

Dr Wojciech **DZIEMBOWSKI**

Kosmogonia, czyli nauka o pochodzeniu i minionej ewolucji Układu Planetarnego, należy do klasycznych działów astronomii. Pierwsza hipoteza kosmogoniczna sformułowana została w XVIII wieku przez Laplace'a. Dziś, pomimo ogromnego wzbogacenia naszej wiedzy o Układzie Planetarnym, głównie za sprawą rozwoju badań kosmicznych, jesteśmy ciągle dalecy od pełnego rozumienia procesów, które doprowadziły do jego powstania.

Jest paradoksem, że znacznie młodsza teoria ewolucji gwiazd, obiektów trudniejszych przecież do obserwacji, jest dużo bardziej zaawansowana. Wynika to przede wszystkim stąd, że nasz Układ Planetarny jest jedynym obserwowanym, jak dotąd, tworem tego typu. Istotne jest również, że dzięki symetrii sferycznej gwiazdy są stosunkowo łatwymi obiektami do matematycznego modelowania. We współczesnej astrofizyce proces formowania się mgławicy przedplanetarnej traktuje się jako zjawisko towarzyszące formowaniu się Słońca. Ten punkt widzenia znajduje uzasadnienie w wynikach wyznaczeń zawartości izotopów promieniotwórczych w skałach Ziemi i Księżyca, a także w meteorytach. Z wyznaczeń tych wynika, że pierwotna krystalizacja nastąpiła $4,6 \times 10^9$ lat temu, co zgadza się z wyznaczeniami wieku Słońca z modeli jego ewolucji.

Zgodnie z obowiązującym obrazem, formowanie się gwiazdy zaczyna się od fazy zapadania się gazu pod działaniem własnej grawitacji. Dochodzi do tego wtedy, gdy siły grawitacji dominują nad siłami ciśnienia. Warunek na zapadanie określa liczbowo kryterium Jeansa. Początkowo jednorodny obłok zapada się, jeśli jego średnica jest większa od krytycznej długości $\lambda = \pi c^2 / G \rho$, gdzie c jest szybkością dźwięku, G stałą grawitacji, a ρ gęstością. Istnieje pogląd, że warunki dla powstania takiej niestabilności zachodzą, gdy gaz w swoim ruchu wokół centrum galaktyki wchodzi w obszar jej ramienia spiralnego.

Proces zapadania się jest kontynuowany dopóty, dopóki materia obłoku nie stanie się dostatecznie nieprzezroczysta, to bowiem doprowadza do wzrostu temperatury warstw wewnętrznych i ciśnienia, które może wtedy kompensować siłę grawitacji. Dalsza ewolucja gwiazdy zachodzi poprzez stany równowagi mechanicznej. Gwiazda świeci wtedy na koszt malejącej energii potencjalnej i wewnętrznej. Temperatura i gęstość centralnych części gwiazdy w dalszym ciągu rosną i w pewnym momencie reakcja syntezy wodoru w hel staje się głównym źródłem strumienia promieniowania. Kolejna faza ewolucji, określona równością strumienia i energii wytwarzanej na jednostkę czasu w owych reakcjach, jest najwolniejszą fazą ewolucji gwiazd. Słońce znajduje się właśnie w tej fazie i przez większość swojej historii się w niej znajdowało.

Jeśli zapadający się obłok posiada pewien moment pędu, to ewolucja obłoku przedgwiazdowego ulega modyfikacji. W trakcie kurczenia się, rola siły odśrodkowej wzrasta. Jeżeli moment pędu poszczególnych części obłoku można uważać za stały, to siła odśrodkowa na jego równiku rośnie proporcjonalnie do R^{-3} , gdzie R jest promieniem równikowym. Z drugiej strony, siła przyciągania, zanedbując odchylenia od symetrii sferycznej, rośnie jak R^{-2} . Tak więc w pewnym momencie dalsze zapadanie w kierunku osi obrotu może zatrzymać się i następująca ewolucja zewnętrznych części obłoku polegać będzie na ich kurczeniu się w kierunku płaszczyny równika. Powstała w ten sposób materia wokół gwiazdy ma dwie ważne cechy mgławicy przedplanetarnej — materia rozmieszczona jest w płaskiej warstwie i obraca się w tę samą stronę co Słońce. Na tym kończy się jednak podobieństwo i trzeba postulować istnienie dodatkowych zjawisk, żeby wyjaśnić podstawowe właściwości, jakie mgławica przedplanetarna powinna posiadać.

Najpoważniejszy problem dotyczy podziału momentu pędu pomiędzy Słońcem i Układem Planetarnym. Otóż na Słońce, które posiada 99,87% masy całego Układu Słonecznego, przypada ok. 0,5% momentu pędu. Jako możliwe rozwiązanie tej trudności, w kilku teoriach kosmogonicznych (H. Alfven, F. Hoyle, E. Shatzman) sugeruje się transport momentu pędu od Słońca do mgławicy za pośrednictwem pola magnetycznego. Przy ocenie całkowitego momentu pędu obłoku przedslonecznego uwzględnić należy utratę masy i związaną z nią utratę momentu pędu z Układu Słonecznego.



Fakt, że taka utrata masy musiała mieć miejsce, wynika z porównania składu chemicznego Słońca i planet. W Słońcu zaledwie około 2% masy przypada na pierwiastki cięższe od wodoru i helu, podczas gdy dla planet grupy ziemskiej pierwiastki te stanowią praktycznie 100% masy. Również modele wielkich planet przewidują wyraźnie niższą zawartość helu i wodoru niż w Słońcu. Minimalną masę utraconej przez Układ Planetarny materii otrzymamy, uzupełniając jego masę wodoru i helu do proporcji słonecznych. Prowadzi to do zwiększenia masy Układu Planetarnego co najmniej dziesięciokrotnie (odpowiednie zwiększenie masy całego Układu Słonecznego jest wtedy bardzo małe).

F. Hoyle przyjął w swej teorii taki sam czynnik dla określenia początkowego momentu pędu przedslonecznego obłoku gazu, co doprowadza do wyrównania siły przyciągania i siły odśrodkowej, gdy rozmiar obłoku jest bliski połowy orbity Merkurego. Jak pokazały późniejsze rachunki, aby doprowadzić do rozmycia takiego obłoku do rozmiarów obecnego Układu Planetarnego, konieczne jest założenie nierealistycznie silnego pola rzędu 0,1 – 1T.

Zasadniczo odmienny model ewolucji obłoku postulował A. Cameron, który przyjął znacznie większą utratę masy w czasie ewolucji Układu Planetarnego. W jego modelu, początkowa masa zapadającego się obłoku była dwukrotnie większa od obecnej masy całego Układu Słonecznego, a jego moment pędu około 300-krotnie większy. Proces tworzenia się planet zachodził według niego w czasie, gdy Słońce nie było jeszcze wyraźnie wyodrębnioną, centralną kondensacją mgławicy. Trudnością tego modelu, jak również wszystkich modeli charakteryzujących się znacznym momentem pędu, jest ich niestabilność, która doprowadza do przekształcenia ich z początkowo osiowo-symetrycznych konfiguracji w konfiguracje o kształcie cygara. W ostatecznej ewolucji doprowadzają one zapewne do powstania raczej układu dwóch gwiazd niż gwiazdy z układem planetarnym.

W chwili obecnej najprawdopodobniej nie istnieją szczegółowe i realistyczne modele powstawania mgławicy przedplanetarnej o odpowiednim rozkładzie masy i momentu pędu. Istnieją jednak dobre perspektywy, że takie modele zostaną skonstruowane w najbliższych latach. Pomiędzy modelem Hoyle'a i modelem Camerona istnieje szeroki zakres początkowych momentów pędu mgławicy przedplanetarnej, dla których nie została przeprowadzona analiza ilościowa. Nie został także zbadany w szczególności efekt lepkości (zwłaszcza turbulენტnej), który podobnie jak efekt pola magnetycznego prowadzi do przenoszenia momentu pędu od ciała centralnego na zewnątrz.

Od strony obserwacyjnej duże nadzieje wiąże się z badaniem gwiazd zmiennych typu *T Tauri*. Powszechnie uważa się, że gwiazdy te znajdują się w bardzo wczesnym etapie ewolucji, a charakterystyczną dla nich gwałtowną zmiennością wielu autorów wiąże z procesami zachodzącymi w występujących wokół nich mgławicach. Według G. Herbiga gwiazdy te charakteryzują się szybką rotacją i wpływem masy ze znacznymi szybkościami. Cameron uważa, że dane obserwacyjne dotyczące tych obiektów stanowią uzasadnienie dopuszczenia znacznej utraty masy z mgławicy przedplanetarnej.

W dalszej ewolucji gęstość mgławicy rośnie i następuje kondensacja pyłu. Ziarna pyłu dyfundują w kierunku płaszczyzny równikowej, zwiększając przy tym szybko swoje rozmiary. W wyniku tego procesu, w pobliżu tej płaszczyzny powstaje cienki, pyłowy dysk. Dopóki gęstość w mgławicy nie jest dostatecznie duża, nie mogą powstawać trwałe zgęszczenia materii. Przy małych ich rozmiarach przeciwdziała temu ciśnienie, a przy dużych są one rozrywane wskutek przyciągania Słońca. Jednakże przy dużej gęstości dysku tworzą się tam zgęszczenia, które zapadając się prowadzą do powstania brył — zarodki planet. Teoria tego procesu została opisana przez W. Safronowa. Według ostatnich ocen pochodzących od P. Goldreicha i W. Warda, rozmiar takich zarodki w pobliżu orbity Ziemi byłby rzędu dziesiątych części kilometra.

Dalsza ewolucja mgławicy określona jest przede wszystkim efektami zderzeń tak powstałych brył. W zależności od stosunku mas, względnych prędkości i geometrii zderzenia, może mieć przy tym miejsce rozdrabnianie ciał i w konsekwencji powstawanie takich ciał, jak meteory, lub też akumulacja — proces, który w ostateczności doprowadził do utworzenia planet. O znaczeniu zderzeń w końcowym etapie tworzenia planet przekonuje nas obserwacja kraterów na powierzchni Księżyca, Merkurego czy Marsa. W wypadku wielkich planet istotną rolę w ich tworzeniu musiało odgrywać także grawitacyjne ściąganie gazu z ich okolic.

Rozwiązanie zadania F 48.

Zamiast rozpatrywać promienie wychodzące z różnych punktów rurki i trafiające do oka, wygodnie jest skorzystać z zasady odwracalności biegu promieni świetlnych i rozważyć promienie wychodzące z oka i docierające do rurki.

Łatwo zauważyć, że warunek zadania będzie spełniony wtedy i tylko wtedy, gdy dla skrajnego promienia „padającego” na rurkę będzie spełniony związek

$$d \leq r.$$

Korzystając z tego, że β jest kątem granicznym, możemy napisać

$$\frac{1}{n} = \sin \beta = \frac{d}{R}$$

a zatem

$$\frac{r}{R} \geq \frac{1}{n}.$$

