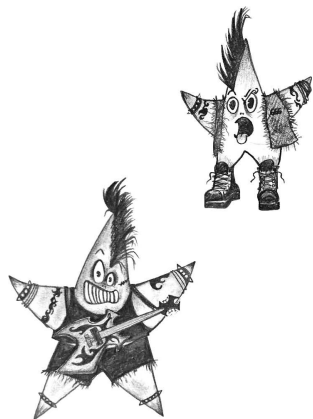


The Outer Galaxy High Resolution Survey – przegląd rubieży Galaktyki

Miguel FIGUEIRA*

* Zakład Astrofizyki Narodowego Centrum Badań Jądrowych

Rdzeń obszaru gwiazdotwórczego to ogromna przestrzeń o promieniu 0,1 pc (ok. 3×10^{12} km) i wypełniona materią o gęstości liczbowej około 10^5 cm^{-3} .



Autorka rysunku: Manuela Figueira

Masa krytyczna, zwana również masą Jeansa, jest proporcjonalna do $\sqrt{T^3/n^2}$, gdzie T to temperatura, a n to gęstość gazu.



Metaliczność danego ośrodka w astronomii określa obfitość pierwiastków chemicznych cięższych niż wodor i hel.

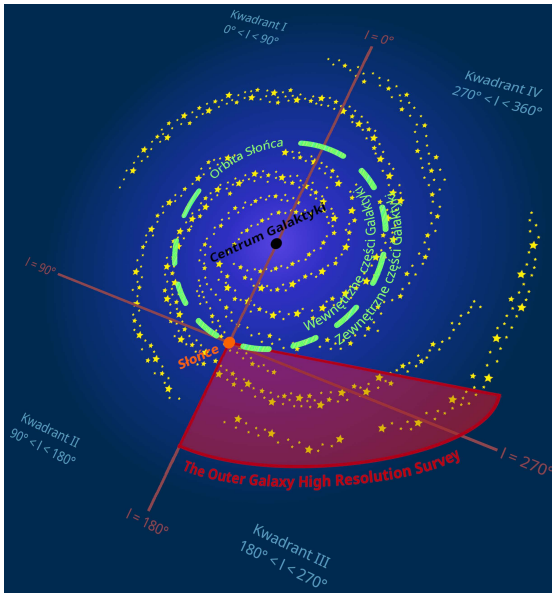
Gwiazdy rodzą się w największych obszarach ogromnych obłoków molekularnych – chmurach pyłu i gazu, zbudowanych głównie z wodoru (H₂) i tlenu węgla (CO). W tych obszarach pod wpływem grawitacji lokalne zagęszczenia materii zapadają się do mniejszych struktur zwanych rdzeniami (*core*). To tam tworzą się nowe pokolenia gwiazd. Początkowo przyszłe gwiazdy są zlepkami materii, nazywamy je protogwiazdami. Protogwiazdy jednak nieustannie rosną (pobierając materiał z otoczenia), i po osiągnięciu wystarczająco dużej masy temperatura i gęstość gazu w ich wnętrzu stają się tak duże, że zapoczątkowane zostają procesy fuzji termojądrowej – wówczas protogwiazdy stają się gwiazdami. W czasie swojego życia będą przetwarzały wodor w hel, a pod koniec wytworzą inne cięższe pierwiastki.

Najważniejszą cechą nowo powstającej gwiazdy jest jej masa, ponieważ decyduje ona o przyszłości gwiazdy (o tym, jak długo będzie „żyła” oraz jaka czeka ją „śmierć”). Przez długi czas sądzono, że masa młodej gwiazdy jest związana głównie z właściwościami rdzenia, w którym się narodziła: im gęstszy rdzeń, tym większe prawdopodobieństwo, że gwiazda będzie masywna. Jednak najnowsze badania wskazują, że ta zależność wcale nie jest tak bezpośrednia. Kluczową rolę w procesie tworzenia się nowych gwiazd pełni również ich najbliższe otoczenie. Poniżej przedstawię kilka najważniejszych cech tego otoczenia.

Ważnym elementem jest bliska obecność masywnych młodych gwiazd, które emitują promieniowanie ultrafioletowe. To promieniowanie zwiększa temperaturę materii w rdzeniu, a co za tym idzie, zwiększa masę krytyczną materii – masę, po przekroczeniu której gaz ulega zapadaniu. Ma to wpływ na zwiększenie początkowej masy protogwiazd. Ponadto badania wskazują, że na masę krytyczną mają również wpływ turbulencje i pole magnetyczne. O mechanizmach, które znacznie zmieniają właściwości kolejnych generacji gwiazd, można też przeczytać w moich wcześniejszych artykułach zamieszczonych w *Delcie* (Δ_{20}^{12} i Δ_{21}^2).

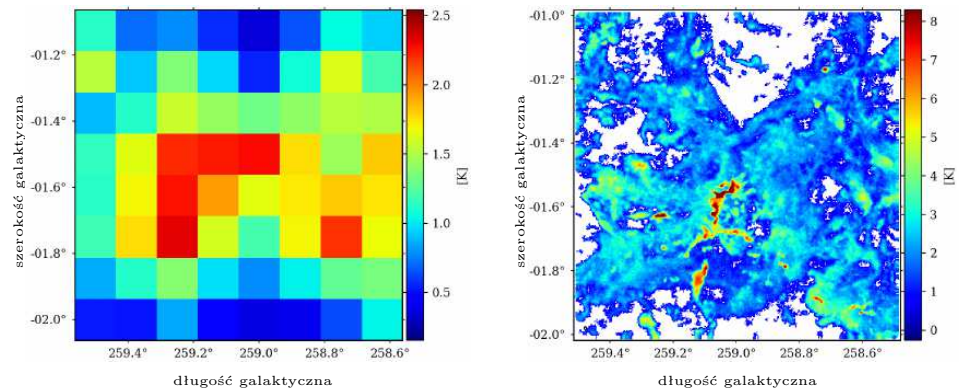
Innym czynnikiem mającym wpływ na powstawanie nowych gwiazd jest promieniowanie kosmiczne. Składa się ono z wysokoenergetycznych cząstek, przyspieszanych przez pozostałości po supernowych i wiatry gwiazdowe. Naukowcy sądzą, że promieniowanie kosmiczne reguluje procesy tworzenia się gwiazd w galaktykach. W przeciwieństwie do promieniowania gwiazdowego (takiego, jak opisane w poprzednim paragrafie), które jest blokowane przez chmury molekularne (ma ograniczony zasięg), promieniowanie kosmiczne może wnikać w te obłoki i uwalniać energię poprzez oddziaływanie z polem magnetycznym, zderzenia z cząstkami materii obłoku i jonizację. Promieniowanie kosmiczne generuje w ten sposób znaczne ciśnienie w ośrodku międzygwiazdowym, a jonizacja wywoływana przez promieniowanie kosmiczne prowadzi do powstania sprężenia między gazem a polem magnetycznym. Oba te procesy mogą hamować powstawanie obłoków molekularnych, w których tworzą się nowe gwiazdy.

Kolejnym czynnikiem, który ma wpływ na właściwości protogwiazd, jest metaliczność gazu. Wpływa ona na procesy chłodzenia obłoku molekularnego. Jeśli metaliczność jest niska, procesy chłodzenia molekularnego są mniej wydajne, co prowadzi do powstania gwiazd o dużej masie gwiazdowej. Jest to powód, dla którego pierwsze gwiazdy powstałe z pierwotnych obłoków wodoru i helu we wczesnym Wszechświecie były tak masywne (o pierwszych gwiazdach pisaliśmy w Δ_{22}^4). Większą masę gwiazd obserwuje się również w Wielkim i Małym Obłoku Magellana, które mają mniejszą metaliczność (odpowiednio, od 0,2 do 0,5) niż Droga Mleczna. Generalna zasada jest więc taka, że im większa metaliczność obłoku, tym mniej masywne gwiazdy w nim powstają.



Rys. 1. Droga Mleczna we współrzędnych galaktycznych. Centrum układu współrzędnych stanowi Słońce, zaś początkowym punktem odniesienia jest centrum Galaktyki, gdzie promień galaktyczny równa się zeru. Przestrzeń w środku orbity Słońca nazywamy wewnętrzną częścią Galaktyki, a przestrzeń poza tą orbitą – zewnętrzną częścią Galaktyki. Czerwony obszar obejmuje część Drogi Mlecznej obserwowanej przez OGHReS

Najbardziej bezpośrednią metodą badania wpływu środowiska na tworzenie się gwiazd byłoby przeprowadzenie obserwacji rdzeni obszarów gwiazdotwórczych w galaktykach o różnych właściwościach. Jednak ze względu na ograniczenia technologiczne jest to obecnie niemożliwe. Pozostaje nam nasza Galaktyka, w której musimy znaleźć obszary o różnych właściwościach. Okazuje się, że zadanie to wcale nie jest takie trudne. Właściwości naszej Galaktyki drastycznie się zmieniają w zależności od odległości od jej centrum (nazywanej promieniem galaktycznym). I tak w zewnętrznych obszarach Galaktyki ilość pyłu i metaliczność są mniejsze niż w jej wnętrzu, co zmienia sposób, w jaki promieniowanie kosmiczne reguluje powstawanie gwiazd i efektywność chłodzenia obłoków molekularnych (a więc jak masywne gwiazdy mogą tam powstawać). Do tej pory z powodu niskiej czułości i rozdzielczości kątowej teleskopów większość badań regionów gwiazdotwórczych była ograniczona do wewnętrznej Galaktyki (obszarów wewnątrz orbity Słońca wokół centrum Drogi Mlecznej). Jednak dzięki najnowszej generacji potężnych teleskopów możemy teraz badać peryferie Drogi Mlecznej i dowiedzieć się więcej o wpływie środowiska na tworzenie się gwiazd. Taki jest cel projektu Outer Galaxy High Resolution Survey (OGHReS, rys. 1).



Rys. 2. Obserwacja linii emisyjnej $^{12}\text{CO}(1-0)$ tego samego obszaru w przeglądzie Dame'a (z rozdzielczością 480") i w nowym przeglądzie OGHReS (z udoskonaloną rozdzielczością 27")

OGHReS jest spektroskopowym przeglądem nieba wykonanym za pomocą teleskopu APEX (Atacama Pathfinder EXperiment telescope) w Chile. Obszar obserwacji obejmuje 100 stopni kwadratowych nieba ($180^\circ < \ell < 280^\circ$). Bezprecedensowa rozdzielczość kątowa tego przeglądu (27") pozwala na obserwację struktur o rozmiarze 2 pc ($\sim 6 \cdot 10^{13}$ km) znajdujących się w odległości aż 15 kpc ($\sim 4,6 \cdot 10^{17}$ km) od Ziemi (dla porównania Słońce znajduje się w odległości 8 kpc od centrum Galaktyki). OGHReS będzie więc najbardziej precyzyjnym przeglądem zewnętrznych obszarów Galaktyki (porównanie obserwacji OGHReS z wcześniejszymi przeglądami przedstawiamy na rysunku 2). Obserwacje niektórych molekuł, ^{12}CO , ^{13}CO , ^{18}CO , SiO, DCO^+ , CH_2O i CH_3OH , pozwolą naukowcom na precyzyjne odszyfrowanie roli środowiska w procesie tworzenia się gwiazd. Innymi celami przeglądu OGHReS są studia nad oddziaływaniami pomiędzy pyłem a gazem oraz strukturą włókien i ramion Drogi Mlecznej.

Połączenie obserwacji zewnętrznych i wewnętrznych części Galaktyki (takich jak np. Structure, Excitation, and Dynamics of the Inner Galactic Interstellar Medium, SEDIGISM) udoskonali naszą wiedzę o całej Galaktyce. Ale nie tylko. Dostępność szczegółowych obserwacji obłoków gwiazdotwórczych może nam pomóc w zrozumieniu procesów tworzenia się gwiazd w innych galaktykach o niskiej metaliczności, dla których nie jest możliwe uzyskanie tak szczegółowych obserwacji.



Rozwiązanie zadania M 1757.
Gdy $a = b$, to oczywiście teza zadania zachodzi. Załóżmy bez straty ogólności, że $a > b$. Wtedy dla pewnych liczb całkowitych dodatnich k, l, m zachodzą równości:

$$\text{NWW}(a, b) = ka,$$

$$\text{NWW}(a + 1, b + 1) = l(a + 1),$$

$$\text{NWW}(a + 2, b + 2) = m(a + 2).$$

Wobec tego $ka + m(a + 2) = 2l(a + 1)$, z czego wynika, że

$$(m - k) + (a + 1)(k + m) = 2l(a + 1),$$

skąd $a + 1 \mid m - k$. Jednakże $m, k \leq b + 2 \leq a + 1$, zatem wobec uzyskanej podzielności dostajemy równość $k = m$. A więc $(a + 1)(k + m) = 2l(a + 1)$, czyli $k = l = m$. Ponieważ oczywiście $k \mid b$ oraz $l \mid b + 1$ i $\text{NWD}(b, b + 1) = 1$, to $k = l = 1$, czyli $\text{NWW}(a, b) = a$, co oznacza, że $b \mid a$.