



Prosto z nieba: Uwaga na szczelinę

W Δ_4^5 pisaliśmy o obserwacjach narodzin gwiazd neutronowych i czarnych dziur. Standardowa teoria ewolucji gwiazd przewiduje, że odpowiednio masywne gwiazdy eksplodują pod koniec swojego życia jako gwiazdy supernowe, pozostawiając najczęściej relatywistyczny obiekt zwarty. W zależności od (niestety słabo poznanych i zrozumianych) detali budowy masywnych gwiazd oraz przebiegu implozji, a później eksplozji gwiazdy supernowej, pozostałością jest obiekt materialny albo czarna dziura. W tym pierwszym przypadku jest to gwiazda neutronowa o masie od $M_{\min} \approx 1 M_{\odot}$ do $M_{\max} \sim 2,2 M_{\odot}$ (przy czym górna granica jest określona w bardzo przybliżony sposób, ponieważ zależy od stanu materii w bardzo dużych gęstościach, o których niewiele wiemy). Dotychczasowe obserwacje czarnych dziur w układach podwójnych, w których można przeprowadzić pomiar mas składników, wykazują ciekawą zależność: czarne dziury nie mają mas mniejszych niż około $5 M_{\odot}$, przy czym znów należy podkreślić, że wartość ta jest oszacowaniem wynikającym z dostępnych obserwacji.

Jeśli z jakichś powodów gwiazda neutronowa przekroczy M_{\max} , zyskując masę np. w procesie akrecji w układzie podwójnym, podczas katastroficznej akrecji w procesie supernowej albo w wyniku zderzenia z drugą gwiazdą neutronową (zjawisko to już kilkakrotnie zarejestrowały detektory fal grawitacyjnych LIGO i Virgo), staje się niestabilna grawitacyjnie i zapada się, tworząc czarną dziurę.

Pytanie, które nurtuje astronomów, jest następujące: czy „szczelina masowa” (ang. *mass gap*) – obserwowany brak obiektów o masach pomiędzy M_{\max} a $\approx 5 M_{\odot}$ – jest faktem z powodów fundamentalnych, związanych z własnościami supernowych, czy jest złudzeniem wywołanym brakiem odpowiedniej liczby obserwacji, czy też problem jest bardziej skomplikowany. Postęp, czyli wspomniane wcześniej detekcje fal grawitacyjnych, pozwolił na rozwiązanie części zagadki: produkty końcowe zderzeń gwiazd neutronowych w układach podwójnych mają masy dużo powyżej M_{\max} ($\leq 2,8 M_{\odot}$ w przypadku GW170817 lub $3,3 M_{\odot}$ w przypadku GW190425), zatem najprawdopodobniej są czarnymi dziurami w „szczelinie masowej”, która nie może być zupełnie pusta, ponieważ znajdują się w niej obiekty stworzone w ten sposób. Kolejne pytania to: ile ich jest i co się z nimi dzieje później.

Obserwacje międzynarodowego zespołu korzystającego z sieci radioteleskopów Karoo Array Telescope (MeerKAT, 64 anteny w Parku Narodowym Meerkat na Przylądku Północnym Afryki Południowej) dostarczają dowody na istnienie obiektu w układzie podwójnym z radio-pulsarem milisekundowym w znajdującej się 40 000 lat świetlnych od Układu Słonecznego gromadzie kulistej NGC 1851. Pulsar PSR J0514-4002E obraca się niezwykle regularnie z częstotliwością 170 Hz. Radioastronomowie stwierdzają, że całkowita masa układu to $3,887 \pm 0,004 M_{\odot}$, a obserwacje w wielu długościach fali pokazują, że towarzysz pulsara jest również obiektem zwartym. Jego masa zawiera się w przedziale od 2,09 do 2,71 M_{\odot} (na poziomie ufności 95%), czyli jest bardzo prawdopodobne, że jest albo masywną gwiazdą neutronową blisko M_{\max} , co cieszy fizyków jądrowych zainteresowanych egzotyczną materią znajdującą się w jej wnętrzu, albo kolejnym przedstawicielem populacji „szczeliny masowej” jako niespodziewanie lekka czarna dziura, która być może jest wynikiem wcześniejszego zderzenia się gwiazd neutronowych.

Oprócz istotnego dla ewolucji gwiazd pierwszego dowodu na istnienie układu pulsar-czarna dziura, PSR J0514-4002E stwarza zupełnie nowe możliwości testów ogólnej teorii względności Einsteina oraz badania cech czarnych dziur.

Ewan D. Barr i in., „A pulsar in a binary with a compact object in the mass gap between neutron stars and black holes”, *Science* (2024)

Michał BEJGER

Centrum Astronomiczne im. Mikołaja Kopernika PAN,
Istituto Nazionale di Fisica Nucleare (INFN), Sezione di Ferrara, Włochy

Pulsar, czyli precyzyjnie tykający „zegarek” na orbicie, jest prawdziwym skarbem, ponieważ detekcje opóźnienia bądź przyspieszenia nadchodzących kolejnych pulsów umożliwiają modelowanie układu i m.in. pomiar masy składników układu.

