

Kłopoty z cefeidami

Mgr Joanna UDALSKA



Henrietta S. Leavitt (z prawej)
i Annie J. Cannon (z lewej).

Gwiazdy zmienne pulsujące, zwane cefeidami (od pierwszej odkrytej tego typu gwiazdy — δ Cefeusza), zwracały w pierwszej połowie naszego wieku szczególną uwagę astronomów zajmujących się wyznaczaniem odległości sąsiednich galaktyk. W 1912 roku Henrietta S. Leavitt z obserwatorium harwardzkiego odkryła bardzo ciekawą i zarazem niezmiernie użyteczną ich własność analizując wyniki obserwacji grupy gwiazd zmiennych z Małego Obłoku Magellana. Wykazała ona, że istnieje ścisła korelacja między obserwowaną jasnością tych gwiazd a okresem zmian ich blasku. Cefeidy pulsują — tzn. okresowo zmienia się ich objętość. Zmianom tym towarzyszą zmiany temperatury, a co za tym idzie — zmiany jasności powierzchniowej. Pani Leavitt zauważyła, że zmiany blasku jaśniejszych cefeid odbywają się w dłuższym czasie. W czasach, gdy dokonała tego odkrycia, było już wiadomo, że Obłoki Magellana są obiektami pozagalaktycznymi, a więc z dobrym przybliżeniem można było uznać, że wszystkie cefeidy z Małego Obłoku Magellana znajdują się w jednakowej odległości od Ziemi. Stąd prosty wniosek: okresy cefeid są skorelowane z rzeczywistą ilością emitowanego przez nie światła.

Autorem pomysłu, że obserwacje cefeid mogą posłużyć do wyznaczania odległości we Wszechświecie, był Ejnar Hertzsprung. Zaproponował on następującą metodę. Z bezpośrednich obserwacji można wyznaczyć jasność obserwowaną cefeid. Odkryta przez panią Leavitt zależność okres-jasność daje możliwość wyznaczenia ich jasności rzeczywistej (ściślej — bardziej użytecznej w astronomii tzw. jasności absolutnej zdefiniowanej jako jasność danej gwiazdy oglądanej z odległości dziesięciu parseków). Ponieważ natężenie światła maleje wprost proporcjonalnie do kwadratu odległości badanego obiektu (to prawo znano już od dawna) — znajomość jasności absolutnej i obserwowanej wystarcza do stwierdzenia, jak bardzo oddalona jest cefeida, a tym samym galaktyka, w której dana cefeida się znajduje. Zależność między jasnością obserwowaną (m), jasnością absolutną (M) i odległością (r) — wyrażoną w parsekach — opisuje związek

$$M = m + 5 - 5 \cdot \log r.$$

W ten sposób powstały podstawy teoretyczne niezmiernie cennej metody mierzenia Wszechświata, albo raczej tych jego części, w których można stwierdzić istnienie cefeid. Jednak metoda ta od momentu odkrycia przysporzyła astronomom niemało kłopotu. Odkrycie pani Leavitt ograniczało się do stwierdzenia istnienia zależności między okresem i jasnością absolutną cefeid. Pozostawał problem wykalibrowania tej zależności — tzn. zmierzenia jasności absolutnej przynajmniej jednej gwiazdy tego typu. Inaczej można powiedzieć: należało wyznaczyć punkt zerowy skali zdefiniowany jako jasność absolutna cefeidy, dla której okres zmian blasku jest równy jeden dzień. Tego zadania jako pierwszy podjął się Harlow Shapley.

Tak się nieszczęśliwie składa, że nie ma w ogóle cefeid w bliskim sąsiedztwie Słońca — na tyle bliskim, by można było zastosować do badania ich odległości dobrze znaną metodę paralaksy trygonometrycznej. W dodatku cefeidy nie występują w układach podwójnych czy gromadach otwartych gwiazd, dla których metody wyznaczania odległości są również stosunkowo proste. Shapley wyznaczał odległości cefeid za pomocą złożonej metody statystycznej opierającej się na pomiarach prędkości radialnych i ruchów własnych. Wyniki swej pracy przedstawił w latach dwudziestych naszego wieku: cefeidy pulsujące w okresie jednego dnia mają jasność absolutną 0,0 mag. Wynik był rzeczywiście szalenie „elegancki”, choć, niestety, niezupełnie poprawny. Ale nie sprzedajmy faktów.





Od momentu, gdy zależność okres-jasność absolutna dla cefeid została wykalibrowana, astronomowie z zapałem przystąpili do wykorzystywania jej w badaniach odległości rozmaitych galaktyk. Na pierwszy ogień poszły, rzecz jasna, najbliższe — tj. Obłoki Magellana i galaktyka w Andromedzie. Wspólną zasługą Harlowa Shapleya i Edwina P. Hubble'a było oszacowanie odległości Obłoków Magellana na 100 000 lat świetlnych i galaktyki w Andromedzie na 900 000 lat świetlnych. Dalszym wyznaczaniem odległości galaktyk zajął się przede wszystkim Hubble. Badając także widma tych galaktyk doszedł do sformułowania w 1929 roku słynnego prawa: prędkość ucieczki galaktyki od nas jest proporcjonalna do jej odległości. Matematyczna postać tego prawa jest następująca

$$V = H \cdot R,$$

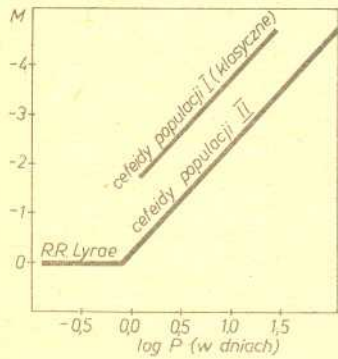
gdzie V — prędkość oddalania się galaktyki, R — odległość galaktyki, H — stała Hubble'a. Parametr zwany stałą Hubble'a określa tempo ekspansji Wszechświata, a wielkość do niego odwrotną ($1/H$) interpretuje się jako wiek Wszechświata. Z pomiarów przeprowadzonych przez Hubble'a wynikało, że $H = 560 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{Mpc}^{-1}$, co oznacza, że od Wielkiego Wybuchu upłynęło 1,8 miliarda lat. W latach trzydziestych znane były również wyniki datowania skał ziemskich na podstawie radioaktywnego rozpadu pierwiastków. Okazały się one w pełni zgodne z oszacowaniami wieku Wszechświata dokonanymi przez Hubble'a. Zgodność tę powszechnie demonstrowano jako wspaniałe potwierdzenie poprawności dwóch nowych, zupełnie niezależnych metod badania wieku Wszechświata.

Zadowolenie jednak nie trwało długo. Już w drugiej połowie lat czterdziestych, dzięki zastosowaniu ulepszonych technik obserwacyjnych (na Mount Palomar powstał właśnie 508-centymetrowy teleskop), a także na skutek zastosowania innych metod badania odległości (np. na podstawie obserwacji gwiazd nowych) na zależność okres-jasność absolutna dla cefeid padł cień nieufności. Astronomowie raczej nie kwestionowali podstaw teoretycznych samej metody, tylko — co zresztą okazało się słuszne — wątpliwości budziła dokładność wyznaczenia punktu zerowego. Poprawieniem dokładności tej kalibracji zajął się Walter Baade.

Podstawowym wynikiem jego pracy było odkrycie istnienia dwóch populacji gwiazdowych. Fakt ten tylko pozornie pozostaje bez związku z obserwacjami cefeid. W czasach wcześniejszych wszystkie cefeidy „wrzucano do jednego worka” i starano się „naciągnąć” związek okres-jasność tak, by stanowił linię ciągłą dla gwiazd od okresów najkrótszych (2 godziny) do najdłuższych (40—50 dni). Tymczasem okazało się, że takie postępowanie nie jest słuszne. Baade wykazał, że gwiazdy populacji I (młode) i populacji II (stare) różnią się zasadniczo i nie ma żadnego powodu, by dla obydwu tych grup zależność okres-jasność miała być identyczna. Według zaproponowanej przez niego, a obowiązującej do dziś, klasyfikacji oprócz cefeid populacji II i pod wieloma względami podobnych do nich gwiazd typu RR *Lyrae* istnieją także tzw. cefeidy klasyczne — te z populacji I. W grupie pierwszej rzeczywiście gwiazdy o okresie jednego dnia mają jasność absolutną 0,0 mag, ale błąd tkwił w wyznaczeniu punktu zerowego dla cefeid klasycznych. Dla tych gwiazd krzywą okres-jasność absolutna należało podnieść o 1,5 mag. Wydaje się, że to niewiele, ale w efekcie należało podwoić wszystkie odległości wyznaczone na podstawie obserwacji cefeid klasycznych.

Spośród szeregu konsekwencji, jakie pociągnęło za sobą poprawienie skali odległości, zwróćmy uwagę na zmianę wartości stałej Hubble'a. Zmalała ona dwukrotnie, a jednocześnie szacowany wiek Wszechświata wzrósł do 3,6 miliarda lat. Na szczęście, bo przez pewien czas porównania oszacowań astronomicznych i ulepszonych metod datowania skał prowadziły do wniosku, że Ziemia jest starsza od Wszechświata!

Wśród astronomów panuje dziś powszechne przekonanie, że zależność okres-jasność absolutna dla cefeid jest poprawnie skalibrowana, a punkt zerowy obecnie wyznaczony z dużą dokładnością jest bardzo bliski oryginalnej wartości podanej przez Baadego. Co do wartości stałej Hubble'a powszechnej zgody nie ma — zwykle przyjmuje się, że jest ona w granicach $50\text{--}100 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{Mpc}^{-1}$, co odpowiada wiekowi Wszechświata od 10 do 20 miliardów lat. Wiadomo jednak, że nie powinna być ona wyznaczana na podstawie tak „małych” odległości, na jakie pozwala metoda obserwacji cefeid. W tej skali ekspansja Wszechświata jest zbyt silnie zakłócana przez oddziaływania grawitacyjne galaktyk.



Zależność jasności absolutnej (M) od okresu (P).