

Niestandardowe gwiazdy jako świece standardowe

Bogdan WSZOŁEK

Wyznaczanie odległości ciał niebieskich, a galaktyk w szczególności, nie jest sprawą łatwą, ale ma dla astronomii ogromne znaczenie. Wiele współczesnych wysiłków astronomicznych jest w jakimś stopniu powiązane z problemem odległości. Dzieje się tak chociażby dlatego, że znajomość odległości obiektu jest konieczna dla ustalenia jego masy czy tempa produkcji energii – generalnie, jego cech fizycznych.



Choć używa się wielu metod określania odległości ciał niebieskich, to żadna z nich nie jest uniwersalna ani dość dokładna. Istnieje prawidłowość, że błędy określania odległości obiektów coraz dalszych są coraz większe. U podstaw metody określania większych odległości leży bowiem zawsze jakaś metoda wyznaczania odległości mniejszych. Możliwość określania odległości obiektów najdalszych jest uwarunkowana stopniem znajomości odległości podobnych obiektów, ale trochę bliższych. Z kolei wyznaczenie odległości tych bliższych jest możliwe, gdy potrafimy określić odległości obiektów jeszcze bliższych. Każda z metod pośrednich wnosi typowe dla siebie, i na ogół spore, błędy. Im większa jest liczba pośrednich kroków koniecznych dla wyznaczenia odległości obiektu, tym błąd tego wyznaczenia będzie większy. Na dokładność wyznaczenia odległości najdalszych galaktyk będzie zatem mieć wpływ nawet błąd w określeniu odległości Ziemia-Słońce.

Zagadnienie wyznaczania odległości galaktyk można sprowadzić do problemu znalezienia odpowiednich tzw. świec standardowych. Rolę takiej świecy może spełniać dowolny obiekt o znanej absolutnej wielkości gwiazdowej. Jeśli bowiem oprócz mierzonej widomej wielkości gwiazdowej m takiej świecy dysponujemy informacją o jej absolutnym blasku M , to jesteśmy w stanie wyznaczyć jej odległość r (wyrażoną w parsekach), używając formuły nazywanej przez astronomów modułem odległości

$$m - M = 5 \log r - 5 + a(r),$$

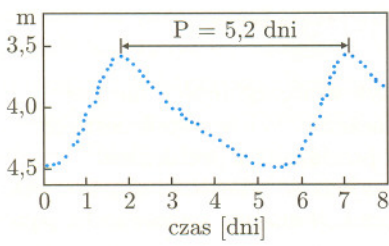
gdzie $a(r)$ oznacza tu, wyrażoną w wielkościach gwiazdowych, ekstynkcję promieniowania na drodze źródło-observator. Ekstynkcja jest osłabieniem blasku obiektu zależnym od rozpraszających i absorpcyjnych własności ośrodka międzygwiazdowego.

Przytoczony wzór ma podstawowe znaczenie przy określaniu odległości galaktyk. Widomą wielkość gwiazdową m otrzymujemy z bezpośredniego pomiaru jasności obiektu i błąd tego pomiaru jest na ogół niewielki. Wielkość absolutną obiektu określa się pośrednio i zazwyczaj obarczona ona jest sporym błędem. Ekstynkcję też wyznacza się metodami pośrednimi (o tym wszystkim w numerze) i nigdy nie jest znana zbyt dokładnie. Często jednak przyjmuje ona w ogóle małą wartość, a wtedy błąd jej wyznaczenia ma mały wpływ na dokładność określenia odległości.

Wyznaczanie odległości galaktyk z użyciem świec standardowych odbywa się według następującego schematu. Przede wszystkim należy wyróżnić jakąś grupę bliskich obiektów, których jasności absolutne dawałoby się określać i dla których zarazem istniałby związek między absolutnym blaskiem a jakimś parametrem łatwo mierzalnym, niezależnym od odległości. Grupą takich obiektów okazały się np. gwiazdy zmienne typu RR Lyrae (są to pulsujące olbrzymy typów widmowych od A2 do F2). Gwiazdy te są (absolutnie) około 100 razy jaśniejsze od Słońca i cechują się charakterystycznymi, krótkookresowymi (poniżej 1 doby) zmianami blasku. Na podstawie analizy zmienności gwiazd typu RR Lyrae, których odległości określono niezależnie, oceniono ich blask absolutny na 0 do 1 mag i stwierdzono, że bardzo słabo zależy on od okresu zmienności. Gwiazdy RR Lyrae są dzięki temu często wykorzystywanymi świecami standardowymi.

Chcąc wyznaczyć odległość konkretnej galaktyki, wykonuje się serię jej zdjęć, na których należy wyszukać pojedyncze gwiazdy (dla najbliższych galaktyk daje się to zrobić) i sprawdzić, które z nich w tej serii zachowują się w sposób typowy np. dla gwiazd RR Lyrae. Znalazłszy w galaktyce choćby jedną taką gwiazdę





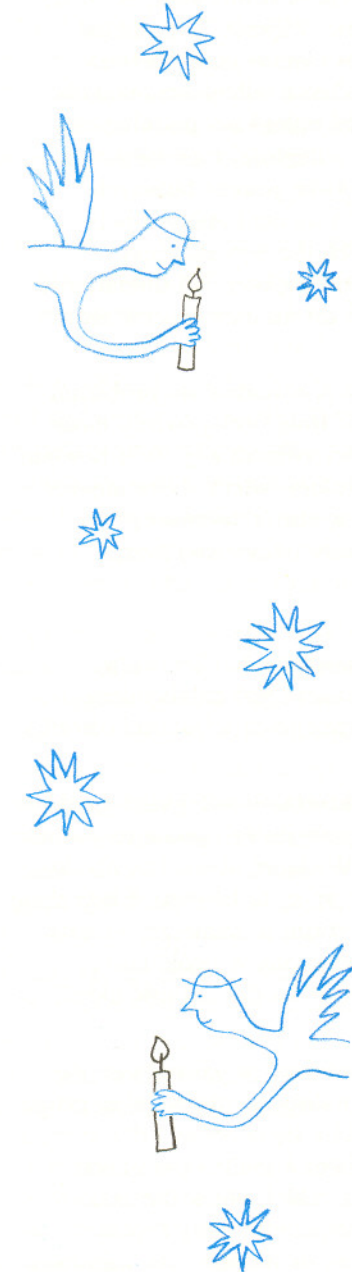
(aczkolwiek, oczywiście, znacznie lepiej jest, gdy znajdzie się ich więcej), pozostaje zmierzyć jej jasność widomą, ocenić ekstynkcję i skorzystać ze wzoru na moduł odległości.

Oprócz gwiazd typu RR Lyrae rolę świec standardowych grają też gwiazdy zmienne typu δ Cephei (tzw. cefeidy klasyczne), gwiazdy nowe oraz supernowe. Cefeidy, podobnie jak gwiazdy omawiane poprzednio, są pulsującymi olbrzymami lub nadolbrzymami o typach widmowych zawartych w dużym przedziale od F6 do K2 (typowy przebieg jasności cefeidy przedstawia rysunek). W rytmie regularnych pulsacji zachodzą w nich silne zmiany temperatury i prędkości radialnej (wskutek unoszenia się i opadania powierzchni gwiazdy). Gwiazdy te cechuje duża jasność absolutna (do około 10 000 jasności Słońca). Stwierdzono u nich też wyraźną zależność długości okresu zmian blasku od jasności absolutnych. Dłuższemu okresowi P (dla cefeid klasycznych zawiera się on w przedziale od 1 do 100 dób) odpowiada większa jasność absolutna M ; zależność ta daje się opisać fenomenologicznym wzorem $M = a + b \log P$, gdzie a i b są stałymi, które wyznacza się na podstawie obserwacji bliskich cefeid o znanych skądinąd odległościach. M jest tu absolutną wielkością gwiazdową cefeidy uśrednioną względem cyklu. Proces wyznaczania stałych a i b jest obciążony błędem wynikającym głównie z braku dokładnej znajomości odległości chociażby jednej cefeidy. Powyższą relację odkryto na podstawie obserwacji cefeid w Małym Obłoku Magellana, którego odległość (około 55 kpc) – jak się wydaje – do dziś nie jest znana z zadowalającą dokładnością, a o jej polepszenie stara się niejeden zespół badaczy. Nadto pewien wpływ na błąd (głównie stałej b) ma fakt, że wszystkie cefeidy w tej pobliskiej galaktyce uznaje się za równoodległe od Ziemi, choć przecież tak nie jest.

Mimo tych wszystkich błędów metoda wyznaczania odległości galaktyk z użyciem cefeid jest najdokładniejsza. Gdy w jakiejś galaktyce daje się znaleźć kilkadziesiąt cefeid, to błąd określenia odległości może zejść poniżej 10%. Chociaż cefeidy są łatwiej dostrzegalne w galaktykach niż słabsze od nich wspomniane gwiazdy typu RR Lyrae, to i tak z ich użyciem daje się wyznaczyć odległości zaledwie kilkunastu najbliższych galaktyk. Nawet używając Kosmicznego Teleskopu Hubble'a, nie jesteśmy w stanie dostrzec cefeid w galaktykach dalszych niż około 15 Mpc.

W galaktykach odleglejszych jako świece standardowe wykorzystuje się gwiazdy nowe i supernowe. Gwiazdy nowe doznają gwałtownych (w przeciągu kilku dni) pojaśnień do pewnej, i co ważne, z grubsza jednakowej jasności absolutnej (około 100 000 razy przewyższającej blask Słońca, czyli do $M = -8$ mag), po czym bledną i po kilku miesiącach przestają być widoczne. Jeśli uda się zarejestrować w jakiejś galaktyce gwiazdę nową w maksimum jej blasku, to znowu ze wzoru na moduł odległości można określić przybliżoną odległość galaktyki. Zupełnie podobnie rzecz się ma z gwiazdami supernowymi. Zdarzają się one jednak znacznie rzadziej niż gwiazdy nowe, za to absolutny blask tych wybuchających gwiazd osiąga na krótki czas wartość kilka miliardów razy przewyższającą blask Słońca. Inaczej mówiąc – gwiazda taka w fazie wybuchu świeci z mocą porównywalną z mocą całej galaktyki, czyli jej jasność absolutna wynosi w przybliżeniu $M = -18$ mag. Istnieją dwa główne typy supernowych, a można je rozpoznać przez śledzenie przebiegu zmian blasku gwiazdy w ciągu kilku miesięcy po wybuchu. W ramach każdego typu maksymalny blask supernowej jest w przybliżeniu taki sam, a określono go, oczywiście, na podstawie obserwacji gwiazd tego rodzaju w galaktykach o znanych skądinąd odległościach. Typ I to dość jednorodna grupa eksplodujących białych karłów o masie bliskiej tzw. masie Chandrasekhara, która zostaje przekroczona w wyniku akrecji materii gwiazdy towarzyszącej. Typ II to zapadające się i zaawansowane w ewolucji gwiazdy o dużej masie.

Używając tych gwiazd jako świec standardowych, można ocenić odległości galaktyk położonych nie dalej niż około 200 Mpc. Większość jednak galaktyk dostępnych współczesnym obserwacjom znajduje się znacznie dalej. Ich odległości, mierzone w gigaparsekach, wyznacza się innymi, jeszcze mniej dokładnymi metodami.



Nowa – eksplozja powierzchniowej warstwy białego karła, której materia pochodzi od rozdętej gwiazdy towarzyszącej. Zjawisko powtarzalne.

Supernowa – eksplozja masywnej zaawansowanej ewolucyjnie gwiazdy (ewentualnie poprzedzona zapadnięciem się jej wnętrza).