



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

8



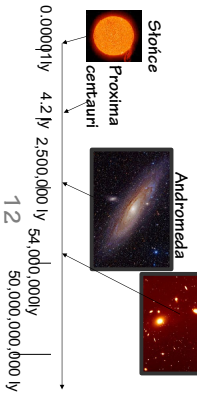
Galaktyki są pogrupowane w gromady zawierające setki, a czasem tysiące galaktyk w odległości setek milionów ly (zdjęcie ESO).

9

Młgławice 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 obłoki wewnątrz naszej Galaktyki. To założenie zostało zakwestionowane przez Hebera D. Curtis’a w 1920 r. w „wielkiej debacie” między nim a Harlowem Shapley’em.

Pytanie, czy te „mgławice” należą do naszej Galaktyki, pozostawało otwarte, dopóki nie było możliwe określenie ich odległości dzięki pomocy przesunięć linii widmowych (patrz Tułmp 2) uzyskanych przez analizę rozszczepionego światła gwiazd przez pryzmaty lub siatki dyfrakcyjne.



12

5

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 G 1 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 zmierzły miliony paralaks.

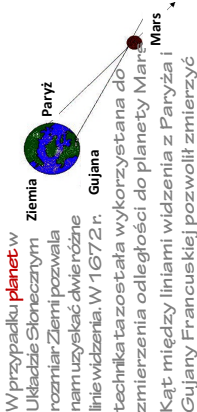
Wszehświat

Galaktyki uciekają szybciej, jeśli są bardziej oddalone. Uogólniając tę relację, ugruntowaną i zaakceptowaną przez spoleczność 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 odległych 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 odległej znanej dotychczas galaktyki wynosi 1 1,09.

13



W przypadku Układzie Słonecznym rozmiar Ziemi pozwala nam uzyskać dwie różne linie widzenia. W 1672r. Technika ta została wykorzystana do zmierzenia odległości do Marsa, a tym samym Kąt między liniami widzenia z Paryża i Gujany Francuskiej pozwolił zmierzyć odległość do Marsa, a tym samym znaleźliśmy 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.



4

Zgadywanka

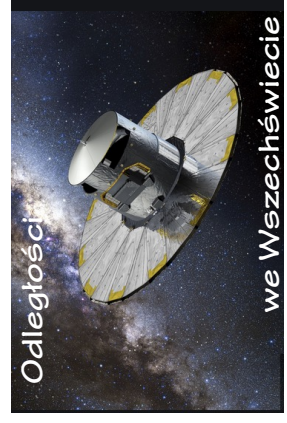
Zatóżmy, że mamy statek kosmiczny zdolny do podróżowania z prędkością jednej dziesiątej prędkości światła ...



- Ile czasu zajmie mu dotarcie do:
- Słońca?
 - Proxima Centauri?
 - Vega?
 - Galaktyki Andromedy?
 - Galaktyk z gromady w Pannie?

Odpowiedzi na odwrocie

Wszehświat w mojej kieszeni



Christiane Vilain
Obserwatorium Paryskie

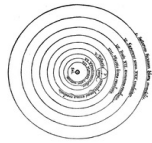
3

3

4

13

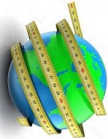
1



obraca się wokół Słońca (patrz rysunek po lewej), znalazłby jedyne straconki odległości od Słońca do Merkurego, Wenus, Marsa, Jowisza i Saturna, a nie odległości bezwzględne do nich.

2

Odległości astronomiczne nie mogą być mierzone linijką ani taśmą. Potrzeba sztuczek. 2200 lat temu, grecki astronom Eratostenes, oszacował promień słonecznych między Syene i Aleksandrią. Niedługo potem, w Aleksandrii, Arystaroh z Samos wyznaczył odległość do Księżycyca, mierząc czas trwania zaćmienia Księżycyca przez Ziemię. Pozwoliło mu to oszacować, że średnica Ziemi jest trzykrotnie większa od średnicy Księżycyca (w rzeczywistości 3,7 raza), a tym samym wydedukować średnicę Księżycyca, wykorzystując rozmiar Ziemi podany przez Eratostenesa. Znajdąc średnicę Księżycyca i jego rozmiar kątowy, mógł obliczyć odległość.



W 1573 roku, kiedy Kopernik ogłosił, że Ziemia obraca się wokół Słońca (patrz rysunek po lewej), znalazłby jedyne straconki odległości od Słońca do Merkurego, Wenus, Marsa, Jowisza i Saturna, a nie odległości bezwzględne do nich.

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

Ile czasu zajmie mu dotarcie do:



Odpowiedzi

Turnazanie: Natalia Zywucka-Hejzner
TUMIP Creative Commons



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

5

Starożytni wiedzieli, jak oszacować promień Ziemi i jej odległość od Księżycyca (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!

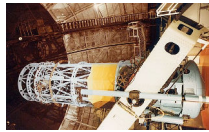
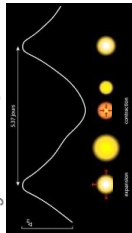
Dzisiejsze obserwacje dają nam dostęp do coraz większych odległości - do milionów ly - dzięki możliwości wykorzystania dłużych teleskopów naziemnych oraz kosmicznych.

Odległości w kosmosie



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 od ich galaktyki macierzystej. 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. Umiała zaniżyć się zorientowała, jak ważne było jej odkrycie.

6



Po lewej teleskop Mount Wilson, używany przez Edwina Hubble'a. W 1929 roku Hubble pokazał, że prędkość galaktyk rośnie wraz z odległością od nas. Hubble nie był pierwszym, który zauważył ten związek. Ojciec Georges Lemaitre, belgijski astronom i kosmolog, zasugerował, że przesunięcia ku czerwieni galaktyk są proporcjonalne do ich odległości. Stała Hubble'a-Lemaitre'a, która mówi, jak bardzo prędkość recession 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 75 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.

10

Przesunięcie ku czerwieni

Analiza widmowa światła gwiazd ujawnia ciemne linie spowodowane absorpcją światła przez pierwiastki chemiczne obecne w zewnętrznych warstwach gwiazd (patrz TUMIP 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 fall są modyfikowane przez prędkość źródła. Efekt ten jest podobny do wpływającego na dźwięk klaksonu, mającego 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.

11

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.

7