

## Prosto z nieba: „Niemożliwa” czarna dziura

Czarne dziury to najbardziej zwarte „obiekty” znane astrofizycznym obserwacjom; cudzysłów częściowo tłumaczy fakt, że czarna dziura nie jest obiektem materialnym, ale regionem czasoprzestrzeni zakrzywiającym się pod wpływem własnego zakrzywienia. Grawitacja w teorii względności pochodzi z zakrzywienia czasoprzestrzeni, w której poruszają się (również zakrzywiające czasoprzestrzeń) masy. Nawet niematerialny obiekt, taki jak czarna dziura, ma zatem masę, ściśle związaną z wywołowaną przez nią krzywizną. Masa (dla uproszczenia, nierotującej) czarnej dziury  $M$  ma się następująco do promienia horyzontu, otaczającego obszar, z którego prędkość ucieczki jest większa od prędkości światła:  $R = 2GM/c^2$ .

Czarna dziura o masie Słońca miałaby promień około 2,95 km, czarna dziura o masie Ziemi zaś jedynie około 1 cm (największa znana w naszej Galaktyce czarna dziura Sgr A\* o masie  $M \simeq 4 \cdot 10^6 M_\odot$  jest natomiast około 17 razy większa od Słońca, czyli z zapasem zmieściłaby się wewnątrz orbity Merkurego).

Astronomowie obserwują różne rodzaje czarnych dziur – od lekkich, o masach kilku mas Słońca, do bardzo masywnych (rzędu miliardów  $M_\odot$ ), przy których nasza Sgr A\* wydaje się karzełkiem. Bardzo masywne czarne dziury powstały najprawdopodobniej we wczesnym Wszechświecie, przed lub podczas epoki tworzenia się galaktyk, a później tylko przybierały na masie, akreując okoliczną materię i gwiazdy. Procesy tego typu obserwujemy w wielu aktywnych jądrach galaktyk (*Active Galactic Nuclei*, AGN), ponieważ spadająca na czarną dziurę materia rozgrzewa się i świeci w szerokim widmie promieniowania elektromagnetycznego. Małomasywne czarne dziury powstają natomiast podczas końcowych etapów ewolucji gwiazd. Zaawansowana ewolucyjnie masywna gwiazda czerpiąca energię z procesu fuzji lekkich pierwiastków w coraz cięższe w końcu zapada się „pod własnym ciężarem”, gdy reakcje fuzji dochodzą w jej wnętrzu do pierwiastków żelaza i niklu, których łączenie w jeszcze cięższe nie daje zysku energetycznego.

Żelazo ma największą energię wiązania na nukleon i tworzy najbardziej stabilne jądra atomowe. By uzyskać energię, jądra cięższe od żelaza, np. uran, rozszczepia się na mniejsze w elektrowniach atomowych.

Proces zapadania się i późniejszej eksplozji masywnej gwiazdy nazywamy *supernową* typu II (typ I to wybuchające białe karły, czyli gwiazdy nieco tylko masywniejsze od Słońca).

Teoria supernowych przewiduje tworzenie się czarnych dziur z gwiazd o masie początkowej mniejszej od około  $130 M_\odot$ . Różne procesy związane ze składem chemicznym takich gwiazd – aspekty, które astronomowie

określają metalicznością, wpływające m.in. na tempo utraty masy podczas życia gwiazdy w tzw. wiatrach gwiazdowych – powodują, że końcowym produktem ewolucji jest czarna dziura o maksymalnej masie około  $60 M_\odot$ . Gwiazdy masywniejsze od około  $130 M_\odot$  również wybuchają jako supernowe, jednak mechanizm prowadzący do eksplozji jest inny, a dodatkowo – przynajmniej według dotychczasowych teorii – nie prowadzi do utworzenia czarnej dziury. Takie supernowe, powstające z powodu *niestabilności kreacji par* (*pair-instability supernova*), są możliwe dzięki utracie stabilności wywołanej tworzeniem się w ich gorącym wnętrzu par elektron-pozyton z energetycznych fotonów gamma.

Fotony tworzą pary  $e^+e^-$ , gdy ich energia przekroczy sumę dwóch mas spoczynkowych cząstek, 511 keV każda.

Jako że cała energia fotonu jest przeznaczana na masy spoczynkowe pary cząstka-antycząstka, nie posiadają one znaczącej energii kinetycznej, czyli nie są dobrym źródłem ciśnienia, co prowadzi do katastroficznego kolapsu.

Reasumując, w zasadzie nie spodziewaliśmy się więc obserwacji bardzo masywnych, jak na gwiazdowe standardy, czarnych dziur – niestabilność par w gwiazdach hiperolbrzymach skutkuje „przerwą masową” w produkcji czarnych dziur w przedziale mas od około 60 do około  $120 M_\odot$ .

Co prawda od pewnego czasu krążą też pogłoski o wiosennej detekcji przez zespoły LIGO i Virgo fal grawitacyjnych z bardzo masywnego i bardzo odległego układu czarnych dziur, ale o niej napiszemy szczegółowo przy innej okazji.

Astronomowie elektromagnetyczni dostarczają jednak niezwykle ciekawych obserwacji pewnego galaktycznego układu podwójnego metodami tradycyjnymi, czyli mierząc krzywe prędkości radialnych świecącego składnika (za wykorzystanie tej metody do detekcji planet przyznano w 2019 roku Nagrodę Nobla). Układ LB-1 składa się z gwiazdy typu B oraz niewidocznego towarzysza o masie praktycznie w „przerwie masowej”:  $68^{+11}_{-13} M_\odot$ . Nieświecący obiekt o takiej masie może być tylko czarną dziurą. Jeśli te pomiary się potwierdzą, do wyjaśnienia pozostanie, jak wyprodukować tak ciężkie czarne dziury: tworzenie się ich wprost z gwiazd w środowisku o wysokiej metaliczności jest niezwykle trudne w ramach obecnych teorii ewolucji gwiazd.

Michał BEJGER

Liu, J., Zhang, H., Howard, A.W. et al. *A wide star-black-hole binary system from radial-velocity measurements*. „Nature” 575, 618–621 (2019).

## Niebo w kwietniu

Po marcowej zmianie czasu na letni Słońce w kwietniu zachodzi późno, pod koniec miesiąca już po godzinie 20, a pojawia się ponownie na nieboskłonie wyraźnie przed godziną 6. W trakcie tego miesiąca Słońce zwiększa wysokość górowania o  $10^\circ$ , pokonując w tym czasie odcinek ekliptyki od środka gwiazdozbioru Ryb do środka gwiazdozbioru Barana, zaś czas jego przebywania nad horyzontem zwiększa się do prawie 15 godzin.

Księżyc zacznie miesiąc od I kwadry w Bliźniętach 1 dnia miesiąca, 8 kwietnia przejdzie przez pełnię w Pannie, 14 kwietnia – przez ostatnią kwadrę w Strzelcu, 23 kwietnia – przez nów w Wielorybie, natomiast 30 kwietnia Srebrny Glob ponownie pokaże tarczę oświetloną dokładnie w połowie, tym razem na tle gwiazdozbioru Raka. Oznacza to, że na ciemne noce można liczyć w drugiej części miesiąca.