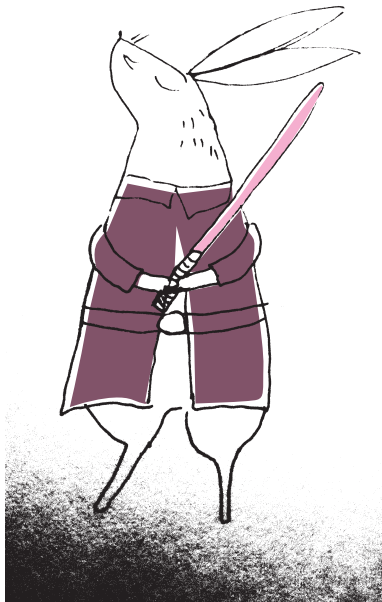


# Gwiazdne przedszkola – obszary HII w Galaktyce

\*Narodowe Centrum Badań Jądrowych

Miguel FIGUEIRA\*



Seria Lymana odpowiada liniom widmowym powstałym w wyniku emisji fotonów wywołanej przez elektron przechodzący z poziomu wzbudzonego ( $n > 1$ ) do poziomu podstawowego. Energia tak wyemitowanego fotonu wzrasta wraz z liczbą  $n$  i dla wodoru osiąga maksymalną wartość 13,6 eV (granica Laymana). Fotony o energii większej niż ten limit, nazywane fotonami kontinuum Laymana, są w stanie wytrącić elektron z wodoru (jonizacja).

W nocy niektóre gwiazdy i planety można obserwować gołym okiem. Przy dobrych warunkach pogodowych i w miejscach niezanieczyszczonych sztucznym światłem widoczny jest również dysk naszej Galaktyki, Drogi Mlecznej, przyjmujący postać gęstego strumienia gwiazd przecinającego sferę niebieską. Z naszego punktu widzenia dysk ten wydaje się prawie jednolitym zbiorem gwiazd, jednak w rzeczywistości zbudowany jest on również z chmur pyłu i gazu, które mogą mieć rozmiary nawet setek parseków ( $1 \text{ pc} \sim 3,8 \cdot 10^{16} \text{ m}$ ) i temperaturę bliską 20 K. Takie niewidoczne w świetle widzialnym zagęszczenia pyłu i gazu stanowią swego rodzaju gwiazdne przedszkola – rodzą się w nich nowe gwiazdy. Promieniowanie tych gwiazd jest jednak niewidoczne, ponieważ jest tłumione przez otaczający je gęsty materiał molekularny.

Ewolucja gwiazd jest ściśle związana z ich masą początkową – ogólnie rzecz ujmując, masywniejsze gwiazdy ewoluują szybciej niż ich mniej masywne odpowiedniki. Dlatego często klasyfikujemy gwiazdy ze względu na ich masę (wyrażaną w jednostkach mas Słońca,  $M_{\odot}$ ). Te o masie poniżej  $8M_{\odot}$  określa się jako mało masywne (*low-mass*), podczas gdy o gwiazdach o masie powyżej tej umownej granicy mówi się, że są masywne (*high-mass*). Główna różnica między nimi polega na tym, że gwiazdy z pierwszej grupy zakończą swoje życie mniej spektakularnie, jako białe karły (otoczone mgławicą planetarną), a te z drugiej grupy eksplodują jako supernowe, pozostawiając po sobie gwiazdy neutronowe albo czarne dziury.

Masywne gwiazdy są szczególnie interesujące ze względu na ich wpływ na otaczające je środowisko międzygwiazdowe (tzw. *feedback*). Generowane przez nie wiatry słoneczne, promieniowanie gwiazdowe i jonizujące, a w końcu ich „śmierć” w wyniku wybuchu supernowej uwalniają ogromne ilości energii i pędu do otaczającego je ośrodka międzygwiazdowego. Ten swego rodzaju „pakiet energetyczny” znacząco modyfikuje strukturę chmur pyłu i gazu otaczających masywną gwiazdę, co z kolei ma istotny wpływ na powstawanie nowej generacji gwiazd. Jak to się dzieje? We wczesnych etapach powstawania gwiazd o wysokiej masie emisja fotonów kontinuum Lymana ( $E \geq 13,6 \text{ eV}$ ) jonizuje atomy wodoru (gazu występującego najobficiej we Wszechświecie) i tworzy zjonizowany obszar (potocznie zwany HII), obserwowalny z Ziemi dzięki emisji  $H\alpha$  ( $\lambda = 656,3 \text{ nm}$ ) zachodzącej podczas rekombinacji wodoru od drugiego do pierwszego wzbudzonego poziomu. Jeżeli założymy, że mamy do czynienia z doskonale jednorodnym ośrodkiem międzygwiazdowym, obszar HII przyjmuje kształt kuli i jest znany jako sfera Strömghrena. Wewnątrz tej sfery poziom jonizacji jest równy poziomowi rekombinacji, a jej promień jest określony wzorem:

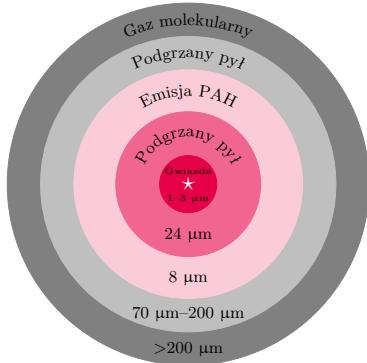
$$R_S = \left( \frac{3N_{Ly}}{4\pi n_0^2 \alpha_{\beta}} \right)^{1/3},$$

gdzie  $N_{Ly}$  to liczba fotonów o energiach powyżej granicy Lymana, emitowanych np. z masywnej gwiazdy,  $n_0$  to gęstość atomów wodoru w środowisku międzygwiazdowym, a  $\alpha_{\beta}$  to współczynnik rekombinacji wodoru do wszystkich poziomów z wyjątkiem stanu podstawowego. Z powyższego równania widzimy, że jeśli liczba fotonów Lymana rośnie, to wzrasta też liczba zjonizowanych atomów, przez co zwiększa się promień sfery  $R_S$ . Z drugiej strony, jeśli gęstość wodoru wzrośnie, to  $R_S$  zmniejszy się, ponieważ fotony będą absorbowane na krótszej odległości.

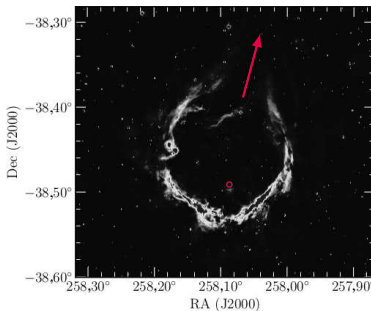
Ze względu na różnicę temperatur pomiędzy regionem HII ( $\sim 10^4 \text{ K}$ ) a obszarem go otaczającym ( $\sim 10 \text{ K}$ ) region HII poszerza się. Jest to proces zachodzący przy prędkości naddźwiękowej i dlatego front jonizacyjny jest poprzedzony frontem uderzeniowym. Podczas ekspansji materiał otaczający region HII, składający się głównie z pyłu i gazu (H,  $H_2$ , CO), jest uwięziony pomiędzy tymi dwoma frontami, tworząc pierścień wokół gwiazdy. Cała taka struktura (obszar zjonizowanego gazu i otaczający go pierścień) jest często nazywana

bańką (*bubble*). Rozszerzanie się takiej „bańki” zatrzymuje się dopiero wtedy, gdy pierścień pyłu i gazu staje się na tyle gęsty, że ciśnienie materii równoważy ciśnienie jonizacyjne gwiazdy.

Zjawisko „zakrycia” gwiazdy przez pył nazywane jest wygaszaniem, ponieważ fotony pochodzące z tła są blokowane przez gęsty ośrodek bańki.



Rys. 1. Schemat obszaru HII i długości fali, w których obserwowane są jego poszczególne regiony. Dwa obszary najbliższe środka są również widoczne dla długości fali H $\alpha$  oraz w promieniowaniu centymetrowym



Rys. 2. RCW 120 obserwowana na długości fali 8  $\mu\text{m}$  (emisja PAH), w której widoczny jest pierścień otaczający obszar zjonizowanego gazu. Okrąg zaznacza miejsce, w którym znajduje się masywna gwiazda odpowiedzialna za stworzenie bańki HII. Strzałka wskazuje kierunek, w którym obserwowane jest „wyciekanie” promieniowania H $\alpha$

Obserwacje baniek HII w różnych długościach fal pozwalają odkryć ich różne komponenty, co zaprezentowane jest na rysunku 1. Przedstawione są na nim obszary bańki HII wraz z długościami fal, w których mogą być one obserwowane. I tak, rozpoczynając od najkrótszych fal – w bliskiej podczerwieni (1–3  $\mu\text{m}$ ) widoczny jest neutralny gaz i pył, przyjmujące postać ciemnej plamy kontrastującej z jasnym tłem wypełnionym gwiazdami. Następnie, idąc w kierunku większych długości fali, a co za tym idzie, niższych temperatur, możemy zaobserwować wspomniany wcześniej pierścień bańki. Jest on bardzo dobrze widoczny na długościach fal rzędu 8  $\mu\text{m}$  z powodu emisji wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych (PAH). Dalej widzimy obszar fali uderzeniowej, w którym promieniowanie gwiazdy jonizującej podgrzewa pył, przez co emituje on promieniowanie od długości fali 20  $\mu\text{m}$ . Z kolei emisja zimnego pyłu, który został wyrzucony podczas ekspansji poza bańkę, jest obserwowana od 70  $\mu\text{m}$  do milimetrowych długości fal. Przy długości fali centymetrowej region HII może być również obserwowany dzięki procesowi zwanemu *bremstrahlung*, zachodzącemu wówczas, gdy elektron przemieszcza się blisko protonu, ale nie na tyle, aby zjonizowany wodór mógł ulec rekombinacji. Odchylenie spowodowane przyciąganiem protonu powoduje wówczas utratę energii kinetycznej elektronu. Energia ta jest przekształcana w foton, obserwowalny przy długości fali radiowej.

Jeden z najbardziej reprezentatywnych obszarów HII naszej galaktyki, ze względu na swój prawie idealny (ale nie całkiem, co widać na rysunku 2) sferyczny kształt nosi nazwę RCW-120. Znajduje się stosunkowo niedaleko (tylko 1,3 kpc), przez co jest łatwy do obserwacji. Niewielkie odchylenia od sferyczności, widoczne na zdjęciu, są spowodowane niejednorodnym początkowym rozkładem materiału, z którego później powstała bańka. Na przykład górna część RCW-120 nie jest wystarczająco gęsta, przez co promieniowanie H $\alpha$  „przecieka” poza bańkę. To zjawisko zwane jest *champain flow*. Jeżeli gwiazda jonizująca znajduje się w stosunkowo rzadkim środowisku gazu i pyłu, to takie wypływy mogą powstać w różnych miejscach bańki, tworząc tak zwany dwubiegunowy obszar HII. Często również kilka masywnych gwiazd umiejscowionych jest w stosunkowo niewielkiej odległości (powstały z tej samej chmury pyłu i gazu) i ich obszary HII nakładają się na siebie, tworząc skomplikowane struktury dalekie od sferycznych baniek.

Dzięki obserwacjom prowadzonym w dalekiej i bliskiej podczerwieni w naszej Galaktyce zaobserwowano około 8000 regionów HII. Co interesujące, na obrzeżach tych odkrytych obszarów HII znajduje się około 30% wszystkich masywnych gwiazd naszej Galaktyki. Dlaczego to takie ważne? Masywne gwiazdy są bardzo rzadko spotykanymi obiektami, ponieważ długość ich „życia” jest bardzo krótka (oczywiście w skali Wszechświata). Dlatego odkrywanie obszarów HII, wokół których najwyraźniej znajduje się ich najwięcej, może przyczynić się do lepszego poznania mechanizmów powstawania gwiazd o masach większych niż  $8M_{\odot}$ . Uważa się, że rozszerzanie się obszarów HII powoduje tworzenie się gęstych obszarów pyłu i gazu, dostarczając w ten sposób materiału i kreując warunki do powstawania masywnych gwiazd. Proces tworzenia się gwiazd wywołany rozszerzaniem się obszarów HII nazywany jest z języka angielskiego *triggering* (niestety wiele pojęć związanych z astronomią nie ma jeszcze polskich odpowiedników). Obecność obszaru HII może przyspieszyć tempo (zwiększyć efektywność) tworzenia się gwiazd w środowisku, w którym wcześniej powstawały, lub spowodować zwiększenie się średniej masy nowo powstających gwiazd (tzw. *weak triggering*). Może też wywołać procesy tworzenia się gwiazd w obszarach, w których wcześniej nie było do tego warunków (tzw. *hard triggering*). Tak przedstawia się ogólny opis procesów odpowiedzialnych za tworzenie się gwiazd na obrzeżach regionów HII. Szczegóły wciąż jednak pozostają w strefie dyskusji.