

Dawno temu w odległej galaktyce.

Odcinek I: Galaktyczne widmo

*Francesco PISTIS**

*Doktorant, Narodowe Centrum Badań Jądrowych

Tłumaczenie: Anna DURKALEC

Wszystkie filmy słynnej sagi *Gwiezdných Wojen* rozpoczynają się słowami „Dawno, dawno temu w odległej galaktyce”. Scenerią przedstawionych w filmach wydarzeń nie jest więc nasza Droga Mleczna, a historia nie rozgrywa się w przyszłości, jak można by sądzić, widząc zaawansowane technologie, ale w odległej przeszłości. Z astronomicznego punktu widzenia nie ma w tym nic dziwnego – galaktyki zawsze obserwujemy takimi, jakie były w przeszłości (mniej lub bardziej odległej).

Po pierwsze przyznajmy, że astronomowie nie są zbyt dobrzy w nadawaniu nazw. Weźmy na przykład lata świetlne. W przeciwieństwie do tego, co sugerowałaby nazwa, jednostka ta nie mierzy czasu, a odległość w przestrzeni, nawet jeśli słuszne jest stwierdzenie, że gdy obserwujemy galaktykę w odległości miliarda lat świetlnych, to patrzą na taką, jaka była miliard lat temu, a nie taką, jaka jest dzisiaj.

Rok świetlny odpowiada odległości, jaką pokonują fale elektromagnetyczne (światło) w próżni w ciągu jednego roku. A ponieważ prędkość światła wynosi 299 792 458 m/s, to rok świetlny odpowiada ~9461 miliardom kilometrów, czyli odległości 63 241 razy większej niż średnia odległość między Ziemią a Słońcem (czyli jednostka astronomiczna). Jest to ogromna odległość, więc astronomowie czasami dzielą ją na mniejsze jednostki: dni świetlne, godziny świetlne (np. odległość Saturn–Słońce to około 1 godzina świetlna), minuty świetlne (Ziemia–Słońce to około 8,33 minuty świetlnej), a nawet sekundy świetlne (odległość Ziemia–Księżyc to około 1,28 sekundy świetlnej).

Prędkość światła czasami trudno jest nam sobie wyobrazić. Do wyobraźni przemawia fakt, że światło pokonuje odległość 7,5 obwodu Ziemi w ciągu sekundy.

Odległość pomiędzy Drogą Mleczną a galaktyką Andromedy wynosi około 2,54 mln (!) lat świetlnych.

Grupa Lokalna to najbliższa okolica Drogi Mlecznej (oczywiście w skali Wszechświata). Używając analogii ziemskich, Grupa Lokalna to takie kosmiczne województwo zawierające Drogę Mleczną.

Powróćmy do galaktyk. Najpopularniejsza i największa z naszych najbliższych galaktyk to M31, zwana również NGC224, a szerzej znana jako galaktyka Andromedy (naprawdę nie jesteśmy najlepsi w nazewnictwie). Jest to duża spiralna galaktyka obserwowana w gwiazdozbiornie... tak! zgadliście, Andromedy. Jest jednym z najodleglejszych obiektów widocznych gołym okiem i jest około dwa razy większa od Drogi Mlecznej. To czyni ją największą w Grupie Lokalnej, gromadzie zawierającej co najmniej 80 galaktyk (wliczając w to Drogę Mleczną).

Bliżej nas znajdują się mniejsze galaktyki karłowate. Na przykład Obłoki Magellana – małe, nieregularne galaktyki widoczne gołym okiem na półkuli południowej Ziemi. Jedna z nich, nieco masywniejsza od pozostałych, została nazwana Dużym Obłokiem Magellana (znajduje się 157 000 lat świetlnych od Ziemi), a druga, mniejsza, Małym Obłokiem Magellana (197 000 lat świetlnych od Ziemi). Galaktyki te połączone są ze sobą chmurą wodoru i gwiazd – tak zwanym Mostem Magellana, powstałym prawdopodobnie w wyniku oddziaływań pomiędzy obiema galaktykami. Co ciekawe, bardziej masywne pasmo gazu (tak zwany Strumień Magellana) łączy Obłoki Magellana z Drogą Mleczną. Początkowo astronomowie sądzili, że Obłoki Magellana stanowią układ podwójny (tzn. że są związane oddziaływaniem grawitacyjnym) i jednocześnie oba są satelitami Drogi Mlecznej. Jednak pomiary ruchu Wielkiego Obłoku Magellana za pomocą Kosmicznego Teleskopu Hubble’a wykazały, że porusza się on zbyt szybko, aby mógł być galaktyką satelitarną.

Uwaga! SagDEG nie należy mylić z Karłowatą Galaktyką Nieregularną w gwiazdozbiornie Strzelca (SagDIG), znajdującą się w odległości 4 mln lat świetlnych od nas (tak, jak już wspominaliśmy, astronomowie nie są najlepsi w nadawaniu nazw).

W pobliżu Drogi Mlecznej jest jeszcze Karłowata Galaktyka Eliptyczna (SagDEG). SagDEG znajduje się w gwiazdozbiornie Strzelca w odległości 70 000 lat świetlnych od Ziemi. Widzimy ją po drugiej stronie centrum Drogi Mlecznej, z tego powodu została odkryta dopiero w 1994 roku. Według astronomów galaktyka ta krąży po orbicie wokół Drogi Mlecznej od kilku miliardów lat. W swojej przeszłości SagDEG dwukrotnie przeszła przez dysk naszej Galaktyki. Ponadto symulacje jej trajektorii ruchu pokazują, że kolejny raz przejdzie ona przez dysk galaktyczny Drogi Mlecznej w ciągu najbliższych 10 milionów lat. Każde takie przejście przez dysk naszej galaktyki pozbawia SagDEG części gazu. Co więcej, w wyniku „zderzeń” z naszą galaktyką niektóre gwiazdy SagDEG zostały rozrzucone wzdłuż trajektorii jej ruchu i teraz można

je obserwować w postaci ogona gwiazd ciągnącego się za galaktyką. SagDEG jednak nadal jest samodzielną galaktyką, mimo że jej pierwotny eliptyczny kształt został rozciągnięty w wyniku oddziaływania z naszą galaktyką. Nie jest wiadome, czy SagDEG przetrwa kolejne przejście przez Drogę Mleczną, ale trzymamy za nią kciuki.

SagDEG nie będzie pierwszą galaktyką pochłoniętą przez Drogę Mleczną. Najnowsze obserwacje wskazują, że nasza galaktyka ma na sumieniu przynajmniej trzy ofiary. Pozostałości jednej z nich zostały w 2020 roku zaobserwowane blisko jądra Drogi Mlecznej. Pośmiertnie galaktykę tę nazwano Herkulesem. Badania wskazują, że była ona stosunkowo młodą galaktyką, a zderzenie nastąpiło 10 miliardów lat temu, we wczesnych etapach formowania się Drogi Mlecznej. Herkules była też stosunkowo duża. Szacuje się, że około 1/3 gwiazd w ścisłym centrum Drogi Mlecznej (tzw. halo) pochodzi właśnie z tej galaktyki.

Teraz opuścimy okolice naszej Galaktyki, zadając pytanie: która galaktyka jest najbardziej odległa? W tej chwili najdalej zaobserwowaną galaktyką jest GN-z11, która w 2016 roku pobiła rekord EGSY8p7 (więcej na jej temat w numerach Δ_{16}^{08} i Δ_{16}^{12}). GN-z11 narodziła się zaledwie 400 milionów lat po Wielkim Wybuchu (który nastąpił 13,8 miliarda lat temu). To zaskakujący fakt, ponieważ z kosmologicznego punktu widzenia 400 milionów lat to mgnienie oka. GN-z11 to więc bardzo młoda galaktyka, czyli taka, którą obserwujemy na wczesnym etapie rozwoju. Jest ~ 25 razy mniejsza od Drogi Mlecznej (jej masa stanowi ok. 1% masy naszej galaktyki), a mimo to tworzy gwiazdy około dwudziestokrotnie szybciej niż Droga Mleczna. Jej odkrycie zmusza badaczy do zrewidowania teorii na temat powstawania pierwszych galaktyk. Potwierdzenie jej istnienia i miarę odległości uzyskano w 2020 roku dzięki analizie jej widma spektroskopowego. Potwierdzono, że galaktyka GN-z11 ma przesunięcie ku czerwieni $z = 11,09$. Co to oznacza?

Galaktyki obserwujemy dzięki światłu emitowanemu przez gwiazdy znajdujące się w danej galaktyce. Jak Czytelnik zapewne pamięta, światło wykazuje własności falowe. Dla każdej fali możemy zdefiniować częstotliwość i długość. Jeśli wyobrazimy sobie falę jako ciąg szczytów i dolin, długość fali to odległość między dwoma szczytami, a częstotliwość to liczba oscylacji w ciągu sekundy. Przesunięcie ku czerwieni to zjawisko polegające na tym, że promieniowanie emitowane przez źródło oddalające się względem obserwatora w czasie obserwacji ma większą długość fali niż w momencie (i miejscu) emisji. W przypadku światła oznacza to, że kolor promieniowania jest przesunięty w kierunku dłuższych fal, czyli w kierunku czerwieni, biorąc za przykład najlepiej nam znany przedział światła widzialnego. W astronomii wyróżnia się trzy rodzaje przesunięcia ku czerwieni.

Pierwszy z nich wynika z efektu Dopplera. Tego samego, który modyfikuje brzmienie karetek pogotowia czy syren strażackich. Drugi to tzw. grawitacyjne przesunięcie ku czerwieni. W ogólnej teorii względności Einsteina czas ulega dylatacji w pobliżu masy, która wytwarza pole grawitacyjne. Jeśli masa zmienia miarę czasu, to zmienia się również częstotliwość fali. Trzeci rodzaj to kosmologiczne przesunięcie ku czerwieni. Jest ono bardzo podobne do efektu Dopplera, ale o ile efekt Dopplera jest spowodowany ruchem źródła względem obserwatora, to kosmologiczne przesunięcie ku czerwieni spowodowane jest rozszerzającą się przestrzenią. Dwa obiekty będące w spoczynku oddalają się od siebie w wyniku rozszerzania się Wszechświata. Ten efekt jest mierzony tylko dla odległości kosmologicznych.

Jak daleko jest zatem najbardziej odległa galaktyka? Odległość do GN-11z wynosi 32,2 miliarda lat świetlnych. Ale zaraz! Spozstrzegawczy Czytelnik zauważy, że przecież wiek Wszechświata to tylko 13,8 miliarda lat. A przecież nic nie może się poruszać szybciej niż światło. To w takim razie, jak dwie galaktyki mogą być oddalone o 32,2 miliarda lat świetlnych? Odpowiedź jest prosta. W czasie 13,8 miliarda lat Wszechświat się rozszerzał wraz ze znajdującymi się w nim galaktykami i emitowanymi przez nie fotonami – to tłumaczy ten pozorny paradoks.

Od Redakcji: Istnieje dość silna przesłanka o tym, że najnowsza perełka astronomii – Kosmiczny Teleskop Jamesa Webba w swoim głębokim polu zaobserwował kilku kandydatów o wyższym przesunięciu ku czerwieni. Naukowcy twierdzą, iż zaobserwowano galaktyki o przesunięciu ku czerwieni wynoszącym 13 (300 milionów po Wielkim Wybuchu), a nawet 20 (200 milionów lat po Wielkim Wybuchu). Widma spektroskopowe tych kandydatów zostaną niebawem bardzo dokładnie zbadane w celu potwierdzenia/obalenia tego odkrycia.



Rozwiązanie zadania F 1059.

Gwiazdy obiegają środek masy układu z tą samą prędkością kątową $\omega = 2\pi/T$, po okręgach o różnych promieniach. Przyjmijmy, że promień orbity gwiazdy o masie m_1 wynosi r_1 , a gwiazdy o masie m_2 równy jest r_2 . Środek masy układu porusza się ruchem jednostajnym. Ruch względny gwiazd opisywany jest przez wektor \vec{R} łączący środki gwiazd, $|\vec{R}| = r_1 + r_2$. Wektor \vec{R} porusza się jak wektor wodzący masy próbnej przyciąganej przez nieruchome centrum siły ciężkości o masie $m_1 + m_2$. Na podstawie III prawa Keplera mamy:

$$\frac{R^3}{T^2} = \frac{G(m_1 + m_2)}{4\pi^2}.$$

G oznacza tu stałą grawitacji. Mamy też:

$$v_1 = \omega r_1$$

$$v_2 = \omega r_2$$

Po prostych przekształceniach otrzymujemy:

$$R = \frac{(v_1 + v_2)T}{2\pi}; \quad m_1 + m_2 = \frac{(v_1 + v_2)^3 T}{2\pi G}$$

i ostatecznie:

$$m_1 = \frac{v_2(v_1 + v_2)^2 T}{2\pi G};$$

$$m_2 = \frac{v_1(v_1 + v_2)^2 T}{2\pi G}.$$