

# Czy planeta może stać się gwiazdą?

Mgr Marek J. SARNA

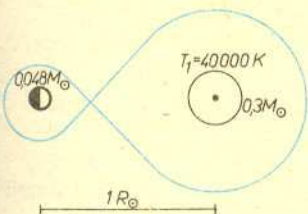
Wielu ludzi pasjonuje problem możliwości istnienia pozaziemskich cywilizacji: jedni kierują w przestrzeń wielkie czasy radioteleskopów, aby zarejestrować ich sygnały, inni poszukują śladów tu, na Ziemi, jeszcze inni marzą i fantazjują — astronomowie zaś, trzymający się twardo ziemi, poszukują w pobliżu gwiazd innych układów planetarnych. Do tej pory nie przyniosło to żadnych efektów, co może wynikać zarówno z tego, że do dziś dnia nie ma w pełni wiarygodnego modelu powstania naszej konfiguracji planetarnej, jak również i ze zbyt małej dokładności przyrządów pomiarowych mierzących małe zaburzenia w ruchu najbliższych gwiazd.

W związku z tym, że bezpośrednie poszukiwania i obserwacje nie dały pozytywnego rezultatu, zaczęto zastanawiać się nad dowodami pośrednimi. Jeden z takich pomysłów pochodzi od angielskiego astrofizyka P. Eggletona, który zauważył, że niektóre układy podwójne gwiazd o jednym składniku normalnym, a drugim o znikomej masie mogą wywodzić się od układów gwiazda-planet. Jako przykład można podać układ podwójny oznaczany *AA Doradus* (gwiazdozbiór Żłota Ryba). Układ ten składa się z dwóch gwiazd oddalonych od siebie o około 700 tys. km, to jest tyle, ile w przybliżeniu wynosi promień Słońca ( $1 R_{\odot} = 696$  tys. km). Gwiazda gorętsza, o temperaturze powierzchniowej 40000 K, jest białym karłem, druga zaś — chłodna ( $T < 4500$  K) — świeci głównie światłem odbitym i przypomina „gwiazdę”, która na skutek zbyt małej masy nigdy nie spalała wodoru w centrum (będziemy ją nazywać zdegenerowanym obiektem gwiazdopodobnym). Jeśli składnik gorętszy — oświetlający — ma masę równą  $0,3 M_{\odot}$  ( $1 M_{\odot} = 1,991 \cdot 10^{30}$  kg), to masa gwiazdy drugiej wynosiłaby około  $0,048 M_{\odot}$ , a więc byłaby dużo mniejsza od tej ( $0,085 M_{\odot}$ ), którą musi mieć gwiazda, aby spalać wodór w jądrze. Głównym źródłem energii wypromieniowywanej z wnętrza takiej „gwiazdy” byłaby więc energia kontrakcji grawitacyjnej. Chcąc uzyskać odpowiedź na pytanie, czy przodkiem małowymowej gwiazdy ( $0,048 M_{\odot}$ ) była planeta typu jowiszowego, trzeba wyjaśnić dwa problemy: — w jaki sposób planeta (masa Jowisza  $\approx 0,001 M_{\odot}$ ) zwiększyła swoją masę kilkadziesiąt razy, — jaki mechanizm spowodował, że planeta początkowo oddalona o kilkaset promieni słonecznych (odległość Jowisza od Słońca wynosi około  $1120 R_{\odot}$ ) znalazła się tak blisko gwiazdy centralnej tworząc ciasny układ podwójny.

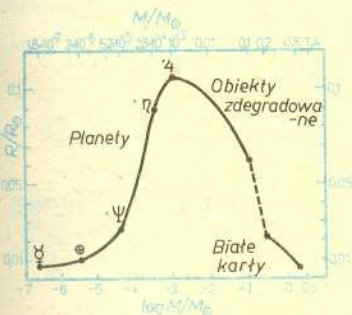
Wyjaśniając te ciekawe problemy podajemy na wstępie definicję planety. Tradycyjna definicja mówi, że planeta to ciało niebieskie o średnicy większej niż 1000 km, obiegające gwiazdę po orbicie zamkniętej i nie mające własnych źródeł energii promienistej. Dla lepszego uzmysłowienia sobie różnic między planetą a gwiazdą pokazana została zależność masy od promienia dla różnych ciał niebieskich o małych masach i promieniach. Analizując rysunek 2 widzimy, że wszystkie znane planety układają się na rosnącej gałęzi zależności  $R(M)$ , po lewej stronie maksimum, a gwiazdopodobne obiekty zdegenerowane (masy  $0,007 M_{\odot} < M < 0,085 M_{\odot}$ ) i białe karły — po prawej. Masa Jowisza wydaje się być bliska pewnej masy krytycznej, po przekroczeniu której ciała niebieskie zaczynają kurczyć się.

Sądźmy, że gdyby na Jowisza zaczęła spadać materia, to powinien on przesunąć się na wykresie w kierunku większych mas (kierunek ten zaznaczony jest na rys. 2 strzałką), co oznaczałoby kurczenie się, wzrost gęstości i temperatury w centrum. Obiekt taki stawałby się coraz bardziej podobny do gwiazdopodobnych obiektów zdegenerowanych. Jest oczywiste, że dostarczycielem materii opadającej na planetę musi być gwiazda centralna, a ponadto musi ona to robić efektywnie.

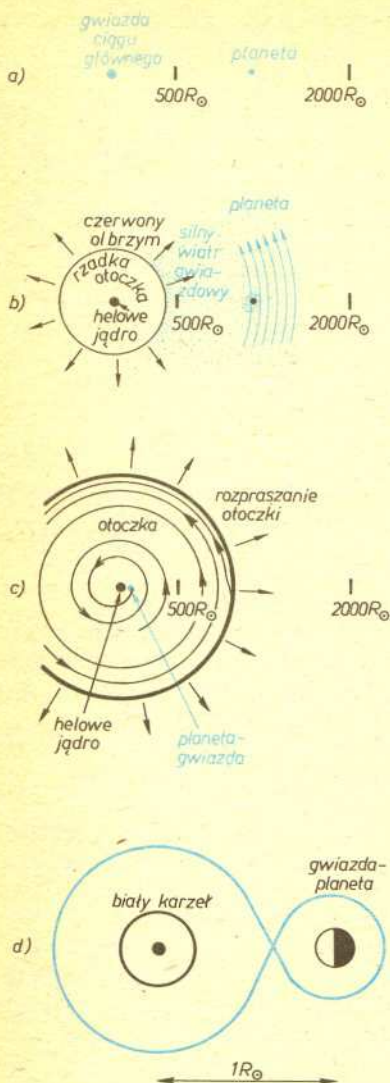
W czasie życia gwiazdy procesy utraty materii zachodzą z różną intensywnością. W początkowej fazie, gdy gwiazda powstaje, mamy do czynienia ze spadkiem (a nie wypływem!) materii (z obłoku materii międzygwiazdowej) na kurczącą się protogwiazdę. Gdy gwiazda spala wodór w centrum, czyli jest tzw. gwiazdą ciągu głównego, wypływ materii odbywa się w postaci wiatru — lecz jest raczej mało efektywny. Po wypaleniu wodoru powstałe w centrum jądro helowe kurczy się, a otoczka ekspanduje osiągając niebywałe rozmiary. Gwiazda taka zwana jest



Rys. 1. Układ *AA Dor* przy zachowaniu skali. Linia przerywaną zaznaczona jest powierzchnia Roche'a. Gwiazda mniej masywna jest ogrzana z jednej strony, co schematycznie zaznaczone jest kolorem białym.



Rys. 2. Zależność masy od promienia dla ciał niebieskich o małych promieniach i masach. Symbole oznaczają kolejno: Merkurego, Ziemię, Neptuna, Saturna i Jowisza. Obiekty zdegenerowane to obiekty gwiazdowe, które na skutek zbyt małej masy ( $0,001$  do  $0,08 M_{\odot}$ ) nigdy nie zapaliły wodoru w centrum i zmniejszały swój promień do momentu, gdy ciśnienie zdegenerowanych elektronów zahamowało kontrakcję. Białe karły zaznaczono dla mas  $0,2$  do  $1,4 M_{\odot}$ . W skali rysunku gwiazdy neutronowe znajdują się prawie na osi poziomej w okolicy białych karłów.



Rys. 3. Cztery kadry historii z przemiany planety w gwiazdę:

- a) gwiazda centralna — gwiazdą ciągu głównego, planeta krąży po orbicie w odległości między 500 a 2000  $R_{\odot}$ ,
  - b) gwiazda centralna staje się czerwonym olbrzymem, z którego zachodzi silny wypływ materii. Planeta zwiększa swoją masę zbliżając się po spirali do powierzchni czerwonego olbrzyma,
  - c) gwiazda-planeta zanurzyła się w otoczkę czerwonego olbrzyma i zaczyna po torze spiralnym zbliżać się do helowego jądra,
  - d) układ podwójny w stanie obecnym po rozprężeniu otoczki czerwonego olbrzyma.
- Skala 1000 razy większa niż na rys. a, b, c.

czerwonym olbrzymem. Stosunek gęstości jądra i otoczki jest w czerwonym olbrzymie taki sam, jak łożu i jonosfery (warstwy położonej 100 km nad Ziemią). W czerwonych olbrzymach prędkość ucieczki z powierzchni gwiazdy jest znikoma (w porównaniu z gwiazdami ciągu głównego), a więc wypływ materii jest bardzo silny — może unieść w sumie nawet kilkadziesiąt procent masy gwiazdy. Gwiazda mająca niezbyt dużą masę początkową na skutek wypływu może stracić całą otoczkę i po wypaleniu helu nie zapali następnego pierwiastka (węgla), a stanie się białym karłem (małą, bardzo gęstą gwiazdą). Po tym, co powiedziano wyżej, wnioskujemy, że odpowiednim dostarczycielem materii dla efektywnego zwiększania masy planety będzie czerwony olbrzym.

Pozostaje jeszcze jedna istotna sprawa: jak daleko od powierzchni gwiazdy ciągu głównego musi znajdować się planeta? Planeta położona w odległości większej niż 2000  $R_{\odot}$  zbiera zbyt mało materii z rzadkiego już wiatru gwiazdowego. W momencie, gdy znajdzie się w otoczce czerwonego olbrzyma, ma zbyt małą temperaturę i gęstość w centrum, aby przetrwać ten kataklizm. Położona zbyt blisko (odległość  $< 500 R_{\odot}$ ) ma za mało czasu, aby zwiększyć swoją masę kilkadziesiąt razy. Czas opadania materii jest tu ograniczony tempem ewolucji czerwonego olbrzyma, który bardzo szybko zwiększa swój promień, ogarniając i „rozpuszczając” w otoczce planetę. Przekładając to na język odległości w Układzie Słonecznym planeta — kandydat na gwiazdę — powinna znajdować się między pasem planetoid a orbitą Saturna. Wydaje się więc prawdopodobne, że jedynie Jowisz ma szansę stać się „gwiazdą” i utworzyć w przyszłości ciasny, małowymasywny układ podwójny z białym karłem powstałym jako rezultat ewolucji naszego Słońca. Wszystkie bliższe planety rozplną się w otoczce Słońca — czerwonego olbrzyma. Niejakim pocieszeniem dla nas niech będzie fakt, że może się to stać dopiero za kilka miliardów lat.

Wyobraźmy sobie teraz konkretną sytuację, gdy planeta typu jowiszowego jest oddalona o około 900  $R_{\odot}$  od gwiazdy centralnej (rys. 3a). Gwiazda ta ewoluuje tak, jak to opisaliśmy wyżej i gdy staje się czerwonym olbrzymem, zaczyna się silny wypływ materii z jej powierzchni. Część tej materii opada na planetę, która zwiększając masę przybliża się (rys. 3b) do rozdymającej się coraz bardziej gwiazdy centralnej. Trwa to około miliona lat. W tym czasie planeta zmienia się w gwiazdopodobny obiekt zdegenerowany i wchodzi w otoczkę czerwonego olbrzyma (rys. 3c). Oddając swoją energię otoczce zaczyna spadać po spirali ku gęstemu helowemu jądro. Gdy energia całkowita układu złożonego z helowego jądra i zdegenerowanego obiektu gwiazdopodobnego staje się porównywalna z energią wewnętrzną otoczki gwiazdy — zewnętrzne warstwy ulegają rozproszeniu. Pojawia się ciasny, małowymasywny układ podwójny (rys. 3d) złożony z białego karła i gwiazdopodobnego obiektu zdegenerowanego.

Przedstawiony wyżej schemat ewolucyjny może tłumaczyć powstanie takiego układu jak *AA Dor*. Uczciwie trzeba jednak powiedzieć, że nie jest to jedyne możliwe wytłumaczenie. Inne, konkurencyjne różni się tylko tym, że zamiast planety rozważa się od samego początku małowymasywny obiekt gwiazdopodobny, który analogicznie spada po spirali w otoczce czerwonego olbrzyma dając w rezultacie układ podwójny podobny do *AA Dor*.

Czy udało nam się odpowiedzieć na tytułowe pytanie? Sądzę, że tak i jest to odpowiedź twierdząca. Trzeba jednak zaznaczyć, że są to jedynie hipotezy naukowe, które w miarę wzrostu ilości materiału obserwacyjnego i naszej wiedzy teoretycznej zostaną zmodyfikowane lub nawet zmienione. Dzisiaj możemy je traktować jako ciekawostki godne rozważenia.

#### Rozwiązanie do artykułu „Komputery i liczby”

Oznaczmy przez  $\oplus$  działanie wykonywane przez nowy sumator. Załóżmy, że dodawanie liczb  $x_1$  i  $x_2$  nie powoduje przepelnienia.

Zauważmy, że dla  $x \leq 0$  mamy  $r_2(x) = 2^4 - 1 - |x|$  (gdz  $2^4 - 1 = 1111$  i  $|x|_B + |x|_B = 1111$ ).

1.  $x_1 \geq 0, x_2 \geq 0$   
 $r_2(x_1) \oplus r_2(x_2) = r_2(x_1 + x_2)$ ,
2.  $x_1 < 0, x_2 < 0$   
 $r_2(x_1) \oplus r_2(x_2) =$

$$= 2^4 - 1 - |x_1| + 2^4 - 1 - |x_2| + 1 = 2^5 - |x_1 + x_2| - 1 = r_2(x_1 + x_2).$$

(Zauważmy, że  $2^4 - |x_1 + x_2| - 1$  i  $2^5 - |x_1 + x_2| - 1 = 2^4 + 2^4 - |x_1 + x_2| - 1$  mają ten sam zapis. Nie widzimy jedynki stojącej na miejscu 4, gdyż takiego miejsca nie ma.)

$$3. x_1 < 0, x_2 \geq 0, |x_1| \leq |x_2|$$

$$r_2(x_1) \oplus r_2(x_2) = 2^4 - |x_1| - 1 + x_2 + 1 = 2^4 + |x_2| - |x_1| = r_2(x_1 + x_2),$$

$$4. x_1 < 0, x_2 \geq 0, |x_1| > |x_2|$$

$$r_2(x_1) \oplus r_2(x_2) = 2^4 - |x_1| - 1 + |x_2| = 2^4 - |x_1 + x_2| - 1 = r_2(x_1 + x_2).$$



#### Rozwiązanie zadania F 173. We wzorze $Q =$

$= \frac{U^2}{R}$  wielkość  $U$  to spadek potencjału wzdłuż przewodów linii przesyłowej. Jest on znikomo mały w porównaniu z różnicą potencjałów na wtórnym uzwojeniu transformatora podwyższającego napięcie i maleje ze zmniejszaniem się natężenia prądu.