

# Gwiezdne pulsy

**MICHAŁ BEJGER**

Centrum Astronomiczne im. M. Kopernika, Warszawa  
Polska Akademia Nauk  
bejger@camk.edu.pl

**Zegary atomowe mierzą dziś czas z dokładnością sięgającą  $10^{-10}$  sekundy na dzień. Są jednak gwiazdy, które z łatwością im dorównują...**

Pierwszy pulsar został odkryty przypadkowo w 1967 roku przez Jocelyn Bell Burnell i Antony'ego Hewisha podczas obserwacji radiowych: obserwacje te w roku 1974 przyniosły A. Hewishowi nagrodę Nobla. Badacze byli bardzo zaskoczeni niespotykaną do-

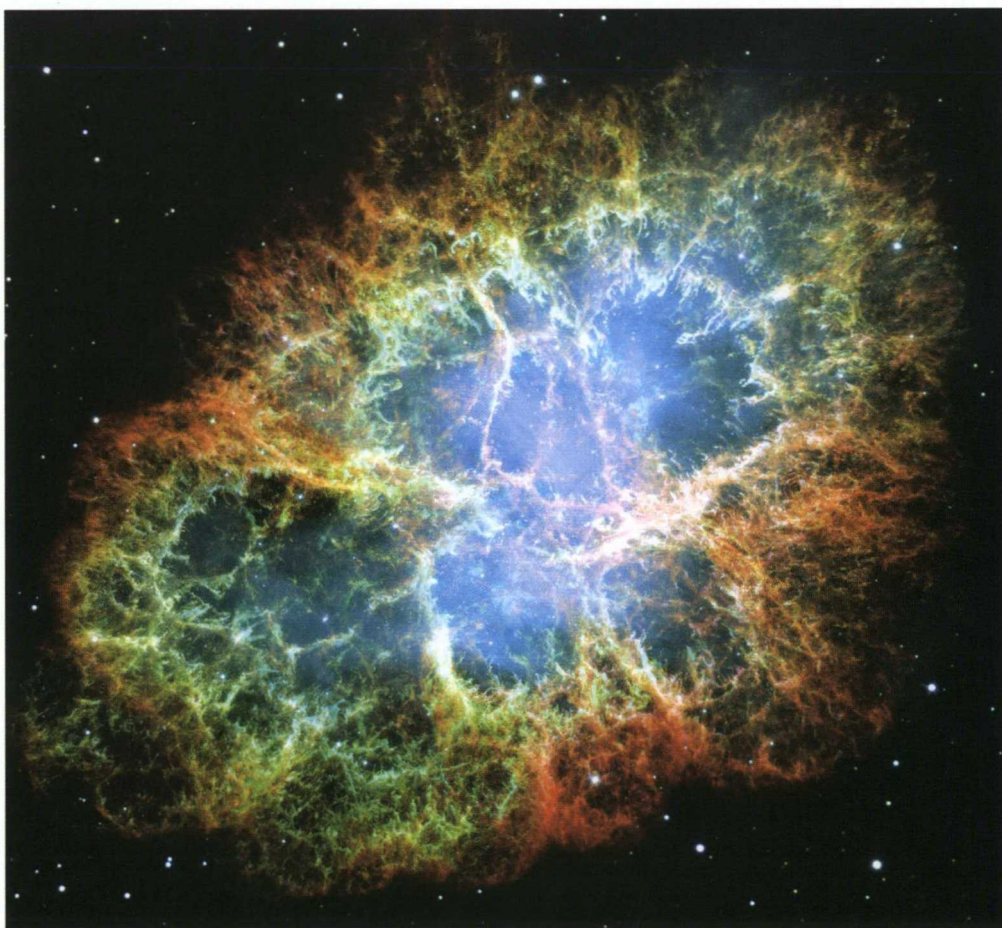
tychczas regularnością i stabilnością dochodzących do Ziemi sygnałów. Przez pewien czas na poważnie przyjmowano, że obserwowany sygnał został wysłany przez pozaziemską cywilizację, a nawet zastanawiano się nad zniszczeniem danych obserwacyjnych w imię dobra ludzkości. Pulsar, obecnie znany jako PSR 1919+21, przejściowo zyskał wtedy miano LGM-1 (Little Green Men 1).

Do końca 1968 roku, w którym potwierdzono naturalne pochodzenie pulsarów, opublikowano ponad 100 dotyczących ich prac, odkryto także nowe pulsary. Wyjaśniając mechanizm powstawania pulsu wykluczono powstawanie sygnału w układzie podwójnym gwiazd oraz pulsacje powierzchni czy rotację białego karła. Okazało się, że pulsy są



**Dr Michał Bejger** zajmuje się badaniami struktury gwiazd neutronowych. Obecnie przebywa na stażu doktorskim w Laboratoire de l'Univers et de ses Théories (LUTH) Observatoire de Paris-Meudon

HST, ESO



Mgławica Krab kryjąca w swym wnętrzu najsłynniejszy z pulsarów – pozostałość po supernowej, której wybuch obserwowano na Ziemi w roku 1054

## Kosmiczne zegary

konsekwencją rotacji obiektu o wiele bardziej zwarte go niż biały karzeł, wyposażonego dodatkowo w silne pole magnetyczne. W 1968 roku F. Pacini oraz T. Gold niezależnie od siebie zaproponowali model „latarni morskiej”, czyli obracającego się magnetycznego dipola wytwarzającego fale radiowe.

Dziś wiemy, że odkrycie i obserwacje pulsarów stanowią potwierdzenie istnienia gwiazd neutronowych, przewidywanych przez teoretyków w latach 30. XX wieku. Typowa gwiazda neutronowa powstaje w trakcie wybuchu supernowej i jest obiektem o masie porównywalnej z masą Słońca, ale o promieniu kilkadziesiąt tysięcy razy mniejszym, bo wynoszącym około 10 km. Te niezwykle cechy sprawiają, że w jej wnętrzu gęstość materii może przekraczać wielokrotnie gęstość jądra atomowego: gwiazdy neutronowe są najbardziej zwartymi materialnymi obiektami znanymi nauce, a jeśli chodzi o efekty relatywistyczne, takie jak lokalne zakrzywienie czasoprzestrzeni, ustępują jedynie czarnym dziurom. Gwiazdy neutronowe mają także silne ( $10^8 < B < 10^{15}$  G) pola magnetyczne, co najmniej kilkadziesiąt milionów silniejsze od pola magnetycznego Ziemi. Pola te są niezbędne do generowania obserwowanego przez nas pulsu radiowego.

### Odkrycie pulsara PSR B1913+16 pozwoliło na detekcję promieniowania grawitacyjnego

Informacja, jaką uzyskujemy podczas obserwacji pulsarów, jest wykorzystywana do testowania teorii budowy magnetosfery i zachodzących w niej procesów, a także, pośrednio, do wyciągania wniosków o strukturze i budowie wewnętrznej gwiazd neutronowych. Podstawowym mierzalnym parametrem jest okres rotacji gwiazdy - P. Obecnie znamy około tysiąca siedmiuset pulsarów radiowych o okresach obrotu od milisekund (najszybszy obecnie tzw. pulsar milisekundowy ma okres rotacji 1.4 ms, co odpowiada 716 obrotom na sekundę, czyli częstotści 716Hz) do około 10 s. Większość pulsarów ma jednak okres około 1s. Fakt oddziaływania pola magnetycznego gwiazdy z otaczającą ją materią sprawia, że pulsarowy zegar nie „chodzi” jednostajnie - obserwuje się stopniową zmianę okresu rotacji,  $P' = dP/dt$ . Dla przeważającej większości pulsarów  $P' > 0$ , co oznacza, że pulsar zwalnia. Dla niektórych pulsarów mie-

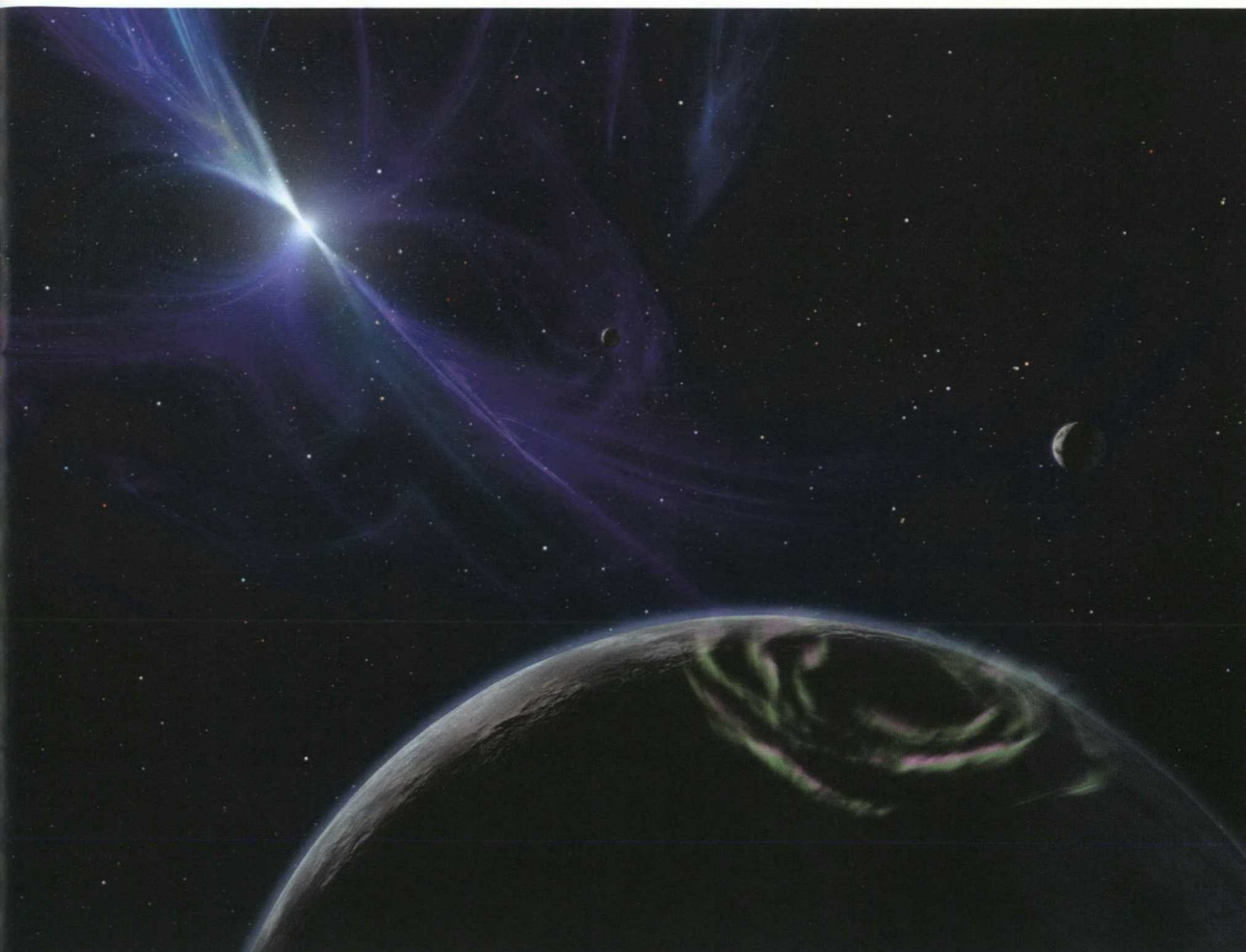
rzy się także  $P''$  - drugą pochodną okresu. Badania zmian okresu dostarczają nam ważnych informacji o supergęstych gwiazdach. To dzięki nim udaje się opisać skomplikowaną budowę pola magnetycznego i procesy zachodzące wokół gwiazd neutronowych.

Wkrótce po odkryciu pierwszego pulsara okazało się, że jego okres jest niesłychanie stabilny (jego wartość nie zmienia się z dokładnością do 7-miu cyfr znaczących), a w przypadku pulsarów milisekundowych stabilność jest o wiele większa i sięga nawet do 13 cyfr znaczących. Przeprowadzone przez wiele grup badawczych doświadczenia porównawcze wskazują, że milisekundowe pulsary są w długich skalach czasowych (rzędu lat) równie stabilne, a niekiedy nawet stabilniejsze od ziemskich superdokładnych zegarów atomowych, tj. od urządzeń, które korzystają z częstotści rezonansowych pewnych przejść energetycznych w atomach do definiowania jednostki czasu. Ta niezwykła właściwość „mechanizmu pulsarowego” została doceniona i wykorzystana przez budowniczych sond Pioneer 10 i 11; urządzenia wyposażono w grawerowane płytki z informacjami o naszej cywilizacji, przy czym położenie Układu Słonecznego podane zostało w odniesieniu do 14 pobliskich pulsarów (ocena zmian okresu rotacji kosmicznych „punktów nawigacyjnych” może służyć do obliczenia, kiedy próbnik został wysłany).

### Pulsary na Nobla

Mechanizm pulsarowy jest tak dokładny i przewidywalny, że wykrycie dziwnie nieregularnego „tykania” przynosi w wielu przypadkach przełomowe odkrycia. A. Wolszczan i D. Frail, prowadząc obserwacje przy użyciu teleskopu w Arecibo odkryli w ten sposób pierwszy pozasłoneczny układ planetarny. Układ ten składa się z trzech planet (a także, być może, komety), które ujawniają swoją obecność poprzez efekt Dopplera, tj. poprzez opóźnianie bądź przyśpieszanie czasu nadejścia poszczególnych pulsów gwiazdy, wokół której krążą.

Dzięki analizie czasu nadchodzenia pulsów z kolejnego pulsara PSR B1913+16, znajdującego się w ciasnym układzie podwójnym z niewidocznym zwartym towarzyszem, R. Hulse i J. Taylor poprawnie zinterpretowali zmiany okresu jako efekty Ogólnej Teorii Względności: ruch periastronu (linii,



NCS/JPL-Caltech

**Artystyczna wizja planet, krążących wokół badanego przez Aleksandra Wolszczana pulsara PSR 1257+12**

na której znajdują się gwiazdy, gdy są w najmniejszej odległości od siebie), zacieśnianie orbity, dylatację czasu i poczerwienienie grawitacyjne, które są bezpośrednią konsekwencją emitowania przez układ energii w postaci fal grawitacyjnych. Odkrycie to było pierwszą astrofizyczną detekcją tego typu promieniowania i potwierdzeniem poprawności teorii grawitacji Einsteina! Korzystając z sygnałów radiowych pochodzących z układów podwójnych gwiazd neutronowych mierzy się także masy tych gwiazd z dokładnością wielu miejsc po przecinku.

Chronometraż pulsarów ujawnia badaczom sekrety wnętrza gwiazd neutronowych: w przypadku młodych gwiazd neutronowych obserwuje się tzw. glitche, czyli skokowe przyśpieszenie rotacji w trakcie spowalniania. Fenomen glitchy tłumaczy model przekazu momentu pędu z nadciekłego jądra gwiazdy do krystalicznej skorupy poprzez przyłączenie do niej wiązki pola magne-

tycznego. Poprzez studiowanie rozkładu częstości występowania glitchy, a także modelowanie teoretyczne tego zjawiska, naukowcy mają nadzieję na zrozumienie zjawisk zachodzących w gęstej zdegenerowanej i nadciekłej materii gwiazd.

Analiza mechanizmu zegarowego pulsarów dostarcza coraz więcej informacji o fizyce magnetosfer gwiazd neutronowych, ich masach, budowie wewnętrznej, a także teorii grawitacji oraz emisji fal grawitacyjnych. Możemy być pewni, że w przyszłości obserwacje i prace teoretyczne w tej dziedzinie zaowocują kolejnymi odkryciami i zastosowaniami praktycznymi. ■

#### Chcesz wiedzieć więcej?

Zdunik J.L., Bejger M., Haensel P., Gourgoulhon E. (2006). Phase transitions in rotating neutron stars cores: back bending, stability, corequakes and pulsar timing. *Astron Astrophys*, 450, 747-758.

<http://science.nasa.gov/newhome/help/tutorials/pulsar.htm>