

Wszechświat w mojej kieszeni

Odległości

we Wszechświecie



Christiane Vilain
Observatorium Paryskie



Odległości astronomiczne nie mogą być mierzone linijką ani taśmą. Potrzeba sztuczek. 2200 lat temu, grecki astronom Eratostenes, oszacował

promień Ziemi porównując nachylenia promieni słonecznych między Syene i Aleksandrią. Niedługo potem, w

Aleksandrii, Arystarch z Samos wyznaczył odległość do Księżyca, mierząc czas trwania zaćmienia Księżyca przez Ziemię. Pozwoliło mu to oszacować, że średnica Ziemi jest trzykrotnie większa od średnicy Księżyca (w rzeczywistości 3.7 razy), a tym samym wydedukować średnicę Księżyca, wykorzystując rozmiar Ziemi podany przez Eratostenesa. Znając średnicę Księżyca i jego rozmiar kątowy, mógł obliczyć odległość.

W 1573 roku, kiedy Kopernik ogłosił, że Ziemia

obraca się wokół Słońca (patrz rysunek po lewej), znaleźliśmy jedynie stosunki odległości od Słońca do Merkurego, Wenus, Marsa, Jowisza i Saturna, a nie odległości bezwzględne do nich. 2



Odległości w kosmosie

Starożytni wiedzieli, jak oszacować promień Ziemi i jej odległość od Księżyca (patrz strona obok), ale nie odległość od Słońca, wynoszącą 150 milionów km. Odległość ta nazywana jest jednostką astronomiczną (AU). W tamtym czasie ludzie myśleli, że Słońce jest bliżej. Myśleli też, że gwiazdy są bardziej odległymi „słońcami”, ale nie zdawali sobie sprawy z ich odległości, i że ich światło potrzebuje wielu lat, aby do nas dotrzeć. Z tego powodu jako jednostkę odległości używamy „roku świetlnego” (ly) - odległości pokonanej przez światło w ciągu jednego roku, czyli 9.46 miliarda km!

Dzisiejsze obserwacje dają nam dostęp do coraz większych odległości - do milionów ly - dzięki możliwości wykorzystania dużych teleskopów naziemnych oraz kosmicznych.

Pomiary geometryczne

Obserwując tę samą gwiazdę z dwóch różnych miejsc, otrzymujemy trójkąt, którego podstawa i dwa kąty są znane, co pozwala nam poznać odległość do gwiazdy.

„Paralaksa” to kąt wierzchołkowy trójkąta, którego podstawą jest promień orbity Ziemi.

Najbliższa gwiazda, Proxima Centauri, jest odległa o 4.2 ly, co implikuje paralaksę wynoszącą tylko 0.74 sekundy łuku ($''$). W 1838 roku Friedrich Bessel dokonał pierwszego pomiaru paralaksy: 0.3 $''$ dla gwiazdy 61 Swan. Wkrótce potem zmierzono paralaksę Vega, 0.12 $''$, a także α Centauri. Inni poszli za nimi, ale czułość teleskopów ograniczała astronomów. Europejski satelita Hipparcos w latach 90 XX w. i aktualnie Gaia zmierzyły miliony paralaks.

5

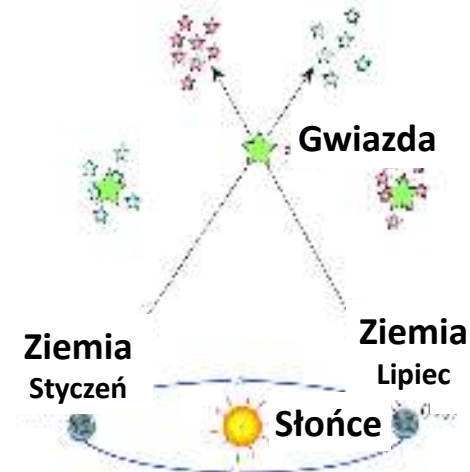
W przypadku **planet** w Układzie Słonecznym rozmiar Ziemi pozwala nam uzyskać dwie różne linie widzenia. W 1672 r.



technika ta została wykorzystana do zmierzenia odległości do planety Mars. Kąt między liniami widzenia z Paryża i Gujany Francuskiej pozwolił zmierzyć odległość do Marsa, a tym samym uzyskać odległość do Słońca. Ponieważ znaliśmy już stosunki odległości od Słońca do Marsa i od Słońca do Ziemi, znajomość odległości Ziemia-Mars pozwoliła nam obliczyć odległość Ziemia-Słońce. Pobliska **gwiazda** jest wyświetlana na tle odległych gwiazd, których odległość jest, w porównaniu, nieskończona. Następnie, sześć miesięcy później, gwiazda jest widoczna na innym tle.

W tym przypadku podstawą trójkąta utworzonego przez dwie linie widzenia jest średnica orbity Ziemi wokół Słońca, a nie średnica Ziemi, jak w pomiarze z 1672 roku.

4



Cefeidy

Światło gwiazd dociera do nas osłabione o współczynnik równy kwadratowi odległości gwiazdy. Byłby to sposób na określenie ich odległości, gdybyśmy znali ich właściwą jasność.

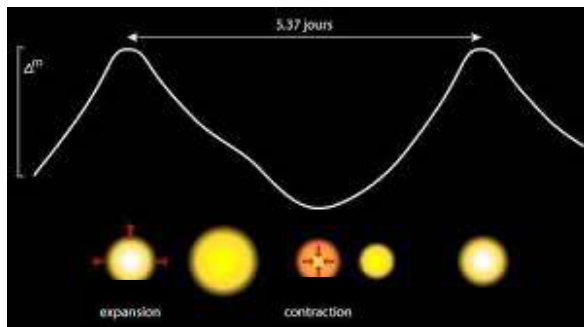
Dlatego odkrycie Henrietty Leavitt było tak ważne. Gwiazdy zmienne tego typu, jakie odkryła w konstelacji Cefeusza i Obłokach Magellana, znajdują się również w innych galaktykach. Okres ich zmienności wskazuje na ich właściwą jasność, dzięki czemu możemy określić ich odległość.

Takie gwiazdy można dziś wykryć w odległości do 80 mln ly za pomocą Kosmicznego Teleskopu Hubble'a, uruchomionego w 1990 roku.

Na początku XX w. amerykańska astronom Henrietta Leavitt (1868-1921) zaobserwowała, że niektóre gwiazdy mają zmienną jasność z regularnym okresem (patrz rysunek poniżej). Po raz pierwszy zaobserwowała je

w konstelacji Cefeusza, więc nazywa się je Cefeidami. Później zaobserwowała podobne gwiazdy w naszych sąsiednich galaktykach - Obłokach Magellana. Ich okres jasności zależał od jasności gwiazdy, którą można obliczyć zakładając, że wszystkie gwiazdy znajdują się w tej samej odległości co ich galaktyka macierzysta. Chociaż jej szef, Edward Pickering, próbował ją zniechęcić, Henrietta nie ustępowała, wykryła prawie 2 tysiące zmiennych cefeid i była w stanie wydedukować

proporcjonalność między okresem a jasnością. Umarła, zanim się zorientowała, jak ważne było jej odkrycie.



6

7



Nasza Galaktyka, widoczna w klarowną noc jako mleczna ścieżka na niebie, ma 103 000 ly długości. Nasze Słońce leży około 27 000 ly od

centrum galaktyki (zdjęcie ESO).

Galaktyka Andromedy, widoczna gołym okiem na półkuli północnej jako rozproszona plama, znajduje się w odległości dwóch milionów ly



Galaktyki są pogrupowane w gromady zawierające setki, a czasem tysiące galaktyk w odległości setek milionów ly (zdjęcie ESO).

8

Mgławice a galaktyki

W 1900 roku nie było jeszcze wiadomo o istnieniu innych galaktyk od naszej Drogi Mlecznej. Zaobserwowano „mgławicowe” plamy świetlne i uznano je za obiekty wewnątrz naszej Galaktyki. To założenie zostało zakwestionowane przez Hebera D. Curtis’a w 1920 r. w „wielkiej debacie” między nim a Harlow’em Shapley’em.

Pytanie, czy te "mgławice" należą do naszej Galaktyki, pozostawało otwarte, dopóki nie było możliwe określenie ich odległości dzięki metodzie cefeid, a później za pomocą przesunięć linii widmowych (patrz Tuimp 2) uzyskanych przez analizę rozszczepionego światła gwiazd przez pryzmaty lub siatki dyfrakcyjne.

9



Po lewej teleskop Mount Wilson, używany przez Edwina Hubblea. W 1929 roku Hubble pokazał, że prędkość galaktyk rośnie wraz z odległością od nas. Hubble nie był pierwszym, który zauważył ten związek. Ojciec Georges Lemaître, belgijski astronom i kosmolog,

zasugerował, że przesunięcia ku czerwieni galaktyk są proporcjonalne do ich odległości. Stała Hubble'a-Lemaître'a, która mówi, jak bardzo prędkość recesji galaktyk rośnie z każdym Mpc odległości od nas, została po raz pierwszy oszacowana na około 500 km/s na Mpc (1 Mpc = milion pc, 1 pc = 3.26 ly), ale od lat 50. znacznie lepsze szacunki dają liczbę od 50 do 100 km/s na Mpc. Obecnie szacuje się, że wynosi ona 73 km/s na Mpc, z niepewnością 2%.

Jednak dane z satelity Planck, oparte na podejściu kosmologicznym, podają wartość $67.4 \pm 0,5$ km/s na Mpc.

Przesunięcie ku czerwieni

Analiza widmowa światła gwiazd ujawnia ciemne linie spowodowane absorpcją światła przez pierwiastki chemiczne obecne w zewnętrznych warstwach gwiazd (patrz TUIMP 2 i 10).

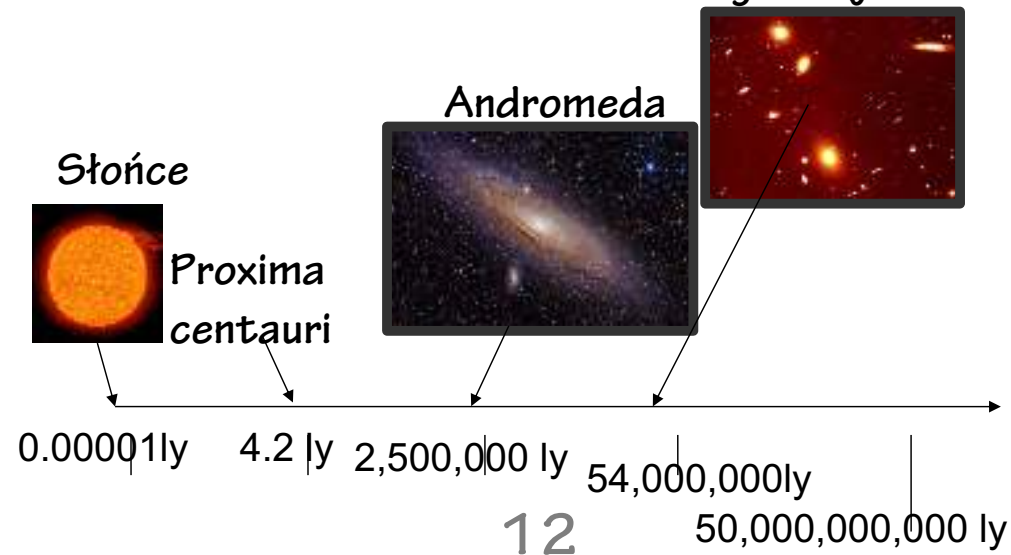
W 1914 roku Vesto Slipher zauważył, że ciemne linie w widmach galaktyk zostały przesunięte w kierunku czerwieni. To przesunięcie zostało zinterpretowane jako „efekt Dopplera”: częstotliwość i kolor fali są modyfikowane przez prędkość źródła. Efekt ten jest podobny do wpływającego na dźwięk klaksonu, mający wyższy ton, gdy pojazd się zbliża, i niższy, gdy się oddala. Czerwone światło ma niższą częstotliwość i wskazuje na prędkość wycofywania się: galaktyki zdają się „uciekać” przed nami! W 1929 roku Edwin Hubble oszacował odległości 46 galaktyk przy użyciu cefeid i wykazał, że ich przesunięcia ku czerwieni rosną wraz z odległościami.

Galaktyki uciekają szybciej, jeśli są bardziej oddalone. Uogólniając tę relację, ugruntowaną i zaakceptowaną przez społeczność naukową po 1929 roku, przesunięcie ku czerwieni jest miarą odległości odleglejszych obiektów, w których nie można już obserwować cefeid lub supernowych typu I.

Astronomowie nie używają roku świetlnego jako jednostki odległości do najbardziej oddalonych galaktyk lub kwazarów. Używają przesunięcia ku czerwieni, oznaczonego literą z , a jego wartość odpowiada ułamkowej zmianie długości fali w obserwowanym widmie. Przesunięcie ku czerwieni większości galaktyk w gromadzie w Pannie mieści się w zakresie od 0.5 do 1, podczas gdy dla najbardziej oddalonej znanej dotychczas galaktyki wynosi 11.09.

Odległość od Księżyca, początek naszej podróży na krańce Wszechświata, jest dziś lepiej znana dzięki laserom, które wysyłają błyski światła odbijanego przez lustra umieszczone na Księżycu podczas misji Apollo. Uzyskujemy w ten sposób bardzo dokładny pomiar odległości naszego naturalnego satelity, a tym samym odległości do planet Układu Słonecznego. W użyciu jest szereg metod: najpierw paralaksy, potem cefeidy. Gdy cefeid nie można już dostrzec, używa się bardziej świecących obiektów, takich jak supernowe typu I. Ta seria metod to kosmologiczna „drabina odległości”, w której każdy szczebel drabiny oparty jest na poprzednich szczeblach

Gromada galaktyk Panna



Zgadywanka

Założmy, że mamy statek kosmiczny zdolny do podróżowania z prędkością jednej dziesiątej prędkości światła ...



Ile czasu zajmie mu dotarcie do:

- Słońca?
- Proxima Centauri?
- Vegi?
- Galaktyki Andromedy?
- Galaktyk z gromady w Pannie?

Odpowiedzi



Ile czasu zajmie mu dotarcie do:

- Słońca: 80 minut
- Proxima Centauri: 42 lata
- Vegi: 250 lat
- Galaktyki Andromedy: 25 milionów lat.
- Galaktyk z gromady w Pannie: 540 milionów lat.

Odpowiedzi na odwrocie

Wszechświat w mojej kieszeni Nr 15

Ta książeczka została napisana w 2020 r. przez Christiane Vilain (Obserwatorium Paryskie) i przejrzana przez Grażynę Stasińską (Obserwatorium Paryskie) oraz Stan Kurtz (UNAM, Meksyk). Niestety Christiane zmarła w trakcie redagowania niniejszej książeczki.

Zdjęcie na pierwszej stronie książeczki to artystyczne przedstawienie satelity Gaia, który dokonał pomiaru milionów odległości do gwiazd i galaktyk.

(Źródło: ESA)



Aby dowiedzieć się więcej o tej serii, jak i również samej zaprezentowanej tu tematyce odwiedź stronę: <http://www.tuimp.org>

Tłumaczenie: Natalia
Żywucka-Hejzner
TUIMP Creative Commons

