Gwiazdy – obserwacje a teoria

Wykład 3. 20.X.2009

Przypomnienie: Kontynuowaliśmy §4 "Gwiazdy wizualnie podwójne z orbitą względną i krzywymi prędkości radialnych obu składników (SB2)"rozdz. II "Masy gwiazd". Przypomniałem podstawowe wiadomości o spektrografach i klasyczne metody wyznaczania prędkości radialnych gawiazd, tj. z fotograficznych spektrogramów z widmem porównawczym (np. widmem łuku elektrycznego) naświetlonym po obu stronach widma gwiazdy. Następnie przedstawiłem krzywe prędkości radialnych układów SB2 β Aur i ϑ Aql i przypomniałem, jakie wielkości można wyznaczyć z tych krzywych. Jako przykład układu zdefiniowanego w tytule paragrafu omówiliśmy α Vir. Okazało się, że masy składników tego układu zostały wyznaczone z błędem ok. 10 %. Ostatnia liczba jest określona w pierwszym rzędzie przez błędy półzakresów krzywych prędkości radialnych K_1 i K_2 (patrz dyskusja w pracy Herbison-Evans et al. 1971).

Zacząłem omawiać metodę jodowej komory absorpcyjnej, w której pozorne przesunięcia dopplerowskie są takie same dla widma gwiazdowego i porównawczego widma absorpcyjnego I_2, nałożonego na widmo gwiazdowe.

II. Masy gwiazd (c.d.)

4. Gwiazdy wizualnie podwójne z orbitą względną i krzywymi prędkości radialnych obu składników (dok.)

- Prędkości radialne z jodową komorą absorpcyjną (dok.)
  - Pozorne przesunięcia dopplerowskie (przypomnienie).
  - Spektrograf z komorą absorpcyjną, zawierającą I_2 (przypomnienie).
  - Obserwacje i redukcje:

$$I_{\rm obs} = k[I_{\rm s}(\lambda + \Delta\lambda_{\rm s})T_{\rm I_2}(\lambda + \Delta\lambda_{\rm I_2})] \otimes PSF, \tag{9}$$

$I_{\rm obs}$ jest widmem z komorą absorpcyjną, $I_{\rm s}$ - prawdziwym widmem gwiazdy, $T_{\rm I_2}$ - prawdziwą funkcją transmisji I_2, a PSF - profilem aparaturowym spektrografu; $\Delta\lambda_{\rm s}$ jest sumą prawdziwego przesunięcia dopplerowskiego gwiazdy i przesunięcia pozornego, a $\Delta\lambda_{\rm I_2}$ jest pozornym przesunięciem dopplerowskim widma I_2.

Prawdziwe przesunięcie dopplerowskie gwiazdy to po prostu

$$\Delta\lambda = \Delta\lambda_{\rm s} - \Delta\lambda_{\rm I_2}. \tag{10}$$

  - PSF.
  - Dokładność: 50 m/s dla gwiazdy o jasności $V = 12$ przy ekspozycji 1-godzinnej z teleskopem 3-metrowym (Marcy & Butler 1992).

- Metoda nadaje się do mierzenia zmian prędkości radialnych układów SB1, np. gwiazda typu M plus brązowy karzeł albo masywna planeta.
- Innym ważnym zastosowaniem metody jest pomiar prędkości radialnych cefeid.

- Modyfikacja, która pozwala zastosować metodę do układów SB2 (Konacki 2005).

  Przykład (Boden et al. 1999, Konacki 2005): 64 Piscium = HD 4676 = HR 225 ($V = 5.07$, $B - V = 0.51$, F8 V), $P = 13.8244906$ d.

- Uwaga: W omawianym przypadku, podobnie jak w przypadku α Vir, można wyznaczyć odległość układu (por. Konacki 2005, Table 2). O metodach wyznaczania odległości gwiazd będzie mowa w następnym rozdziale.

Zadanie 4: Konacki (2005) twierdzi: "The relative error in the masses ($\Delta M/M$) is dominated by the error in the orbital inclination, $3\Delta i \cos(i)/\sin(i) \approx 1.4\,\%$, but the errors in the velocity amplitudes also contribute." Sprawdzić to twierdzenie.

Zadanie 5: Czy β Aur i ϑ Aql są układami wizualnie (interferometrycznie) podwójnymi? Czy wyznaczono dla nich orbity względne i masy składników?

5. Gwiazdy wizualnie podwójne z orbitą względną, krzywą prędkości radialnych jednego składnika (SB1) i paralaksą

- Wielka półoś orbity względnej, a'', i paralaksa, p'', dają a [km]:

$$a = 1.496 \times 10^8 \, \frac{a''}{p''} \ \text{km}, \tag{11}$$

  a okres orbitalny, P, nachylenie, i, mimośród, e, i połowa zakresu prędkości radialnych, K_1, podstawione do rów. (6) i (7) dają a_1 i M_1. Z a_1 i a otrzymujemy a_2, a następnie K_2 i M_2 (rów. 8).

  Przykład (Aikman 1976, Pan et al. 1992): α And = HR 15 ($V = 2.06$, $B - V = -0.11$, B8 IVpMnHg), $P = 96.696$ d.

Zadanie 6*: Pan et al. (1992) wyznaczają parametry fizyczne składników α And, używając paralaksy trygonometrycznej zmierzonej przed misją satelity Hipparcos. Czy paralaksa Hipparcosa poprawiłaby wyniki tych autorów? Czy ktoś już opublikował wartości mas składników α And, wyznaczone przy użyciu paralaksy Hipparcosa?

6. Układy SB2 zaćmieniowe typu EA (SB2 & EA)

- Mówimy, że gwiazda jest układem typu EA, jeżeli z krzywej jasności można określić momenty pierwszego i czwartego kontaktu; jeżeli zaćmienie jest całkowite, to można także określić momenty drugiego i trzeciego kontaktu.
- Z tej definicji wynika, że układy EA są rozdzielone, a składniki są na tyle daleko od siebie, że nie są znacznie odkształcone, i że efekt odbicia nie występuje wcale lub jest niewielki.
- Jeżeli oba składniki takiego układu są gwiazdami ciągu głównego, to ich masy możemy uważać za reprezentatywne dla pojedynczych gwiazd ciągu głównego.
- Model Nelsona, Davisa i Etzela (Nelson i Davis 1972, Etzel 1981).
- Program EBOP (Eclipsing Binary Orbit Program, Etzel 1981).

  Przykład (Popper & Etzel 1981): BS Dra = HD 190020 ($V = 9.13$, $B - V = 0.44$, F5 V + F5 V); EA i SB2; $P = 3.36401$ d.
- Uwaga: W omawianym przypadku, tj. układów SB2 zaćmieniowych typu EA można wyznaczyć promienie składników (por. Popper & Etzel 1981, Table 8). Wyznaczaniu promieni gwiazd będzie poświęcony rozdz. IV.

Zadanie 7: Spektroskopowe elementy BS Dra można znaleźć w pracy Poppera (1971). Wyznaczyć masy składników układu z tych elementów i elementów fotometrycznych, wspomnianych w ostatnim przykładzie.

Zadanie 8: Istnieją układy, które pasowałyby do dwu lub więcej kategorii, określonych w §§ od 3 do 6. Znaleźć przykłady.

7. Katalogi gwiazd podwójnych i listy mas składników

- Gwiazy wizualnie podwójne: Washington Double Star Catalog (http://ad.usno.navy.mil/wds/wds.html, patrz też Wycoff et al. 2006)
- Gwiazdy spektroskopowo podwójne: Ninth Catalogue of Spectroscopic Binary Orbits (http://sb9.astro.ulb.ac.be)
- Wszystkie rodzaje gwiazd podwójnych: http://ad.usno.navy.mil/wds/dsl.html
- Masy i promienie składników układów SB2&EA: Andersen (1991), Lastennet & Valls-Gabaud (2002).