



# S ďalekohľadom na cestách

www.dalekohladnacestach.sk

## Korešpondenčná súťaž - 2. kolo (marec 2011) 3. kategória - študenti stredných škôl

### 1. úloha: Konfigurácie planét

Venuša je v najväčšej východnej elongácii, Mars je v západnej kvadratúre a Jupiter je v opozícii so Slnkom. Predpokladajte, že dráhy planét ležia v jednej rovine a sú kruhové s polomeri: Venuša 0,7 AU, Zem 1 AU, Mars 1,5 AU a Jupiter 5,2 AU.

**Nakreslite obrázok zachytávajúci uvedenú situáciu. Vypočítajte vzdialenosti planét od Zeme, ako aj vzdialenosť Venuše od Marsu, Marsu od Jupitera a Jupitera od Venuše. Výsledky uveďte v astronomických jednotkách (AU).**

(7 bodov)

### 2. úloha: Astronomický slovník

Počas prípravy astronomického slovníka sa nám poprehadzovali písmená v jednotlivých slovách.

1. **p i k e r o k n** - stredoveký astronóm
2. **s e c a n e l u d** - teleso slnečnej sústavy
3. **s e t r i z p** - kozmický ďalekohľad
4. **c h u l o d o n** - kozmická sonda
5. **t a k i k i p e l** - významná kružnica na nebeskej sfére
6. **c i l a r á n a g u** - štruktúra v slnečnej atmosfére
7. **m a t u r u g i l n** - súhvezdie (lat.)
8. **p e h i k a z o d o v** - sústava hviezd
9. **f o r d f a s t** - americký astronaut
10. **r a v e p u s o n** – vzplanutie hviezdy

**Pomôžte nám ich správne usporiadať a odhaliť aké astronomické pojmy sa v prešmyčkách skrývajú?**

(5 bodov)

### 3.úloha: Guľová hviezdokopa

Termín hviezdokopa označuje dva rozdielne typy gravitačne viazaných zoskupení hviezd: otvorené a guľové hviezdokopy. Otvorené hviezdokopy sú nepravidelné systémy stoviek až niekoľkých tisícov relatívne mladých hviezd. Väčšinou majú niekoľko sto miliónov rokov a nachádzajú sa v disku našej Galaxie. Typický rozmer otvorenej hviezdokopy je asi 30 svetelných rokov. Naproti tomu guľové hviezdokopy majú sférický tvar, obsahujú státisíce až milióny väčšinou starých hviezd a nachádzajú sa v disku a hale našej Galaxie. Ich priemer je okolo 100 svetelných rokov. Vznikli pravdepodobne pred viac ako 12 miliardami rokov, čiže ešte predtým, ako sa väčšina protogalaktického materiálu sformovala do galaktického disku.

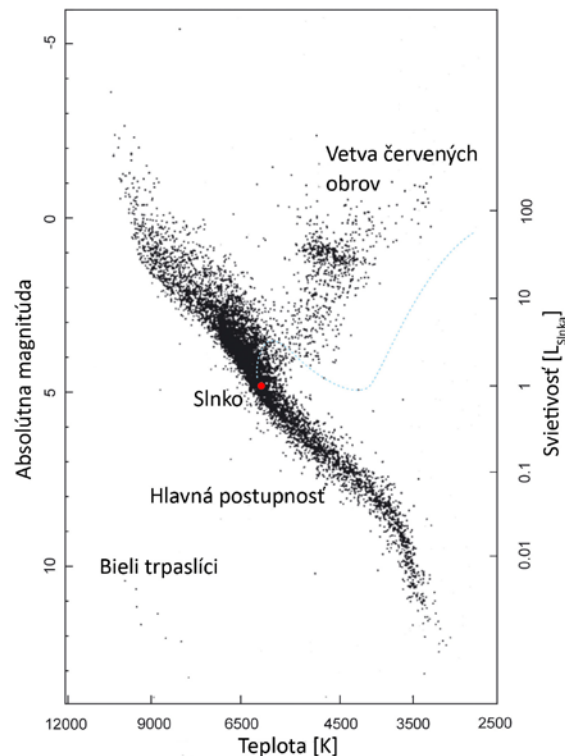
Štúdium guľových hviezdokôp sa stalo dôležitou súčasťou astrofyziky. Vďaka ich dlhovekosti poskytujú veľmi presný dolný odhad veku vesmíru. Distribúcia veku jednotlivých hviezdokôp a korelácia medzi vekom hviezdokopy a zastúpením chemických prvkov sú neoceniteľnými stopami v skúmaní procesu formovania galaxie. Hviezdy tvoriace guľové hviezdokopy zdieľajú spoločnú históriu a navzájom sa líšia len hmotnosťou. Preto sú guľové hviezdokopy ideálne na skúmanie evolúcie hviezd. Guľové hviezdokopy sú jednými z mála objektov v Galaxii, pre ktoré vieme určiť pomerne presne vek. V tejto úlohe určíte niektoré vlastnosti guľovej hviezdokopy M 12.



Guľová hviezdokopa M 12, označovaná aj NGC 6218, bola objavená v roku 1764 Charlesom Messierom a stala sa tak dvanástym objektom v Messierovom katalógu. Messier ju popísal, podobne ako aj ďalšie guľové hviezdokopy, ako „hmlovinu bez hviezd“. Bolo to dôsledkom nízkej rozlišovacej schopnosti jeho ďalekohľadov. Až William Herschel v roku 1783 rozlíšil v hviezdokope jednotlivé hviezdy.

M 12 sa nachádza v súhvezdí Hadonos (Ophiuchus). Je možné ju pozorovať aj obyčajným triédrom, avšak iba z miest, kde nám výhľad nekazí svetelné znečistenie. Zdanlivá jasnosť hviezdokopy je 6,7 magnitúdy a najjasnejšia hviezda v nej dosahuje jasnosť 12 magnitúdy.

Veľmi silným nástrojom výskumu evolúcie hviezd je Hertzsprungov – Russellov diagram alebo skrátene H-R diagram, ktorý zobrazuje vzťah medzi svietivosťou  $L$  (alebo absolútnou jasnosťou  $M$ ) hviezd a ich povrchovou teplotou  $T$ . Na obrázku je príklad H-R diagramu, vykresleného pre hviezdy, ktorých vzdialenosti sú dobre známe z meraní družice HIPPARCHOS. Povrchová teplota hviezd  $T$  bola určená na základe farby hviezd  $B-V = (m_B - m_V)$ .



Ako je vidieť na obrázku, H-R diagram má veľmi zaujímavý tvar, v ktorom sú hviezdy zoskupené len v určitých oblastiach. Výrazná je hlavná postupnosť, ako aj oblasti, kde sa nachádzajú červení obri a bieli trpaslíci. Poloha Slnka v diagrame je daná jeho povrchovou teplotou (5800 K) a jeho absolútnou jasnosťou (+4,8 magnitúd).

H-R diagram je kľúčom k pochopeniu, ako sa hviezdy vyvíjajú. Poloha hviezd v H-R diagrame sa totiž evolúciou hviezd mení. Navyše hviezdy s rôznou hmotnosťou sa menia rôznym spôsobom, a teda aj ich evolučná dráha v H-R diagrame je iná. Platí, že hviezda sa tým rýchlejšie vyvíja, čím je hmotnejšia. Na obrázku je ako príklad vyznačená evolučná dráha Slnka.

Hviezdy strávia väčšinu svojho života na hlavnej postupnosti. Počas tohto štádia v ich jadrách prebiehajú termonukleárne reakcie, v ktorých sa vodík mení na hélium. Keďže toto obdobie trvá v živote hviezd najdlhšie, pozorujeme väčšinu hviezd práve na hlavnej postupnosti. V diagrame sa hlavná postupnosť rozprestiera pozdĺž priamky spájajúcej ľavý horný a pravý dolný roh diagramu.

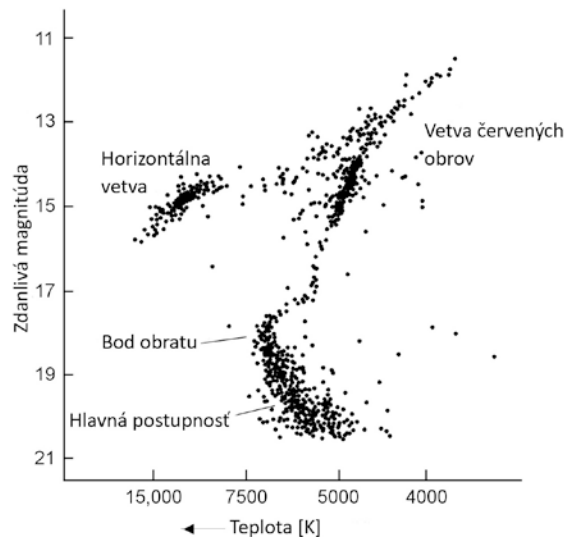
Keď sa zásoba vodíka v jadre vyčerpá, jeho spaľovanie už ďalej nie je možné. Tu sa končí fáza života hviezd na hlavnej postupnosti. Tlak plynu a gravitačné sily pôsobiace na jadro už viac nie sú v rovnováhe. Spaľovanie vodíka začína prebiehať v tenkej vrstve obklopujúcej jadro, kým samotné jadro sa začína zmenšovať. Ako kontrahuje, tlak a teplota v jeho vnútri narastajú, takže sa začínajú zlučovať

jadrá hélia a vznikajú ťažšie prvky. Tento proces sa opakuje: keď sa daný prvok v jadre vyčerpá, začne prebiehať fúzia ťažších prvkov. V tejto fáze života sa hviezda javí ako červený obor. Vetva červených obrov sa na H-R diagrame nachádza mimo hlavnej postupnosti, v pravom hornom rohu. Vyššia teplota v jadre spôsobí, že vonkajšie vrstvy hviezdy expandujú, takže sa zväčšuje jej objem. No zároveň sa vonkajšie vrstvy ochladzujú, takže klesá povrchová teplota hviezdy. Emitované žiarenie bude mať nižšiu energiu a posunie sa smerom k dlhším vlnovým dĺžkam. Hviezda sa javí ako červená. Aj napriek nízkej povrchovej teplote  $T$  majú červení obri vysokú svietivosť  $L$ , danú ich veľkým polomerom  $R$ . Vyplýva to zo Stefanovho-Boltzmannovho zákona o žiarení čierneho telesa:

$$L = 4 \pi R^2 \sigma T^4$$

kde  $\sigma$  je Stefanova-Boltzmannova konštanta. Typické hodnoty týchto veličín pre červených obrov sú  $R \cong 100 R_{\text{Slnka}}$ ,  $T \cong 3000 - 4000 \text{ K}$ , a teda  $L \cong 1000 L_{\text{Slnka}}$ .

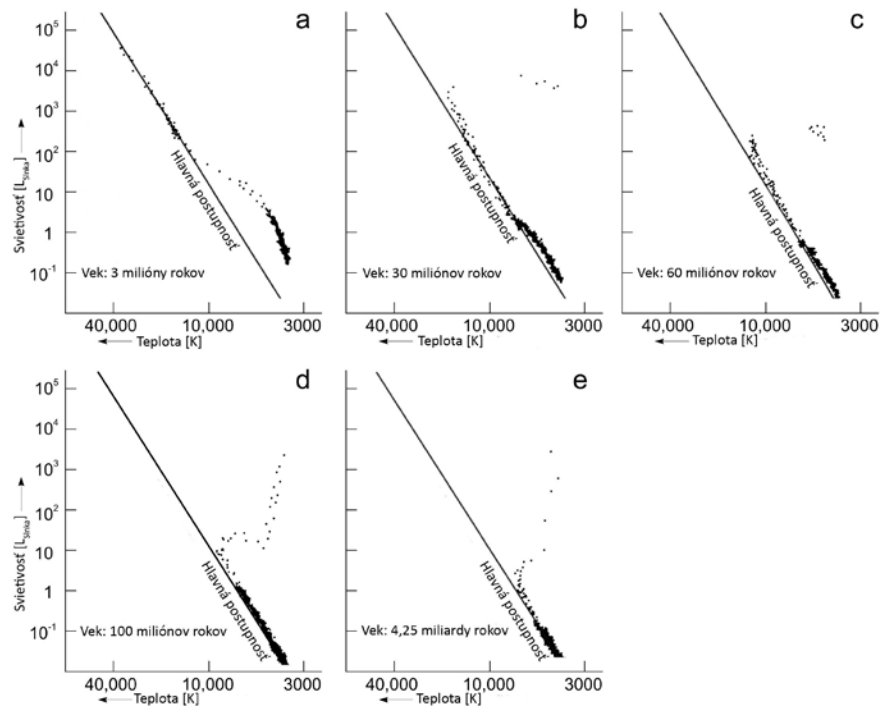
Keď sa v jadre vyčerpajú všetky dostupné zásoby paliva, jadro skolabuje. Teplota jadra prudko narastie, no vonkajšie vrstvy sú od úplne odhodené jadra hviezdy. Zo zvyškov vonkajších vrstiev sa vytvorí tzv. planetárna hmlovina. Skolabované jadro je veľmi horúce a veľmi malé. Nazýva biely trpaslík a predstavuje konečné štádium života normálnej hviezdy ako napr. Slnko.



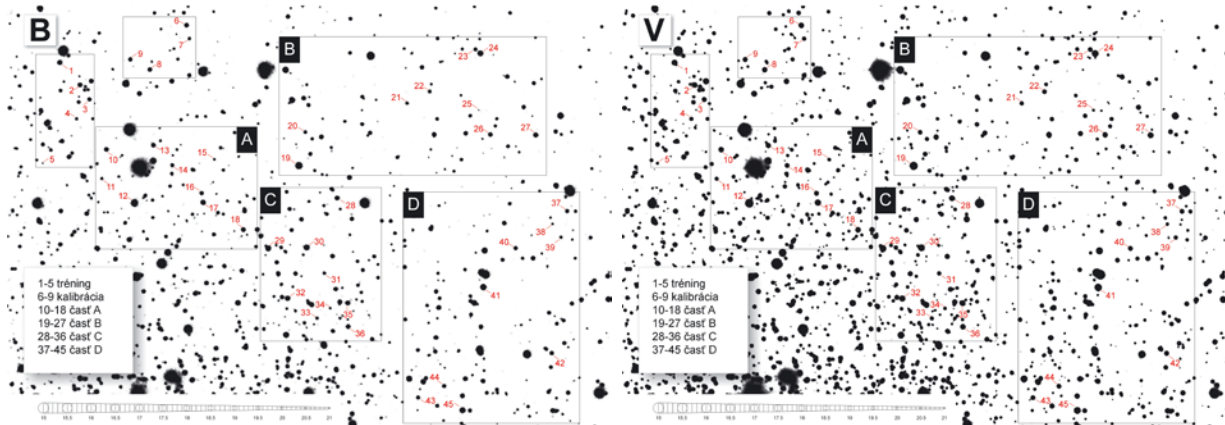
Naproti tomu H-R diagrame guľových hviezdokôp sú dosť odlišné. Keďže sú zložené z veľmi starých hviezd, väčšina hmotných hviezd už opustila ľavú hornú časť hlavnej postupnosti a nachádzajú sa vo vetve obrov. Z hlavnej postupnosti zostala len pravá dolná časť, kde sa nachádzajú málo hmotné hviezdy, ktoré sa vyvíjajú veľmi pomaly. Bod, kde sa vetva obrov napája na hlavnú postupnosť sa nazýva bod obratu.

Ako sa hviezdy vyvíjajú, bod obratu sa s časom posúva pozdĺž hlavnej postupnosti smerom doprava a dole (obrázok nižšie). Ak poznáme model evolúcie hviezd, môžeme na základe polohy bodu obratu v H-R diagrame určiť vek guľovej hviezdokopy. V tejto úlohe odmeriate súradnice tohto bodu a určíte vek hviezdokopy M 12.

Pozorovania použité v tejto úlohe boli získané 18. júna 1999 pomocou prístroja FORS1 na ďalekohľade ANTU (UT1), ktorý patrí k sústave *Very Large Telescope* (VLT) na Európskom južnom observatóriu Paranal v Čile. Pre túto úlohu boli vybrané vonkajšie časti hviezdokopy, kde je menej hviezd. Expozície boli získané cez modrý (pásmo B) a cez zelený filter (pásmo V). Pozorovania sú už spracované a pripravené na analýzu. Rovnako je už vybraná vzorka niekoľkých hviezd, ktoré budú v analýze použité. Sú to hviezdy, ktoré môžu byť považované za reprezentatívnu vzorku populácie celej hviezdokopy.



Na analýzu je potrebné pozorne odmerať B a V jasnosti každej hviezdy. Pozor, chyby, ktorých sa dopustíte v tejto časti merania, sa prenesú aj do ďalších výsledkov. 45 hviezd je rozdelených do šiestich skupín: hviezdy 1 - 5 sú cvičné, hviezdy 6 - 9 sú kalibračné a hviezdy 10 - 45 sú určené na merania a pre prehľadnosť sú rozdelené do 4 skupín (A, B, C a D).



Na meranie jasností môžete využiť buď obrázky **B** a **V** v plnom rozlíšení, ktoré si vytlačíte najlepšie na priehľadnú fóliu a na meranie použijete priloženú mierku alebo použijete našu pomôcku (**B** a **V**), ktorá Vám umožní previesť meranie priamo v internetovom prehliadači (mierku posúvate po obrázku pomocou myšky). Aby vaše merania boli čo najpresnejšie, odporúčame postupovať nasledovne:

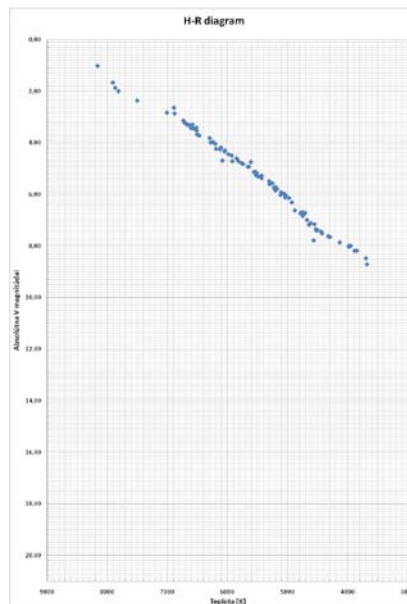
- Priložte mierku na hviezdu a niekoľkokrát ju posuňte. Nájdite príliš veľkú a príliš malú hodnotu. Potom mierku posúvajte medzi týmito hodnotami, kým nenájdete tú správnu hodnotu. Meranie si zapíšte, zopakujte niekoľkokrát a použite priemernú hodnotu. Výsledné merania si zapisujte do [tabuľky](#) (pracovný list M 12).

- Pre cvičné hviezdy 1 - 5 sú už magnitúdy uvedené v [tabuľke](#). Vyskúšajte si používanie mierky pomocou týchto hviezd a porovnajte svoje hodnoty s magnitúdami uvedenými v [tabuľke](#). Uistite sa, že vaše výsledky sa zhodujú. Na nácvik merania použite aj kalibračné hviezdy (6 – 9).
- Medzi jednotlivými meraniami opakujte aj cvičné merania prvej skupiny hviezd, aby ste si boli istí, že vaše merania sa nemenia.

a) Zmerajte B a V magnitúdy ( $m_B$ ,  $m_V$ ) hviezd 10 – 45. Hodnoty zapíšte do [tabuľky](#) (pracovný list M 12). Vypočítajte farbu jednotlivých hviezd  $B - V = m_B - m_V$  a pomocou vzťahu

$$T = 10^{\frac{14,551 - (m_B - m_V)}{3,684}}$$

vypočítajte príslušné teploty hviezd. Vzťahy sú v elektronickej verzii tabuľky už naprogramované. V H-R diagrame na obrázku nižšie sú vykreslené hviezdy hlavnej postupnosti hviezdokopy Hyády, ktorých absolútne jasnosti  $M_V$  boli určené na základe iných meraní. Do toho istého diagramu zakreslite odmerané zdanlivé jasnosti ( $m_V$ ) hviezd hviezdokopy v závislosti na ich povrchovej teplote ( $T$ ). Opäť môžete využiť elektronickú verziu grafu, ktorá je umiestnená v pracovnom liste Hyády v [tabuľke](#), alebo si vytvoriť vlastný graf na základe tam uvedených údajov.



b) Určte modul vzdialenosti ( $m_V - M_V$ ) hviezdokopy M 12 na základe posunu hlavnej postupnosti hviezdokopy M 12 voči referenčnej hviezdokope Hyády. Meranie posunu hlavných postupností urobte pre viaceré hodnoty teploty  $T$  a výsledný modul vzdialenosti určte ako strednú hodnotu týchto posunov. Určte vzdialenosť hviezdokopy M 12 pomocou vzťahu

$$r = 10^{(m_V - M_V + 5)/5}.$$

Hodnota vzdialenosti, ktorú ste takto vypočítali však ešte nie je úplne správna. Galaxia obsahuje veľa plynu a prachu, ktoré zoslabujú svetlo z hviezd a tiež spôsobujú, že svetlo sa javí červenšie. Obidva procesy sú známe pod spoločným názvom medzhviezdna extinkcia. Bez správneho započítania extinkcie sú vypočítané vzdialenosti príliš veľké. Opravený modul vzdialenosti potom bude ( $m_V - M_V - A_V$ ), kde  $A_V$  je extinkčný faktor. Rovnica pre výpočet vzdialenosti potom bude:

$$r' = 10^{(m_V - M_V - A_V + 5)/5}.$$

Pre hviezdokopu M 12 je hodnota medzihviezdnej extinkcie  $A_V = 0,57$ . Je veľký rozdiel medzi vzdialenosťou opravenou a neopravenou? Diskutujte rozdiely a aký dôsledok má táto oprava (a to je len jedna z mnohých, ktoré astronómovia dennodenne používajú) na naše všeobecné chápanie veľkosti vesmíru.

- c) Určte zdanlivú jasnosť hviezdy  $m_V$  v bode obratu v H-R diagrame hviezdokopy M 12. Pomocou vzdialenosti hviezdokopy, vypočítajte jej absolútnu magnitúdu:

$$M_V = m_V - 5 \log r + 5 - A_V$$

a pomocou vzťahu

$$L = 10^{-0,4(M_V - M_{\text{Slnka}})}$$

jej svietivosť  $L$  (v jednotkách svietivosti Slnka). Absolútna magnitúda Slnka je  $M_{\text{Slnka}} = 4,74$ . Vzťah hmotnosť – svietivosť  $L = M^{3,8}$  použite na určenie hmotnosti hviezdy (v jednotkách hmotnosti Slnka):

$$M = L^{0,263}$$

- d) Akú časť svojho života  $t$  strávi hviezda na hlavnej postupnosti, závisí od jej svietivosti a hmotnosti. Hviezda s vysokou svietivosťou spaľuje každú sekundu viac vodíka ako hviezda s nižšou svietivosťou. Takže hmotnosť svietivejšej hviezdy klesá rýchlejšie ako hmotnosť menej svietivej hviezdy, a teda čím nižšiu má hviezda svietivosť, tým dlhšie bude spaľovať vodík. Na druhej strane, hviezda s vyššou hmotnosťou má viac materiálu, ktorý môže spáliť. Z toho vyplýva, že dĺžka života hviezdy je priamo úmerná jej hmotnosti a nepriamo úmerná jej svietivosti. Použitím vzťahu hmotnosť - svietivosť vieme vyjadriť dĺžku života  $t$  ako funkciu hmotnosti hviezdy  $M$ :

$$t = 8,2 \times 10^9 M^{-2,8}$$

Pomocou vypočítanej hmotnosti hviezdy na bode obratu odhadnite vek guľovej hviezdokopy M 12. Hmotnosť hviezdy dosadte v jednotkách hmotnosti Slnka a vek guľovej hviezdokopy dostanete v rokoch. Porovnajte zistenú hodnotu s vekom celého vesmíru a diskutujte výsledok.

- e) Ak by sme predpokladali, že všetky hviezdy v guľovej hviezdokope majú rovnakú svietivosť ako Slnko a absolútna magnitúda hviezdokopy je  $M = -7,32$  na základe vzťahu

$$N = 10^{-0,4(M - M_{\text{Slnka}})}$$

odhadnite počet hviezd v guľovej hviezdokope M 12. Absolútna magnitúda Slnka je  $M_{\text{Slnka}} = 4,74$ .

(18 bodov)



Tento projekt bol podporený Agentúrou na podporu výskumu a vývoja na základe zmluvy č. LPP-0091-09.