

Peter I v a n, prom. ped.

P R E M E N N É H V I E Z D Y

II. vydanie

Definícia:

Hviezdy, ktoré počas určitej doby menia svoju jasnosť v pravidelných alebo nepravidelných intervaloch, sa nazývajú premenné hviezdy. Príčina premenlivosti môže byť:

fyzikálna alebo geometrická.

Podľa toho ich môžeme rozdeliť do štyroch základných kategórií:

pulzujúce hviezdy

expandujúce hviezdy

fyzikálne premenné s inou príčinou premennosti

zákrytové premenné.

Dnes je známych asi 30 000 premenných hviezd. Jasné premenné hviezdy /novy, cefeidy/ boli pozorované aj v iných hviezdnych sústavách, najviac v Magellanových mrakoch a v M 31 v Androméde. Supernovy boli pozorované aj v mnohých iných galaxiách.

Premenné a minulosť.

Objavovanie premenlivosti hviezd iba voľným okom bolo veľkou etapou v rozvoji astronómie. Najstarší zachovaný záznam o takejto udalosti je z roku 130 pred našim letopočtom. Vtedy grécky učenec Hipparchos objavil na oblohe novú hviezdu, ktorú predtým nikto nevidel. Od Hipparchových čias do XVII. storočia sa na oblohe zaznamenalo asi 15 prípadov výskytu nových hviezd.

Z nich najzaujímavejšia je hviezda nova z roku 1054. Podľa množstva záznamov v európskych, činských a japonských kronikách, bola táto hviezda v súhvezdí Býka viditeľná niekoľko rokov, pričom prvé týždne bola tak jasná, že ju bolo vidieť aj počas dňa.

V roku 1572 v súhvezdí Kasiopeji zažiarila ďalšia nová hviezda, ktorá bola pozorovaná znamenitým pozorovateľom Tycho de Brahe a ktorý o nej zanechal podrobný a veľmi cenný záznam. V čase svojej najväčšej jasnosti prežiarila i Venúšu. Tycho de Brahe ju mohol pozorovať celých sedemnásť mesiacov. Potom sa pre voľné oko už stala neviditeľnou.

Nasledujúce vzplanutie novej hviezdy v roku 1604, v súhvezdí Hadonoša, pozoroval Johanes Kepler, ktorý túto udalosť popísal vo zvláštnom spise. Hviezda bola pozorovateľná voľným okom opäť 17 mesiacov. O tri roky neskôr bol vynájdený ďalekohľad, avšak jej jasnosť poklesla už natoľko, že ani týmto prístrojom nebola viditeľná.

Vo všetkých troch prípadoch išlo o vzplanutie pomerne blízkych supernov, preto tento jav bol aj tak výrazný. V minulosti neušli pozornosti našich predchodcov ani iné zmeny jasnosti hviezd. Svedčí o tom aj nasledujúca príhoda.

13. augusta 1596 David Fabricius pozoroval Merkúr v čase jeho rannej viditeľnosti. Zmeral jeho vzdialenosť od hviezdy 3. veľkosti /magnitúdy/ v súhvezdí Veľryby. Túto hviezdu predtým nevidel, nenašiel ju na svojom nebeskom glóbose, ba ani vo hviezdnych katalógoch vtedajšej doby. Začal ju pozorovať sústavnejšie a zistil, že jej jasnosť ku koncu augusta stúpila na 2^m. Pozorovania neprerušil a zistil, že jej jasnosť v septembri začala rýchlo klesať a v polovici októbra zmizla. Fabricius predpokladal, že ide o novú hviezdu. Avšak 15. februára 1609 ju zbadal opäť, no v pozorovaniach už nepokračoval. V neskoršom čase sa touto hviezdou začali zaoberať viacerí astronómovia. V Bayerovom hviezdnom atlase, v ktorom najjasnejšie hviezdy boli označené písmenami gréckej abecedy, /čo sa zachovalo až podnes/ bola táto hviezda uvedená ako hviezda 4. magnitúdy, označená písmenom \omicron - omikron. Pre jej miznutie a znovuobjavenie sa, jej dal Hevelius prívlastok Mira /divná, podivuhodná/. Od roku 1639, zásluhou iba dvadsaťročného Holwarda, je známe, že Mira Ceti je premenná hviezda niekedy viditeľná, inokedy skrývajúca sa neozbrojenému oku. Dnes vieme o tejto hviezde omnoho viac /viď. kapitola Pulzujúce hviezdy, str.15/. Patrí do kategórie pulzujúcich hviezd typu dlhoperiodických premenných, kde typickým predstaviteľom je práve Mira Ceti.

Zaujímavá je aj história v poradí druhej objavenej premennéj hviezdy. Išlo o δ Perzea - Algol. Premennosť Algola zistil v roku 1667 taliansky matematik a astronóm Montanari. Je veľmi pravdepodobné, že hľadaniu premenných hviezd sa tento astronóm venoval systematicky. Nasledujúcich sto rokov Algol upadol takmer do zabudnutia. Astronómovia sa mu

venovali iba sporadicky a viac menej sa obmedzili iba na konštatovanie, že vo väčšine prípadov ju videli ako hviezdu 2. magnitúdy, ale niekedy tiež ako hviezdu 3. alebo 4. magnitúdy.

Až v rokoch 1782 - 83 sa ňou zaoberali nezávisle dvaja astronómovia -amatéri. Prvý z nich roľník Palič z Prohlis pri Drážďanoch, ktorý je známy aj tým, že roku 1758 ako prvý objavil Halleyovu kométu, napriek tomu, že ju hľadal celý učený svet, sa ako astronóm samouk vyznamenal pozoruhodnými znalosťami z matematiky a astronómie. V roku 1783 sa podrobnejšie zaoberal pozorovaním Algola. Spozoroval, že za ten čas bol šesťkrát slabší. V pozorovaní Algola pokračoval aj ďalší astronóm - amatér Goodrick. S pozorovaním Algola počas krátkeho /1764-1786/ a útrpného života /hluchonemý/ začal už ako 18-ročný. V rokoch 1782-83 videl hviezdu spravidla rovnako jasnú, ale jedenásťkrát bola slabšia. Goodrick sa neobmedzil iba na obyčajné pozorovanie Algola, ale vypočítal, kedy presne začínajú jeho periodické minimá. Určil, že dve po sebe idúce minimá sa opakujú po $2^d 20^{hod} 45^{min}$. Ďalej zistil, že pokles jasnosti trvá iba 9 hodín a ostávajúce dva dni 12 hodín hviezda svieti rovnakým svetlom.

Hviezda teda zostáva rovnako jasná a iba počas presne definovaných období /periód/ klesá k minimu a potom sa opäť vracia k svojej normálnej jasnosti.

Roku 1880 Pickering objasnil príčinu premennosti Algola, aj keď podobná predstava začala vznikáť už skôr, počínajúc Goodrickom. Ide o dve hviezdy, jednu jasnú a druhú tmavú. Jedna obieha okolo druhej, pričom ich rovina obehu musí byť v priestore orientovaná tak, aby pri pohľade zo Zeme mohlo dôjsť k vzájomnému prekrytiu. V prípade Algola svetelná zmena začína v tom okamžiku, kedy temná zložka začína zakrývať jasnú hviezdu. Jasnosť klesá naďalej v dôsledku stále sa zväčšujúceho prekrytu a v dobe minima je jasnosť Algola daná iba žiarením nezaclonenej časti povrchu jasnej hviezdy. Po minime jasnosť opäť stúpa a v čase, kedy sa prekrytie odstráni, stupne na pôvodnú hodnotu.

Z poklesu jasnosti a z doby trvania zatmenia je možné vypočítať relatívne rozmery oboch hviezd, elementy dráhy a pod. Takéto vysvetlenie bolo nielen potvrdené spektrálnym

pozorovaním /r-1889 Vogel/, ale vďaka spektrálnej analýze boli zistené aj ostatné veličiny hviezdneho systému, z ktorého temné teleso nevidíme a napriek tomu môžeme určiť jeho rozmery a hmotnosť. Algol /beta Perzei/ patrí do kategórie zákrytových premenných. Z nich špeciálnu podskupinu vytvárajú hviezdy Algolu podobné. Hovoríme im zákrytové premenné typu Algol.

Označovanie premenných hviezd.

V 19. storočí zásluhou Argelandera a jeho žiakov sa začalo so systematickým výskumom a počet známych premenných stúpol na 563. Bolo nutné ich patrične označiť. Niekoľko jasnejších premenných hviezd má obvyklé označenie, typické pre všetky jasné hviezdy, napr. α Her, β Lyr. Podľa návrhu Argelandera sa premenné hviezdy značia veľkými latinskými písmenami počínajúc R, t.j. R, S, T...: toto označenie je pre každé súhvezdie zvlášť. Po písmene Z začínajú kombinácie dvoch písmen RR, RS ... RZ, SS, ... SZ, TT ... až do ZZ. Týchto kombinácií je 54 a keď nestačia, pokračuje sa písmenami AA, AB, ... AZ, BB, ... a končí sa QZ, čím je možné utvoriť 334 označení premenných.

V niektorých súhvezdiach poznáme dnes viac než 334 premenných hviezd a preto sa ďalšie premenné hviezdy označujú písmenom V /variable - premenný/ a poradovým číslom V 335, V 336, pričom za každú kombináciu sa pridá skratka latinského označenia súhvezdia, a tak máme premenné hviezdy δ Cep, Y Cam, EG Cep, V 1068 Cyg. Toto pomenovanie aj keď sa zdá trochu komplikované, sa už vžilo a nie je potrebné ho meniť.

Aby definitívne označenie premenných bolo súvislé, bez medzier, hviezdy podozrivé z premennosti dostávajú predbežné označenie v podobe roku objavu a poradového čísla umiestneného pred ním, s pripojeným názvom súhvezdia na konci. Napr. 31.1907 Aurigae, bola 31. premennou hviezdou objavenou v r. 1907. Neskôr dostala definitívne označenie SS Aur.

Sú aj iné spôsoby predbežného označenia ako napr. HV /Harvard Variable/, S /Senneberg/, SVS /Soviet Variable Star/, BV /Bamberg Variable/ a poradové číslo. Potom predbežne ozna-

čená premenná BV 332, dostane definitívne označenie v tomto prípade VZ CVn.

Svietivosť, hviezdna veľkosť.

Aby sme mohli pochopiť a podrobnejšie sa oboznámiť s problematikou premenných hviezd, objasníme si základné pojmy: svietivosť a hviezdna veľkosť, charakterizujúce každú hviezdu.

Pod svietivosťou hviezd rozumieme celkové množstvo svetelnej energie vyžiarenej hviezdou do priestoru za sekundu. Spravidla za jednotku sa berie svietivosť Slnka. Medzi svietivosťou hviezd sú obrovské rozdiely, asi také ako medzi svätojánskou muškou a silným majákom. Slnko by v tomto porovnaní svietilo ako sviečka. Pri pohľade na hviezdy ich svietivosť nedokážeme určiť. Orientujeme sa podľa ich rôznej jasnosti. Jasnosť hviezd chápeme ako mieru osvetlenia príslušného prijímača žiarenia, napr. oka, skúmanou hviezdou. Jasnosť hviezd charakterizujeme termínom hviezdna veľkosť alebo magnitúda. Už v druhom storočí pred n.l. rozdelil Hipparchos hviezdy viditeľné voľným okom na šesť tried a to tak, že prvú veľkosť mali najjasnejšie a šiestu najslabšie.

Pretože takéto rozdelenie hviezd má svoje opodstatnenie, používa sa dodnes s určitou úpravou, ktorú navrhol Pogson z dôvodu pohodlnejšieho počítania. Pogson na základe fyziologických vlastností oka stanovil, že hviezda o jednu hviezdnu veľkosť, teda o jednu magnitúdu jasnejšia /slabšia/, vydáva 2,5 krát viacej /menej/ svetla. Rozdiel jasnosti hviezd o dve magnitúdy znamená, že jasnejšia vydáva $2,5 \times 2,5 = 6,25$ krát viac svetla než hviezda slabšia, atď. Neskôr z praktických dôvodov namiesto koeficienta 2,5 sa zaviedol koeficient 2,512. Potom rozdiel jasnosti o dve magnitúdy činí $2,512 \times 2,512 = 6,31$ a pri rozdieli 5 magnitúd vydáva jasnejšia hviezda 100 krát viac svetla. Keď sú I_1 a I_2 intenzity osvetlenia spôsobené žiarením dvoch hviezd, sú ich hviezdne veľkosti m_1 a m_2 určené Pogsonovou rovnicou:

$$m_2 - m_1 = 2,512 \cdot / \log I_1 - \log I_2 / \quad /1/$$

Najslabšie hviezdy, ktoré je možné dnes fotografovať najväčšími ďalekohľadmi, sú 23. hviezdnej veľkosti /magnitúdy/, čo sú také, ktorých by bolo treba takmer 16 miliónov, aby boli viditeľné voľným okom ako hviezdy 6^m. Planéta Pluto má jasnosť + 15^m, najslabšie hviezdy viditeľné voľným okom + 6^m, Severka + 2,2^m, Vega + 0,1^m, Sírirus - 1,6^m, Venuša maximálne - 4,5^m, Mesiac v splne - 12,6^m a Slnko - 26,6^m. Rozpätie jasnosti známych nebeských telies je 50 hviezdnych veľkostí.

Uvedené hviezdne veľkosti charakterizujú hviezdy tak, ako sa nám javia a zodpovedajú tzv. zdanlivým veľkostiam. V skutočnosti nezodpovedajú ozajstným jasnostiam týchto telies, pretože tie sú skreslené ich vzdialenosťami. Hviezdna veľkosť, akú by hviezda mala, keby bola vzdialená 10 parsekov, sa nazýva absolútna hviezdna veľkosť a charakterizuje hviezdu tak, ako naozaj svieti. Ak poznáme vzdialenosť hviezdy "r" v parsekoch a zdanlivú hviezdnu veľkosť "m", dá sa absolútna veľkosť "M" vypočítať zo vzťahu:

$$M = m + 5 - 5 \cdot \log r \quad /2/$$

Vizuálne magnitúdy pozorované okom sa vzťahujú iba na istý úsek spektra, ktorý je daný vizuálnou citlivosťou oka. Maximálnu citlivosť má oko na svetlo žltozelenej farby o vlnovej dĺžke 5 290 Å a týmto sú potom ovplyvnené vizuálne magnitúdy /m_v/. Ak namiesto oka použijeme fotografický materiál citlivý na svetlo vlnovej dĺžky 4 250 Å, získame fotografické magnitúdy /m_p/. Rozdiel vizuálnej a fotografickej magnitúdy sa nazýva farebný index a používa sa na výpočet povrchovej teploty hviezd. Pri použití rôznych fotoelektrických fotometrov dostávame fotoelektrické magnitúdy. Okrem uvedených magnitúd existujú aj iné, ale pre všetky druhy platí, že pre tú istú hviezdu sú spravidla rôzne, lebo ani oko ani prístroje nie sú rovnako citlivé na všetky vlnové dĺžky.

Klasifikácia premenných.

Existuje nesmierne veľa premenných hviezd, z ktorých asi 30 000 už poznáme. Tie vykazujú značnú rôznorodosť. Pri niektorých dôvod premennosti ešte presne nepoznáme. Preto

je veľmi obtiažne vytvoriť ucelenú klasifikáciu a systém premenných hviezd. V posledných rokoch bolo navrhnuté množstvo rôznych klasifikácií, ktoré zatriedili premenné na jednotlivé skupinky podľa ich rôznych vlastností /dĺžka periódy, pravidelnosť premennosti, fyzikálne vlastnosti priebehu svetelnej krivky a pod./. Delenie premenných podlieha aj neustále sa rozširujúcimi vedomosťami o nich. Preto nie je definitívne. Uvádzame klasifikáciu premenných hviezd podľa J. Kleczeka, ktorá najviac vyhovuje súčasnému stavu našich znalostí a pravdepodobne v nej počas dlhšej doby väčšie zmeny nenastanú.

Podľa príčiny premenlivosti môžeme rozdeliť premenné hviezdy na dve skupiny a to na zákrytové a fyzikálne premenné hviezdy. Fyzikálne ďalej delíme do troch kategórií, ktoré sa delia na jednotlivé typy. Schématicky táto klasifikácia vyzerá takto:

- A Kategória - Pulzujúce hviezdy

- typy: A₁ - cefeidy
- A₂ - W Virginis
- A₃ - hviezdy typu δ^2 Canum Venaticorum
- A₄ - hviezdy typu RR Lyrae
- A₅ - hviezdy typu β Canis Maioris
- A₆ - hviezdy typu σ Scuti
- A₇ - hviezdy typu RV Tauri
- A₈ - dlhoperiodické premenné
- A₉ - polopravidelné premenné
- A₁₀ - nepravidelné premenné

- B Kategória - Expandujúce hviezdy

- typy: B₁ - supernovy
- B₂ - novy
- B₃ - pomalé novy
- B₄ - novy typu RT Serpentis
- B₅ - rekurentné novy
- B₆ - hviezdy typu U Geminorum
- B₇ - hviezdy typu Z Camelopardalis
- B₈ - hviezdy novám podobné
- B₉ - symbiotické hviezdy

- C Kategória - Fyzikálne premenné s inou príčinou premennosti

- typy: C_1 - erupzívne hviezdy
- C_2 - hviezdy typu RW Aurigae
- C_3 - hviezdy typu T Tauri
- C_4 - hviezdy typu R Coronae Borealis

- D Kategória - Zákrytové premenné

- typy: D_1 - hviezdy typu Algol
- D_2 - hviezdy typu β Lyrae
- D_3 - hviezdy typu W Ursae Maioris
- D_4 - eliptické premenné

Základné poznatky o jednotlivých typoch zhrnieme v nasledujúcich kapitolách.

Kategória A - pulzujúce hviezdy.

Za normálnych okolností je hviezda v hydrostatickej rovnováhe, teda zmršťujúca sila, ktorú predstavuje vlastná gravitácia je v rovnováhe s expandujúcou silou, ktorú predstavujú gradient tlaku plynu a tlak žiarenia. U pulzujúcich hviezd je táto rovnováha narušovaná. Predpokladá sa, že nie hlboko pod povrchom sa nachádza vrstva, ktorá je schopná pohltiť a zase rýchlo vyžiariť obrovské množstvo energie.

Týchto hviezd bolo objavených zatiaľ najviac. U nich dochádza k striedavému porušovaniu hydrostatickej rovnováhy a tým k periodickému zväčšovaniu a zmršťovaniu atmosféry, teda k zmenám polomeru.

Keď hviezda znižuje svoj rozmer, znižuje sa veľkosť žiariaceho disku a tým aj celková svietivosť. Nastáva minimum. Po dosiahnutí najmenšieho rozmeru, stúpne teplota a tým aj celkové žiarenie, jasnosť stúpa. Horúca, silne žiariaca hviezda sa začína rozpínať, zväčšuje sa veľkosť žiariaceho disku, nastáva maximum jasnosti. Pri ďalšom rozpínaní začína chladnúť, zdroj žiarenia zaniká a napriek neustále zväčšujúcemu sa rozmeru jasnosť hviezdy sa znižuje a celý cyklus sa opakuje.

Pulzácia sa nevzťahuje na vnútro hviezdy. Doposiaľ sa nepodarilo úplne objasniť aké sú vývojové dôsledky tohoto zvláštneho stavu, v ktorom sa pulzujúce hviezdy nachádzajú.

Typ A₁ - cefeidy.

Dosiaľ je známych 696 hviezd tohto typu, označujú sa aj veľkým písmenom C. Hlavný zástupca, podľa ktorého bol typ pomenovaný, je hviezda δ Cep. Jej premennosť bola objavená už v roku 1784 Goodrickom. Perióda δ Cep je 5,366 dňa. Hviezdna veľkosť kolíše v intervaloch 3,48^m až 4,34^m, absolútna hviezdna veľkosť je - 3,5^m, spektrálny typ F₄ - G6. Teplotný rozdiel povrchu v maxime a minime činí 700 K.

Perióda svetelných zmien cefeíd je úplne pravidelná, pohybuje sa v intervale 1 - 50 dní, najčastejšie pulzujú v perióde 5 - 6 dní. Amplitúda zmien jasnosti nepresahuje 3^m a v modrej oblasti spektra je väčšia než v červenej. Absolútne magnitúdy sa pohybujú v rozmedzí 0^m až 6^m. V maxime sú spektrálnej triedy F.

Tvoria plochy podsystém v našej Galaxii. Pomáhajú nám určovať vzdialenosti. Cefeidy v Malom Magellanovom Mračne sú od nás veľmi ďaleko a pretože patria k rovnakému systému, môžeme v priblížení predpokladať túto vzdialenosť za rovnakú. Pri porovnávaní ich vzájomných zdanlivých magnitúd dochádzame k akejsi absolutizácii. /Obdoba absolútnej jasnosti, no nie zo vzdialenosti 10 parsekov, ale zo vzdialenosti omnoho väčšej./ Pri rovnakých podmienkach /vzdialenosti cefeíd/ sa môžu objektívne zisťovať vzájomné súvislosti. Tak bolo objavené /r.1912, Levittová/, že čím sú cefeidy jasnejšie, tým dlhšie majú periódy pulzov. Táto závislosť je lineárna. Tieto pozorovania viedli k objaveniu závislosti medzi periódou P a absolútnou magnitúdou alebo svietivosťou cefeidy.

Dá sa vyjadriť vzorcom:

$$M = a + b \cdot \log P \quad /3/$$

kde $a = -1,7$; $b = -2,54$ /stredné hodnoty pre klasické cefeidy/.

Vďaka tejto závislosti je možné určovať vzdialenosti mnohých systémov vo vesmíre a cefeidy si tak vyslúžili označenie "míľniky vesmíru".

Pre príklad predpokladajme, že sme objavili cefeidu s $P = 3$ dni a zdanlivou hviezdou veľkosťou + 13^m. Zo vzorca /3/ vypočítame jej absolútnu magnitúdu $M = -2,91^m$ a zo vzorca /2/ vypočítame jej vzdialenosť: $r = 15\,219$ parsekov.

A₂ - hviezdy typu W Virginis.

Poznáme ich asi 70. Ich medzinárodné označenie je CW. Sú veľmi podobné cefeidám, avšak na rozdiel od nich patria do guľového podsystému hviezd v Galaxii. Vo vzťahu perióda - svietivosť majú odlišný nulový bod. Bývajú o 1,5 - 2 magnitúdy slabšie, no môžeme ich využiť na podobné merania ako klasické cefeidy. Pri klasických cefeidách je zmena polomeru asi 10 - 15%, pri type W Virginis až 50%.

A₃ - hviezdy typu δ^2 canum Venaticorum,

tvoria podskupinu pulzujúcich premenných hviezd s doposiaľ známym počtom 28. Označujú sa δ CV. Podobne ako cefeidy majú periódy dlhšie ako 1 deň, avšak amplitúda zmien jasnosti je veľmi malá, častokrát menšia než $0,1^m$. Niekoľko hviezd tejto skupiny je spektrálnej triedy A. Majú obyčajne silné magnetické pole, ktorého variácie spôsobujú zníženie intenzity niektorých absorpčných čiar, čo sa prejavuje malou zmenou jasnosti.

A₄ - hviezdy typu RR Lyrae,

tvoria dosť početnú podskupinu - 4 423 hviezd. Označujú sa RR. Bývajú nazývané tiež krátkoperiodické cefeidy. Atmosféra sa zmršťuje a rozpína /spolu so zmenou svetelnej krivky/ v presnom rytme s periódou 0,3 - 1,1 dňa. Sú to obry triedy B8 - F2, spravidla prislúchajúce ku guľovým galaktickým podsystémom. Nachádzajú sa predovšetkým v guľových hviezdokopách v strede Galaxie. Všetky majú zhruba rovnakú svietivosť /asi stonásobok svietivosti Slnka/. Podľa závislosti amplitúdy na perióde a tvare svetelnej krivky ich môžeme deliť ešte na dva podtypy: RR_c - typ má periódu 0,3 - 0,5 dňa so zmenou jasnosti asi $0,5^m$. Svetelná krivka je sínusoida. RR_{ab} - typ má výrazne asymetrickú svetelnú krivku s rýchlym vzostupom a pozvoľným klesaním jasnosti, s amplitúdou $\sim 1^m$. S rastúcou periódou v rozmedzí 0,5 - 1,1 dňa rozdiel magnitúd v maxime a minime klesá. Absolútna magnitúda oboch typov je v rozmedzí 0,0 až $+ 0,9^m$ a na perióde nie je závislá.

A₅ - hviezdy typu β Cephei /niekedy tiež β Canis Majoris/.

Je skupina obsahujúca 14 doposiaľ známych premenných hviezd tohoto typu. Označuje sa β C. Tieto hviezdy majú pravidelnú periódu 0,15 - 0,30 dňa, t.j. ešte kratšiu než predchádzajúce RR Lyrae. Sú to obry väčšinou patriace do spektrálnej triedy B. Patria do plochého podsystému Galaxie. Tvarom svetelnej krivky pripomínajú RR Lyr, avšak majú menšiu amplitúdu /v rozmedzí od niekoľko stotín až po 0,2^m/. Pravdepodobne dochádza k interferencii niekoľkých periód, ktoré sa líšia iba nepatrne.

A₆ - hviezdy typu δ Scuti.

Doposiaľ známych reprezentantov tejto skupiny medzinárodne označovanej δ Sc je ôť podobných typu RR Lyr. Majú veľmi krátku periódu - od 0,06 dňa /SX Phe/ do 0,2 dňa. Sú to väčšinou pulzujúce trpasličie hviezdy spektrálnej triedy F, preto sa im občas hovorí tiež trpasličie cefeidy. Ich zmeny jasnosti nepresahujú niekoľko desiatín magnitúdy.

A₇ - hviezdy typu RV Tauri.

100 členná podskupina premenných hviezd s označením RV je charakteristická tým, že ich perióda nie je úplne pravidelná. Ich svetelná krivka vykazuje striedavo hlbšie a plytšie minimá jasnosti. Zmeny jasnosti sa pohybujú v intervale od 0,8^m do 3,5^m a perióda od 30 - 150 dní. Sú spravidla spektrálneho typu F, G, K. U mnohých z nich sa v maxime objavujú jasné emisné čiary a v minime absorpčné čiary titanu.

A₈ - dlhoperiodické premenné, častokrát podľa hlavného predstaviteľa nazývané tiež typ Mira Ceti.

Viac ako 4 600 hviezd tohto typu, medzinárodne označované ako M, má pravidelnú periódu s menšími /10%/ anomáliami. Nie sú teda také presné ako cefeidy. Ich jasnosť sa mení v perióde 70 - 1 380 dní. Z priebehu svetelnej krivky bolo zistené, že:

- hviezdy s periódou kratšou než 270 dní majú krivky symetrické
- hviezdy s periódou viac ako 320 dní majú krivky asymetrické /kratšia a strmšia vzostupná časť/
- hviezdy s periódou viac ako 390 dní majú na vzostupnej časti svetelnej krivky vlny /hrbolky/.

Rozdiel jasnosti v minime a maxime býva 1^m až 12^m . V skutočnosti zmena v infračervenej oblasti / $\lambda = 1-2$ mikróny/ nie je väčšia než niekoľko desiatín magnitúdy a zmena bolometrickej magnitúdy /charakterizujúce celkové žiarenie/ nepresahuje $0,75^m$.

Hviezdy tohto typu sú väčšinou červení obry spektrálnych typov M, N, S, výnimočne R, C, s emisnými čiarame v spektrách /v maxime vodík, v minime kovy/. Ide o najchladnejšie pozorované hviezdy s efektívnymi teplotami 1700 - 2380 K.

V minime jasnosti dosahuje hviezda zrejme najväčší polomer, v maxime najmenší. Mechanizmus premenlivosti zatiaľ nie je dostatočne vysvetlený. Príčina premenlivosti svetla nie je pravdepodobne iba dôsledkom rozpínania a zmršťovania povrchových vrstiev /ako pri cefeidách/, ale tu dochádza i k ďalším zmenám v atmosfére hviezd, kde sa nachádza množstvo atómov kyslíka a kovov. Pri vyššej teplote /v maxime jasnosti, minime rozmeru /sú atómy voľné, neviazané a atmosféra hviezdy je priehľadná. Keď teplota poklesne /rozpínanie/ zlúčia sa atómy na molekúly oxidov, ktoré silne pohlcujú viditeľné svetlo. Atmosféra sa stáva nepriehľadná a my pozorujeme svetlo značne zoslabené /minimum/. Keď sa teplota zvýši /kontrakcia/ molekuly oxidov sa rozpadávajú, ich vrstva je stále tenšia, až nakoniec sa atmosféra stane priehľadná a nastáva maximum. Napríklad odhadnuté polomery hviezdy Mira Ceti sú pri minime jasnosti $R = 320$ polomerov Slnka, pri maxime jasnosti $R = 220$ polomerov Slnka.

Hviezdy tohto typu sú v Galaxii pomerne rovnomerne rozložené v jednotlivých jej zložkách. Premenné s periódou kratšou než 250 dní sú viac koncentrované v guľovej zložke /populácia II/ a hviezdy s periódou nad 300 dní sa najčastejšie vyskytujú v plochej zložke /populácia I/.

Prvú hlbšiu analýzu zmien jasnosti hlavného predstaviteľa premenných tohto typu urobil už na konci 18. storočia Wiliam Herschel, ktorý spracoval všetky dovtedy existujúce pozorovania. Zistil, že zmeny jasnosti Mira Ceti prebiehajú

vcelku periodicky, ale sú rušené množstvom nepravidelností. Obdobie medzi dvoma po sebe nasledujúcimi maximami, sa rovná priemerne 332 dní /v rozmedzí od 310 do 370 dní/. Podobne je to aj s jej jasnosťou, ktorá v rôznych maximách a minimách nezostáva rovnaká. V maxime dosiahne priemerne 2,0 zdanlivej veľkosti, ale sú prípady, keď dosiahne 5^m alebo až 1^m /r.1799/. V minimách jej jasnosť kolíše opäť okolo priemernej hodnoty 10,1^m. Pre jej anomálie v chode svetelnej krivky, nenáročnosť na prístrojové vybavenie počas pozorovania /oko, menší ďalekohľad/ a dlhý pozorovací čas, by bolo vhodné túto hviezdu pozorovať aj v astronomických krúžkoch. Za jednu noc urobené odhady jasnosti možno spriemerovať. Priebeh svetelnej krivky si môžu členovia krúžku vypočítať a narysovať sami, pričom pri dobre napozorovaných údajoch sa tieto môžu použiť na ďalšie spracovanie.

A₉ - poloprávne premenné.

Doposiaľ je ich známych 2 261 a označujú sa SR. Sú charakteristické väčšinou iba slabou naznačenou periódou a mnohými poruchami. Dĺžka periódy jednotlivých zástupcov je v rozmedzí od 30 do 1000 dní. Zmena jasnosti väčšinou nepresahuje 2 magnitúdy. Tento typ sa spravidla delí na tri podtypy:

- Z Aquarii, periodicita je pomerne dobre zachovaná, spektrálna trieda M alebo S. Od dlhoperiodických sa líši hlavne menšou amplitúdou jasností.
- β Cephei, periodicita je iba veľmi slabá, obrie hviezdy spektrálneho typu M, S /napr. Betelgeuse/.
- S Vulpeculae, spektrálny typ F, G alebo K.

A₁₀ - nepravidelné premenné.

1687 premenných hviezd označovaných I, podľa novej úpravy L. U nich boli zistené iba slabé náznaky periodicity, čo je často iba dôsledok nedostatočného pozorovania. Po sústavnejšom pozorovaní sa často zisťuje, že väčšinou ide tiež o plovpravidelné premenné.

B - expandujúce hviezdy.

Menia svoj priemer náhle a pri explózii časť plynného

obalu expanduje do priestoru. V dobe mimo výbuchu je jasnosť hviezdy konštantná, alebo takmer konštantná.

B₁ - supernovy /označenie SN/.

O prvých objavoch premenných tohto typu sme hovorili už v kapitole Premenné a minulosť. U hviezd 3 až 8 krát hmotnejších než je naše Slnko, dochádza po spotrebovaní termonukleárneho paliva ku kolapsu. Uvoľnená potenciálna energia vedie k prudkému vzostupu teploty, tlaku a k výbuchu v centre, ktorý vyvrhne do priestoru bezmála celú hmotu masívnej hviezdy. Celková energia uvoľnená pri výbuchu supernovy je v rozmedzí $10^{41} - 10^{45}$ J. Jasnosť hviezdy prudko stúpa - o 20 a viac magnitúd. V maxime svietivosti sa uvoľňuje $10^{36} - 10^{39}$ J. s^{-1} , absolútna magnitúda dosahuje hodnôt - 17^m až - 21^m , čo predstavuje $10^9 - 10^{11}$ svietivosti Slnka.

Výbuch supernovy obohacuje medzihviezdny priestor o nové ťažšie prvky, ktoré vznikajú vo hviezde jednak termonukleárnymi reakciami a jednak jadrovými reakciami, vyvolanými rázovými vlnami pri explózii. Hmota expanduje nerovnomernou rýchlosťou. Spočiatku je rýchlosť veľká, hustota klesá rýchlejšie, neskôr sa prejaví brzdiaci vplyv medzihviezdného priestoru, ktorý spomaľuje rýchlosť a pokles hustoty. Zhruba po 500 rokoch má vyvrhnutá obálka vrstvomitú štruktúru, po 5000 rokoch nadobúda riasovitú podobu a po niekoľkých miliónov rokov sa rozpadá na mraky medzihviezdnej hmoty. Expandujúce obálky blízkych supernov možno pozorovať ešte mnoho sto rokov po výbuchu v podobe hmlovín, kým sa celkom nerozptýlia v medzihviezdnom priestore.

Najznámejšou z nich je Krabia hmlovina, pozostatok supernovy z roku 1054. Táto hmlovina, ktorá je vzdialená 280 parsekov, sa v súčasnosti rozpína rýchlosťou 1100 km/s. Sko-labované jadro je horúcou, rýchle rotujúcou neutrónovou hviezdou.

Vek zvyškov po dávnych supernovách sa odhaduje z optického pozorovania rýchlosti rozpínania ich vláknitej štruktúry /extrapolácia do zadu/. Najstarším známym zvyškom supernovy v našej Galaxii je hmlovina v súhvezdí Plachiet, po výbuchu spreď asi 500 000 rokov. Najmladším zvyškom je asi rádiový

zdroj v súhvezdí Škorpióna, ktorého vek zodpovedá výbuchu vzdialenej nepozorovanej supernovy asi spred 120 rokov.

Vzdialenejšie výbuchy supernov v našej Galaxii pre silnú absorpciu svetla v medzihviezdnej hmote unikajú optickému pozorovaniu. Podľa počtu pravdepodobnosti takýto výrazný jav viditeľný z našej Zeme by sa mal opakovať raz za 300 - 400 rokov. Preto je možné, že ďalšie jasné vzplanutie supernovy sa odohrá v nie tak vzdialenej budúcnosti.

Pre intenzívny jas boli objavené supernovy aj v iných galaxiách. Napríklad v roku 1885 bola v galaxii M31 v súhvezdí Androméda pozorovaná supernova, ktorá dosiahla zdanlivú jasnosť + 5^m. Systematickým hľadaním supernov v galaxiách boli získané údaje o viac než 200 jednotlivých prípadoch. Podľa hrubého odhadu v priemernej galaxii vzplanú 2 - 3 supernovy za storočie. V galaxii NGC 3184 za 16 rokov boli pozorované tri. V našej Galaxii boli spoľahlivo zaznamenané štyri vzplanutia supernov /r. 1006 - Vlk, 1054 - Býk, 1572 - Kasiopoja, 1604 - Hadonos/ a najmenej 11 objektov, ktoré sú isté zbytky po supernovách. Supernovy môžeme rozdeliť podľa niekoľkých kritérií. Podľa spektra delíme na dva typy /Mankowski/:

I. typ: V blízkosti maxima jasnosti majú spojité spektrum bez čiar, neskôr sa objavujú široké emisné čiary. Zodpovedajú rýchlosti rozpínania 100 - 6000 km/s. Charakteristika spektra sa s časom mení. Zo spektra tohto typu supernov sa ďalej zistilo, že počas výbuchu bolo vyvrhnuté množstvo hmoty zodpovedajúcej 0,1 - 1 hmoty Slnka.

II. typ: Rozpínajúca sa obálka má celkovú hmotnosť 2-10 hmotností Slnka a expanduje rýchlosťou až 10000 km/s. Od predchádzajúceho typu sa odlišuje silným ultrafialovým koncom spektra, vznikom emisných ale aj absorpčných čiar a svietivosťou asi o rád nižšou.

Supernovy typu I. majú oproti typu II. strmější pokles jasnosti. Zdá sa, že supernovy typu I. vznikajú z hviezd o menšej hmote. Supernovy typu II. sú s veľkou pravdepodobnosťou záverečné štádiá vývoja veľmi hmotných hviezd. S najväčšou pravdepodobnosťou známe supernovy r. 1572 a r. 1604 patrili

k typu I. a supernova z roku 1054 patrila k typu II. Podľa svetelnej krivky supernovy delíme do 5 typov:

- I. typ - rýchly vzostup jasnosti trvajúci maximálne 20 dní. V maxime zotrúva niekoľko dní, potom nasleduje prudký pokles /o 3^m za 20-40 dní/, ktorý sa neskôr spomaľuje.
- II. typ - vzostup jasnosti trvá tiež asi 20 dní, v maxime sa jasnosť môže udržať dlhšie, potom nastáva pomerne rýchly pokles / 1^m za 12-50 dní/ na pôvodnú úroveň.
- III. typ - podobný typu II. s povelnejším zostupom z ešte dlhšie trvajúceho maxima
- IV. typ - charakteristický tým, že po 50 dňoch priemerného poklesu nastane asi 100 dňová prestávka /konštantná jasnosť/ a až po nej nasleduje ďalší pokles
- V. typ - pozvoľný, avšak stále sa zrýchľujúci vzostup jasnosti /trvajúci až roky/, po krátkom maxime nasleduje postupne sa spomaľujúci pokles, trvajúci opäť roky. Všeobecne tento typ dosahuje najnižších svietivostí v maxime.

Typ č.I. sa najčastejšie nachádza v špirálnych eliptických a nepravidelných galaxiách. Typ II. hlavne v špirálnych galaxiách Sb a Sc. Typy III. až V. najčastejšie v špirálnych galaxiách Sc. Je to spôsobené tým, že rôzne typy prislúchajú rôznym podsystémom. I. typ patrí do guľového alebo prechodného systému. II. a III. typ je vždy súčasťou plochého podsystému.

B₂ - novy /označenie N/

Novy sú hviezdy, ktoré náhle zvýšia svoju jasnosť o 7 až 16 magnítud /menej než supernovy/, pričom počas väčšiny svojho života sú veľmi nenápadnými objektami s malou svietivosťou, prevážne modrej farby. Vzrast jasu je veľmi prudký. Maximum dosiahnu za niekoľko málo dní a po krátkodobom maxime nastáva pozvoľný niekoľkomesačný, až ročný pokles na pôvodnú úroveň. Zostupná krivka častokrát vykazuje rôzne fluktuácie. Doposiaľ poznáme asi 146 nov.

Spektrá nov ukazujú, že explóziou dochádza k výronu hmoty z hviezdy rýchlosťou asi 2000 km/s. Množstvo vyvrhutej hmoty na rozdiel od supernov, sa pohybuje v rozmedzí 10^{-9} až 10^{-3} hmotností Slnka. Zvýšenie jasu je spôsobené hlavne rozo-

pnutím povrchových vrstiev /zväčšenie polomeru/.

Vyvrhnutá hmota - plyn - sa potom ďalej rozpína vo forme obálky, ktorú možno pozorovať po vzplanutí ako slabú hmlovinu obklopujúcu hviezdu. Po odpútaní tohto obalu sa hviezda postupne vráti do pôvodného stavu. Celkové množstvo energie, ktoré sa pri explózii uvoľní dosahuje 10^{37} až 10^{40} J /zodpovedá energii vyžiarenej Slnkom za státisíce rokov/. Nie je vylúčené, že novy opakujú svoje vzplanutia v intervale rádove 10^4 až 10^5 rokov, čo by predstavovalo niekoľko stoviek explózií počas života hviezdy.

Pre množstvo nov sa podarilo dokázať, že ide o sústavu tesných dvojhviezd. Chladná zložka dvojhviezdy vyplňuje Rocheovu medzu a dodáva materiál bohatý na vodík horúcej zložke /bielemu trpaslíkovi/. Táto kompaktná zložka býva obklopená hmotným a svietivým akrečným diskom. Po určitom čase vo vnútri obalu dochádza k náhlej termonukleárnej reakcii a nestabilita má za následok vzplanutie novy.

Novy môžu slúžiť tiež na určovanie vzdialenosti objektov. U niektorých boli registrované rozširujúce sa obálky spektrálne a fotograficky. Zo známej uhlovej veľkosti po známej dobe výbuchu a z rýchlosti šírenia priestorom bolo možné určiť vzdialenosti pozorovaných nov a ich svietivosti v maxime. Tieto poznatky je možné zhrnúť do empirického vzorca:

$$M = - 11,5 + 2,5 \cdot \log t_3 \quad /4/$$

kde t_3 je čas, ktorý uplynul od maxima jasnosti k poklesu o tri magnitúdy /v dňoch/. Zo vzorca 4 vypočítame M /absolútna jasnosť/. Spolu s napozorovaným m /zdanlivá jasnosť/ dosadíme do vzorca /2/, z ktorého vypočítame vzdialenosť r .

Väčšina nov dosahuje v maxime absolútnu jasnosť - 6,5 až - 9,5^m, v minime klesá na + 4 až + 5^m. Ročne pozorujeme asi dve novy v našej Galaxii, no odhadujeme, že ich vzniká do 7. magnitúdy asi 50 za rok.

Typickým predstaviteľom je nova GK per z roku 1901. Jej jasnosť sa zmenila z 13,5^m na 0,2^m, pričom absolútnu jasnosť dosiahla - 8^m. Je vzdialená 470 pc a rýchlosť rozpínania bola 1 200 km/s. Plynná obálka hviezdy bola pozorovateľná niekoľko desiatok rokov. Ide o rýchlu novu - Na.

B₃ - pomalé novy /Nb/.

Od normálnych nov sa odlišujú pomalším priebeho svetelných zmien. Typickým predstaviteľom je RR Pic. Známa je aj nova DQ Her z roku 1934, vzdialená 230 pc. Dosiahla absolútnej hviezdnej veľkosti - 6^m /zmena zo 14 na 1,4 magnitúdu/. Rýchlosť expanzie činila iba 300 km/s.

B₄ - novy typu RT Serpentis /Nc/.

Vývoj u nich je oveľa pomalší. Hovoríme o veľmi pomalých novách. V maximálnej jasnosti zotrávajú aj niekoľko rokov. Za typického predstaviteľa sa častokrát udáva η Car.

B₅ - rekurentné novy /Nr/.

Sú novy, u ktorých sa vzplanutie už aspoň raz opakovalo v historicky krátkej dobe. Amplitúda svetelných zmien činí 7 až 9 magnitúd, v maxime dosahujú 0 absolútnej magnitúdy. Asi 7 z nich už poznáme. Dvojhviezda, ktorá rekurentnú novu tvorí, má ako primárnu zložku zrejme červeného obra a druhú bieleho trpaslíka. Prenos látky je sprostredkovaný hviezdny vetrom. U niektorých je evidentná dlhodobá aktivita pred explóziou, charakteristická zmenami v spektre.

U typického predstaviteľa RS Ophiuchi vzplanutie bolo pozorované už 4x a opakuje sa s periódou 30 rokov /posledné vzplanutie r. 1967 z 12,3^m na 5,3^m/. Poznáme rekurentné novy s periódou 18 rokov /V 1017 Sgr, posledné r. 1973 zo 14,5^m na 7,2^m/. T CrB každých 80 rokov /posledné r. 1946/ stúpa z 11,4^m na 2,4^m. U novy Per z roku 1901 sa dodatočným prieskumom starých kroník zistila perióda asi 1210 rokov.

B₆ - hviezdy typu U Geminorum /DN/.

113 hviezd novšie zvaných trpasličie novy. Zvýšenie jasnosti predstavuje zmenu o 2^m až 6^m. Uvoľnená energia je výrazne menšia - maximálne 10³⁵ J. Úbytok hmotnosti dosahuje priemerne 10⁻⁶ hmotnosti Slnka, Predpokládame, že u nich nedochádza k náhlej termonukleárnej reakcii a k odtrhnutiu

obálky. Príčinou explózií sú skôr náhle zmeny v rýchlosti akrecie na disk okolo bieleho trpaslíka. Absolútna magnitúda minime býva asi $7,5^m$, v maxime 2^m . Zmeny jasnosti sú podobné ako u nov a viac - menej sa pravidelne opakujú za 20 až 600 dní.

B₇ - hviezdy typu Z Camelopardalis /Z/.

15 hviezd podobných predchádzajúcemu typu. Amplitúdy jasnosti dosahujú hodnôt 2^m až 5^m . Tieto zmeny však prebiehajú plynulejšie a iba občas sú prerušované obdobím konštantnej jasnosti.

B₈ - hviezdy novám podobné /Nc/.

Veľmi rozmanitá skupina asi 35 hviezd, ktoré sa charakterom spektra a svetelnými zmenami podobajú novám. V maxime dosahujú absolútnu jasnosť -3 až -6^m . Hlavným predstaviteľom P Cyg.

B₉ - symbiotické hviezdy.

Sú tesné dvojhviezdy, v ktorých jedna zložka býva horúca hviezda typu O alebo B, druhá je červený obor, resp. chladnejšia hviezda spektrálneho typu K a M. V ich spektre sa nachádzajú emisné a absorpčné čiary. Vzplanutia sa opakujú v intervale 400 - 800 dní so zmenou jasnosti až 5 magnitúd. Pravdepodobne tu dochádza k výmene hmoty medzi jednotlivými zložkami. Nie je vylúčené, že aspoň v niektorých prípadoch ide o samostatné hviezdy nachádzajúce sa v prechodnom štádiu medzi červeným obrom a degenerovaným stavom bieleho trpaslíka.

C - fyzikálne premenné s inou príčinou premennosti.

C₁ - erupzívne hviezdy /UV/.

Asi 100 hviezd tohto typu sú spravidla červení trpaslíci,

u ktorých nepravidelne dochádza počas niekoľkých minút k náhlemu zjasneniu až o 6 magnitúd. Pravdepodobne ide o erupcie na povrchu hviezdy, analogické so slnečnými erupciami. typický zástupca UV Ceti.

C₂ - hviezdy typu RW Aurigae /I/.

Pôvodne boli označované RW, novšie I. Zmeny ich jasnosti prebiehajú nepravidelne, rýchlosťami 0,1^m za deň až 1^m za hodinu. Aj amplitúda kolíše v rozmedzí 0,1 - 3 magnitúdy. Sú to hlavne hviezdy hlavnej postupnosti triedy G, výnimočne aj z tried od B po M. V spektrách sú časté emisné čiary. Bývajú obklopené plynnými hmlovinami, ktorých zmeny a pohyby sa výrazne podieľajú na ich premennosti.

C₃ - hviezdy typu T Tauri.

Sú to hviezdy spektrálnych typov G, K, M s emisnými čiarami v spektre. Expanzia obálky je vyvolaná pravdepodobne búrlivými procesmi na povrchu hviezdy. Typy C₂ a C₃ sú si dosť podobné. Spolu vytvárajú doposiaľ známu asi 1005 člennú skupinu.

C₄ - typ R Coronae Borealis /RCB/.

Asi 39 hviezd tohto typu sú zvláštne tým, že zotrávajú v maxime svojej jasnosti dlhú dobu /niekoľko 100 dní/ a potom náhle niekoľkými skokmi v nepravidelných intervaloch ich jasnosť klesá na dobu niekoľko dní až rokov o 1 až 9 magnitúd.

V poslednej dobe upútala pozornosť nova V 1500 Cyg z roku 1975 /29.8./, ktorá ostala v živej pamäti nielen odborníkom, ale aj širokej verejnosti. Mala neobvykle veľkú zmenu jasnosti /až 19 magnitúd/ a mimoriadne veľký pokles po maxime, čím sa priblížila k charakteristikám supernov. Je od nás vzdialená 1400 pc a pred výbuchom mala mimoriadne nízku svietivosť /absolútna jasnosť + 9^m/. Jej zdanlivá jasnosť pred vzplanutím musela byť menšia než 21^m, lebo je ne-

našli v palomarskom atlase. V maxime dosiahla jasnosť $2,5^m$. Plynný obal expandoval pri výbuchu rýchlosťou 2000 km/s.

Zaujímavý bol priebeh jasnosti v infračervenej oblasti - nova dosiahla v tejto oblasti maximum až 3 dni po vizuálnom maxime. Celkove však tu bola slabá, takže nevytvorila okolo seba rozsiahlejšiu prachovú obálku. Asi po 300 dňoch začala infračervená jasnosť znova vzrastať - v tom čase zrejme narazila nárazová vlna výbuchu na prachovú obálku, ktorá je pozostatkom predchádzajúceho výbuchu. Maximálny polomer fotosféry bol 570 polomerov Slnka, efektívna teplota novy vzrástla zo 7000 K na 10 000 K, hmotnosť expandujúcej obálky činila asi 10^{-5} hmotnosti Slnka a maximálna svietivosť novy bola $7 \cdot 10^5$ svietivosti Slnka.

D - zákrytové premenné.

Premennosť vzniká v systémoch dvojhviezd vzájomným zakrývaním jednotlivých zložiek počas obehu. Zákrytové premenné sú jediným typom, pri ktorých je príčina svetelných zmien bezpečne známa a ktorých teória je pomerne dobre rozpracovaná. Periodické zákryty oboch zložiek môžeme pozorovať iba preto, lebo sa nachádzame približne v rovine ich vzájomného obehu. Jednotlivé hviezdy systému nevidíme ani v najväčších ďalekohľadoch, no dajú sa dokázať spektroskopicky.

Najdlhšie známou zákrytovou dvojhviezdou je β Perzeus /Algol, viď. kap. II./. V súčasnosti poznáme cez 3000 takýchto systémov, z ktorých pre 211 sú spoľahlivo určené ich elementy. Podľa tvaru svetelnej krivky ich delíme na štyri typy.

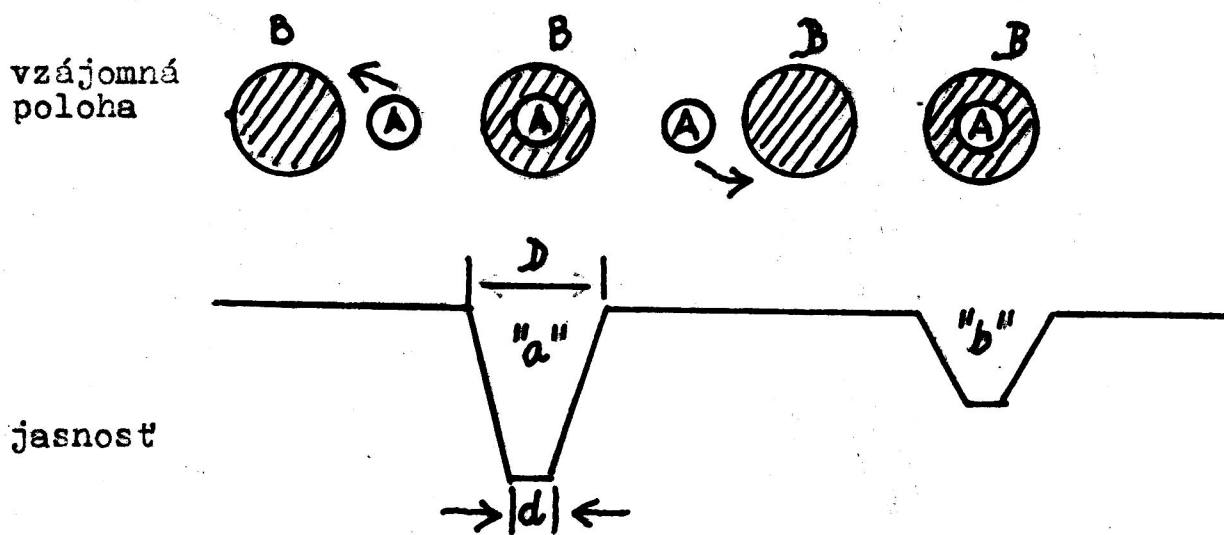
D_1 - hviezdy typu Algol /EA/.

Tvorí 2215 známych sústav dvojhviezd s periódami od niekoľko hodín až do desiatok rokov. Obe hviezdy sú približne guľovitého tvaru. Mimo zákryt je ich jasnosť prakticky konštantná. Niekoľkohodinový náhly pokles a vzostup jasnosti je dosť prudký.

Uvedieme príklad, na ktorom môžeme demonštrovať charakteristické zmeny svetelnej krivky. Nech hviezda A je menšia, horúcejšia a teda aj viac svietivá. Hviezda B je väčšia, chladnejšia, menej svietivejšia. /Viď. obr.č.1./. Hviezda B začína

zakrývať hviezdu A, jasnosť klesá až pokiaľ celá A hviezda nie je zakrytá. Trvanie zákrytu hviezdy A hviezdou B označujeme "d". Na svetelnej krivke sa objaví charakteristická "zastávka v minime". Jasnosť začne stúpať až vtedy, keď hviezda B začne odkrývať hviezdu A. Po skončení zákrytu jasnosť stúpne na pôvodnú hodnotu. Prebehlo hlavné /hlbšie/ minimum "a". Doba "trvania hlavného minima" sa označuje "D". Pri opačnom zákryte /hviezdy B hviezdou A/ je pokles svietivosti omnoho menší. Nastáva vedľajšie minimum "b". Doba medzi dvoma po sebe nasledujúcimi hlavnými minimami sa nazýva P e r i ó d a .

Obr.1.:



Hlavným predstaviteľom tohto typu premenných je Per /Algol/, podľa ktorého je skupina pomenovaná. Algol mení svoju jasnosť v rozmedzí $2,13^m$ až $3,50^m$ s periódou 2,867 dňa. Hlavná zložka má polomer 3-krát a hmotnosť 5,2-krát väčšiu než Slnko. Druhá zložka má polomer 3,8-krát väčší ako Slnko a hmotnosť rovnakú ako slnko. Sám Algol je pravdepodobne troj- alebo štvor - násobnou hviezdou vzdialenou 38 svetelných rokov.

Aj túto premennú je možné pozorovať v astronomických krúžkoch. Je ľahko pozorovateľná voľným okom. V rôznej literatúre alebo hviezdárenskej ročenke sú udané jej doby mínim, alebo spôsob ako ich možno vypočítať. Túto premennú môžu kružkári pozorovať aj individuálne, nie za ideálnych pozor-

rovacích podmienok, v čase medzi termínmi stretnutí krúžku. Je ich nutné na to pripraviť, upozorniť, ba je možné napozorované výsledky počas krúžku spracovať, čo zvýši ich záujem o astronómiu. Takýchto hviezd je viac /viď záverečnú tabuľku/.

D₂ - hviezdy typu β Lyrae /EB/.

291 známych sústav dvojhviezd tohto typu je charakteristických tým, že zložky systému sú tvaru rotačného elipsoidu, väčšinou nerovnakých rozmerov. Svetelná krivka je zaočlenená, jasnosť sústavy sa mení plynule. Vedľajšie /sekundárne/ minimum je pomerne výrazné. Amplitúdy ich svetelných zmien bývajú spravidla malé. Charakteristické zmeny jasnosti sú spôsobené tým, že mimo zákrytu nám hviezdy ukazujú v rôznych polohách rôzne veľké plochy svojho povrchu. Zložky sú pri sebe pomerne blízko. Čím sú bližšie, tým sú deformovanejšie. Niektoré dvojhviezdy majú i spoločný plynný obal, akúsi spoločnú atmosféru. V dôsledku tesnej blízkosti dochádza medzi nimi k výmene hmoty. Periódy sú väčšinou dlhšie než 1 deň.

Hlavný predstaviteľ β -Lyr má dve nerovnaké minimá /3,8^m - vedľajšie, 4,3^m - hlavné/, oddelené od dvoch rovnakých maxím /3,3^m/. Jasnosť sa mení v perióde 12,91 dňa. Hlavná zložka má hmotnosť 63,2 a vedľajšia zložka 42,1 hmotnosti Slnka. Sústava oboch obrov je od nás vzdialená 1087 svetelných rokov. Dvojhviezda je obklopená spoločným plynným obalom, ktorý sa rozpína rýchlosťou asi 75 km/s.

D₃ - hviezdy typu W Ursae maioris /EW/.

258 známych zástupcov tohto typu tvorí sústavu dvoch eliptických veľmi tesných až dotýkajúcich sa deformovaných hviezd, ktoré sú takmer rovnako veľké, s rovnako veľkou svietivosťou. Často majú spoločnú rozsiahlu atmosféru. Jas sústavy sa podobne ako u β Lyr stále mení, hĺbka hlavného a vedľajšieho minima, na rozdiel od predchádzajúceho typu je rovnaká. Svetelná krivka má takmer sínusový tvar. Periódy sú kratšie než 1 deň.

Hlavný predstaviteľ, W - Uma, mení svoju jasnosť v rozmedzí od $8,3^m$ do $9,0^m$, s periódou 0,334 dňa. Obe zložky spektrálneho typu F 8 sú silne eliptického tvaru, ktoré sa takmer dotýkajú. Zo spektra sa zistilo, že sú obklopené spoločným plynným obalom, ktorý má asymetrický tvar a dochádza v ňom k prúdeniu plynov.

D₄ - eliptické premenné.

Známych asi 5 členov tohto typu. Zložky sústavy majú eliptický tvar. Na rozdiel od ϵ Lyr sa však vzájomne nezakrývajú. Zmeny ich jasnosti spôsobujú iba zmeny veľkosti viditeľných povrchov hviezd počas ich obehu. Nejde teda o skutočne zákrytové premenné, no príčina zmien jasnosti je analogická. Perióda je dlhšia než jeden deň. Typickým predstaviteľom je Per.

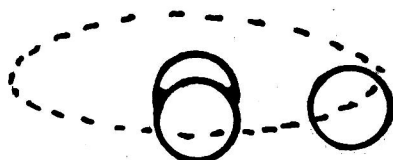
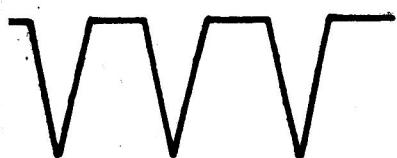
Rôzne kombinácie hviezd s rôznou veľkosťou, svietivosťou, tvarom a sklonom obežnej dráhy, typom zákrytu a pod., majú za následok rôzne efekty na svetelnej krivke. Na obr. č.2 sú znázornené charakteristické krivky.

Obr.č.2:

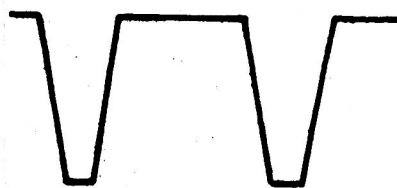
svetelná krivka

sústava dvojhviezd

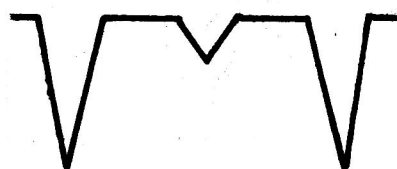
Poznámka



algol, takmer rovnaké hviezdy, čiastočný zákryt



algol, hl.zložka väčšia, žiarivejšia, zákryt úplný



algol, hl.zložka menšia, žiarivejšia, hmotnejšia, zákryt čiastočný /zaoblené minimum/

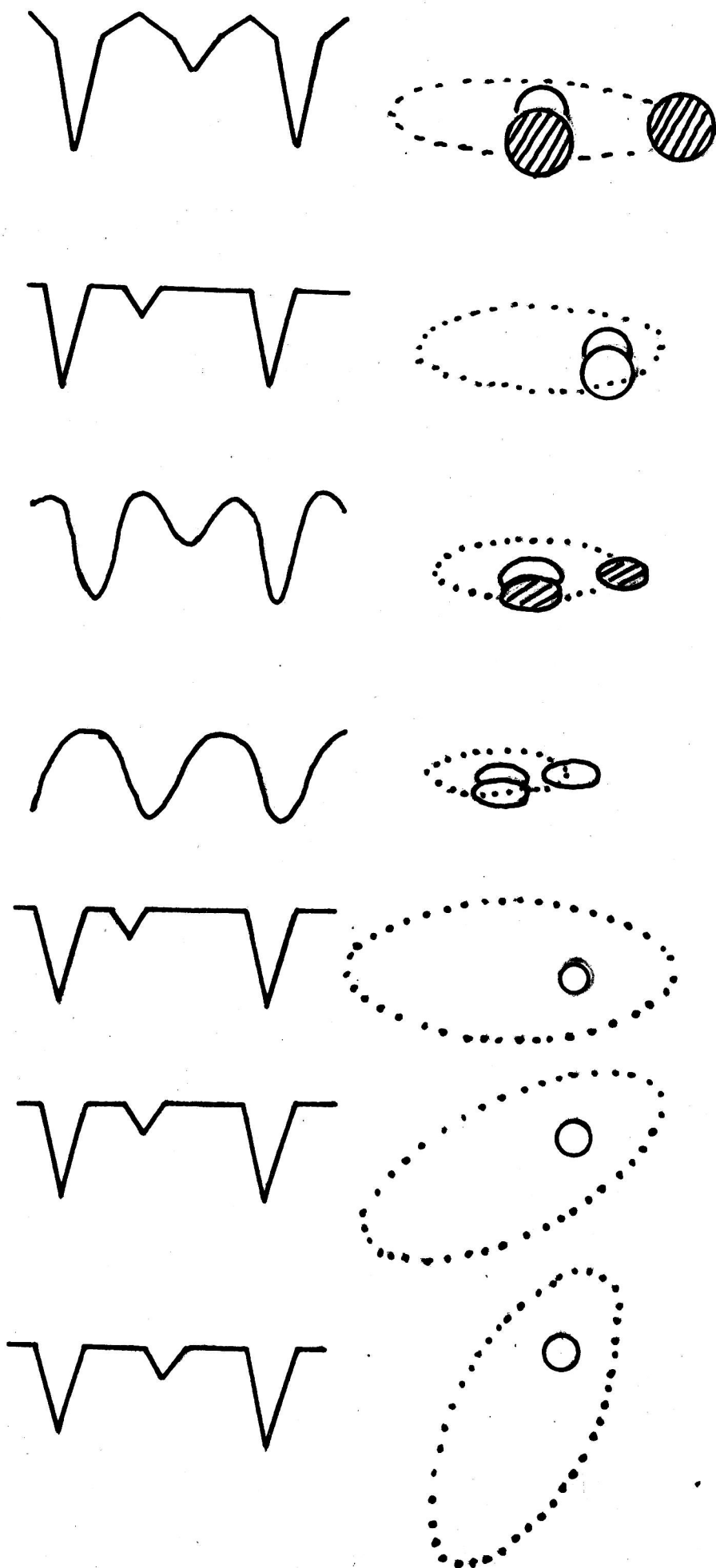
algol, hl.zložka
menšia, jasnejšia,
zakryt čiastočný,
obe hviezdy osvet-
ľujú jedna druhu a
odrážajú toto svetlo
späť do priestoru
vzájomne so svojim
vlastným - celková
jasnosť stúpa do
vedľajšieho minima
/efekt odrazu/

algol, sekundárna
zložka obieha po
eliptickej dráhe

Lyr, efekt elip-
city /zaoblenie
krivky/ zložky
blízke, eliptické

W Uma, zložky rov-
naké, eliptické,
veľmi blízke

stáčanie priamky
apsid



Kombináciou ďalších rôznych javov je možné dôjsť k ďalším efektom, ktoré sa dajú zistiť z priebehu svetelnej krivky. Efekty prvého radu majú geometrickú príčinu, efekty druhého radu /efekt odrazu, elipcity zložiek a pod./ majú fyzikálnu príčinu.

Zmeny jasnosti a určenie fyzikálnych veličín.

Z priebehu svetelnej krivky už vieme určiť, či sústava je zložená z hviezd guľových alebo eliptických /vyhladenosť krivky/, či obsahuje rovnako alebo rozdielne jasné hviezdy /vedľajšie a hlavné minimum/. Ďalej je možné určiť ich vzájomnú polohu vzhľadom k nám /v minime sú obe zložky v zákryte/, alebo parametre ich vzájomnej polohy /zo zmeny a vzájomných polôh hlavného a vedľajšieho minima/. Perióda, t.j. čas medzi dvoma hlavnými /vedľajšími/ minimami, je vlastná doba obehu. V skutočnosti je presný výpočet komplikovaný, pretože obe zložky obiehajú okolo spoločného ťažiska.

Presnosť fotoelektrických meraní dosahuje rádovo tisíciny magnitúdy. Z krivky jasnosti takýchto presných meraní môžeme vypočítať polomery telies, vyjadrené v jednotkách, rovných polomeru relatívnej dráhy. Súčasne zistíme sklon dráhy a svietivosť oboch zložiek v jednotkách svietivosti sústavy.

Veľký prínos pre výskum hviezd priniesli spektroskopické pozorovania. Keď poznáme spektroskopické prvky oboch zložiek a aj ich fotometrickú krivku, môžeme vypočítať presné rozmery dráhy a tiež skutočné priemery vzdialených hviezd. Použitím fyzikálnych zákonov sa potom nepriamo dajú vypočítať priemery niektorých ďalších hviezd. Z posuvu spektrálnych čiar môžeme zistiť, či sa telesá k nám približujú alebo vzdialujú. Z rozšírenia čiar /počas zákrytu - nesúmernosť/ môžeme zistiť rotáciu hviezd.

Priame zistenie hmotnosti sústavy umožňuje iba štúdium dvojhviezd. Pre pohyb zložky dvojhviezdy platí:

$$\frac{a_i^3}{P^2} \sim M_1 + M_2 \quad /5/$$

kde a_i je hlavná poloos, P je perióda /doba obehu a M_1, M_2 sú hmotnosti zložiek. Celková hmotnosť sústavy závisí priamo od tretej mocniny veľkej poloosi a nepriamo od druhej mocniny periódy.

Keď hlavnú poloos "a" vyjadríme v astronomických jednotkách " M_1 " hmotu jednej hviezdy a " M_2 " hmotu druhej hviezdy v hmotnostiach Slnka a "P" obežnú dobu v rokoch, podľa Kepleroého zákona platí:

$$a^3 = /M_1 + M_2/ \cdot P^2 \quad /6/$$

Keď v tomto vzorci vyjadríme periódu v dňoch, hmotu v gramoch a dĺžku v cm, dostávame:

$$a^3 = 12,7 \cdot /M_1 + M_2/ \cdot P^2 \quad /7/$$

Periódny vieme určovať veľmi presne. To však neplatí o vzdialenostiach zložiek a preto presné určenie celkovej hmotnosti závisí hlavne od presnosti určenia tohto merania. Pomocou matematického aparátu a fyzikálnych zákonov sa môžu zisťovať ďalšie údaje o hviezdach.

Známe hmotnosti hviezd sa pohybujú v intervale 0,05 až 50 hmotností Slnka. Za najhmotnejšiu sústavu je považovaná HD 47129, tzv. Plaskettova hviezda, s celkovou hmotnosťou

130 hmotností Slnka /zhruba rovnakohmotné zložky, perióda 14,4 dňa/. L 726 - 8 je vizuálny pár s najmenšou známou hmotnosťou - 0,08 hmotnosti Slnka. BD + 4°3461, tzv. Barnardova hviezda, jej hlavná zložka je pomerne málo hmotná hviezda typu M hlavnej postupnosti, sprievodca má iba 1,5 násobnú hmotnosť Jupitera. Sústava vzdialená 5,98 svetelných rokov sa nachádza v súhvezdí Hadonoša.

Vznik a vývoj dvojhviezd.

Zatiaľ žiadna z predložených hypotéz nie je schopná vysvetliť pôvod všetkých dvojhviezd. Hviezdna dvojica môže vzniknúť, keď sa priblížia dve hviezdy na takúto vzdialenosť, že sa môžu gravitačne ovplyvňovať. Zložky takto vzniknutej dvojhviezdy nemusia byť rovnako staré. Avšak v skutočnosti pozorujeme len malé percento dvojhviezd, u ktorých sa dá predpokladať, že existuje rozdiel vo veku zložiek. Podľa inej teórie dvojhviezdy vznikajú rozpadom jednej, veľmi rýchlo rotujúcej hviezdy, vďaka odstredivej sile.

Vo väčšine prípadov však hybnosť dvojhviezdnej sústavy podstatne prevyšuje hybnosť rýchlo rotujúcej hviezdy. Tretia teória predpokladá, že dvoj a viacnásobné sústavy vznikajú pri kondenzácii hmoty na niekoľko blízkych jadier už v medzihviezdnom mraku.

Ďalšia je modifikáciou predchádzajúcej. Podľa nej vznikajú hviezdy v malých skupinách obsahujúcich desiatky členov. Tieto "mikrohviezdokopy" sú nestabilné a rozpadajú sa na tesnú dvojhviezdu, ktorá okolo seba pridržiava niekoľko viacnásobných sústav.

Vývoj dvojhviezd je v hlavných rysoch popísaný pomerne dobre. Pokiaľ rozmery zložiek sú menšie než príslušné Rocheovej medzi, hviezdy sa vyvíjajú na sebe nezávisle. Z teórie vývoja jednotlivých hviezd vyplýva, že hviezda počas svojho vývoja zväčšuje svoj rozmer a vyvíja sa tým rýchlejšie, čím je hmotnejšia. Práve ona by sa mala prvá priblížiť k Rocheovej medzi skôr. Pozorovania dvojhviezd však ukázali, že je tomu presne naopak. Sústavy sú zložené spravidla z hmotnejšej málo vyvinutej hviezdy a menej hmotnej veľkej zložky rozmerovo blízkej Rocheovej medzi. Tento paradox je

vysvetlený tým, že v skutočnosti veľká ale menej hmotná hviezda bola pôvodne hmotnejšia, vyvíjala sa rýchlejšie a v záverečných fázach sa začala prudko rozpínať. Dosiahla Rocheovu medzu ako prvá a začala strácať hmotu, ktorá odtekala k druhej zložke. Tu teraz pozorujeme ako hmotnejšiu a mladšiu hviezdu sústavy. Vďaka výmene hmoty sa úloha zložiek vymenila. Zväčšenie rozmeru a teda kontakt s Rocheovou medzou môže nastať počas vývoja hviezdy viackrát /keď sa začne spaľovať vodík na hélium, zapálením hélia, uhlíka/ a závisí od pôvodnej hmotnosti hviezdy. Prenos hmoty môže byť sprostredkovaný aj hviezdny vetrom a vznikom akrečného disku okolo zložky dvojhviezdy, ktorá hmotu prijíma.

Každá výmena hmoty je doprevádzaná okrem iného aj zmenou jasnosti a zmenou periódy. V prípade zistenia, že v zákrytovej premennej hviezde sa spozoruje výraznejšia zmena periódy, dochádza tu určite k výmene hmoty a objekt sa začína pozorovať systematickejšie, pozornejšie a so špeciálnymi prístrojmi. Pretože premenných hviezd je veľmi veľa, "ustriechnúť" všetky známe zákrytové dvojhviezdy nie je v možnostiach astronómov - profesionálov. Preto je tu veľmi vítaná pomoc astronómov - amatérov a vyspelejších členov astronomických krúžkov, ktorí môžu svojimi pozorovaniami aspoň jasnejších hviezd upozorniť na takúto hviezdu. Tie najjasnejšie sa môžu pozorovať voľným okom, slabšie menšími ďalekohľadmi, binármí a podobne. Pri kvalitnejšej pozorovacej technike a trpezlivosti vzniká aj možnosť objaviť ďalšie, doteraz neznáme premenné hviezdy.

Ľudské oko.

Premenné hviezdy môžeme pozorovať metódou vizuálnou, fotografickou a fotoelektrickou. Najmenej náročná na prístrojovú techniku je metóda vizuálna. Pri nej základným prístrojom je ľudské oko. Ak ho použijeme v spojení s ďalekohľadom, zlepší sa možnosť pozorovať slabšie hviezdy.

Priemer pupily ľudského oka v tme je len 6 mm, kdežto otvor malého ďalekohľadu o priemere objektívu 60 mm je 10-krát väčší. Takýto ďalekohľad nám dodá 10^2 -krát viac svetla, ako môžeme získať voľným okom. Preto ak voľným okom môžeme

pozorovať hviezdy do 6^m, pri ďalekohľadoch o priemere 60 mm sa posunie hranica viditeľnosti 100 krát, čo je o 5^m viac. Môžeme teda ním teoreticky pozorovať hviezdy 11^m.

Ľudské oko patrí medzi najjednoduchšie zobrazovacie prístroje, nakoľko obraz v ňom vytvára jediná dvojkvapká šošovka. No dokáže zaregistrovať aj veľmi malý svetelný tok. Prah videnia je svetelný tok $2,4543 \cdot 10^{-15}$ lumenu / čo je hodnota svetelného toku idúceho od hviezdy asi 8^m/. Prah bolesti činí $1,4 \cdot 10^{-2}$ lumenu, pri väčšom svetelnom toku sa oko poškodí. Jeho rozlišovacia schopnosť je asi 1'.

Oko síce nie je schopné zisťovať absolútne hodnoty jasnosti hviezd, ale je schopné veľmi dobre pozorovať dve rozdielne jasnosti hviezd. Pretože oko je prispôsobené na denné a nočné videnie, je jeho funkcia iná pri veľkej intenzite svetla vo dne, kedy vnímame farby a iná pri čirnobielom videní v noci. So zmenou intenzity svetla sa mení aj spektrálna citlivosť oka. Vo dne má oko maximum citlivosti pri 555 nm / žltá farba/ v noci pri 515 nm / zelená farba/. Je to tzv. Purkyňov efekt.

Ak prídeme z osvetlenej miestnosti do tmy, chvíľu nevidíme nič, pokiaľ si oči neprivyknú. Toto nazývame adaptáciou. Úplná adaptácia na tmu trvá 30 až 60 minút. Intenzívnemu svetlu sa oko prispôsobí už asi za tri minúty.

Veľké rozdiely v jasnosti oko nerozlišuje správne a dochádza tu k veľkým chybám / tzv. intervalová chyba/. Podobne sa správa aj pri veľmi malých rozdieloch jasnosti. Medzná hodnota rozdielu jasnosti, ktorú je oko ešte schopné rozlíšiť je okolo 0,09 magnitúty.

Spôsob pozorovania.

Tento materiál nemá za cieľ podať podrobný návod na pozorovanie premenných hviezd. Vážnejší záujemci sa môžu obrátiť na Hvězdárnu a planetárium M. Koperníka v Brne alebo Krajskú hvězdáreň v Hlohovci, kde im budú poskytnuté presnejšie návody a ďalšie informácie.

Cieľom pozorovania je určiť okamžik minima danej premennej hviezdy. Označujeme ho "O". "C" označujeme teoretické, vypočítané minimum. Rozdiel O-C udáva, či skutočné pozorované minimum nas-

talo skôr, alebo neskôr, než predpokladané teoretické minimum. Sústavne sa zvyšujúca kladná alebo záporná hodnota tohto rozdielu signalizuje, že premenná sa omeškáva alebo zrýchľuje.

Keď vieme periódu P a okamih základného / prvého/ minima M_0 , môžeme určiť okamih ľubovoľného ďalšieho minima C podľa vzťahu

$$C = M_0 + PE, \quad /8/$$

kde E je epocha $/=0, 1, 2, \dots\dots$ nadobúda celočíselné hodnoty/. Pre zjednodušenie výpočtu sa M_0 a C udáva v juliánskom datovaní $/JD/$ a P v dňoch.

Juliánsky dátum je nepretržité počítanie dní od 1.1. 4713 p.n.l. . Dni sa začínajú svetovým poludním, hodiny až sekundy sa premieňajú na zlomky dňa a pripočítavajú sa k JD pre daný deň.

| | | |
|--------------------------------------|----------------------|--------------------|
| Napr. 24.10.1983 o 0 ^h UT | /1 ^h SEČ/ | JD = 2445 631,5000 |
| | 4 ^h SEČ | -"- ,6250 |
| | 7 ^h SEČ | -"- ,7500 |
| | 13 ^h SEČ | 2445 632,0000 |
| | 16 ^h SEČ | -"- ,1250 |
| | 22 ^h SEČ | -"- ,3750 |
| | 00 ^h SEČ | -"- ,4583 |
| 25.10.1983 o 0 ^h UT | /1 ^h SEČ/ | 2445 632,5000 |

Hodnoty JD sa nachádzajú v návodoch alebo rôznych astronomických ročenkách. V nich môžeme nájsť aj časy minim jednotlivých premenných hviezd. / konkrétne napr. v astronomickej ročenke z Hlohovca/. Predpovede môžeme získať aj od hviezdárni v Brne a Hlohovci s presnosťou $\pm 0,5$ hod. V zásade má platiť, že premennú by sme mali dobre vidieť v minime. Orientačne sa môžeme riadiť tabuľkou č.1.

Tab. 1. : Optimálne pozorovanie rozsahy jasnosti hviezd v závislosti na priemere objektívu

| Prístroj | \emptyset objektívu /mm/ | Optimálny rozsah jasnosti / ^m / | Minimálna jasnosť / ^m / |
|-------------------------|-------------------------------|---|---------------------------------------|
| oko | 7 | 0,5 až 3,5 | + 6,0 |
| dvojokohľ. ďalekohľ. 30 | | 2,5 až 5,5 | + 8,5 |

| | | | |
|-----------|-----|-------------|--------|
| triéder | 50 | 4,7 až 7,5 | + 10,0 |
| refraktor | 110 | 6,5 až 9,5 | + 11,5 |
| refraktor | 260 | 8,5 až 11,5 | |

Ešte pri výbere premennej je potrebné uvedomiť si pohyb hviezdy na oblohe. Často sa stane, že niektorá hviezda dôjde až nízko nad obzor, alebo obloha za súmraku ešte hviezdu prezíari a pozorovateľ nemôže zachytiť celú svetelnú zmenu.

Pozor na adaptáciu oka. Počas pozorovania svietiť iba baterkou s červeným filtrom. Na pozorovanie nezabudnúť priniesť so sebou presné hodinky, písacie potreby, baterku, mapku okolia premennej.

Frekvenciu odhadov voliť tak, aby na vzostupnej a zostupnej časti bolo urobených po 10 až 20 odhadov. Ešte pred pozorovaním je nutné zorientovať sa na oblohe - nájsť premennú, poznať jej okolie a porovnávacie hviezdy.

Pretože budeme pozorovať hviezdy, ktorých jasnosť sa mení, v zápise takú hviezdu označíme v /variable/. Pri vizuálnom pozorovaní vyberieme v okolí premennej hviezdy väčší počet porovnávacích hviezd, o ktorých vieme, že svoju jasnosť nemenia.

Porovnávacie hviezdy označujeme písmenami a, b, c, d, Zoradíme ich tak, aby porovnávacia hviezda "a" bola jasnejšia ako premenná v maxime a ďalšie postupne s klesajúcou jasnosťou podľa abecedného poriadku $a > b > c > d$, atď., až posledná porovnávacia hviezda, napr. h, má byť slabšia ako premenná v minime. Pokiaľ používame mapku okolia už hotovú, môže sa stať, že v dôsledku farebnej citlivosti oka rôznych pozorovateľov dôjde k zámene hviezd, napr. $c < d$. Preto pred pozorovaním treba jasnosti porovnávacích hviezd skontrolovať a prípadne upraviť ich postupnosť.

Pri vlastnom pozorovaní pozorujeme najprv porovnávacie hviezdy postupne od najjasnejšej až nájdeme tú porovnávaciu hviezdu, ktorá je najbližšie k jasnosti premennej hviezdy, ale je ešte jasnejšia od nej. Odhadneme rozdiel jasností oboch hviezd v odhadových stupňoch Argelandera /viď. tab.2/ a dôjdeme k záveru, že tento rozdiel najlepšie vystihneme zápisom $c \pm v$. V nasledujúcom kroku porovnáme premennú hviezdu s porovnávacou hviezdou, ktorá má najbližšiu jasnosť k nej, ale je slabšia. Zápis odhadu nech je $v \pm 3 d$. Tieto zápisy spojíme do

jedného c 1 v 3 d a pripojíme časový údaj. Pre poradie hviezd v zápise platí, že vždy je vľavo jasnejšia a doprava jasnosť klesá.

Dôležité je, aby opísané operácie odhadu jasnosti pri zákrytových premenných hviezdách netrvali dlhšie než 10 až 30 s. Ináč sa jasnosť premennej môže zmeniť, pozorovanie bude zatažené ďalšími chybami. Významnú rolu môže zohrať aj únava očí, ktorá sa dostaví pri dlhšom vysilovaní zraku.

Tab.2 : Argelanderove stupne jasnosti

| Argelanderov stupeň | Subjektívny dojem pri porovnávaní jasností dvoch hviezd x a y. /pri rýchlom striedaní pohľadu z jednej hviezdy na druhú/ | Zápis |
|---------------------|--|-------|
| 0 | Hviezda X má veľmi často rovnakú jasnosť ako Y, ale chvíľami sa zdá nepatrne jasnejšia alebo slabšia ako hviezda Y | X 0 Y |
| 1 | Pri pozornom pozorovaní sa hviezda X javí častejšie jasnejšia ako hviezda Y. | X 1 Y |
| 2 | Hviezda X je o málo jasnejšia ako hviezda Y a len zriedka sa zdá, že jasnosti sa rovnajú | X 2 Y |
| 3 | Hviezda X sa na prvý pohľad javí jasnejšie ako hviezda Y | X 3 Y |
| 4 | Hviezda X je výrazne jasnejšia ako ako hviezda Y | X 4 Y |

Keď je rozdiel jasností ešte väčší, možno mu priradiť 5 i viac stupňov, ale tu sa značne znižuje presnosť pozorovania. Preto sa vyšším rozdielom radšej vyhneme a radšej si zvolíme ďalšiu novú porovnávaciu hviezdu, pri ktorej rozdiel medzi ňou a premennou nebude väčší ako 5 stupňov.

Základné spracovanie pozorovania.

Každé vizuálne pozorovanie premenných môžeme vyhodnotiť pomocou odhadových stupňov, teda bez znalostí magnitúd porov. hviezd. Po pozorovaní máme zápisy odhadov tvar : $x \ v \ q \ y$, kde x , a y sú porovnávacie hviezdy, v je premenná a p , q sú odhadové Argelanderove stupne. Odhad medzi "a" a "b" / a podobne medzi bc, cd, / nie je spravidla iba jeden. Preto vypočítame aritmeticky priemer $\bar{p} + \bar{q}$ zo všetkých odhadov medzi "a" a "b" / "b" a "c", "c" a "d", / a dostávame rovnice

$$b - a = \frac{\bar{p}_1 + \bar{q}_1}{p_1 + q_1} = A$$

$$c - b = \frac{\bar{p}_2 + \bar{q}_2}{p_2 + q_2} = B \quad /8/$$

$$d - c = p_3 + q_3 = C$$

.

. atď.

V sústave rovníc je o jednu neznámu viac než počet rovníc. Keď jasnosť najjasnejšej porovnávacej hviezdy je nula, potom sústava má riešenie

$$a = 0$$

$$b = A$$

$$c = A + B$$

$$d = A + B + C \quad \text{atď.}$$

Takto sme dostali jasnosť každej porovnávacej hviezdy v odhadových stupňoch.

Stredný rozdiel jasnosti v stupňoch pre hviezdy "a" a "b" sa vypočíta zo vzťahu :

$$\bar{b} - \bar{a} = \frac{p_1 + q_1}{N} + \frac{p_2 + q_2}{N} + \dots + \frac{p_n + q_n}{N} \quad /10/$$

kde p , q sú odhadové stupne medzi porovnávacími hviezdami a , b , N je počet odhadov.

Obdobne vypočítame rozdiely medzi $\bar{c} - \bar{b}$, $\bar{d} - \bar{c}$, atď.

Jasnosť por. hviezdy "a" je 0, hviezdy "b" = $\bar{b} - \bar{a}$, atď.

Ďalej musíme zistiť jasnosť premennej v jednotlivých časových okamihoch. Použijeme vzorec :

$$v = x + \frac{y - x}{p + q} \cdot p \quad /11/$$

Keď jasnosť premennej hviezdy sa nachádza medzi porovnávacími hviezdami "a" a "b", vypočítame ju :

$$V_i = a + \frac{b - a}{p_i + q_i} \cdot p_i \quad /12/$$

Keď jej jasnosť je medzi porovnávacími hviezdami b,c, počítame :

$$V_i = b + \frac{c - b}{p_i + q_i} \cdot p_i \quad / 13/$$

medzi c,d

$$V_i = c + \frac{d - c}{p_i + q_i} \cdot p_i \quad / 14/$$

atď.

Počítame s presnosťou 0,1 odhadového stupňa. Takto vypočítané hodnoty jasnosti premennej vytvárajú jednotlivé body svetelnej krivky.

Okamih minima jasnosti zákrytovej premennej hviezdy najjednoduchšie určíme grafickou metódou, ktorú vypracoval K.Kordylevskij. Zostrojíme graf svetelnej krivky / vodorovná os je časová, zvislá os jasnosti je - nulová hodnota najvyššie, viď obr. č. 3 str. 45. Vychádzame z predpokladu, že krivka svetelných zmien je symetrická, vzhľadom k okamihu minima. Postup je nasledovný :

Priesvitný / pauzovací / papier priložíme na graf, na ktorom je zakreslená svetelná krivka premennej hviezdy a prekrúsime naň všetky body a časovú os. Na vodorovnej časovej osi si označíme okamih t_1 blízky k času minima a prekrúsime ho na priesvitný papier. Potom priesvitný papier zrkadlovo prevrátíme na opačnú stranu a priložíme na graf tak, aby vodorovné osy na grafe a priesvitnom papieri splynuli. Priesvitným papierom posúvame v smere vodorovnej osi tak dlho, až pôvodne body grafu a body na priesvitnom papieri splynuli. Priesvitným papierom posúvame v smere vodorovnej osi tak dlho, až pôvodne body gra-

fu a body na priesvitnom papieri čo najlepšie splynú.

Čas t_1 po prevrátení papiera ukazuje na časovej osi iný čas t_2 .

Z papiera si hpo prekreslíme na graf. Okamih minima je :

$$O = (t_1 + t_2) / 2 \quad / 15 /$$

"O" označíme na grafe.

Chybu pozorovania určíme opäť graficky. Prevrátený priesvitný papier posúvame pozdĺž vodorovnej časovej osi tak dlho doľava, až všetky body na vetvách svetelnej krivky zakreslenej na priesvitnom papieri sú vľavo od bodov pôvodnej svetelnej krivky. V tejto polohe si poznačíme na časovú os priesvitného papiera okamih minima. Potom posunieme priesvitný papier vpravo tak, aby všetky body boli vpravo. Opäť si poznačíme okamih minima. Na priesvitnom papieri dostaneme dve značky vzťahujúce sa k času minima. Obe značky sú od seba vzdialené o časový interval G . Hodnota $K = G/4$ udáva Kordylewskeho chybu určenia okamihu minima.

Keď vieme čas vypočítaného minima C / calculated/ a nami napozorovaný čas minima O /observed/, stanovíme odchýlku $O - C$, ktorá udáva rozdiel týchto dvoch časov. Ten poskytuje dôležitú kontrolu presnosti stanovených elementov a zároveň poukazuje ďalšie podmienky vo hviezdnom systéme.

Nami určený okamih minima je geocentrický. Prevádzame ho na heliocentrický / redukujeeme okamihy minima na stred Slnka / pomocou korekcie.

$$\Delta T = - 8,308 R \cos \lambda \cos \beta \quad / 2 - \lambda_s / \quad / 16 /$$

kde R je vzdialenosť Zeme od Slnka v astronomických jednotkách, λ_s je ekliptikálna dĺžka Slnka, λ a β sú ekliptikálna dĺžka a šírka premennej hviezdy. Korekcia vychádza v minútach. Ľahšie ju môžeme určiť pomocou Zverevovho nomogramu.

Všetky časy a časové rozdiely určujeme pomocou Juliánskeho datovania, ktoré je výhodné pri prepočítavaní starších údajov.

Vzorový príklad :

Nech pozorovateľ m enom Malý v noci zo 4. na 5. novembra 1983 pozoroval hypotetickú zákrytovú premennú hviezdu, ktorú označíme AB Hyp. Po pozorovaní a vypočítaní jasnosti premennej hviezdy v jednotlivých pozorovacích okamihoch pomocou odhadových

stupňov, by jeho pozorovací záznamník mal vyzerat nasledovne :

P o z o r o v a c í z á z n a m n í k

Noc : 4/5.11.1983

hviezda : AB Hyp

Pozorovateľ: P.Malý

| P.č. | Odhad | Čas /SEČ/ | odhad, stupeň | Pozn. |
|------|-----------|-----------|---------------|----------|
| 1 | a 2 v 3 b | 21.10 | 1,8 | a = 0 |
| 2 | a 4 v 1 b | 21 | 3,7 | b = 4,6 |
| 3 | b 1 v 4 c | 35 | 5,5 | c = 9 |
| 4 | b 2 v 3 c | 41 | 6,4 | d = 13 |
| 5 | b 3 v 2 c | 48 | 7,2 | e = 17,3 |
| 6 | b 3 v 1 c | 56 | 7,9 | |
| 7 | b 4 v 1 c | 22.04 | 8,1 | |
| 8 | c 1 v 2 d | 16 | 10,3 | |
| 9 | c 2 v 1 d | 26 | 11,7 | |
| 10 | c 4 v 1 d | 34 | 12,2 | |
| 11 | d 1 v 4 e | 44 | 13,9 | |
| 12 | d 2 v 3 e | 51 | 14,7 | |
| 13 | d 2 v 1 e | 57 | 15,9 | |
| 14 | d 2 v 2 e | 23,09 | 15,2 | |
| 15 | d 1 v 3 e | 16 | 14,1 | |
| 16 | d 1 v 4 e | 22 | 13,9 | |
| 17 | c 3 v 1 d | 31 | 12 | |
| 18 | c 2 v 3 d | 41 | 10,6 | |
| 19 | c 0 v 4 d | 52 | 9 | |
| 20 | b 3 v 1 c | 00,01 | 7,9 | |
| 21 | b 4 v 3 c | 11 | 7,1 | |
| 22 | b 1 v 3 c | 23 | 5,7 | |
| 23 | b 1 v 4 c | 30 | 5,5 | |
| 24 | a 4 v 1 b | 37 | 3,7 | |
| 25 | a 3 v 2 b | 45 | 2,8 | |
| 26. | a 1 v 2 b | 52 | 1,5 | |

Výpočet jasnosti hviezd v odhadových stupňoch

a = 0

$$\bar{a} = \bar{b} = \frac{/2+3/ + /4+1/ + /4+1/ + /3+2/ + /1+2/}{5} = \frac{23}{5} = 4,6$$

/ podľa vzorca 10/

$$b = 4,6$$

$$V_1 = 0 + \frac{4,6}{2+3} \cdot 2 = 1,8 \quad / \text{ podľa vzorca 12} /$$

$$V_2 = 0 + \frac{4,6}{5} \cdot 4 = 3,7$$

$$V_{24} = 0 + \frac{4,6}{5} \cdot 4 = 3,7$$

$$V_{25} = 0 + \frac{4,6}{5} \cdot 1 = 0,92$$

$$V_{26} = 0 + \frac{4,6}{5} \cdot 1 = 0,92$$

$$\bar{c} = \frac{5+5+5+4+5+7+4+5}{9} = \frac{40}{9} = 4,4$$

$$c = 4,6 + 4,4 = 9$$

$$V_3 = 4,6 + \frac{4,4}{5} \cdot 1 = 5,5 \quad / \text{ podľa vzorca 13} /$$

$$V_4 = 4,6 + \frac{4,4}{5} \cdot 2 = 6,4$$

$$V_5 = 4,6 + \frac{4,4}{5} \cdot 3 = 7,2$$

$$V_6 = 4,6 + \frac{4,4}{4} \cdot 4 = 9$$

$$V_7 = 8,1 \quad V_{20} = 7,9 \quad V_{21} = 7,1 \quad V_{22} = 5,7 \quad V_{23} = 5,5$$

$$\bar{d} = \frac{3+3+5+4+5+4}{6} = 4$$

$$d = 4,6 + 4,4 + 4 = 13$$

$$V_8 = 9 + \frac{4}{5} \cdot 1 = 9,8$$

$$V_9 = 11,7 \quad V_{10} = 12,2 \quad V_{17} = 12 \quad V_{18} = 10,6 \quad V_{19} = 9$$

$$\bar{e} = \frac{26}{6} = 4,3 \quad e = 17,3$$

$$V_{11} = 13 + \frac{4,3}{5} \cdot 1 = 13,86$$

$$V_{12} = 14,7 \quad V_{13} = 15,9 \quad V_{14} = 15,2 \quad V_{15} = 14,1 \quad V_{16} = 13,9$$

Obr.č.3 : Graf svetelnej krivky premennej AB Hyp. Plné /viď str.40/ krúžky sú pôvodné body grafu, krížikmi sú označené body na zrkadlovo obratenom priesvitnom papieri.

$$O = 23^{00} \mp 4 \text{ min, Nech } C = 23^{15}$$

$$O-C = - 15^{\text{min}}$$

V Juliánskom datovaní

| | | |
|-------------------|-----|---------------|
| 1983.XI. | | 2445 639 |
| deň 4 | + | 4 |
| 23 ^{hod} | + | 0,4167 |
| <hr/> | | |
| | O = | 2445 643,4167 |

$$4 \text{ min} = 0,0028$$

$$O = 2445 643,4167 \mp 0,0028$$

$$C = 2445 643,4271$$

$$O - C = - 0,0104$$

Doporučená literatúra

- 1./ Pokorný, Raušal, Šilhán, Brno 1973 : Návod k pozorování zákrytových proměnných hvězd
- 2./ M.Geseová : SÚAA Hurbanovo 1972 : Pozorovanie premenných hviezd
- 3./ Parenago, Kukarin : Nakl. ČSA V Praha 1953 : Proměnné hvězdy a způsoby jejich pozorování
- 4./ Guth, Link, Mehr, Šternberk, Nakl. ČSA V Praha 1954 : Astronomie II.
- 5./ Pittich, Kalmančok: Obzor Bratislava 1981 : Obloha na dlani
- 6./ Grygar, Horský, Mayer : Mladá fronta 1981 : Vesmír
- 7./ V. Vanysek : ČSAV 1980 : Základy astronomie a astrofyziky
- 8./ V. Vanysek : KH - Hlohovec 1976 : Stavba a vývoj hviezd / študijné texty z astronomie /
- 9./ Grün, Koubsky, Švestka : Hvězdárna a planet. hl.m. Prahy 1979 : Fyzika hvězdného vesmíru
- 10./ Kleczek, Švestka : Orbis Praha 1963 : Astronomický a astronautický slovník
- 11./ E. Pittich a kol. KH - Hlohovec a SAS pri SAV : Astronomické ročenky na roky 1982 a 1983
- 12./ Academia nakl. ČSAV : Hvězdárska ročenka 1983
- 13./ Kleczek: Albatros 1978 : Naše souhvězdí
- 14./ Klepešta - Růkl : Artia 1971 : Souhvězdí
- 15./ Zajonc - Ragas : SÚAA - Hurbanovo 1978 : Atlas súhvězdí

Názov : Premenné hviezdy - II. vydanie
/metodický materiál pre astronomické krúžky/.

Vydala : Okresná ľudová hviezdáreň v Humennom

Autor : Peter Ivan, prom. ped.

Zodpovedný : Havrilák Michal, prom. ped., riaditeľ OĽH Humenné
Lenzová Štefánia, prom. ped., riad. KH Prešov

Odborný posúdok : RNDr. J. Zverka, CSc,

Tlač : OOS Humenné

Náklad : 500 kusov

N e p r e d a j n é !