

Prosto z nieba: Jak powstały pierwsze galaktyki i jak przeistoczyły się w obiekty podobne do Drogi Mlecznej?

Najprostsza i najbardziej szczerą odpowiedź na to pytanie brzmi: nie wiemy, ale bardzo chcielibyśmy się tego dowiedzieć. Dlatego powstało wiele misji satelitarnych i dedykowanych przeglądów nieba. Każda z tych inicjatyw dostarczyła nowych informacji, ale niestety daleko nam do uzyskania pełnego obrazu – w szczególności brakuje nam informacji o tym, jak powstały i ewoluowały pierwsze galaktyki. Astronomowie mają nadzieję, że dzięki nowym obserwacjom w ramach przeglądu nieba ALMA-ALPINE (*ALMA Large Program to INvestigate [CII] at Early times*) uda się wreszcie przełamać ten impas.

ALMA (Atacama Large Millimeter/submillimeter Array) to zespół 66 anten rejestrujących niewidzialne dla oka promieniowanie w zakresie milimetrycznym i krótszym niż milimetr długości fal. Sieć ALMA to 54 dwunastometrowe i 12 siedmiometrowych teleskopów radiowych, pracujących jako jeden, bardzo wydajny, instrument.

Przegląd ALPINE to program obserwacyjny, którego celem jest zbadanie zawartości gazu i pyłu w młodych galaktykach, w czasie gdy Wszechświat liczył sobie niecały miliard lat (wartość przesunięcia ku czerwieni, tzw. redshiftu, dla obserwowanych galaktyk wynosi pomiędzy 4 a 6, więcej na temat redshiftu pisaliśmy w numerze Δ_{19}^4). Zadanie to nie jest łatwe i jak dotąd istnieje bardzo niewiele tego typu obserwacji. Wcześniej dla tak wysokich przesunięć ku czerwieni skupiano się głównie na bardzo jasnych i masywnych galaktykach (emitujących głównie promieniowanie UV), gdyż po prostu łatwiej je zobaczyć. W ramach przeglądu ALPINE zaobserwowano jednak aż 122 przeciętne galaktyki (znajdujące się w tzw. ciągu głównym) istniejące około 12 miliardów lat temu. Było to możliwe dzięki wykorzystaniu interferometru ALMA – zaobserwowano linie pojedynczo zjonizowanych atomów węgla [CII] występujących na długościach fal 158 μm , a także widma energetyczne w dalekiej podczerwieni.

Połączenie tych nowatorskich obserwacji z pomiarami zebranymi wcześniej przez inne przeglądy nieba w krótszych zakresach długości fal (zakres optyczny, bliska i średnia podczerwień) umożliwiło bardzo dokładną analizę galaktyk typowych dla młodego Wszechświata. Okazało się bowiem, że pomiary linii [CII] to bardzo obiecujące narzędzie do wyznaczenia szybkości tworzenia się gwiazd w galaktykach na tak

Niebo we wrześniu

Dziewiąty miesiąc roku jest miesiącem, w którym na północnej półkuli Ziemi kończy się lato i zaczyna astronomiczna jesień. Dzień w dalszym ciągu się mocno skraca. W trakcie miesiąca wysokość górowania Słońca zmniejsza się o kolejne 11° , a co za tym idzie, czas jego przebywania na nieboskłonie zmniejsza się o kolejne dwie godziny. Astronomiczna jesień rozpocznie się 22 września o 15:31 naszego czasu, w momencie gdy Słońce przetnie równik niebieski w drodze na południe. Jednak ze względu na zjawisko refrakcji atmosferycznej obiekty blisko linii horyzontu wydają się wznosić wyżej

wysokich przesunięciach ku czerwieni. Precyzyjny pomiar tej linii pozwala na oszacowanie gęstości obszarów tworzących gwiazdy, a co za tym idzie, mechanizmów odpowiedzialnych za przybieranie na wadze i rozszerzanie się galaktyk.

Główne pytania, na jakie chce odpowiedzieć zespół ALPINE, to: Jakie mechanizmy napędzały wzrost galaktyk? Jakie właściwości miał gaz i pył w młodych galaktykach? Jak zmieniał się ośrodek międzygwiazdowy galaktyk od początków ich istnienia do osiągnięcia „dorosłości”?

Zespół ALPINE opublikował już pierwsze wyniki swoich prac. Wykazano, że w młodych galaktykach obłoki gazu są gęstsze niż obserwujemy współcześnie, przez co efektywniej tworzą gwiazdy. Typowe młode galaktyki były jednak zdecydowanie mniejsze niż typowe galaktyki istniejące obecnie. Dlatego bardzo ciekawe są wyniki ALPINE, które pokazują, że młode galaktyki przez około dwa miliardy lat tworzyły gwiazdy w niezmiennie szybkim tempie – ilość gwiazd powstałych w danej jednostce objętości (*star formation rate density*) nie zmienia się dla przesunięć ku czerwieni pomiędzy 4 a 2, czyli pomiędzy 12–13 miliardów lat temu. Wynik ten jest o tyle zaskakujący, że wcześniejsze obserwacje sugerowały, że szybkość tworzenia gwiazd w takiej samej jednostce objętości powyżej redshiftu 2 systematycznie spada wraz z wiekiem Wszechświata. Przegląd ALPINE pokazał również, jak ważną rolę odgrywają interakcje pomiędzy galaktykami w procesie tworzenia gwiazd. Zaobserwowano, że im bliżej początków Wszechświata, tym więcej galaktyk oddziałuje ze sobą (często większe galaktyki pochłaniają mniejsze), co wpływa na szybkość tworzenia się gwiazd oraz wzrost galaktyk.

Dane zebrane z interferometru ALMA są nadal opracowywane, czekamy więc z niecierpliwością na dalsze wyniki. Może właśnie ALPINE będzie w stanie przełamać impas i przedstawić pełen scenariusz wzrostu galaktyk?

Katarzyna MAŁEK

Le Fèvre, O., et al. (2019), *The ALPINE-ALMA [CII] Survey: Survey strategy, observations and sample properties of 118 star-forming galaxies at $4 < z < 6$* , arXiv e-prints, arXiv:1910.09517.

niż w rzeczywistości, stąd faktyczne zrównanie dnia z nocą nastąpi kilka dni później. Słońce zacznie wrzesień w gwiazdozbiornie Lwa, by 16 dnia miesiąca przejść do gwiazdozbiornu Panny, w którym pozostanie do końca października.

Planety **Jowisz** i **Saturn** we wrześniu są już dwa miesiące po opozycji i widać to w pogarszaniu się ich warunków obserwacyjnych. Obie planety nadal tworzą parę o rozwartości około 7° , w połowie miesiąca zaczynają znikać z nieboskłonu przed północą, choć wciąż jeszcze przechodzą przez południk lokalny sporo

po zmierniku. Jednak ich położenie w gwiazdozbiorze Strzelca powoduje, że nie wzniosą się na naszym niebie wyżej niż 15° . Jowisz zmieni kierunek swojego ruchu z wstecznego na prosty 12 września, zaś Saturn uczyni to samo 17 dni później, co również pokazuje, że okres najlepszej widoczności w tym sezonie obserwacyjnym obie planety mają już za sobą. W związku ze zmianą kierunku ruchu obie planety we wrześniu przesuną się niewiele względem gwiazd tła, zmieniając pozycję o nieco ponad 30 minut kątowych, czyli tyle, ile wynosi średnica tarczy Słońca czy Księżyca. We wrześniu jasność Jowisza spadnie do $-2,4^m$, a jego tarcza zmniejszy rozmiar do $41''$. Planeta Saturn osłabnie do $+0,5^m$, jej tarcza zaś zmniejszy średnicę do $17''$.

Trzy pozostałe planety zewnętrzne szykują się do swoich opozycji, przez co i ich warunki obserwacyjne poprawiają się. Najwcześniej przez opozycję przejdzie planeta **Neptun** (11 września). W tym sezonie obserwacyjnym planeta kreśli swoją pętlę na północny wschód od gwiazdy 4. wielkości φ Aquarii. Za dalsze wskazówki przy szukaniu planety mogą służyć świecąca z jasnością $5,5^m$ gwiazda 96 Aqr oraz słabsza o $0,7^m$ gwiazda HIP115257. Na początku października Neptun przejdzie pomiędzy tymi gwiazdami, w odległości około $25'$ od każdej z nich. W związku z opozycją Neptun przesuwa się teraz ze swoją maksymalną prędkością kątową, pokonując w ciągu miesiąca prawie $50'$ i zbliżając się jednocześnie do φ Aqr na $1,5^\circ$. Maksymalna jest również jasność planety, wynosząca $+7,8^m$. Oczywiście to powoduje, że do jej dostrzeżenia jest potrzebna przynajmniej lornetka.

Jako druga przez opozycję przejdzie planeta **Mars**, ale zrobi to dopiero w połowie października. We wrześniu, dokładnie 9 dnia miesiąca, planeta zmieni kierunek ruchu, ale – w przeciwieństwie do pary Jowisz-Saturn – z prostego na wsteczny, czyli zacznie przesuwać się na zachód, rozpoczynając tym samym okres swojej najlepszej widoczności w tym sezonie obserwacyjnym. Stąd we wrześniu Mars przesunie się o niewiele ponad $3'$ w południowo-wschodniej części gwiazdozbioru Ryb. W tym miesiącu Mars znacznie zbliży się do Ziemi, zmniejszając dystans o ponad 11 milionów km. Stąd jego i tak już duża jasność i średnica kątowa jeszcze mocno urosną: jasność z $-1,8^m$ na początku miesiąca do $-2,5$ pod jego koniec, wyprzedzając pod tym względem Jowisza, a średnica kątowa – z 19 do $22''$. Planeta góruje na wysokości mniej więcej 45° , a zatem ponad 30° wyżej, niż to miało miejsce dwa lata temu, podczas poprzedniej opozycji. Stąd obecnie obraz teleskopowy planety jest znacznie wyraźniejszy.

Planeta **Uran** przejdzie przez opozycję ostatniego dnia października, kreśląc pętlę mniej więcej 10° na południowy wschód od Hamala, najjaśniejszej gwiazdy Barana, i jednocześnie 15° na północny wschód od Marsa. Uran również porusza się ruchem wstecznym, a najbliższej niego dość jasną gwiazdą jest gwiazda 6. wielkości 29 Ari. We wrześniu dystans między tymi ciałami niebieskimi urośnie od $0,5$ do 1° , a sama planeta

jest o $0,3^m$ jaśniejsza. Uran góruje po godzinie 2, na wysokości dochodzącej do 55° .

Nad ranem, jako jutrzienka, świeci planeta **Venus**, która zacznie wrzesień na pograniczu gwiazdozbiorów Bliźniąt i Raka, 9° na południe od Polluksa. Przez miesiąc planeta przemierzy gwiazdozbiór Raka, by na jego koniec zameldować się w gwiazdozbiorze Lwa, 3° na zachód od Regulusa, najjaśniejszej gwiazdy konstelacji. Przez cały ten czas Venus na godzinę przed wschodem Słońca zdąży się wzniesć na wysokość 25° . Do końca września jasność Venus spadnie do -4^m , średnica tarczy – do $16''$, natomiast faza przekroczy 70% .

Bezksiężycowe noce wystąpią w połowie września, gdyż Srebrny Glob zacznie miesiąc od pełni i spotkania z Neptunem 2 i 3 września. Trzy noce później, przy fazie zmniejszonej do 86% , **Księżyc** spotka się z planetą Mars, zbliżając się do niej o świcie na odległość 1° , zaś 7 września przejdzie 4° na południe od Urana. Trzy dni później naturalny satelita Ziemi przejdzie przez ostatnią kwadrę, wędrując wtedy 5° na północny zachód od Aldebarana, najjaśniejszej gwiazdy Byka.

W kolejnych dniach Księżyc podaży ku nowiu, a dzięki dużemu nachyleniu ekliptyki do porannego widnokregu można obserwować go prawie do samego spotkania ze Słońcem – 17 września. Przez ten czas bardzo ładnie widoczne będzie tzw. światło popielate, czyli nocna część Księżyca oświetlona światłem słonecznym odbitym od Ziemi. Trzy dni przed nowiem, prezentując tarczę w postaci cienkiego sierpa (15%), Srebrny Glob przejdzie nieco ponad $1,5^\circ$ na północ od jasnej gromady otwartej gwiazd M44 i jednocześnie 4° na północ od planety Venus. Około godziny 6, niestety na jasnym już niebie, dojdzie do zakrycia przez Księżyc gwiazd Asellus Borealis, stanowiącej północno-wschodni róg trapezu gwiazd otaczającego M44. 16 września rano, 32 godziny przed nowiem, Srebrny Glob w fazie zaledwie 2% pokaże się 7° od Regulusa, na wysokości 5° .

Po nowiu, w trzeciej dekadzie miesiąca, Księżyc pokaże się nisko nad widnokregiem. Przejdzie przez I kwadrę 24 września i zbliży się do Jowisza na 7° , natomiast dobę później minie Saturna w odległości niecałych 4° . Ostatnie noce września ponownie rozświetli bardzo jasna tarcza Księżyca bliska pełni.

W październiku maksimum swojej jasności osiągną dwie jasne **mirydy**: o Cet oraz R Leo. Obie mogą przekroczyć próg widoczności gołym okiem, a już we wrześniu powinno dać się je dostrzec przez lornetkę. Obie gwiazdy widoczne są w drugiej połowie nocy. Mira po północy przechodzi przez południk centralny, zaś R Leo wschodzi niewiele przed świtem. Pod koniec miesiąca, 29 września, 2° od drugiej z gwiazd przejdzie planeta Venus. Mira w listopadzie zeszłego roku osiągnęła jasność $+2,5^m$, zaś R Leo w grudniu – prawie $+5^m$. Jeśli tym razem gwiazdy również pojaśnią aż tak bardzo, na pewno staną się wdzięcznym celem obserwacji. Zwłaszcza Mira, łatwo widoczna wtedy gołym okiem nawet z obszarów miejskich.

Ariel MAJCHER