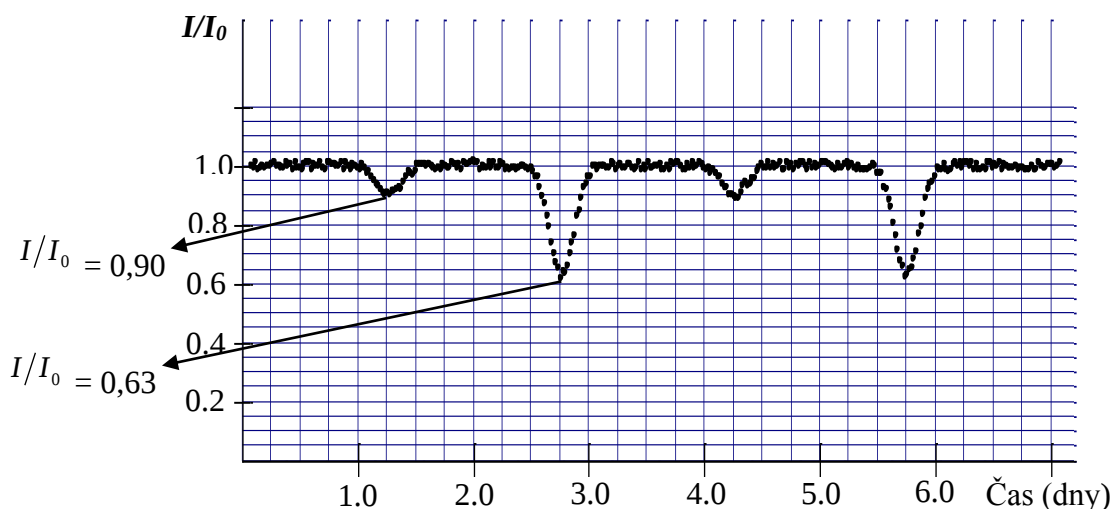


Dvě hvězdy obíhající okolo svého společného hmotného středu vytváří dvojhvězdu. Téměř polovina hvězd v naší galaxii jsou dvojhvězdy. Ze Země většinou není snadné rozpoznat, zda jde o samostatnou hvězdu či dvojhvězdu, jelikož vzdálenost mezi hvězdami je mnohem menší než jejich vzdálenost od nás a tedy jednotlivé hvězdy dvojhvězdy nelze rozlišit teleskopy. Proto musíme využít fotometrii nebo spektrometrii k pozorování změn intenzity nebo spektra konkrétní hvězdy, abychom zjistili, zda jde o dvojhvězdu či nikoliv.

## Fotometrie dvojhvězd

Pokud se nacházíme přesně v rovině pohybu obou hvězd, jedna hvězda zatemní druhou hvězdu (tj. projde před ní) v určitých časových okamžicích a námi pozorovaná intenzita celého systému se mění s časem. Takovéto dvojhvězdy se nazývají zákrytové dvojhvězdy (ecliptic binaries).

- 1 Předpokládejme, že se obě hvězdy pohybují po kruhových drahách okolo svého společného hmotného středu stálou úhlovou rychlostí  $\omega$  a my se nacházíme přesně v rovině pohybu dvojhvězdy. Předpokládejme dále, že povrchové teploty hvězd jsou  $T_1$  a  $T_2$  ( $T_1 > T_2$ ) a odpovídající poloměry jsou  $R_1$  a  $R_2$  ( $R_1 > R_2$ ). Celková intenzita světla měřená na Zemi je vynesena na obrázku 1 jako funkce času. Pečlivá měření ukazují, že minima intenzity světla této dvojhvězdy dopadajícího na Zemi odpovídají 90%, resp. 63% maximální intenzity  $I_0$  světla dopadajícího z obou hvězd ( $I_0 = 4,8 \cdot 10^{-9} \text{ W/m}^2$ ). Na svislé ose obrázku 1 je vynesena poměr  $I/I_0$  a na vodorovné ose čas ve dnech.



**Obrázek 1.** Relativní intenzita světla dopadajícího na Zemi z dvojhvězdy jako funkce času. Jednotka na svislé ose odpovídá  $I_0 = 4.8 \cdot 10^{-9} \text{ W/m}^2$ . Čas je vyneseno ve dnech.

|     |                                                                                                                                                       |     |
|-----|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 1.1 | Vypočtete periodu oběhu dvojhvězdy. Svoji odpověď uveďte v <b>sekundách</b> na dvě platná místa.<br>Jaká je úhlová frekvence systému v <b>rad/s</b> ? | 0,8 |
|-----|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|

Záření hvězdy, které zaznamenáváme na Zemi, lze velmi dobře aproximovat zářením dokonale černého tělesa ve tvaru plochého disku o poloměru rovném poloměru hvězdy. Tedy, výkon záření dopadajícího z hvězdy je přímo úměrný  $AT^4$ , kde  $A$  je plošný obsah disku a  $T$  je povrchová teplota hvězdy.

|     |                                                           |     |
|-----|-----------------------------------------------------------|-----|
| 1.2 | Pomocí obrázku 1 nalezněte poměry $T_1/T_2$ a $R_1/R_2$ . | 1,6 |
|-----|-----------------------------------------------------------|-----|

## Spektrometrie dvojhvězd

V této sekci vypočteme astronomické vlastnosti dvojhvězdy pomocí experimentálních spektrometrických dat dvojhvězdy.

Atomy absorbují nebo emitují záření na jistých pro ně charakteristických vlnových délkách. Důsledkem je, že spektrum hvězdy obsahuje *absorpční čáry* atomů vyskytujících se v atmosféře hvězdy. Sodík má ve spektru charakteristickou žlutou čáru (čára  $D_1$ ) o vlnové délce 5895,9 Å (10 Å = 1 nm). Zkoumáme absorpční spektrum atomu sodíku na této vlnové délce pro dvojhvězdu z předcházející sekce. Spektrum světla, které k nám dopadá z dvojhvězdy, je dopplerovsky posunuté, jelikož se hvězdy vzhledem k nám pohybují. Každá hvězda má jinou rychlost. Tedy, absorpční vlnová délka každé hvězdy se posouvá o jinou hodnotu. K pozorování Dopplerova posuvu je třeba provést velmi přesná měření vlnové délky, protože rychlosti obou hvězd jsou mnohem menší, než je rychlost světla. Rychlost společného hmotného středu dvojhvězdy, kterou uvažujeme v této úloze, je mnohem menší než oběžné rychlosti obou hvězd. Dopplerovy posuvy lze tedy přisoudit oběžným rychlostem hvězd. Tabulka 1 udává naměřené spektrum hvězd dvojhvězdy, které jsme pozorovali.

**Tabulka 1: Absorpční spektrum dvojhvězdy pro sodíkovou čáru  $D_1$**

|                 |        |        |        |        |        |        |        |        |
|-----------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| t/dny           | 0,3    | 0,6    | 0,9    | 1,2    | 1,5    | 1,8    | 2,1    | 2,4    |
| $\lambda_1$ (Å) | 5897,5 | 5897,7 | 5897,2 | 5896,2 | 5895,1 | 5894,3 | 5894,1 | 5894,6 |
| $\lambda_2$ (Å) | 5893,1 | 5892,8 | 5893,7 | 5896,2 | 5897,3 | 5898,7 | 5899,0 | 5898,1 |

|                 |        |        |        |        |        |        |        |        |
|-----------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| t/dny           | 2,7    | 3,0    | 3,3    | 3,6    | 3,9    | 4,2    | 4,5    | 4,8    |
| $\lambda_1$ (Å) | 5895,6 | 5896,7 | 5897,3 | 5897,7 | 5897,2 | 5896,2 | 5895,0 | 5894,3 |
| $\lambda_2$ (Å) | 5896,4 | 5894,5 | 5893,1 | 5892,8 | 5893,7 | 5896,2 | 5897,4 | 5898,7 |

(Poznámka: Není třeba dělat graf dat z tabulky.)

2 Pomocí tabulky 1:

|     |                                                                                                                                                                                  |     |
|-----|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 2.1 | Nechť $v_1$ a $v_2$ označují oběžnou rychlost příslušné hvězdy. Vypočtěte $v_1$ a $v_2$ .<br>Rychlost světla $c = 3,0 \cdot 10^8$ m/s. Zanedbejte všechny relativistické efekty. | 1,8 |
| 2.2 | Vypočtěte poměr hmotností hvězd ( $m_1/m_2$ ).                                                                                                                                   | 0,7 |
| 2.3 | Nechť $r_1$ a $r_2$ značí vzdálenost každé hvězdy od jejich společného hmotného středu.<br>Vypočtěte $r_1$ a $r_2$ .                                                             | 0,8 |

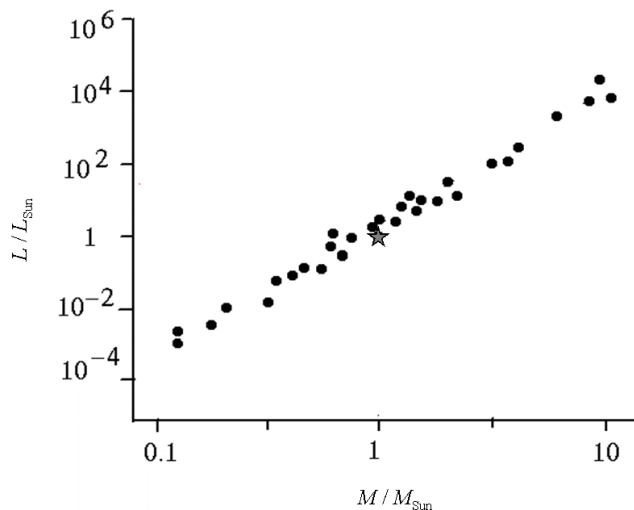
|     |                                                            |     |
|-----|------------------------------------------------------------|-----|
| 2.4 | Necht' $r$ značí vzdálenost mezi hvězdami. Vypočtete $r$ . | 0,2 |
|-----|------------------------------------------------------------|-----|

3 Gravitační síla je jediná síla působící mezi hvězdami.

|     |                                                                                                                                                      |     |
|-----|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 3.1 | Vypočtete hmotnost každé hvězdy na jedno platné místo.<br>Gravitační konstanta $G = 6.7 \cdot 10^{-11} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1} \text{ s}^{-2}$ . | 1,2 |
|-----|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|

## Obecné charakteristiky hvězd

- 4 Většina hvězd produkuje energii stejným mechanismem. V důsledku toho existuje empirický vztah mezi jejich hmotností  $M$  a jejich “zářivostí”  $L$ , což je celkový zářivý výkon hvězdy. Tento vztah lze psát ve formě  $L/L_{\text{Sun}} = (M/M_{\text{Sun}})^\alpha$ , kde  $M_{\text{Sun}} = 2,0 \cdot 10^{30} \text{ kg}$  je hmotnost Slunce a  $L_{\text{Sun}} = 3,9 \cdot 10^{26} \text{ W}$  je celkový zářivý výkon Slunce. Tento vztah je zakreslen v logaritmickém (log-log) grafu na obrázku 2.



**Obrázek 2.** Celkový zářivý výkon hvězdy se vzhledem k její hmotnosti mění podle exponenciálního zákona. Obě osy jsou v logaritmickém měřítku. Hvězdička reprezentuje Slunce o hmotnosti  $2,0 \cdot 10^{30} \text{ kg}$  a celkovém zářivém výkonu  $3,9 \cdot 10^{26} \text{ W}$ .

|     |                                        |     |
|-----|----------------------------------------|-----|
| 4.1 | Určete $\alpha$ na jedno platné místo. | 0,6 |
|-----|----------------------------------------|-----|

|     |                                                                                                                             |     |
|-----|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 4.2 | Necht' $L_1$ a $L_2$ značí celkový zářivý výkon hvězd dvojhvězdy studované v předchozích sekcích. Vypočtete $L_1$ a $L_2$ . | 0,6 |
|-----|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|

|     |                                                                                                                                                                                     |     |
|-----|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 4.3 | Jaká je vzdálenost $d$ dvojhvězdy od nás ve světelných letech?<br>K určení vzdálenosti můžete použít obrázek 1. Jeden světelný rok je vzdálenost, kterou urazí světlo za jeden rok. | 0,9 |
|-----|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|



|     |                                                                                       |     |
|-----|---------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 4.4 | Jaká je největší úhlová vzdálenost $\theta$ mezi hvězdami z našeho pozorovacího bodu? | 0,4 |
|-----|---------------------------------------------------------------------------------------|-----|

|     |                                                                                                               |     |
|-----|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 4.5 | Jaká by musela být nejmenší apertura optického teleskopu $D$ , který by byl schopen rozlišit tyto dvě hvězdy? | 0,4 |
|-----|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|