

# “Odhady jasností premenných hviezd”

## Inštrukcie

Ak hviezda mení svoju jasnosť, tak má význam skúmať tieto zmeny v priebehu času. V astronómii meriame jasnosť v hviezdnych veľkostiach - magnitúdach. Čím väčšia hviezdna veľkosť, tým slabšia hviezda, pričom škála je logaritmická.

Rozdiel jasností o 5 mag zodpovedá pomeru svetelných tokov presne 100 krát,

- o 2.5 mag - 10 krát,
- o 1 mag - 2.512 krát,
- o 0.7525 mag - 2 krát,
- o 0.1 mag - 1.00925 krát.

Všeobecné rovnice prevodu magnitúd na svetelné toky sú nasledovné:

$$m - m_0 = 2.5 \lg(I/I_0),$$

$$I = I_0 \cdot 10^{-0.4(m - m_0)}$$

Index 0 zodpovedá zdroju žiarenia, ktorý považujeme za štandard.

Závislosť hviezdnej veľkosti na čase nazývame **svetelná krivka**.

Sú premenné hviezdy, ktorých premennosť je periodická, čiže môžeme napísať:

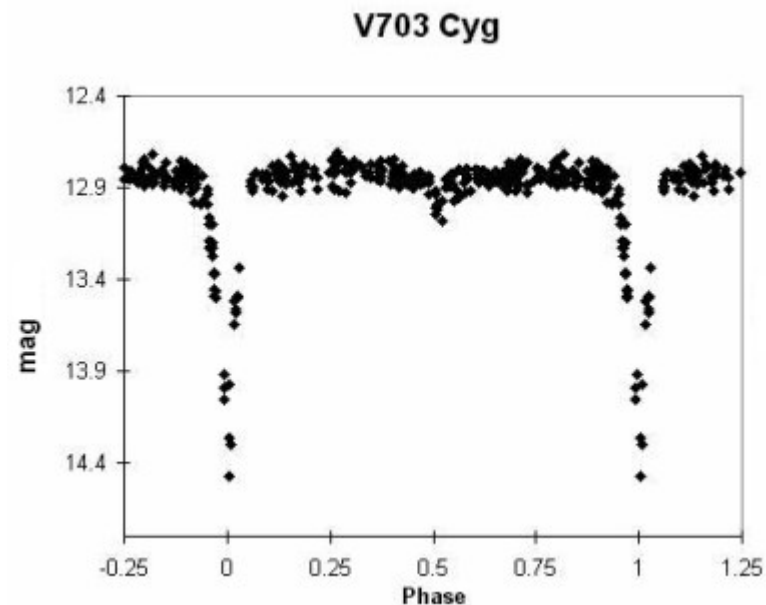
$$m(t + PE) = m(t)$$

kde t - čas, E - celé číslo, P - perióda.

Pre takéto hviezdy môžeme zostrojiť tzv. **fázovú krivku**, čo je závislosť hviezdnej veľkosti na fáze  $\varphi$ , ktorá je určená vzťahom

$$E + \varphi = (t - T_0) / P$$

Hodnota  $T_0$  sa nazýva počiatočnou epochou. Pri pulzujúcich premenných obyčajne zodpovedá istému maximu jasnosti, pri zákrytových ju vzťahujeme k istému minimu. Hodnota čísla cyklu  $E$  - je celé číslo. Preto fáza nadobúda hodnoty  $0 < \varphi < 1$ . Akokoľvek, odporúča sa graf fázovej krivky zostrojiť tak, že bude zachytávať širší interval fáz napr. od  $-0.3$  do  $1.3$  (To znamená, že napríklad fáza  $\varphi = -0.27$  je totožná s fázou  $\varphi = 0.73$  ( $= 1 - 0.27$ ),  $\varphi = 1.08$  je totožná s fázou  $\varphi = 0.08$ ).



## Vizuálne odhady jasnosti

Jasnosť premenných hviezd je najlepšie určovať porovnávaním so štandardom. Špeciálne pri vizuálnom pozorovaní to ani ináč nejde. Oko nie je spôsobené na meranie absolútnej hodnoty svetelného toku. Zato je vynikajúce pri porovnávaní relatívnych jasností dvoch hviezd. Na tomto princípe sa aj postavila metodika vizuálnych odhadov jasnosti. Existuje viacero metodík. My si popíšeme dnes najviac používanú metódu **Nijlanda-Blazhka**.

Porovnáva sa jasnosť premennej hviezdy s dvoma hviezdami známej konštantnej jasnosti, ktoré nazývame porovnávacie hviezdy. Porovnávacie hviezdy nájdeme na mapke okolia danej premennej hviezdy zvyčajne označené písmenami latinskej abecedy v poradí podľa klesajúcej jasnosti (narastajúcej hviezdnej veľkosti)

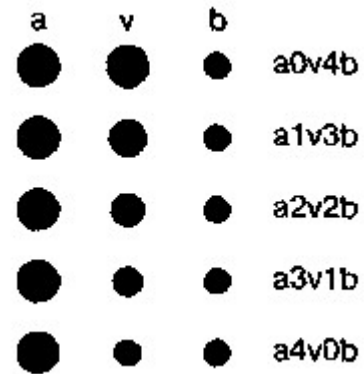
**A B C D E F G H I ...**

Pri samotnom pozorovaní vyberáme dve porovnávacie hviezdy, ktoré sú jasnosťou najbližšie premennej a to tak, že jedna je jasnejšia a druhá slabšia. Napríklad **C D**. Samotnú premennú zvykneme označovať **V** (variable). Interval jasnosti v mysli rozdelíme na niekoľko častí - stupňov a určujeme koľko takých stupňov je medzi **A** a **V**, **V** a **B**. Odhad zapisujeme v tvare

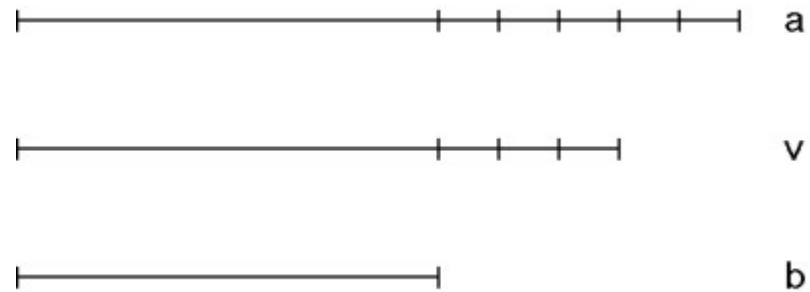
**A<sub>p</sub>V<sub>q</sub>B**

kde **p** a **q** sú nami určené odhadové stupne.

Napríklad C1V1B, A2V3B



Obr. 2. Príklady vzájomných jasností porovnávacích hviezd s premennou a zodpovedajúce odhady metódou Nijland-Blazhko



Obr. 3. Grafické znázornenie lineárnej interpolácie v metóde Nijland-Blazhko. Zodpovedá odhadu zapísanému ako A2V3B.

*Pozn. Metóda Nijland-Blazhko v skutočnosti ešte používa aj tzv. Argelanderove odhadové stupne. V prípade pozorovania času minima zákrytovej dvojhviezdy totiž nie je jedno či napíšeme A2V3B alebo A4V6B. My však také pozorovania zatiaľ robiť nebudeme, takže nám to môže byť jedno:)*

Výslednú jasnosť premennej na základe odhadu ApVqB určíme podľa vzťahu

$$m = m_A + (m_B - m_A)p / (p + q),$$

kde  $m_A$  a  $m_B$  – hodnoty jasností porovnávacích hviezd. Tie sú zvyčajne uvedené niekde na mapke. Na niektorých mapkách (napr. AAVSO) sú porovnávacie hviezdy priamo označené magnitúdami).

Presnosť takéhoto merania závisí od mnohých vecí vrátane skúsenosti pozorovateľa. Bežne sa dosahuje presnosť 0.1 mag. Rozptyl meraní skúsených pozorovateľov niekedy dosahuje len 0.03 mag. Je to horšie ako pri meraní fotoelektrickým fotometrom alebo CCD kamerou. Napriek tomu majú vizuálne pozorovania stále význam. Ich veľkou výhodou je rýchlosť a jednoduchosť metódy aj použitých prostriedkov a tiež možnosť dlhodobého pozorovania tých istých objektov. Dôležitý je však výber objektov na pozorovanie. Vhodné sú premenné hviezdy s dlhšími periódami premennosti (niekoľko dní a viac) a väčšími amplitúdami svetelných zmien (viac ako 0.5 mag). Vhodnými typmi sú miridy, cefeidy, polopravidelné premenné. Odporúčame pozorovací program [Medúza Sekcie pozorovateľov premenných hviezd a exoplanét českej astronomickej spoločnosti](#).

## Určovanie času (Juliánsky dátum)

Keďže meriame závislosť jasnosti na čase, treba rovnako dôkladne merať aj druhú veličinu, čiže čas. Osobitne presne treba čas merať pri rýchlo sa meniacich premenných napríklad zákrytových.

*(Pozn.: Vizuálne určovanie časov minim zákrytových dvojhviezd nemá už dnes žiadny vedecký prínos popri presile CCD meraní. Je to však vynikajúci edukačný nástroj pre nácvik metodiky robenia odhadov.)*

Je dobrý zvyk už priamo pri meraní zapisovať časový údaj v UT, čiže vo svetovom "Greenwichskom" čase. Predídeme tak problémom s letným časom. V lete treba od oficiálneho času odrátať 2 hodiny, v zime 1 hodinu. To sa často pletie.

Na zjednodušenie vyjadrovania časových intervalov medzi dvoma udalosťami sa v astronómii zaviedol **Juliánsky dátum (JD)**. (Pozor! To nie je to isté ako Juliánsky kalendár.) Juliánske datovanie počíta dni za sebou bez delenia na roky, mesiace a dni, pričom deň sa začína presne na poludnie svetového času 12:00 UT. Počiatok Juliánskeho datovania je postavený ďaleko do minulosti, konkrétne  $JD = 0.0$  dňa 1. januára 4713 pr. n. l. (podľa Juliánskeho kalendára). Užitočnejšia je informácia, že 1. januára 2010 na poludnie svetového času bolo  $JD = 245198.0$

Vidíme aj ďalšiu výhodu Juliánskeho datovania. Celú noc z 1. na 2. januára bola celočíselná časť Juliánskeho dátumu rovnaká. Toto pravda platí v našich zemepisných dĺžkach. V Oceánii nie. V praxi je dobré si na prepočet použiť nejaký softvér. Napríklad možno využiť priložený [formulár](#), ktorý prevedie vaše merania priamo do formátu, aký vyžaduje program MEDÚZA.

## Heliocentrická korekcia

Pri pozorovaní krátkoperiodických premenných hviezd je nevyhnutné urobiť opravu času na polohu Zeme voči Slnku - tzv. heliocentrickú korekciu.

Svetlo od hviezdy ide mnohé roky, ale presný čas letu závisí v akej polohe narazí na Zem. Tá na svojej orbite okolo Slnka môže byť raz bližšie zdroju svetla, raz ďalej. Vplyvom konečnej rýchlosti svetla môžu takto "umelo" vzniknuté rozdiely v meraní času dosiahnuť až 16 minút. Heliocentrickú korekciu možno spočítať na základe dátumu súradníc hviezdy. Takisto túto úlohu za nás urobí niektorý z množstva softvérových programom. Napríklad program **Protokoly** v prílohe, ktorý slúži na spracovávanie pozorovaní zákrytových dvojhviezd. Akokoľvek, je dobré skontrolovať výsledok aspoň orientačnou geometrickou predstavou. Minimálne vieme odhadnúť znamienko korekcie. Očividne, keď je Zem medzi hviezdou a Slnkom, tak znamienko korekcie je kladné. Pri každom meraní označíme aký čas sme použili. Čas s aplikovanou heliocentrickou korekciou označujeme ako **HJD**.

## Trenažér pozorovania premenných hviezd.

Pred pozorovaním reálnej premennej hviezdy na oblohe je dobré vyskúšať si metodiku na online trenažéri. Odporúčame tieto:

<http://var2.astro.cz/brno/trenazer.php> - pozorovanie zákrytovej dvojhviezdy.

<http://var2.astro.cz/meduza/trenazer/index.html> - pozorovanie dlhoperiodickej pulzujúcej premennej.



*Dôležitá poznámka o pozorovaní zákrytových dvojhviezd:*

*Pri "trénovaní" na prvom trenážeri iste narazíte na problém, že neviete aké jasnosti majú porovnávacie hviezdy. Nie je to chyba! Cieľom pozorovania zákrytových dvojhviezd je určenie času, kedy nastal stred zákrytu, čo zodpovedá minimu na svetelnej krivke. Nie je dôležité akú absolútnu jasnosť hviezda mala. Svetelnú krivku stačí zostrojiť tak, že jasnosti budete udávať vo vašich odhadových stupňoch. Najprv pritom určíte v odhadových stupňoch jasnosti porovnávacích hviezd. Najjasnejšej prisúdite hodnotu 0 a ďalšie vypočítate ako priemer zo všetkých odhadov, pri ktorých ste danú hviezdu použili. Automaticky to robí napríklad program Protokoly.*

## Zadanie

Teraz môžeme pristúpiť k samotnému pozorovaniu. Vybrali sme objekt, osvedčený dlhoročnými skúsenosťami ako najlepší pre začiatok vizuálnych pozorovaní premenných hviezd. Je to **Delta Cephei** - prototyp významného typu pulzujúcich hviezd. Nebudeme potrebovať ani ďalekohľad. Je pozorovateľná bez problémov aj neozbrojeným okom. **Mapka** okolia s vhodnými porovnávacími hviezdami je v prílohe. Všimnite si, že na mapke je zobrazených viacero premenných hviezd, ktoré pochopiteľne môžete odhadovať tiež. Teraz sa však sústreďme na Delta Cep.

Z množstva porovnávacích hviezd vyberieme tie, ktorých jasností pokrývajú amplitúdu svetelných zmien premennej. To znamená od 3.4 do 4.2 mag. Na mapke sú uvedené jasnosti porovnávacích hviezd a pri nich v zátvorke je farebný index B-V v decimagnitúdach. Farebný index nás hrubo informuje o farbe hviezdy. Načo je to dobré sa možno dozvedieť na <http://var.kozmos.sk/object.php?id=334> . To pravda slúži skôr pokročilým pozorovateľom. Nám zatiaľ stačí vedieť, že treba vyberať porovnávacie hviezdy, ktoré sú farbou a teda aj farebným indexom blízke premennej. Ten sa podľa údaju na mapke mení od 0.4 (v maxime) po 0.9 (v minime). Tak sa skutočne cefeidy správajú. V minime sú o niečo červenejšie. Našťastie to nie je veľmi významná zmena. Druhé, rovnako dôležité kritérium pre výber porovnávacích hviezd, je čo najmenšia uhlová vzdialenosť od premennej. Na základe týchto kritérií moderátor tejto témy dlhodobo používa nasledujúce porovnávacie hviezdy:

3.43 (09)

3.51 (11)

3.77 (00)

4.27 (04)

Na tomto mieste je vhodné uviesť nejaké usmernenia pre samotné vykonávanie odhadu. V trenažéri a na obrázkoch v tejto téme sa znázorňovala jasnosť hviezdy veľkosťou kotúčiku. Na oblohe to tak však nie je. Pre voľné oko sú všetky hviezdy bodové zdroje, navyše viac - či menej blikajúce. Akým spôsobom sa teda na hviezdy pozeráť, aby sme vedeli využiť úžasnú schopnosť ľudského zraku vyhodnocovať relatívne jasnosti hviezd?

Používame zásadne **priamy pohľad**. Nikdy nepoužívame periférne videnie, ktoré naopak odporúčajú pri pozorovaní slabých plošných hmľistých objektov ako sú hmloviny, galaxie, hviezdokopy. Má to svoje príčiny. Vysokocitlivé **tyčinky** používané pri periférnom videní sú rozmiestnené všade po sietnici oka okrem stredu, čiže na periférii. Nanešťastie citlivosť sietnice sa z miesta na miesto mení. Preto ak chceme objektívne porovnať jasnosť dvoch hviezd musíme prechádzať priamym pohľadom z jednej na druhú niekoľko krát celkovo povedzme 30 sekúnd. Svetlo hviezd nám pritom dopadá vždy na tú istú centrálnu časť sietnice. V nej sú síce menej citlivé, ale dôveryhodnejšie receptory - **čapíky**. Ich nižšia citlivosť môže spôsobiť, že za horších podmienok (napr. svit Mesiaca) nevidíme porovnávacie a premennú hviezdu dobre a niekedy vôbec. V takej situácii radšej odhad nerobíme, ako by sme sa mali uchýliť k nepresnému periférnemu pohľadu. (Sú prípady, keď to zmysel má, netýka sa to však pozorovaní cefeíd).

Jeden sa môže spýtať: Ako viem, že sa pozerám priamym pohľadom? Odpoveď: Tak, že vidím hviezdy ako pekné, ostré bodové zdroje. Periférne videnie má totiž menšiu rozlišovaciu schopnosť. Vidíme aj slabšie hviezdy, ale akoby mierne rozostrené.

## **Celý odhad by mal vyzerat' takto:**

1. Identifikujeme premennú a porovnávacie hviezdy na oblohe. Ani pre začiatočníka by to nemal byť väčší problém vzhľadom na blízkosť výrazného súhvezdia Cassiopea.
2. Prejdeme postupne priamym pohľadom všetky porovnávacie hviezdy a premennú.
3. Vyhodnotíme, ktoré porovnávacie hviezdy použijeme na odhad. Jednu jasnejšiu a jednu slabšiu ako premenná. Musia to byť tie, čo sú jasnosťou najbližšie premennej.
4. Prechádzame priamym pohľadom vybrané dve porovnávacie a premennú hviezdu. Celé prehliadanie by malo trvať okolo minúty. Po dlhšom čase si už mozog začne "vymýšľať".
5. Vyhodnotíme to, čo sme videli formou lineárnej interpolácie metódy Nijlanda-Blazhka. Napríklad:  
3.77 - 2 V 3 - 4.27
6. Pripojíme čas s presnosťou na 1 minútu. Zásadne v UT.
7. Celý zápis by mal vyzerat' napríklad takto:

22.10.2010 Delta Cep 3.77 - 2 V 3 - 4.27 22:11 DPV

To posledné je skratka pozorovateľa. Skratku prideluje asociácia, do databázy ktorej pozorovania posielate pri vašej prvej správe. Pre účely tohoto semináru si môžete vymyslieť skratku akú chcete. Celkom dobrý nápad je používať skratky pozorovateľov meteorov.

Tým je práca pod oblohou ukončená. Už v teple pracovne upravíme zápis do formátu vyžadovaného programom Medúza. Najlepšie použiť odporúčaný [formulár](#). V našom prípade by mal výsledok vyzerat' takto:

Delta Cep 2455492.424 3.97 2010-10-22.924 DPV 3.77-2V3-4.27

Nakoniec ešte jedna kľúčová informácia.

### **Ako často pozorovať?**

To vždy závisí od toho, ako rýchlo sa premenná hviezda mení. Delta Cep pulzuje s periódou uvedenou na mapke  $P= 5.366341$  dňa. Uvedomme si, čo to znamená. Ak by perióda bola povedzme 4 hodiny, môžeme celý cyklus napozorovať za jednu noc ak robíme odhady každých  $\sim 15$  minút. To je prípad zákrytových premenných. Miridy majú periódou desiatky až stovky dní. Tam stačí pozorovať každú jasnú noc spôsobom jeden odhad za noc. V prípade cefeíd je to iné. Museli by sme mať šťastie, aby bolo 6 nocí za sebou jasných. Aj tak by sme krivku Deltu Cep mali pokrytú len riedko. Našťastie pulzovanie cefeíd je prísne periodické. Môžeme sa spoľahnúť, že perióda sa nemení.

**Budeme teda robiť jeden odhad každú jasnú noc, respektíve hocikedy sa nám podarí počas dlhšieho obdobia. Môže byť aj celý rok. Treba zhromaždiť niekoľko desiatok odhadov. Tie potom vynesieme do fázovej krivky. Ak budete pozorovať dostatočne často sami si všimnete zákonitosti v svetelných zmenách Deltu Cep. Niekoľko nocí po sebe budete vidieť ako jasnosť klesá. Potom omnoho rýchlejšie vystúpi do maxima. A potom zase všetko odznovu.**

**Nie je potrebné počítať heliocentrickú korekciu. Tú spočítame až pri strojení fázovej krivky.**