



## Dvojne zvijezde kao izvori znanja

*Ettore Tamajo<sup>1</sup>, Zagreb*

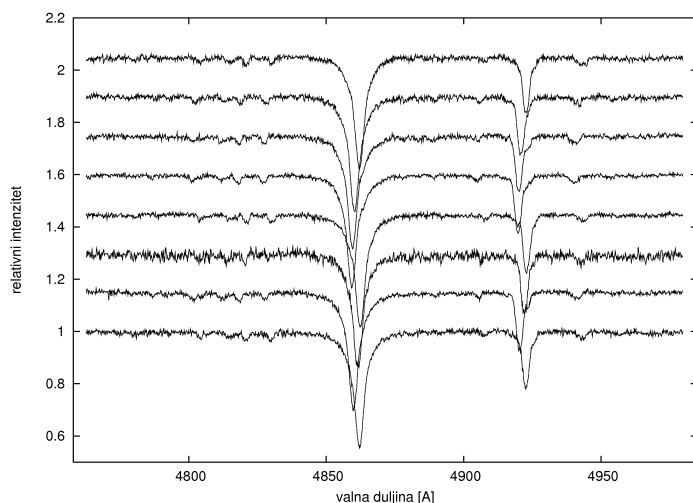
Fizika dvojnih zvijezda je znatno složenija od fizike jednostrukih zvijezda. Razlozi su prije svega gravitacijsko međudjelovanje, te međusobno zagrijavanje atmosfera zbog čega dolazi do narušavanja simetrije i potrebe za upotrebom znatno složenijih modela. Na duljoj vremenskoj skali evolucija komponente u bliskom dvojnog sustavu različita je od evolucije jednostruke zvijezde slične mase. Nadalje, u nekim fazama evolucije može doći do prijenosa zvjezdanog materijala s jedne komponente na drugu. No, usprkos njihovoj kompliciranosti, važno je naglasiti da su dvojni zvjezdani sustavi osnovni izvor fundamentalnih podataka o stanju i razvoju zvijezde pa ih je vrlo važno i vrijedno proučavati. Dvojni zvjezdani sustavi su dakle od fundamentalne važnosti za razumijevanje fizike zvijezda, pa time i svemira kao cjeline (npr. njihovim proučavanjem je moguće preciznije odrediti udaljenosti zvjezdanih skupova i galaksija u kojima se nalaze, što je iznimno važno za kozmologiju).

Od naročitog su interesa dvojne zvijezde u režimu pomrčina, kod kojih su snage zračenja komponentata sumjerljive. Režim pomrčina pretpostavlja dvojni zvjezdani sustav kod kojeg je inklinacija (nagib) orbite pod velikim kutom prema doglednici opažanja, pa su u svjetlosnoj krivulji jasno vidljivi i primarni i sekundarni minimum sjajnosti dvojnog sustava (koji su posljedica "pomračivanja" jedne zvijezde drugom). Simultanom analizom svjetlosnih krivulja i krivulja radijalnih brzina komponentata možemo izračunati polumjere, omjere luminoziteta te mase pojedinih komponentata dvojne zvijezde. Za dvojne zvijezde, polumjeri komponentata se mogu odrediti sa znatno većom točnošću od one koju postižemo kod jednostrukih zvijezda primjenom čak i najpreciznijih, interferometrijskih tehnika. Interferometar jest uređaj kojim se postiže visoka kutna razlučivost spajanjem dvaju ili više teleskopa kako bi radili poput jednog instrumenta – na taj je način moguće postići maksimalnu razlučivost zvjezdanih spektralnih linija. No i tako dobiveni rezultati za polumjere zvijezda manje su precizni od onih koji se mogu dobiti za svaku od komponentata analizom dvojnog sustava.

Metoda spektralnog raspletjavanja nova je i moćna tehnika koja omogućuje razdvajanje individualnih spektara komponentata iz vremenske serije složenih spektara dvojnog zvjezdanog sustava (Simon & Sturm, 1994, A&A, 281, 286). Rezultat te metode su orbitalni elementi sustava, te razdvojeni spektri komponentata s mnogo većim signalom prema šumu nego što je slučaj s pojedinim složenim spektrima dvojne zvijezde te orbitalni elementi. U postupku raspletjavanja složenih spektara, provodi se prilagodbeni postupak u kojem se, kriterijem metode najmanjih kvadrata, model nastoji približiti opaženim spektrima. Konačno rješenje daje spektre komponentata usaglašenih s parametrima orbite. Dobiveni se spektri mogu analizirati spektroskopskim analitičkim metodama kao spektri

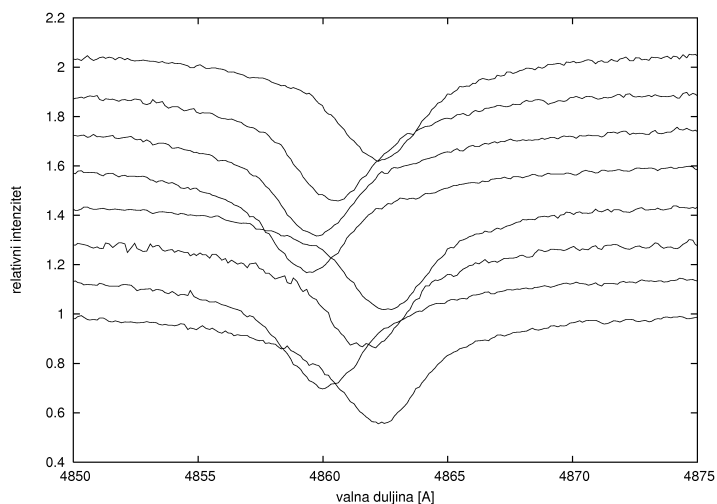
<sup>1</sup> Autor je asistent na katedri za astrofiziku Fizičkog odsjeka Prirodoslovno-matematičkog fakulteta, e-mail: etamajo@phy.hr.

pojedinačnih zvijezda, ali s velikom prednošću da se površinsko ubrzanje gravitacijske sile može direktno i vrlo precizno odrediti iz analize dvojnog sustava (u slučaju da je pomrčinski).



Slika 1. Vremenski niz opaženih složenih spektara

Slika 1. pokazuje složene spektre dvojnog zvjezdanog sustava snimljene u različitim orbitalnim fazama, pri čemu je sama orbita dvojnog zvjezdanog sustava ekscentrična. Dublja linija je Balmerova linija  $H_{\beta}$  na  $4861.332\text{\AA}$ , dok je druga linija  $HeI$  na valnoj duljini  $4921.931\text{\AA}$  (Balmerove linije su spektralne linije koje odgovaraju prijelazima elektrona između raznih atomskih orbitala, nalaze se u vidljivom i ultraljubičastom dijelu elektromagnetskog spektra).



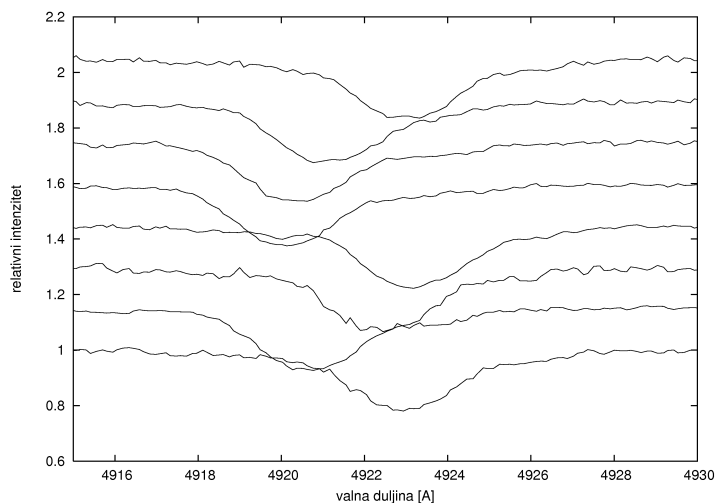
Slika 2.  $H_{\beta}$  linija kompozitnih složenih spektara

Poteškoća u analizi ovakvih složenih spektara jest u tome što je uz Dopplerovo pomicanje linija prisutna i rotacija zvijezde oko svoje osi, pa se spektralne linije i zbog toga šire. Dopplerov pomak zvjezdanog spektra koji nastaje uslijed udaljavanja ili približavanja zvijezde ne mijenja oblik spektralnih linija i prepoznatljiv je kao pomak spektralnih linija prema crvenom ili plavom dijelu spektra. Iznos tog pomaka mjeri brzinu kojom se zvijezda giba duž dogleđnice u odnosu na opažača i naziva se radijalna brzina zvijezde. Radijalna se brzina zvijezde može dobiti usporedbom mjenjenog spektra zvijezde i teorijskog spektra. Izraz koji nam omogućava izračunati radijalnu brzinu zvijezde jest nerelativistički izraz za Dopplerov pomak (brzine “običnih” zvijezda dosežu najviše nekoliko stotina km/ s).

$$V_{rad} = \frac{\lambda - \lambda_0}{\lambda_0} c$$

pri čemu je  $\lambda$  izmjerena valna duljina,  $\lambda_0$  teorijska valna duljina a  $c$  brzina svjetlosti.

Pri vlastitoj vrtnji zvijezde, neki njeni dijelovi se približavaju promatraču, a neki udaljavaju, pa to također mijenja oblik uočenih spektralnih linija. Jake linije postaju šire i poprimaju oblik rotacijskog profila, dok se slabe linije gube u kontinuumu. Tu pojavu zovemo rotacijskim širenjem spektra zvijezde. Na slici 1 je vidljivo kako zbog orbitalnog gibanja dvojnog sustava oko centra mase linije  $H_\beta$  i  $HeI$  ‘plešu’ lijevo-desno ovisno o vremenskom nizu spektra. Treba napomenuti i činjenicu da je slabije sjajna komponenta dvojnog sustava toliko manjeg svjetlosnog doprinosa, da se u složenom spektru ne može niti razabrati, a čemu doprinosi i širenje linija uslijed rotacije zvijezde. Slike 2 i 3 prikazuju pojavu Dopplerovog širenja linija  $H_\beta$  i  $HeI$  na finijim skalama valnih duljina.



Slika 3.  $HeI$  linija kompozitnih složenih spektara

**Zadatak.** Izračunajte radijalne brzine zvijezde iz izraza za nerelativistički Dopplerov pomak mjereći ravnalom valnu duljinu središta linija  $H_\beta$  i  $HeI$  na slici 2 i 3. Faze pojedinih spektara počev od najdonjeg imaju vrijednosti 0.640, 0.305, 0.550, 0.788, 0.189, 0.263, 0.351 i 0.664. Nakon izračuna radijalnih brzina nacrtajte graf ovisnosti  $V_{rad}$  o fazi na intervalu  $[0, 1]$ . O kakvoj se krivulji radi?