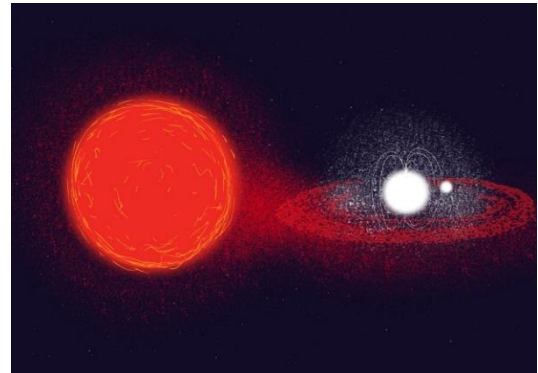


NA RAZIE ŻADNYCH GÓR NA MILLISEKUNDOWYCH PULSARACH

[Fale grawitacyjne](#) z układów podwójnych czarnych dziur i [gwiazd neutronowych](#) były odpowiedzialne za [nowe odkrycia](#) dokonane za pomocą detektorów fal grawitacyjnych. Koalescencje układów podwójnych nie są jedynym sposobem tworzenia fal grawitacyjnych: inne obiecujące źródła to obracające się gwiazdy neutronowe. Wiadomo, że obiekty te szybko się obracają, ale zwalniają z czasem, częściowo z powodu emisji fal grawitacyjnych. To [spowalnianie](#) jest niezwykle małe i częstotliwość obrotu gwiazdy jest prawie stała. Dlatego też emitowane fale określamy jako sygnały „fali ciągłej”: fale są emitowane w sposób ciągły i mają prawie stałą częstotliwość.

W poprzednich badaniach wyznaczyliśmy [istotne górne ograniczenia](#) dla takiej emisji. Wizja artystyczna gwiazdy neutronowej w układzie podwójnym przedstawiona jest na Rysunku 1.

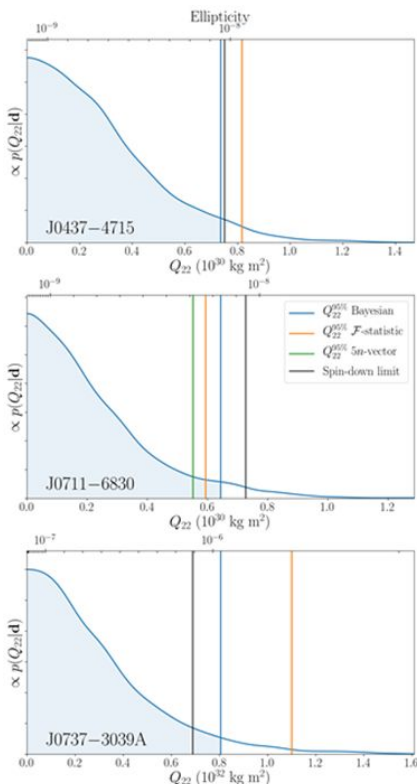
[Pulsary](#) to obracające się gwiazdy neutronowe, zachowujące się jak precyzyjne zegary: emitują one impulsy radiowe i rentgenowskie nadchodzące z zadziwiającą regularnością, co oznacza, że możemy dokładnie monitorować tempo ich rotacji. Jednak nie do końca rozumiemy fizyczne mechanizmy odpowiedzialne za zmiany ich częstotliwości i spowalnianie obrotu, które powodują niewielkie odchylenia w regularnych czasach przybycia impulsów. Fale grawitacyjne mogą pomóc wyjaśnić te obserwacje.



Rysunek 1. Artystyczne wyobrażenie milisekundowego pulsara PSR J1023+0038 (biały obiekt po prawej stronie z widocznymi liniami pola magnetycznego), który wydobywa materię z towarzyszącej gwiazdy (czerwony obiekt po lewej) za pomocą dysku akrecyjnego (również pokazanego na czerwono). Źródło: Europejska Agencja Kosmiczna (ESA).

Aby wyemitować falę grawitacyjną, pulsar musi być asymetryczny względem swojej osi obrotu. Asymetrię może sobie wyobrazić jako „górkę” na jego powierzchni. Istnieje wiele możliwych powodów takiej deformacji: mogą one powstać w skorupie lub jądrze gwiazdy zaraz po tym, jak gwiazda neutronowa narodzi się w wybuchu supernowej; mogą również utworzyć się z materiału spadającego na gwiazdę podczas akrecji z towarzysza w układzie podwójnym, lub być utrzymywane przez ekstremalnie duże [pole magnetyczne](#). Takie fale grawitacyjne mają częstotliwość równą rotacji gwiazdy lub dwukrotnie większą, w zależności od przyczyny emisji. Pierwszy przypadek występuje, gdy gwiazda dodatkowo kołysze się podczas wirowania lub ma [nadprzewodzące jądro](#), które nie jest całkowicie zsynchronizowane z częstotścią rotacji skorupy gwiazdy, co powoduje, że rozkład gęstości w jej wnętrzu jest niesymetryczny. Drugi przypadek jest powodowany przez dowolną asymetrię w rozkładzie masy.

Nasze poszukiwania fal grawitacyjnych nie zakładają konkretnego mechanizmu emisji - próbujemy raczej najpierw wykryć sygnał ciągły, a następnie z jego pomocą zidentyfikować określony model astrofizyczny. Dzięki obserwacjom astronomicznym [fal radiowych](#), [promieni rentgenowskich](#) i [promieni gamma](#) znamy położenie na niebie, częstotliwość i zmianę częstotliwości źródła, co bardzo pomaga w poszukiwaniu słabego sygnału fali grawitacyjnej.



Rysunek 2 (Fig. 2 z artykułu). Ograniczenia momentu kwadrupolowego masy Q_{22} i eliptyczności (poziomu deformacji) trzech recyklingowanych pulsarów w oparciu o nowe obserwacje. Krzywe są bayesowskimi rozkładami a posteriori, więc pole pod krzywą między dwoma wartościami momentu kwadrupolowego jest prawdopodobieństwem, że prawdziwa wartość mieści się w tym zakresie, biorąc pod uwagę dane i założenia modelu. Czarne pionowe linie reprezentują granice spowalniania dla każdego pulsara, a kolorowe pionowe linie odpowiadają 95% stopniowi przekonania (degree of belief), że moment kwadrupolowy lub eliptyczność jest poniżej pewnej wartości. Kiedy pomiary górnych ograniczeń na moment kwadrupolowy (kolorowe pionowe linie) lub eliptyczność leżą na lewo od czarnych linii, mówimy, że granica spowalniania została przekroczona. W przypadku pulsara J0711-6830, znajdującego się w odległości około 358 lat świetlnych, możliwe odchylenie od idealnie kołowego równika zostało ograniczone do grubości ludzkiego włosa!

Jednym z ważnych celów badań pulsarów jest przekroczenie tzw. granicy spowalniania (ang. spindown limit), czyli wielkości opisującej sytuację, w której całe obserwowane spowolnienie obrotu gwiazdy neutronowej związane byłoby z utratą energii unoszonej przez fale grawitacyjne. Gdy zostanie osiągnięty ten poziom czułości, zaczynamy badać prawdopodobny fizyczny mechanizm emisji fal i faktycznie mamy szansę wykryć fale grawitacyjne.

W bieżącej pracy dane z pierwszej, drugiej i trzeciej kampanii obserwacyjnej zaawansowanych detektorów LIGO i Virgo wykorzystano po to, aby nałożyć ograniczenia na emisję fal grawitacyjnych z pięciu pulsarów, przy założeniu, że fale są emitowane z częstotliwością równą częstotliwości obrotowej gwiazdy lub od niej dwukrotnie większą. Chociaż nie wykryliśmy żadnych sygnałów, czułość detektorów pozwoliła po raz pierwszy dla dwóch z tych pulsarów spojrzeć poniżej granicy spowalniania. Warto zauważyć, że są to tzw. „pulsary milisekundowe”, co oznacza, że wirują one bardzo szybko. A ponieważ emisja GW staje się bardziej wydajna przy wyższych częstotliwościach, te szybko wirujące gwiazdy neutronowe nie wymagają dużych odkształceń, aby wytworzyć wykrywalne GW. Rzeczywiście odkryliśmy, że równik pulsara J0711-6830 znajdującą się w odległości około 358 lat świetlnych, różni się od idealnego koła o mniej niż grubość ludzkiego włosa! Górne ograniczenia można zobaczyć bardziej szczegółowo na Rysunkach 2 i 3.

W przypadku obracających się wolniej gwiazd neutronowych, takich jak pulsary w Mgławicy Kraba i w konstelacji Żagla, bardziej znaczące deformacje są konieczne do wygenerowania wykrywalnych sygnałów. Małe odkształcenia są bardziej niż większe podatne na tworzenie się i przetrwanie wyjątkowo silnej grawitacji gwiazdy neutronowej, więc przekroczenie granicy spowalniania dla tych pulsarów milisekundowych jest bardzo ważnym momentem w astrofizyce fal grawitacyjnych.

DOWIEDZ SIĘ WIĘCEJ:

Odwiedź nas w internecie: www.ligo.org,
www.virgo-gw.eu

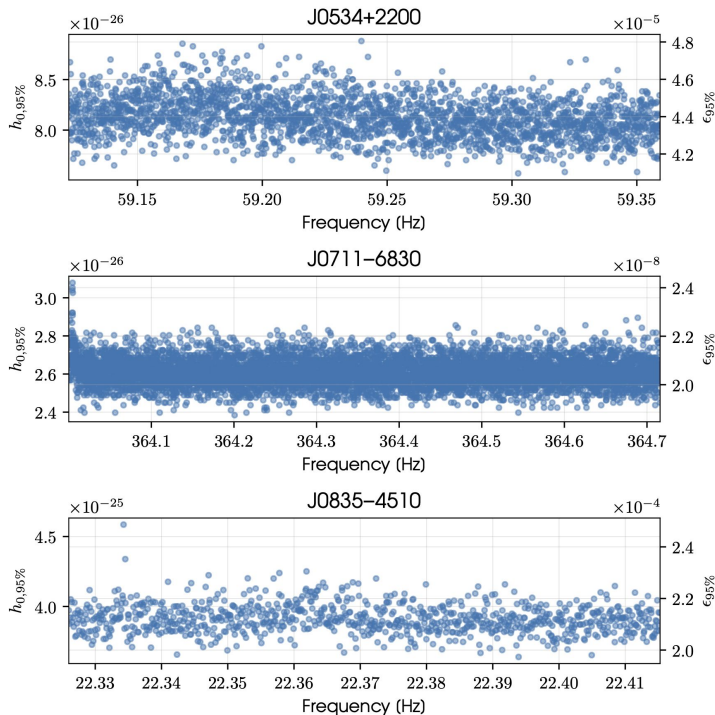
Przeczytaj publicznie dostępny [artykuł naukowy](#) oraz [artykuł przeglądowy](#) o pulsarach napisany przez Michaela Kramera (plik PDF, 1.2 MB)

Odwiedź stronę NASA o pulsarach [“Imagine the Universe!”](#).

Nasze strony w internecie:

<http://www.ligo.org>

<http://www.virgo-gw.eu>



Rysunek 3 (Fig. 6 z artykułu). Górne ograniczenia na poziomie ufności 95% dla amplitudy fali grawitacyjnej h_0 i eliptyczności ϵ dla trzech pulsarów analizowanych w analizie wąskopasmowej. Od góry do dołu górne ograniczenia są pokazane dla pulsara w Mgławicy Kraba, pulsara milisekundowego, dla którego przekroczono granicę spowalniania, i dla pulsara w konstelacji Żagla.

LIGO: Laserowe interferometryczne obserwatorium fal grawitacyjnych (LIGO) to amerykańska para detektorów wykrywających fale grawitacyjne. Jeden znajduje się w pobliżu Livingston w Luizjanie, a drugi w pobliżu Hanford w stanie Waszyngton. Oba detektory są wielkoskalowymi interferometrami laserowymi z dwoma prostopadłymi ramionami o długości 4 km, które próbują zmierzyć wszelkie zmiany względnej długości ramion spowodowane przez przechodzącą przez detektor falę grawitacyjną.

Virgo: Detektor fal grawitacyjnych położony w pobliżu Pizy we Włoszech. Jest to również interferometr laserowy, z ramionami o długości 3 km.

Czułość: Zdolność detektora do wykrycia sygnału. Detektory o niższym poziomie szumów wykrywają słabsze sygnały: mają wówczas wyższą (lub większą) czułość.

Spowalnianie: Pulsary to wirujące gwiazdy neutronowe, których prędkość obrotu (zwana też spinem) maleje z czasem, co odpowiada rosnącemu okresowi rotacji.

Granica spowalniania: Charakterystyczna wartość amplitudy fal grawitacyjnych z pulsara wyznaczana w oparciu o założenie, że cała energia kinetyczna obrotu tracona przez rotującą gwiazdę zmienia się w energię promieniowania grawitacyjnego. Oszacowanie wymaga dokładnie znanej odległości od pulsara; w rzeczywistości odległości do znanych pulsarów są obarczone dużą niepewnością. Wiemy także, że istnieją inne mechanizmy trącenia przez pulsar energii, np. w wyniku elektromagnetycznego promieniowania dipolowego. Granicą spowalniania stanowi górną granicę oczekiwanego sygnału grawitacyjnego z gwiazdy.

Kampania obserwacyjna: Okres, w którym detektory zbierają dane naukowe.

Odkształcenie: Względna zmiana odległości dwóch punktów pomiarowych spowodowana deformacją czasoprzestrzeni wywołaną przez przechodzącą falę grawitacyjną. Typowe odkształcenie wywołane przez nawet najsilniejsze fale grawitacyjne docierające do Ziemi jest bardzo małe - zwykle mniejsze od 10^{-21} .

Górne ograniczenie: Określenie maksymalnej wartości, jaką może przyjąć dana zmienna, przy jednoczesnym zachowaniu zgodności z danymi. Tutaj przedmiotem zainteresowania jest maksymalny moment kwadrupolowy gwiazdy (związany z obserwowaną amplitudą ciągłej fali grawitacyjnej docierającej do Ziemi). Używamy ograniczenia stopnia przekonania równego 95%, tzn. takiej wartości, że - biorąc pod uwagę dane - istnieje 95% prawdopodobieństwo, że zmienna jest mniejsza od tej wartości.

Pulsar milisekundowy: Szybko wirujący pulsar z okresem rotacji mniejszym niż około 30 milisekund i bardzo niskim tempem spowalniania rotacji.

Pulsar po recyklingu: Pulsar, który niekoniecznie obraca się wystarczająco szybko, aby zostać sklasyfikowany jako pulsar milisekundowy, ale oczekuje się, że uzyskał wysoką prędkość obrotową poprzez akrecję materii z gwiazdy towarzyszącej.