

# Dátová analýza, finále 16. ročníka Astronomickej olympiády (2022)

Jozef Lipták, Univerzita Karlova

Jednou zo základných oblastí astrofyziky je výzkum hviezd - stelárna astronómia. Na oblohe sa však hviezdy okrem Slnka javia ako bodové zdroje v neznámej vzdialenosti. Určenie hmotností, polomerov, či povrchových teplôt hviezd teda nie je ľahká úloha. Významným je preto pozorovanie dvojhviezd, ktoré nám umožňuje tieto parametre určiť a následne vytvoriť tabuľky pomocou ktorých môžeme odhadovať parametre iných hviezd.

V tejto úlohe sa budeme venovať fotometrickému pozorovaniu modelovej zákrytovej dvojhviezdy s obežnou periódou  $P = 10$  d. Počas riešenia predpokladajte sklon dráhy dvojhviezdy  $i = 90^\circ$ , teda že sa na sústavu pozeráme z miesta v jej obežnej rovine. Zanedbajte okrajové stemnenie disku hviezd, teda predpokladajte, že hviezdne disky majú konštantnú plošnú jasnosť. Záznam nameraných relatívnych svetelných tokov  $F_V$  vo fotometrickom kanále V ( $\lambda_V \approx 550$  nm) v okolí primárneho a sekundárneho minima v závislosti na čase danom v dňoch sa nachádza v tabuľke 1.

1. Vyneste graficky závislosť svetelného toku na čase. Povšimnite si, že v čase majú merania konštantný krok 0,012 d, ktorému môžete vhodne prispôbiť mierku grafu. Z grafu odčítajte: (40 + 8 · 5 b)

- $T_1, T_2$  časy stredu primárneho resp. sekundárneho minima,
- $\Delta t_1, \Delta t_2$  doby trvania prim. resp. sek. zákrytu (medzi prvým a štvrtým kontaktom),
- $\delta t_1, \delta t_2$  doby trvania úplnej fázy primárneho resp. sekundárneho zákrytu,
- $I_1, I_2$  relatívny svetelný tok v primárnom resp. sekundárnom minime

2. Z hĺbok zákrytov určte pomer polomerov zložiek  $R_2/R_1 < 1$  a ich povrchových jasností  $F_2/F_1$ . (30 b)
3. Je určená hodnota pomeru polomerov zložiek konzistentná s dobami úplného a čiastočného zákrytu primárneho minima? (15 b)
4. Určte excentricitu  $e$  a argument periastra  $\omega$  orbity sústavy pomocou nasledujúcich vzťahov

$$e \cos \omega = \sqrt{1 - e^2} \tan[(\Delta\Phi - 0,5) \cdot 90^\circ], \quad e \sin \omega = \frac{\Delta t_2 - \Delta t_1}{\Delta t_2 + \Delta t_1}, \quad (1)$$

kde  $\Delta\Phi$  je rozdiel fázy medzi sek. a prim. minimom (číslo medzi 0 a 1, pre kruhovú dráhu 0,5). (25 b)

5. Ak budeme predpokladať, že hviezdy vyžarujú ako absolútne čierne telesá môžeme pre pomer povrchových jasností pre danú vlnovú dĺžku  $\lambda$  pozorovania písať

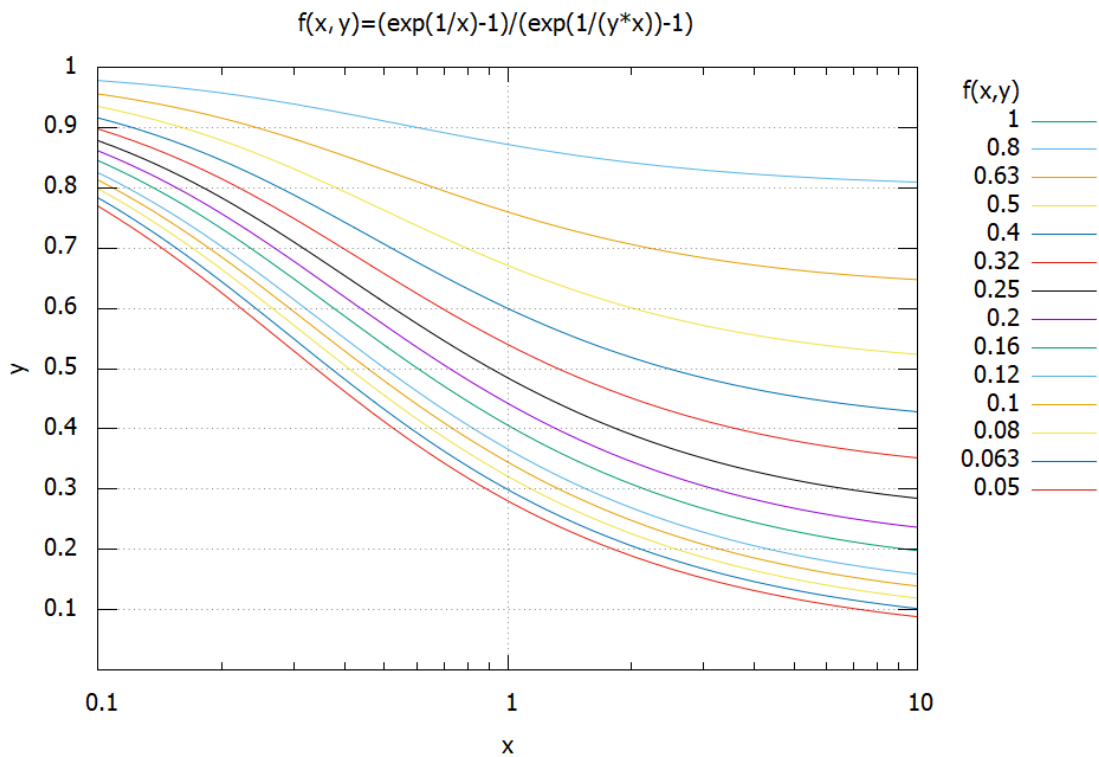
$$\frac{F_2^\lambda}{F_1^\lambda} = \frac{\exp\left(\frac{hc}{\lambda k T_1}\right) - 1}{\exp\left(\frac{hc}{\lambda k T_2}\right) - 1} = \frac{\exp\left(\frac{1}{x}\right) - 1}{\exp\left(\frac{1}{xy}\right) - 1} = f(x, y); \quad x = \frac{\lambda k T_1}{hc}, \quad y = \frac{T_2}{T_1}. \quad (2)$$

Túto závislosť môžeme vidieť na obrázku 1. Pomer povrchových jasností určený z pozorovaní v strednej infračervenej oblasti  $\lambda_M \approx 4750$  nm bol určený ako  $F_2^M/F_1^M \doteq 0.464$ . Určte teploty  $T_1, T_2$  zložiek dvojhviezdy graficky! (30 b)

6. Diskutujte ako by situáciu ovplyvnila iná hodnota sklonu dráhy. (10 b)
7. Aký ďalší typ pozorovania potrebujeme pre určenie hmotností a skutočných polomerov hviezd? (10 b)

Tabuľka 1: Pozorované relatívne svetelné toky dvojhviezdy vo fotometrickom kanále V

čas (d)	$F_V$	čas (d)	$F_V$	čas (d)	$F_V$	čas (d)	$F_V$
2,441	0,999	2,670	0,868	18,219	0,999	18,447	0,992
2,453	0,999	2,682	0,866	18,231	0,999	18,459	0,990
2,465	1,000	2,694	0,869	18,243	1,001	18,471	0,991
2,477	1,000	2,706	0,870	18,255	1,000	18,483	0,991
2,489	0,998	2,718	0,882	18,267	0,999	18,496	0,990
2,502	0,987	2,730	0,905	18,279	0,999	18,508	0,990
2,514	0,968	2,742	0,930	18,291	0,997	18,520	0,989
2,526	0,946	2,754	0,956	18,303	0,994	18,532	0,990
2,538	0,924	2,766	0,976	18,315	0,994	18,544	0,991
2,550	0,898	2,778	0,992	18,327	0,994	18,556	0,994
2,562	0,877	2,790	1,001	18,339	0,988	18,568	0,990
2,574	0,869	2,802	1,000	18,351	0,988	18,580	0,995
2,586	0,866	2,814	1,000	18,363	0,992	18,592	0,997
2,598	0,868	2,826	0,998	18,375	0,989	18,604	0,996
2,610	0,867	2,838	0,999	18,387	0,991	18,616	0,998
2,622	0,868	2,850	1,002	18,399	0,989	18,628	0,998
2,634	0,868			18,411	0,989	18,640	1,001
2,646	0,866			18,423	0,989	18,652	1,000
2,658	0,866			18,435	0,990	18,664	1,000



Obrázok 1: K určení povrchových teplôt zložiek, x-ová osa logaritmicky