

DLACZEGO RENTGENOWSKI PULSAR J0537-6910 ZWALNIA TAK SZYBKO?

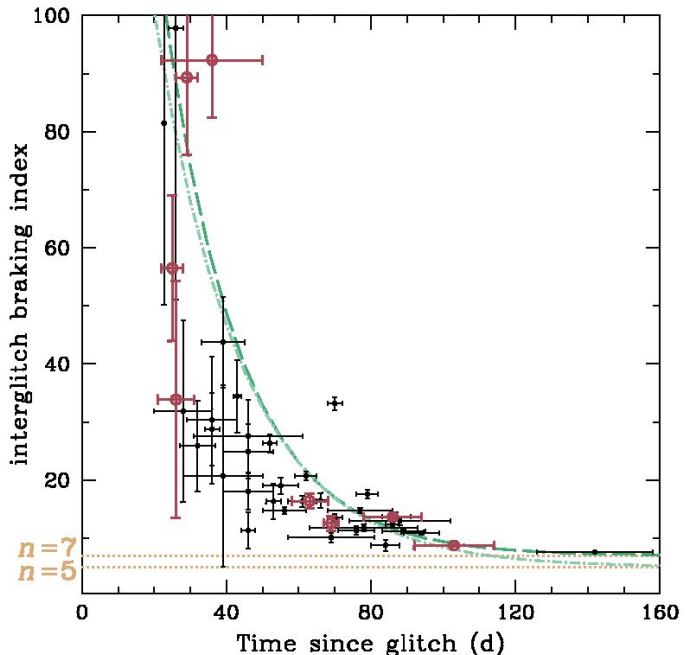
[Pulsary](#) to szybko obracające się [gwiazdy neutronowe](#), będące pozostałościami po eksplozji masywnych gwiazd. Są to obiekty ekstremalne, masywniejsze niż Słońce, o rozmiarach nie większych niż miasto. Ich gęstość jest tak duża, że łyżeczka materii gwiazdy neutronowej miałaby masę około 10 milionów ton (czyli tyle, co przeciętnej wielkości góra na Ziemi), a ich pola magnetyczne są od setek milionów do bilionów razy większe niż pole magnetyczne Ziemi.

Obserwujemy je dzięki wąskim wiązkom promieniowania elektromagnetycznego, które są emitowane z okolic biegunów magnetycznych pulsarów. Chociaż promieniowanie to jest ciągłe, do Ziemi docierają regularne pulsy, co tłumaczy nazwę „pulsary”. Dzieje się tak, ponieważ oś symetrii pola magnetycznego nie jest zorientowana dokładnie w kierunku osi obrotu pulsara więc, podobnie jak w latarni morskiej, widzimy emisję tylko przez chwilę podczas każdego obrotu (lub, dla niektórych pulsarów, dwukrotnie podczas każdego obrotu), gdy wiązka omiata Ziemię. Obecnie znamy około 3000 pulsarów w Drozdzie Mlecznej i w pobliskich galaktykach. Większość pulsarów obserwowana jest za pomocą radioteleskopów, jednak niektóre z najbardziej energetycznych pulsarów wytwarzają również intensywne, bardzo energetyczne promieniowanie [rentgenowskie](#) i [gamma](#).

Ogólnie rzecz biorąc, jasność obiektu jest całkowitą mocą emitowanego światła we wszystkich długościach fal. Możemy również myśleć o jasności jako o ilości emitowanej (traconej w czasie) energii w dowolnej formie. Gdy wirujący obiekt spowalnia, jego energia kinetyczna obrotu maleje. Ze względu na prawo zachowania energii, energia kinetyczna musi zmienić formę, lub zostać wypromieniowana. Szybkość, z jaką energia obrotowa obiektu maleje jest więc równa wypromieniowanej (traconej) energii obiektu, lub innymi słowy jest równa jego „jasności spowalniania”. Szybko rotujący pulsar jest ogromnym rezerwuarem energii kinetycznej: gdyby pulsar wirujący z częstością 60 razy na sekundę tracił energię w tym samym tempie co Słońce w promieniowaniu elektromagnetycznym, przestałby wirować za około 600 milionów lat. Biorąc pod uwagę obecne zużycie energii naszej cywilizacji, takie źródło mogłoby zasilać ludzkość przez około 10 tryliardów (10^{22}) lat! Obserwując zmiany prędkości obrotowej pulsarów wiemy, że wiele z nich traci energię znacznie szybciej niż Słońce, z czego bardzo niewiele to światło widzialne. Jaką formę ma ta wypromieniowana energia? Chcielibyśmy dowiedzieć się, czy znacząca jej część jest w postaci promieniowania grawitacyjnego.

Pulsar znany jako PSR J0537-6910 jest jednym z najbardziej niezwykłych znanych pulsarów. Jego nazwa jest związana z położeniem na niebie we [współrzędnych równikowych](#) używanych przez astronomów, tzn. rektascensją 5h 37m i deklinacją -69 stopni 10 minut łuku; pulsar znajduje się w [Wielkim Obłoku Magellana](#), galaktyce „satelitarnej” krążącej wokół Drogi Mlecznej. PSR J0537-6910 jest wyjątkowy, ponieważ traci energię szybciej niż którykolwiek z innych znanych pulsarów, a jego „jasność spowalniania” wynosi około 5×10^{31} watów, czyli około 100 000 razy więcej niż jasność Słońca. PSR J0537-6910, oprócz swojej niezwyklej jasności, charakteryzuje się dużą aktywnością glicy; [glicz pulsarowy](#) to zjawisko, podczas którego pulsar doświadcza nagłego, niewielkiego wzrostu swojej prędkości obrotowej.

W przeciwieństwie do większości innych pulsarów, PSR J0537-6910 nie jest obserwowany poprzez detekcję pulsów radiowych, lecz pulsów promieniowania rentgenowskiego, które nie przenika do powierzchni Ziemi - są one blokowane przez atmosferę, co oznacza, że mogą je wykryć jedynie teleskopy umieszczone w przestrzeni kosmicznej.

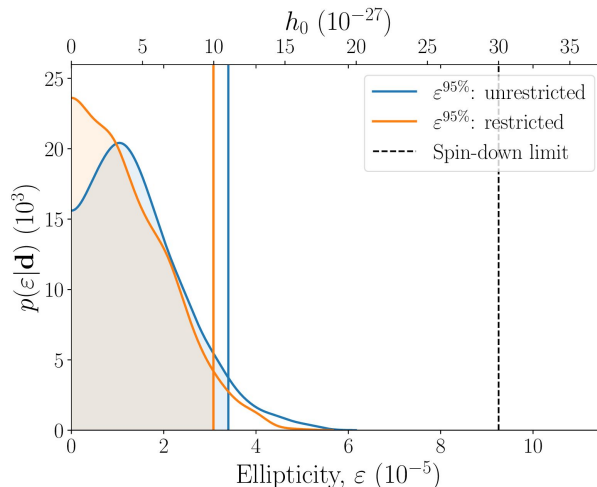


Rysunek 1: Współczynnik hamowania pulsara PSR J0537-6910 zmierzony dzięki danych rentgenowskich zebranych w przedziałach czasu pomiędzy gliczami pulsara. Czerwone i czarne punkty są pomiarami, odpowiednio, teleskopów NICER i RXTE. Wraz ze wzrostem czasu pomiędzy kolejnymi gliczami, współczynnik hamowania ma tendencję do osiągnięcia wartości bliskich 5 lub 7.

Pulsar został odkryty przez satelitalny teleskop rentgenowski o nazwie *Rossi X-ray Timing Explorer (RXTE)*, który badał go w latach 1996-2012 (później RXTE został wyłączony). W 2017 roku na Międzynarodowej Stacji Kosmicznej zainstalowano teleskop rentgenowski o nazwie *Neutron Star Interior Composition Explorer (NICER)*. Ze względu na interesujący charakter PSR J0537-6910, jest on głównym celem kampanii obserwacyjnej teleskopu NICER. Obserwacje RXTE i NICER ujawniły wspomnianą powyżej niezwykłą aktywność gliczy pulsara, a także dostarczyły intrygujących dowodów na to, jak gwiazda traci energię pomiędzy gliczami. Parametr nazwany *współczynnikiem hamowania* (ang. braking index) określa, jak pulsar spowalnia swoją rotację: różne mechanizmy utraty energii, które powodują spowolnienie, dają różne wartości współczynnika hamowania. Wartości 5 i 7 są oczekiwane dla dwóch różnych trybów emisji fali grawitacyjnej. Obserwacje NICER i RXTE na rys. 1 sugerują, że współczynnik hamowania może dążyć do jednej z tych wartości w momentach pomiędzy odległymi w czasie gliczami, co oznacza, że emisja fal grawitacyjnych jest wiarygodnym wyjaśnieniem dla spowolnienia rotacji pulsara.

Biorąc pod uwagę wyjątkowy charakter tego obiektu, współpraca naukowa LIGO, Virgo i KAGRA, wraz z zespołem NICER, przeprowadzili poszukiwania ciągłego (długotrwałego) sygnału fali grawitacyjnej od tego pulsara. Wykorzystaliśmy najnowsze dane z obserwatoriów LIGO i Virgo (znane jako dane kampanii O2 i O3), które pokrywają się z obserwacjami NICER z PSR J0537-6910 od 2017 roku. Dane NICER precyzyjnie śledzą prędkość obrotową pulsara pomiędzy gliczami. Pozwala to na koherentną integrację danych fal grawitacyjnych i przeprowadzenie najczulszego, jak do tej pory, poszukiwania słabych sygnałów. W trakcie poszukiwań przyjęliśmy dwa różne modele emisji fal grawitacyjnych: pierwszy, w którym pulsar posiada asymetrię względem równika (czyli niewielką „górkę”), która produkowałaby emisję z częstotliwością równą dwukrotnej częstotliwości rotacji gwiazdy (jest ona mechanizmem, którego można by oczekiwać przy współczynniku hamowania równym 5); drugi, w którym emisja może zachodzić zarówno z częstotliwością jak i podwojoną częstotliwością rotacji gwiazdy. Wraz z obserwacjami fal grawitacyjnych przedstawiliśmy również pomiary rentgenowskie ostatnich gliczy pulsara. Nie znaleźliśmy żadnych dowodów na obecność emisji fal grawitacyjnych z pulsara, ale brak detekcji pozwala nam na oszacowanie interesujących parametrów PSR J0537-6910.

Rysunek 2 pokazuje prawdopodobieństwo różnych wartości eliptyczności gwiazdy na podstawie naszych danych, gdzie eliptyczność w przybliżeniu opisuje stopień asymetrii równika w stosunku do całkowitego promienia gwiazdy (czyli, z grubsza, wysokość „górkę”). Rozkład prawdopodobieństwa jest zgodny z zerową asymetrią, ale również z małymi wartościami niezerowymi, dlatego też ustaliliśmy „górną granicę” jej wartości: poziom wiarygodności 95%, że górna granica eliptyczności jest nieco powyżej 0,00003, tzn. mamy 95% pewności, że eliptyczność jest poniżej tej wartości. Porównując do Ziemi, oznaczałoby to górkę o wysokości mniejszej niż kilkadziesiąt cm, co jest imponującą dokładnością pomiarową w przypadku obiektu oddalonego o ponad 160 000 lat świetlnych ($1,5 \times 10^{18}$ km, czyli 1,5 trylion km). Oszacowanie znajduje się poniżej tzw. *granicy spowalniania*, czyli wartości traconej energii, której odpowiada sytuacja, gdy wyłącznie emisja fal grawitacyjnych jest odpowiedzialna za całe obserwowane spowalnianie rotacji gwiazdy. Równoważnie można powiedzieć, że mniej niż około 14% energii rotacji gwiazdy jest emitowanej w falach grawitacyjnych. Oznacza to, że ponad 86% strat energii związanych z obserwowanym spowalnianiem zachodzi dzięki innym mechanizmom; potężne pole magnetyczne pulsara oznacza, że głównym źródłem strat są mechanizmy znane jako magnetyczne promieniowanie dipolowe i przyspieszanie cząstek naładowanych, tworzących [mgławicę wiatru pulsarowego](#). Być może również inne mechanizmy emisji fal grawitacyjnych są aktywne: niestabilności wywołujące fale materii krążące po powierzchni gwiazdy produkowałyby fale grawitacyjne przy około 4/3 jej częstotliwości rotacji. Ten model nie był badany w obecnej pracy, ale powodowałyby współczynnik hamowania równy 7.



Rysunek 2: Rozkład prawdopodobieństwa eliptyczności PSR J0537-6910 na podstawie danych LIGO i Virgo z kampanii obserwacyjnych O2 i O3. Obie zestawy krzywych przedstawiają rozkłady uzyskane przy różnych założeniach dotyczących orientacji pulsara względem Ziemi na podstawie obserwacji rentgenowskiej mgławicy otaczającej pulsar. Obie przypadki dają bardzo podobne wyniki.

DOWIEDZ SIĘ WIĘCEJ:

Nasze strony w internecie:

www.ligo.org

www.virgo-gw.eu

gwcenter.icrr.u-tokyo.ac.jp/en/

www.nasa.gov/nicer

Artykuł naukowy jest dostępny [tu](#).



SŁOWNICZEK

Gwiazda neutronowa: Pozostałość po wybuchu supernowej gwiazdy o masie od 10 do 25 razy większej od masy Słońca. Typowe gwiazdy neutronowe mają masę około 1-2 mas Słońca i promień 10-15 km, co czyni je najbardziej zwartymi obiektami znanymi nauce.

Ciągła fala grawitacyjna: Jest to długotrwały sygnał fali grawitacyjnej, który ma prawie stałą częstotliwość, w przeciwieństwie do sygnałów z układów podwójnych czarnych dziur i gwiazd neutronowych, które są obecne w naszych detektorach tylko przez krótki czas i mają szybko zmieniającą się (rosnącą w czasie) częstotliwość. Kliknij [tutaj](#), aby uzyskać więcej szczegółów.

Współrzędne równikowe: astronomowie określają pozycje obiektów na niebie za pomocą równikowego układu współrzędnych. W tym układzie pozycja obiektu jest określana przez jego rektascensję i deklinację, które są równoważne z długością i szerokością geograficzną na niebie względem płaszczyzny utworzonej przez rzut równika ziemskiego na sferę niebieską.

Wielki Obłok Magellana: Karłowata galaktyka towarzysząca Drodze Mlecznej w odległości około 50 000 parseków. Zarówno Wielki jak i Mały Obłok Magellana są widoczne gołym okiem z półkuli południowej.