

PUL PUL NULL NULL NULL PUL PUL NULL

## Prosto z nieba: Pozdrowienia z cmentarza

Pulsar radiowy to bardzo gęsta i obdarzona polem magnetycznym *gwiazda neutronowa*, o zwartości  $2GM/(Rc^2) \approx 0,33$  dla gwiazdy o masie  $1,4 M_{\odot}$  i promieniu 12 km. Populacja pulsarów radiowych zawiera obiekty o okresach obrotu wokół osi  $P$  od milisekund – co oznacza częstotliwość rotacji równą wiele setek razy na sekundę! – do ponad dwudziestu sekund, w przypadku tzw. magnetarów, czyli gwiazd neutronowych o znacząco dużym polu magnetycznym.

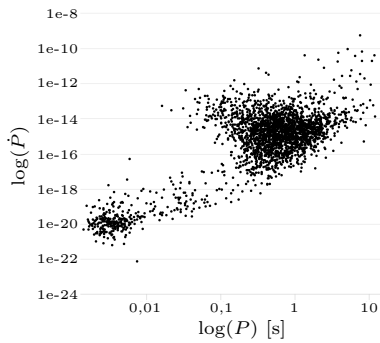


Diagram  $P - \dot{P}$  można własnoręcznie stworzyć na stronie Australijskiego Katalogu Pulsarów: <https://www.atnf.csiro.au/research/pulsar/psrcat>.

Z tego, co przez ponad 50 lat od odkrycia pulsarów radiowych (przez Jocelyn Bell w 1967 roku) udało się zrozumieć na temat mechanizmu ich działania, wynika, że w miarę ewolucji i coraz wolniejszej rotacji ich emisja radiowa w pewnym momencie zanika. Dzieje się tak dlatego, że każdy obiekt traci energię kinetyczną rotacji z powodu emisji pulsów promieniowania elektromagnetycznego.

Pulsar charakteryzuje się przede wszystkim okresem pulsacji  $P$ , a także zmianą okresu w czasie,  $dP/dt \equiv \dot{P}$ , czasami nawet  $\ddot{P}$ . Pozycja pulsara na *diagramie*  $P - \dot{P}$  umożliwia między innymi oszacowanie wielkości jego pola magnetycznego, które w pierwszym przybliżeniu można uważać za dipol. Mierząc  $P$  i  $\dot{P}$ , czyli obserwując, jak szybko pulsar traci energię rotacyjną, otrzymamy  $B \propto \sqrt{PP\dot{P}}$ .

Dostatecznie szybka rotacja gwiazdy neutronowej, w połączeniu z jej bardzo silnym polem magnetycznym ( $B > 10^8$  Gs  $\equiv 10^4$  T w przypadku młodych pulsarów  $B \approx 10^8$  T, a w przypadku magnetarów nawet  $B > 10^{10}$  T), prowadzi do powstania potężnej różnicy potencjału pola elektrycznego, które wyrwa z powierzchni gwiazdy i przyspiesza cząstki naładowane do bardzo wysokich energii. Te „pierwotne” cząstki emitują promieniowanie  $\gamma$ , którego fotony następnie zamieniają się we „wtórne” pary  $e^+e^-$ , a emisja radiowa jest powodowana przez ruch tych cząstek w polu magnetycznym. Kłopot polega na tym, że choć w ogólności panuje zgoda co do tego, że pulsarowa emisja radiowa jest wywoływana jakimś mechanizmem emisji z udziałem relatywistycznych cząstek, to nie ma zgody co do tego, jaki w szczególności jest ów konkretny mechanizm. Okazuje się, że mimo dziesiątek lat i niezliczonych obserwacji magnetosfera pulsarów pozostaje tajemnicą; na pewno nie jest po prostu próżnią z polem magnetycznym, wokół którego poruszają się nieliczne cząstki, tylko raczej skomplikowaną i zapewne zmienną w czasie konfiguracją linii pola magnetycznego i różnorodną naładowaną plazmą.

Kwestia, gdzie dokładnie przebiega *linia śmierci* oddzielająca obszar aktywnych pulsarów od cmentarza, jest wciąż przedmiotem dyskusji i zależy od (nieznanego) mechanizmu odpowiedzialnego za puls; jednym z przybliżeń jest np.  $\log \dot{P} \approx 3,3 \log P - 16,5$ .

Z diagramu  $P - \dot{P}$  widzimy, że w prawej dolnej ćwiartce wykresu pulsarów radiowych nie obserwuje się. Jest to tzw. *cmentarz*, w którym znajdują się gwiazdy neutronowe rotujące zbyt wolno, by dać o sobie znać w postaci pulsów.

Z wielką radością przyjęto zatem odkrycie pulsara radiowego PSR J0901-4046 o niezwykle długim okresie: aż  $P \approx 76$  s i  $\dot{P} \approx 2 \cdot 10^{-13}$  s/s. Taki dziwoląg stawia pod znakiem zapytania wiele dotychczasowych teorii tłumaczących mechanizm powstawania pulsów. Obserwacje poszczególnych pulsów ujawniają skomplikowaną ich morfologię, wielość pików pobocznych, a czasem nawet kwazi-periodyczne oscylacje wewnątrz pulsu, co jeszcze bardziej konsternuje teoretyków, którzy, jak to zwykle bywa w takich sytuacjach, przywołują na pomoc hipotezy alternatywne, np. o drganiach skorupy gwiazdy neutronowej będących przyczyną emisji, bądź zastępują gwiazdę neutronową białym karłem (co tłumaczyłoby obserwowany okres, ale niestety jak na razie nie znajduje potwierdzenia w obserwacjach w innych długościach fal).

*Discovery of a radio-emitting neutron star with an ultra-long spin period of 76 s*, M. Caleb i in., Nat Astron (2022)

Michał BEJGER

Narodowe Centrum Badań Jądrowych, Istituto Nazionale di Fisica Nucleare (INFN), Sezione di Ferrara, Włochy