

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° , 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.

Jak zawsze na wiosnę, nachylenie ekliptyki w kwietniu jest korzystne wieczorem i niekorzystne rano. Naturalny satelita Ziemi zginie w zorzy porannej już kilka dni przed nowiem, zwłaszcza że znajdzie się wtedy bardzo daleko na południe od ekliptyki. Obniży to dodatkowo położenie Księżyca nad widnokregiem i spowoduje, że po ostatniej kwadrze czas jego wschodu szybko zbliży się do czasu wschodu Słońca, mimo wciąż sporej odległości kątovej od niego. Co innego na niebie wieczornym. Już 24 kwietnia, 40 godzin po nowiu, Księżyc na początku zmierzchu cywilnego (Słońce 6° pod horyzontem, około godz. 20:30) znajdzie się na wysokości przekraczającej 6° i jego sierp w fazie 2% powinno dać się dostrzec bez kłopotów, a w kolejnych dniach szybko powędruje on w górę.

Nów Księżyca, 23 kwietnia, zbiega się w tym roku z maksimum aktywności corocznego roju meteorów Lirydów, dzięki temu obserwacje tego roju może popsuć już tylko pogoda. **Lirydy** pochodzą z resztek pozostawionych przez kometę C/1861 G1 (Thatcher) i promieniają od 14 do 30 kwietnia, z maksimum aktywności około 22 kwietnia. Są to dość szybkie meteory, ich prędkość zderzenia z naszą atmosferą wynosi 49 km/s i w okolicach maksimum można się spodziewać mniej więcej 20 meteorów na godzinę. Radiant roju, wbrew jego nazwie, znajduje się na tle gwiazdozbioru Herkulesa, jakieś 8° na południowy zachód od Węgi, najjaśniejszej gwiazdy Lutni. Na początku nocy astronomicznej (godz. 22:30) radiant wznosi się na wysokość 25° . Koniec nocy astronomicznej następuje około godziny 3, co oznacza, że mamy mniej więcej 5 godzin dobrych warunków obserwacyjnych Lirydów.

Ozdobą wieczornego nieba jest planeta **Wenus**, która w marcu osiągnęła swoją maksymalną elongację wschodnią. Do końca kwietnia jej odległość od Słońca zmniejszy się niewiele, od 46 do 38° , zmaleje też faza tarczy planety, z 47 do 25% . Urośnie za to jasność (z $-4,4$ do $-4,5^m$) oraz średnica tarczy, z 26 do $39''$. Tarcza Wenus staje się coraz atrakcyjniejszym celem dla posiadaczy teleskopów, a nawet lornetek. 26 kwietnia ponad 6° na południe od planety przejdzie Księżyc w fazie 12%. Jednak największą atrakcją związaną z Wenus w kwietniu jest jej przejście przez jasną gromadę otwartą gwiazd Plejady. Niestety planeta ominie najjaśniejsze gwiazdy gromady, 3 kwietnia wieczorem dotrze na $11'$ do gwiazdy Merope, zaś do późnej pory pokaże się już niecałe $20'$ na wschód od gwiazd Atlas i Plejone, czyli najbardziej na wschód wysuniętych gwiazd Plejad. W tym okresie blask Wenus mogą przyćmić gwiazdy Plejad i wystąpić trudności z dostrzeżeniem gromady gołym okiem. Wenus powędruje dalej i w połowie miesiąca minie Aldebarana w odległości 10° , a ostatni dzień miesiąca zastanie ją 4° na zachód od gwiazdy El Nath, czyli drugiej co do jasności gwiazdy Byka, stanowiącej północny róg zodiakalnego zwierzęcia. Wenus 28 kwietnia osiągnie maksymalną jasność tej wiosny.

W kwietniu poprawi się widoczność trzech łatwo widocznych gołym okiem planet zewnętrznych, czyli **Marsa**, **Jowisza** i **Saturna**. Wszystkie one powoli zmierzają do tegorocznych opozycji i zwiększają swoją jasność

oraz rozmiary kątowe. Z upływem czasu wszystkie planety wschodzą coraz wcześniej i docierają wyżej nad widnokrąg. Miesiąc zacznie się bliskim spotkaniem Marsa z Saturnem. Odległość między nimi zmniejszy się do 1° . Niecałe 7° na zachód obu planetom towarzyszą dotrzyma planeta Jowisz. Choć odległość między nimi będzie niewielka, to znajdują się one w innych gwiazdozbiorach: Jowisz – w Strzelcu, Mars z Saturnem – w Koziorożcu. Do końca miesiąca dystans między Jowiszem a Saturnem zmniejszy się do 5° , natomiast Mars powędruje na północny wschód i oddali się od Saturna na prawie 20° . Jednocześnie zbliży się do gwiazdy Nashira (γ Cap) na $1,5^\circ$. W tym czasie jasność Jowisza urośnie z $-2,1$ do $-2,3^m$, a jego tarcza zwiększy średnicę z 37 do $41''$. Mars zwiększy blask z $+0,8$ do $+0,4^m$ i średnicę tarczy z 6 do $7''$. Najmniej zmieni się wygląd Saturna. Blask szóstej planety Układu Słonecznego urośnie z $+0,7$ do $+0,6^m$, a średnica jej tarczy urośnie z 16 do $17''$. Księżyc spotka się z trzema planetami w drugiej połowie miesiąca w okolicach ostatniej kwadry. Najpierw 15 kwietnia, mając fazę 48%, przejdzie 3° na południe od Jowisza i Saturna, a następnego ranka jego tarcza oświetlona w 38% minie Marsa w odległości 3° .

Kwiecień to najlepszy miesiąc do obserwowania obiektów poza Drogą Mleczną. W tym miesiącu północny biegun galaktyczny, znajdujący się w gwiazdozbiorze Warkocza Bereniki, jakieś 6° na wschód od jasnej, widocznej gołym okiem gromady otwartej gwiazd Melotte 111 i jednocześnie 10° na południe od gwiazdy Serce Karola, najjaśniejszej gwiazdy Psów Gończych, góruje około północy, a pas Drogi Mlecznej zajmuje północną część nieboskłonu. W kierunku bieguna galaktycznego warstwa obecnego w Drodze Mlecznej, pochłaniającego światło odległych obiektów, gazu i pyłu jest najmniejsza, stąd też w sąsiadującym z biegunem galaktycznym obszarze nieba liczba widocznych galaktyk jest bardzo duża. Dostrzeżenie najjaśniejszych z nich umożliwia już niezbyt duży teleskop i ciemne bezksiężycowe niebo. W rejonie od gwiazdozbioru Panny na południu poprzez Warkocz Bereniki, Psy Gończe do Wielkiej Niedźwiedzicy na północy wystarczy niemal gdziekolwiek skierować teleskop, by natknąć się na jakąś galaktykę.

Drugim bardzo dobrym miesiącem na obserwacje obiektów pozagalaktycznych jest październik, gdy około północy góruje południowy biegun Galaktyki, znajdujący się na tle gwiazdozbioru Rzeźbiarza, jakieś 9° na południe od jasnej gwiazdy Deneb Kaitos, czyli β Ceti, i 2° od jasnej galaktyki NGC 253. Jednak na wysokich północnych szerokościach geograficznych ów biegun góruje na małej wysokości i sporo galaktyk znajduje się stale pod horyzontem, a pozostałe są nisko i ich obraz jest silnie zaburzany przez atmosferę Ziemi. Dlatego jesień jest sezonem polowania na galaktyki dla mieszkańców półkuli południowej. To tłumaczy też, dlaczego w Katalogu Messiera jest mnóstwo obiektów z okolic północnego bieguna galaktycznego, a z okolic bieguna południowego nie ma ich wcale. Nie znalazła się w Katalogu nawet NGC 253, o jasności $+8^m$, znana jako Galaktyka Rzeźbiarza.

Ariel MAJCHER