

Co można znaleźć nie dalej niż 5 pc od Słońca?



Rozwiązanie zadania F 663.

Ze wzoru na zasięg rzutu ukośnego pod kątem 45° dostajemy prędkość wylotową wody $v = \sqrt{gs}$. W czasie Δt z pompy wypływa $\mu\Delta t$ objętości wody o energii kinetycznej $\frac{\mu v^2}{2} \Delta t$. Moc pompy wynosi wobec tego co najmniej $P = \frac{\mu g s^2}{2}$.



Rozwiązanie zadania F 664.

Z każdego końca zraszacz wypływa strumień wody o natężeniu $\frac{\mu}{2}$. Z równania ciągłości przepływu obliczamy prędkość wylotową wody liczoną względem obracającego się zraszacza: $v_1 = \frac{2\mu}{\pi d^2}$. Prędkość względem nieruchomego obserwatora wynosi więc $v_2 = v_1 - \omega R$. W czasie Δt zraszacz opuszcza wodę o momencie pędu $\Delta J = \rho\mu R v_2 \Delta t$, a więc z zasady zachowania momentu pędu moment siły działający na zraszacz wynosi

$$\tau = \frac{\Delta J}{\Delta t} = \frac{2\rho\mu^2 R}{\pi d^2} - \rho\mu\omega R^2.$$

Ponieważ zraszacz obraca się ze stałą prędkością kątową, moment siły oporu jest również równy τ .

Marcin KIRAGA*

Słońce wraz z otaczającymi je planetami znajduje się blisko płaszczyzny dysku galaktycznego, w odległości około 8 kpc od centrum Galaktyki. W naszym sąsiedztwie spotykamy gwiazdy, które powstały w różnych miejscach i w różnym czasie. To, co je łączy, to obecne położenie w przestrzeni i możliwość dość dokładnego wyznaczenia ich parametrów. Blisko nas możemy dostrzec również obiekty o bardzo małej jasności, takie jak małowasywne czerwone karły, brązowe karły, stare białe karły, co może pomóc w ocenie, jaka jest ich prawdziwa gęstość w przestrzeni i na ile są niekompletne ich spisy na większych odległościach od Słońca.

Na początku 2005 roku listę gwiazd znajdujących się bliżej niż 5 pc otwierało Słońce i znajdowało się na niej jeszcze 49 układów gwiazdowych. Objętość kuli o takim promieniu wynosi blisko 524 pc^3 . Jak widać, w naszym otoczeniu jeden układ gwiazdowy przypada na ponad 10 pc^3 . Piszę o układach gwiazd, gdyż część gwiazd znajduje się w układach podwójnych, potrójnych, a nawet składających się z większej liczby składników. Do 50 interesujących nas układów należy 35 gwiazd pojedynczych, 10 podwójnych i 5 potrójnych, zawierających w sumie 70 obiektów. Spośród nich większość stanowią gwiazdy ciągu głównego: 1 gwiazda typu widmowego A (Syriusz A), 1 typu F (Procyon A), 3 typu G (Słońce, α Cen, τ Cet), 7 typu K i 46 gwiazd typu widmowego M. Oprócz tego 5 składników ciasnych układów podwójnych ma najprawdopodobniej typ widmowy M, lecz ze względu na małą odległość między składnikami nie były badane osobno, lecz razem z towarzyszem. W odległości do 5 pc nie ma żadnego olbrzyma, za to znamy 5 białych karłów – obiektów, które już zakończyły swoją ewolucję gwiazdową. Mamy też parę brązowych karłów, które ze względu na zbyt małą masę nie mają możliwości zamiany wodoru w hel poprzez reakcje termojądrowe.

* Obserwatorium Astronomiczne Uniwersytetu Warszawskiego

Najjaśniejszą spośród tych gwiazd i zarazem najjaśniejszą gwiazdą nocnego nieba jest obecnie główny składnik Syriusza (Syriusz A), ponad 20 razy jaśniejszy od Słońca. Oprócz niego jaśniejsze od Słońca są: Procyon A (około 7 razy) i α Cen (1,5 razy). W odległości minimalnie przewyższającej założone 5 pc znajduje się jeszcze Altair, który jest kilkanaście razy od Słońca jaśniejszy. Jak widać, w naszym sąsiedztwie (i nie tylko) większość gwiazd ma jasności mniejsze niż Słońce.

Większość z naszych sąsiadów to gwiazdy I populacji, związane z dyskiem Galaktyki, powstałe z materii, w której pierwiastki cięższe od helu (tzw. metale) stanowią już około jednej setnej masy. Gwiazdy II populacji, o mniejszej zawartości metali i niezwiązane z dyskiem Galaktyki, a wchodzące w skład jej sferoidu, stanowią rzadkość w naszym otoczeniu. Patrząc na skład chemiczny i dynamikę sąsiednich gwiazd, można wyróżnić tylko jeden obiekt II populacji. Jest to odległa o 4 pc gwiazda GJ 191 zwana Gwiazdą Kapteyna. Zawiera ona kilkadziesiąt razy mniej metali niż Słońce i jest zapewne najstarszą z sąsiednich gwiazd. Gwiazda Barnarda, u której obserwujemy największy ruch własny ($10''/4$ na rok) zaliczana jest do populacji pośredniej.

Do gwiazd, które w ostatnim czasie szczególnie zwracały uwagę astronomów, należy układ α Cen.

U obu składników obiegających się z okresem 80 lat udało się zaobserwować pulsacje analogiczne do pulsacji słonecznych. Dzięki znajomości masy składników, obserwacjom ich ruchu orbitalnego, dokładnie wyznaczonej odległości, jasności i danym astrosejsmologicznym udało się stwierdzić, że gwiazdy te liczą najprawdopodobniej 6,5 mld lat. Są więc od Słońca starsze, ale w materii, z której powstały, zawartość masowa metali była prawie dwa razy większa niż w materii słonecznej. Tak więc dla zawartości metali istotne jest nie tylko kiedy, ale i gdzie dana gwiazda powstała. Obserwacje astrosejsmologiczne zostały wykonane również dla Procyona A. Ta gwiazda, która wraz z towarzyszącym jej białym karłem obiega wspólny środek masy w ciągu 40 lat, ma około 2,5 mld lat.

Znajdujący się w odległości około 13 000 j.a. od α Cen czerwony karzeł *Proxima* Cen jest obecnie (jak nazwa wskazuje) najbliższym sąsiadem Słońca. Duża odległość między α Cen i Proximą uniemożliwia wyznaczenie ich wzajemnego ruchu orbitalnego. Nie istnieją nawet obserwacje, które definitywnie dowodziłyby, że Proxima jest grawitacyjnie związana z α Cen (choć zapewne jest). Aby tak było, prędkość radialna Proximy może się różnić od prędkości radialnej środka masy układu α Cen najwyżej o 500 m/s, natomiast obecnie podawany błąd wartości jej prędkości radialnej jest rzędu 1 km/s.

Obserwacje pobliskich czerwonych karłów należących do układów podwójnych pozwalają na dokładne pomiary mas tych najliczniej występujących, ale wciąż jeszcze stosunkowo mało poznanych gwiazd. Szczególnie interesujący okazał się potrójny układ GL 866.

Składniki A i C obiegają się raz na 3,8 doby, natomiast okres orbitalny składników A, C i B wynosi 823 doby. Dowodzi to, że masy składników A, B i C wynoszą odpowiednio 0,12, 0,12 i 0,10 masy Słońca, co stanowi dość cenne uzupełnienie wiadomości o masach i jasnościach najmniej masywnych gwiazd.

O ile czerwone karły nie powinny ulec zmianom ewolucyjnym przez najbliższe miliardy lat, to białe karły są pozostałościami po gwiazdach dużo masywniejszych i dużo szybciej kończących ewolucję. Najbardziej znanym z nich jest Syriusz B. Ma masę równą masie Słońca, a rozmiary podobne do rozmiarów Ziemi. Jest on również najgorętszym spośród obiektów w naszym otoczeniu. Jego temperatura efektywna wynosi blisko 25 000 K. Wiek układu Syriusza, w którym składniki obiegają się raz na 50 lat, jest szacowany na około 250 mln lat. Obecny Syriusz B był, jak można się domyślać, głównym składnikiem o początkowej masie około 5 mas Słońca i początkowej jasności 20 razy większej niż obecna jasność Syriusza A. Przejście przez wszystkie fazy gwiazdowej ewolucji zajęło mu około 120 mln lat i od około 120 mln lat stygnie jako biały karzeł, zmniejszając swoją jasność i temperaturę do obecnych wartości. Pozostałe cztery białe karły są już starsze i mniej masywne. Są to: Procyon B, jeden ze składników układu potrójnego 40 Eri (40 Eri B) oraz dwa pojedyncze białe karły: GJ 35 (Gwiazda van Maanena) i GJ 440.

Do 70 obiektów gwiazdowych, o których wspomiałem powyżej, zaliczyłem również dwa brązowe karły, tworzące bardzo interesujący układ podwójny związany z gwiazdą ϵ Indi, znajdujący się w odległości 3,6 pc. Są one w odległości kątowej 402'' od głównego składnika, a więc odległość między nimi a widoczną gołym okiem gwiazdą typu widmowego K5 wynosi przynajmniej 1450 j.a. Ich masy zostały na razie oszacowane przez porównanie modeli stygnięcia brązowych karłów z obserwowaną jasnością i cechami spektroskopowymi. Należą one do typu widmowego T, który został wprowadzony dla brązowych karłów i charakteryzuje się obecnością linii widmowych pary wodnej i metanu. Wiek ich jest szacowany na od jednego do dwóch miliardów lat i oba składniki mają bardzo niskie temperatury efektywne, równe około 1300 i 900 K przy masach odpowiednio około 50 i 30 mas Jowisza (odpowiednio dla jaśniejszego i słabszego składnika). Ze względu na to mogą być obserwowane praktycznie tylko w podczerwieni. Układ ten jest bardzo interesujący ze względu na możliwość wyznaczenia masy brązowych karłów z trzeciego prawa Keplera. W sierpniu 2003 r. odległość kątowa między brązowymi karłami wynosiła 0''732, czyli co najmniej 2,6 j.a. Na dokładne określenie ich orbity trzeba będzie jeszcze poczekać przynajmniej

kilka lat. Bardzo ciekawe będzie jednak porównanie wartości mas składników układu wynikających z dynamiki i mas otrzymanych z modeli stygnięcia brązowych karłów.

Oprócz Słońca przynajmniej dwie z najbliższych nam gwiazd (najprawdopodobniej) mają planety. Stwierdzono to na podstawie bardzo dokładnych pomiarów zmian prędkości radialnych gwiazd. Bardzo interesujący jest układ planetarny gwiazdy GJ 876, znajdujący się w odległości 4,7 pc. Gwiazda macierzysta jest niewidocznym gołym okiem (jej wizualna jasność wynosi 10,2 mag) karłem typu widmowego M3, o masie około 0,3 masy Słońca. Obecnie znamy trzy obiegające ją planety; ich okresy obiegu wynoszą 1,94, 30,1 oraz 60,9 doby. Minimalne ich masy to 0,023, 0,56 i 1,94 masy Jowisza. Jeżeli porównamy ten układ z Układem Słonecznym, to wszystkie te trzy planety znajdują się w odległości od gwiazdy mniejszej niż Merkury od Słońca. Planeta zewnętrzna ma orbitę o niedużej eliptyczności, o wielkiej półosi 0,2 j.a., natomiast planeta środkowa zmienia swoją odległość od gwiazdy w zakresie od 0,09 do 0,16 j.a. Aż dziwne, że ten układ jeszcze istnieje!

Obecność planety przy ϵ Eridani u niektórych astronomów budzi wątpliwości, gdyż aktywność chromosferyczna tej gwiazdy może być przyczyną zmian w liniach widmowych, które to zmiany mogą być interpretowane jako obecność planety. Na razie jednak w wykazach planet odkrytych poza Układem Słonecznym występuje ϵ Eridani b, której okres orbitalny wynosi blisko siedem lat, minimalna masa jest równa 0,9 masy Jowisza, a mimośród orbity jest rzędu 0,5. Ponadto ϵ Eridani otoczona jest masywnym dyskiem pyłowym, którego obecność może świadczyć o licznych zderzeniach zachodzących między planetoidami, a przyczyną jego obserwowanych deformacji może być obecność jeszcze jednej, bardziej odległej i mniej masywnej planety.

Na zakończenie warto zwrócić uwagę, że za kilkaset tysięcy lat Słońce będzie miało już innych sąsiadów w swej wędrowce wokół centrum Galaktyki. Za około 27 000 lat Proxima Cen i α Cen osiągną najmniejszą odległość od Słońca – znajdują się wtedy w odległości niecałego parseka. Na bliższe spotkanie Słońca ze znaną obecnie gwiazdą trzeba będzie poczekać ponad milion lat. Za 1,4 mln lat gwiazda GL 710 zbliży się do nas na odległość jednego roku świetlnego. Należy jednak wziąć pod uwagę, że gwiazda ta jest teraz odległa o 20 pc. W promieniu 20 pc od nas jest wciąż wiele nieodkrytych jeszcze słabo świecących gwiazd, które w przyszłości mogą być naszymi bliskimi sąsiadami.

Listę 100 najbliższych gwiazd można znaleźć pod adresem:
<http://joy.chara.gsu.edu/RECONS/TOP100.htm>,
a znacznie więcej informacji o wybranych gwiazdach na stronie:
<http://www.solstation.com/index.html>.