

fizyka gwiazd i galaktyk

lista 5

1. Białe karły możemy modelować jako gęste obiekty złożone z jonów i zdegenerowanego gazu elektronowego otoczone przez cienką otoczkę w której jony i elektrony mają własności gazu doskonałego. Moc promieniowania L białego karła jest określona przez promienisty transport energii z izotermicznego jądra do otoczki. Zakładając, że współczynnik nieprzezroczystości jest opisany równaniem Kremiera $\kappa = \kappa_0 \rho T^{-3.5}$, gdzie $\kappa_0 = 4.34 \cdot 10^{19} \text{ m}^2 \text{ kg}^{-1}$, wyprowadź zależność ciśnienia od temperatury w otoczce dla zadanej jasności i masy białego karła.
2. Przyjmij następującą zależność pomiędzy temperaturą jądra białego karła T_i i jego mocą promieniowania L :

$$\frac{L}{L_{\text{sun}}} = \left(\frac{T_i}{7 \cdot 10^7 \text{ K}} \right)^{7/2} \frac{M}{M_{\text{sun}}}$$

Założ, że materia białego karła składa się głównie z jonów węgla. Jony te pozostają w stanie zbliżonym do gazu doskonałego (w przeciwieństwie do zdegenerowanego gazu elektronowego), a więc ich energia wewnętrzna wynosi $E = \frac{3}{2} NkT$. Jaki jest spadek temperatury T_i w ciągu roku spowodowany emisją promieniowania z powierzchni białego karła. Policz tę wartość dla $T_i = 7 \times 10^7 \text{ K}$.

3. Korzystając z rozwiązania poprzedniego zadania wyprowadź wzór na czas potrzebny do schłodzenia jądra białego karła do zadanej temperatury. Oblicz ile będzie trwało schłodzenie jądra do temperatury $T_i = 7 \times 10^6 \text{ K}$.
4. Porównaj modelowe ciągi ewolucyjne białych karłów o różnych masach i atmosferach. Omów możliwości wyznaczania odległości i wieku gromad gwiazdowych na podstawie obserwacyjnego wyznaczenia ciągu chłodzenia białych karłów na diagramie H-R. Pliki z modelami są do pobrania ze strony ćwiczeń FGG. Pliki dla masy $0.5 M_{\text{sun}}$ (Table_Mass_0.5*.dat, otoczka wodorowa (H) lub helowa (He)) i masy $1.0 M_{\text{sun}}$ (Table_Mass_1.0*.dat otoczka wodorowa (H) lub helowa (He)) zawierają temperaturę efektywną, logarytm przyspieszenia grawitacyjnego na powierzchni, jasności absolutne w poszczególnych pasmach oraz barwy. W ostatniej kolumnie podany jest wiek w latach. Do sporządzenia wykresów użyj np. pasm V i B-V.
5. Okres orbitalny układu SMC X-1 wynosi 3.892 dnia. Rozmiar orbity pulsara względem barycentrum wynosi 53.46 sekund świetlnych ($a \cdot \sin i$). Obserwacje spektroskopowe gwiazdowego towarzysza pozwoliły oszacować jego masę na $15 M_{\text{sun}}$ oraz amplitudę zmian prędkości radialnej na 19 km/s. Oblicz masę pulsara.
6. Gwiazda neutronowa nie może obracać się dowolnie szybko. Zakładając masę M i promień R pokaż, że minimalny okres rotacji (odpowiadający prędkości krytycznej na powierzchni) można wyrazić wzorem:

$$P_{\text{min}} = K \left(\frac{1.4 M_{\text{sun}}}{M} \right)^{1/2} \left(\frac{R}{10 \text{ km}} \right)^{3/2} [\text{s}]$$

gdzie K jest stałą. Oblicz wartość K zakładając przybliżenie newtonowskie oraz pomijając deformację gwiazdy neutronowej.

7. Pokaż, że dla białych karłów spełniona jest zależność $R \propto M^{-1/3}$.
8. Wyznacz średnią gęstość pulsara o okresie rotacji 2 ms. Wynik skomentuj.
9. Okres rotacji pulsara Kraba zwiększa się w tempie 10^{-5} s/rok . Sprawdź czy świecenie Mgławicy Krab ($L \approx 10^{31} \text{ W}$) można wytłumaczyć energią kinetyczną pulsara. Jak energia rotacji tego pulsara może być zamieniona na promieniowanie Mgławicy Krab.
10. Prędkość dźwięku, podana wyrażeniem $c_s = (5P/3\rho)^{1/2}$ dla gazu nierelatywistycznego (P – ciśnienie, ρ – gęstość), określa czas trwania jednego pulsu gwiazdy. Wyznacz c_s i okres pulsacji ($\approx R/c_s$) jako

funkcję masy (w masach Słońca) dla nierelatywistycznego białego karła. Równanie stanu $P \approx 3.2 \cdot 10^6 \rho^{5/3}$ w układzie SI. Jak otrzymane skale czasowe mają się do okresów pulsacji najszybszych pulsarów? Czy pulsary mogłyby być pulsującymi białymi karłami?

11. Dla pulsara o masie $1.5 M_{\odot}$, promieniu 10 km i okresie rotacji 0.033 s zaobserwowano skokowe zmiany tego okresu wynoszące 0.0003 s. Jeśli zmiany te byłyby wynikiem pulsacji radialnych pulsara, to jak duże musiałyby być zmiany promienia podczas tych pulsów.