



# Astronomický proseminář II

Proměnné hvězdy

# Citát

„Premenné hviezdy sú všade okolo nás, ale ktoré to sú, to vám nepoviem, lebo to sám neviem ...“

*slovenský stelárni astronom*

*RNDr. Ladislav Hric, CSc.*

*hvězdárna Ždánice*

*léto počátkem 80. let minulého století*



<https://sasselov.cfa.harvard.edu/>

# Definice

- hvězdy, jejichž pozorovaná jasnost se s časem mění
- asi 10 % hvězd jsou hvězdy zjevně proměnné
- rozvoj diagnostických metod = vyšší procento proměnných hvězd v náhodném vzorku hvězd
- rozpětí pozorovaných světelných změn od 1 milimagnitudy ( $0,001 \text{ mag} \cong 1 \text{ ‰}$ ) do desítek magnitud ( $10 \text{ mag} = 1 : 10^4$ ,  $15 \text{ mag} = 1 : 10^6$ )
- časové škály: od  $10^{-4}$  s do časových měřítek změn vlivem hvězdného vývoje

# Historie


- Tycho Brahe objevil r. 1572 „novou“ hvězdu v souhvězdí Kasiopeji
- periodicky proměnná hvězda – r. 1596, David Fabricius, o Ceti
- systematický výzkum E. Pigott a J. Goodricke (G. objevil světelné změny Algolu 1782-3)
- 1786 Pigott publikoval *první katalog proměnných hvězd* - 12 exemplářů

# Historie


- fotografické metody – pořizovaly se skleněné archívy
- počet známých proměnných hvězd během 20. století vzrostl ze 700 na dnešních asi 50 000
- astrometrická družice *Hipparcos*, 12 000 nových PH
- základním katalog - *General Catalogue of Variable Stars*
- před latinským názvem souhvězdí ve 2. pádu se uvádí kombinace písmen nebo čísel v tomto pořadí: R, S, T, ...Z, RR, RS, RT, ...RZ, SS, ST, ..., SZ, TT, ...ZZ, AA, AB, ... ) QQ, QZ, V 343, V 344 ...například V 3891 Sgr.
- jiné typy proměnných hvězd – rentgenové nebo radiové zdroje, označení z příslušného katalogu, označení obsahuje zaokrouhlenou rektascenzi a deklinaci



# Mechanismy proměnnosti


- dva základní typy
  - **geometrické**, kde se světelný tok z hvězdy nebo hvězdné soustavy nemění, mění se však její svítivost
  - **fyzické**, skutečné proměnné hvězdy, u nichž se reálně mění jejich zářivý výkon
- 

# Geometrické proměnné hvězdy

- rotující proměnné hvězdy
    1. sledovaná hvězda rotuje
    2. hvězda je členkou podvojně soustavy
  - magnetické hvězdy
  - hvězdná aktivita
  - dvojhvězdy
    1. zákrytové dvojhvězdy
    2. interagující dvojhvězdy
- 



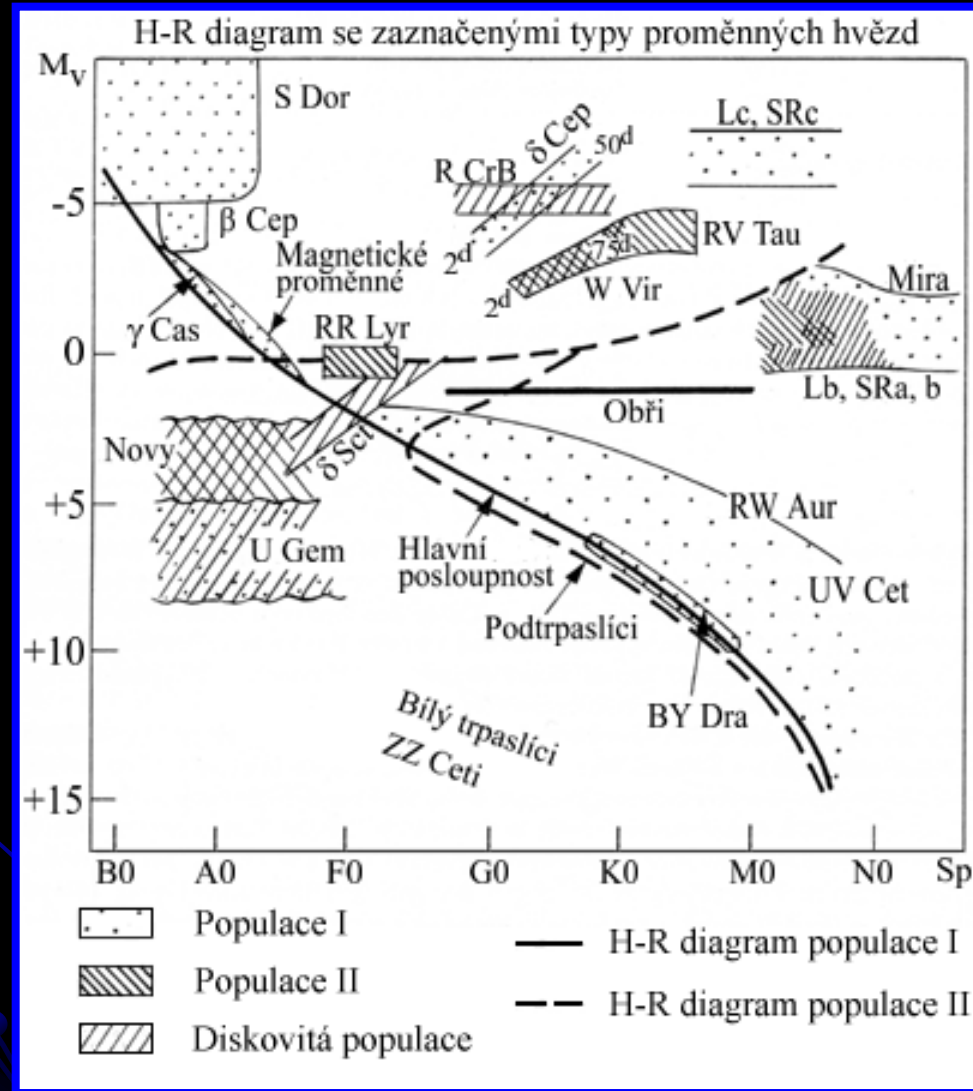
# Fyzické proměnné hvězdy

- nestacionární děje v okolí hvězdy
  - nestacionární děje na povrchu hvězdy
  - pulzující proměnné hvězdy
  - supernovy
  - záblesky záření gama
- 

# Typy proměnných hvězd

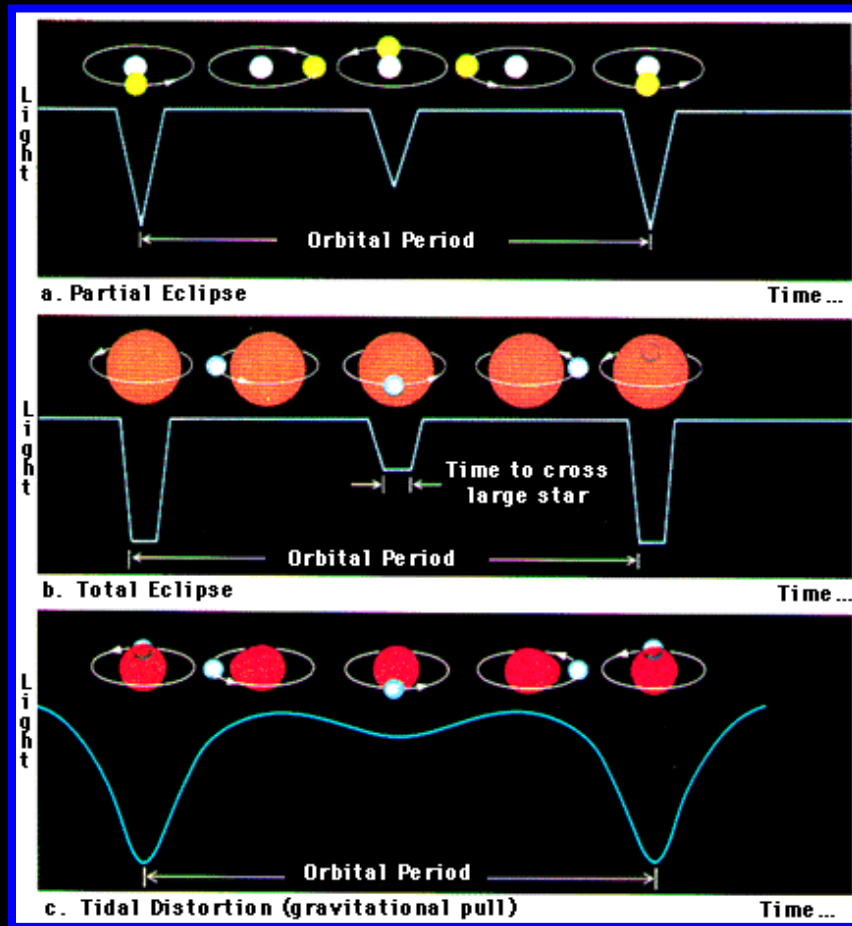
- alolidy, cefeidy, eruptivní trpaslíci, heliové proměnné
- hvězdy typu SR, hvězdy typu RS CVn, hvězdy typu  $\alpha^2$  CVn, hvězdy typu  $\beta$  Cephei, hvězdy typu ZZ Ceti, hvězdy typu R CrB, hvězdy typu S Doradus, hvězdy typu  $\gamma$  Doradus, hvězdy typu BY Draconis, hvězdy typu RR Lyrae, hvězdy typu  $\beta$  Lyrae, hvězdy typu YY Orionis, hvězdy typu FU Orionis, hvězdy typu  $\delta$  Scuti, hvězdy typu T Tauri, hvězdy typu RV Tauri, hvězdy typu W Uma, hvězdy typu W Vir
- miridy, novám podobné hvězdy, novy, polary, pulzary, Ap hvězdy, supernovy, symbiotické hvězdy, trpasličí novy

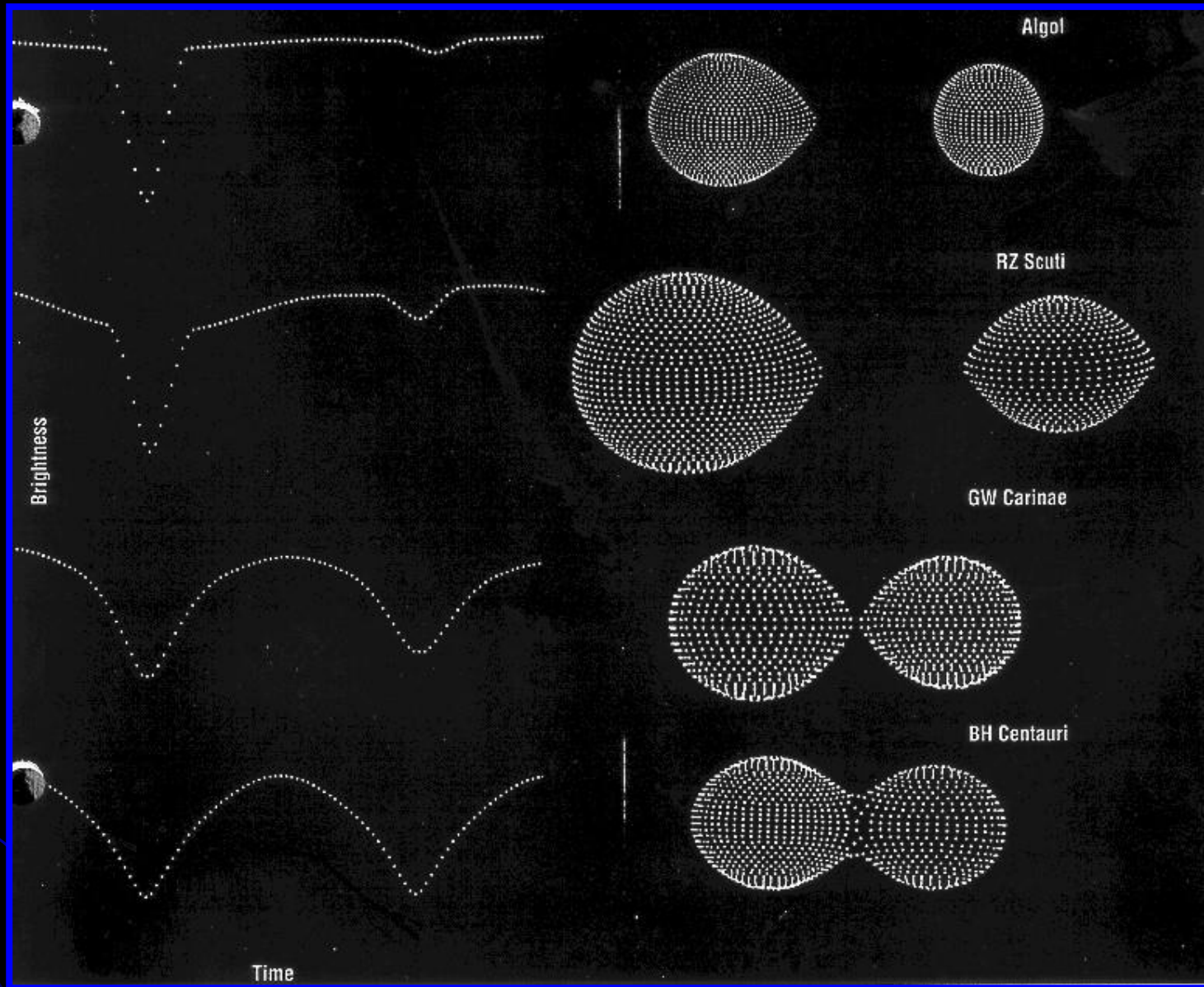
# Poloha PH na HR diagramu



# Zákrytové proměnné hvězdy

- složky opticky nerozlišitelné, spektroskopicky někdy ano
- rovina oběhu musí ležet poblíž směru pozorovatel-soustava
- těsné dvojhvězdy – přetok hmoty mezi složkami

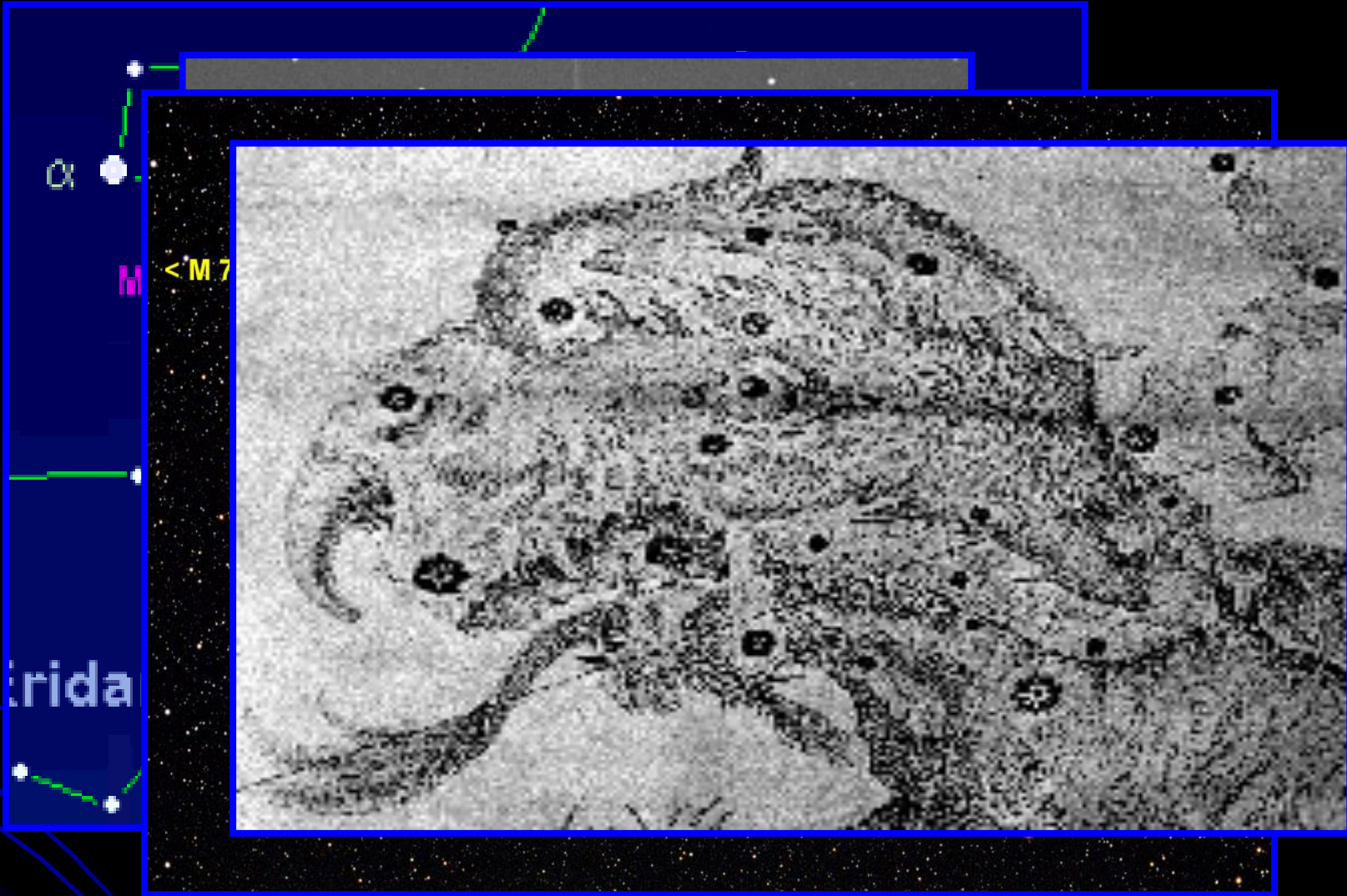




# Mira aneb o Ceti

- objevena v roce 1596 (David Fabricius 1564-1617) jako první proměnná hvězda, která nebyla N nebo SN
- označení o Ceti pochází od Bayera 1603
- v době objevu považována za novu, přestože ji Fabricius pozoroval i v r. 1609
- poté byla zapomenuta, znovuobjevení Johannem Heveliem 1639 a 1642 ji pojmenovává Mira (Podivuhodná)
- Fabricius se toho nedožil
- bylo však dohledáno několik mnohem starších pozorování, zejména v Asii (Čína, Korea)
- 1997 zobrazení kotoučku proměnné hvězdy pomocí HST, je patrná rozsáhlá atmosféra Miry o poloměru 0,03", což při vzdálenosti 120 pc dává poloměr hvězdy 3,3 AU
- z kotoučku navíc vybíhá plynný proud směrem k průvodci Miry, kterým je bílý trpaslík, obíhající ve vzdálenosti 70 AU
- 2001 určeny parametry průvodce proměnné hvězdy Miry, vzdálené od nás 128 pc, průvodce -  $0,6 M_{\odot}$  a  $T_{\text{ef}}$  teplotu 9000 K, jde o mladého BT (850 milionů let)





$\alpha$

M < M.7

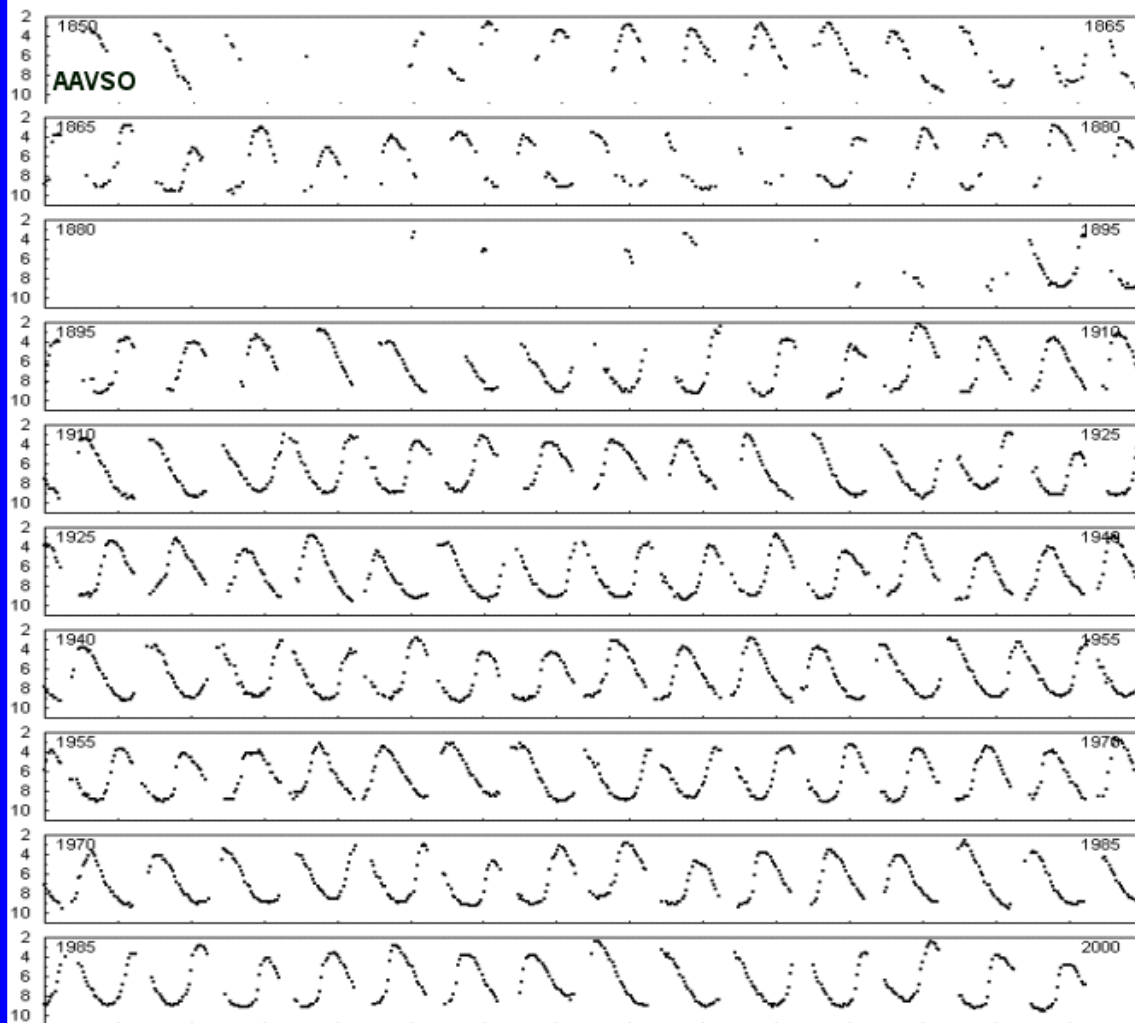
Arida



## Mira (LPV) 1850-2000 (10-day means)

Mira (omicron Ceti) is the prototype of pulsating long period variables and the first star recognized to have changing brightness. It has a period of 332 days. Generally, Mira varies between magnitudes 3.5 and 9, but the individual maxima and minima may be much brighter or fainter than these mean values. Its large amplitude of variation and its brightness make Mira particularly easy to observe.

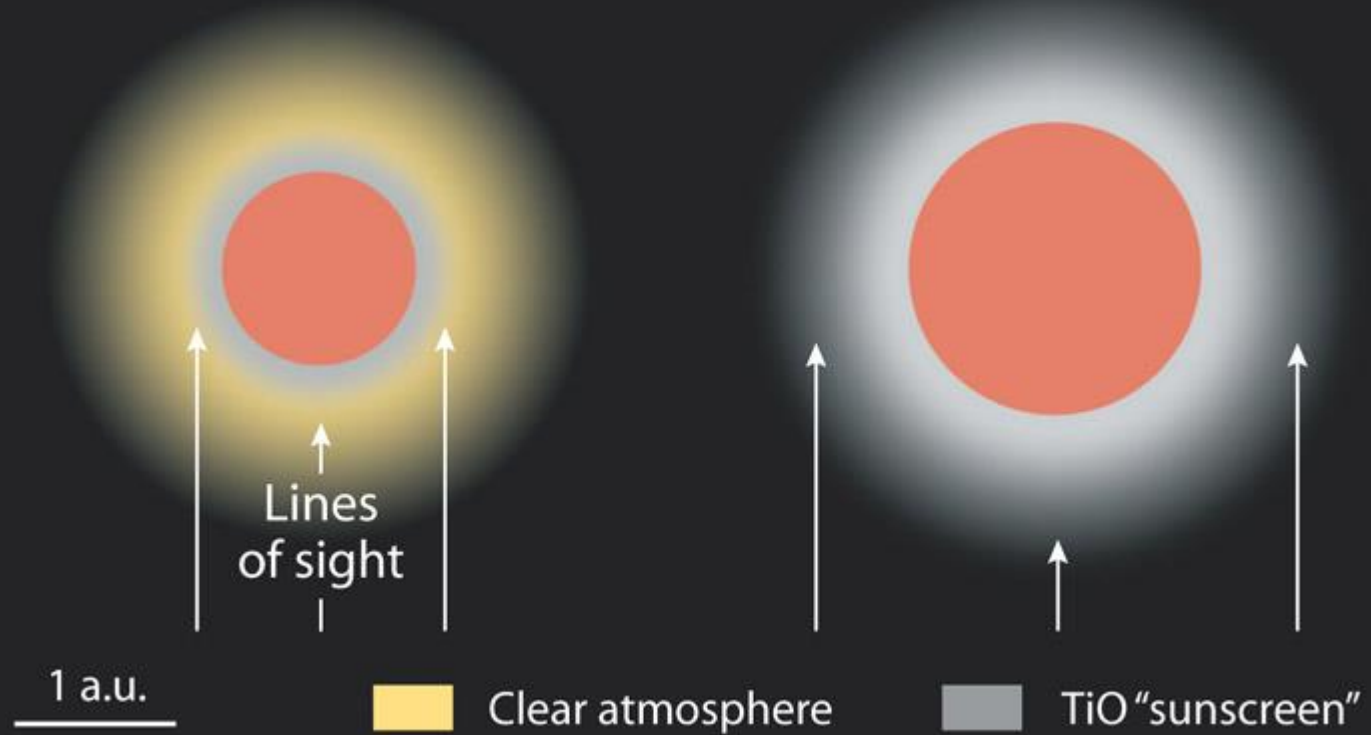
Mira is one of the few long period variables with a close companion which is also variable (VZ Ceti).



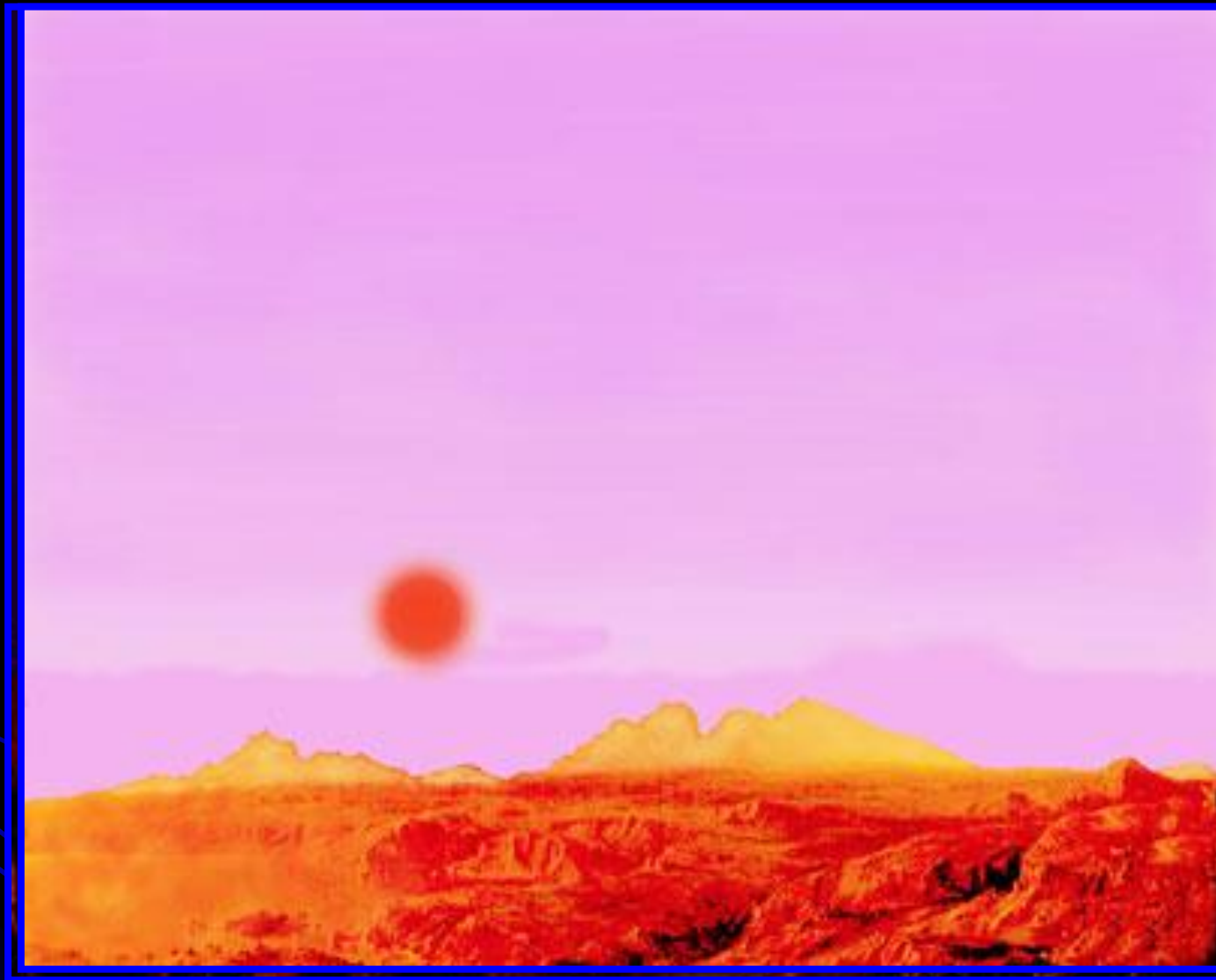
# Pulsing Mira-Type Star

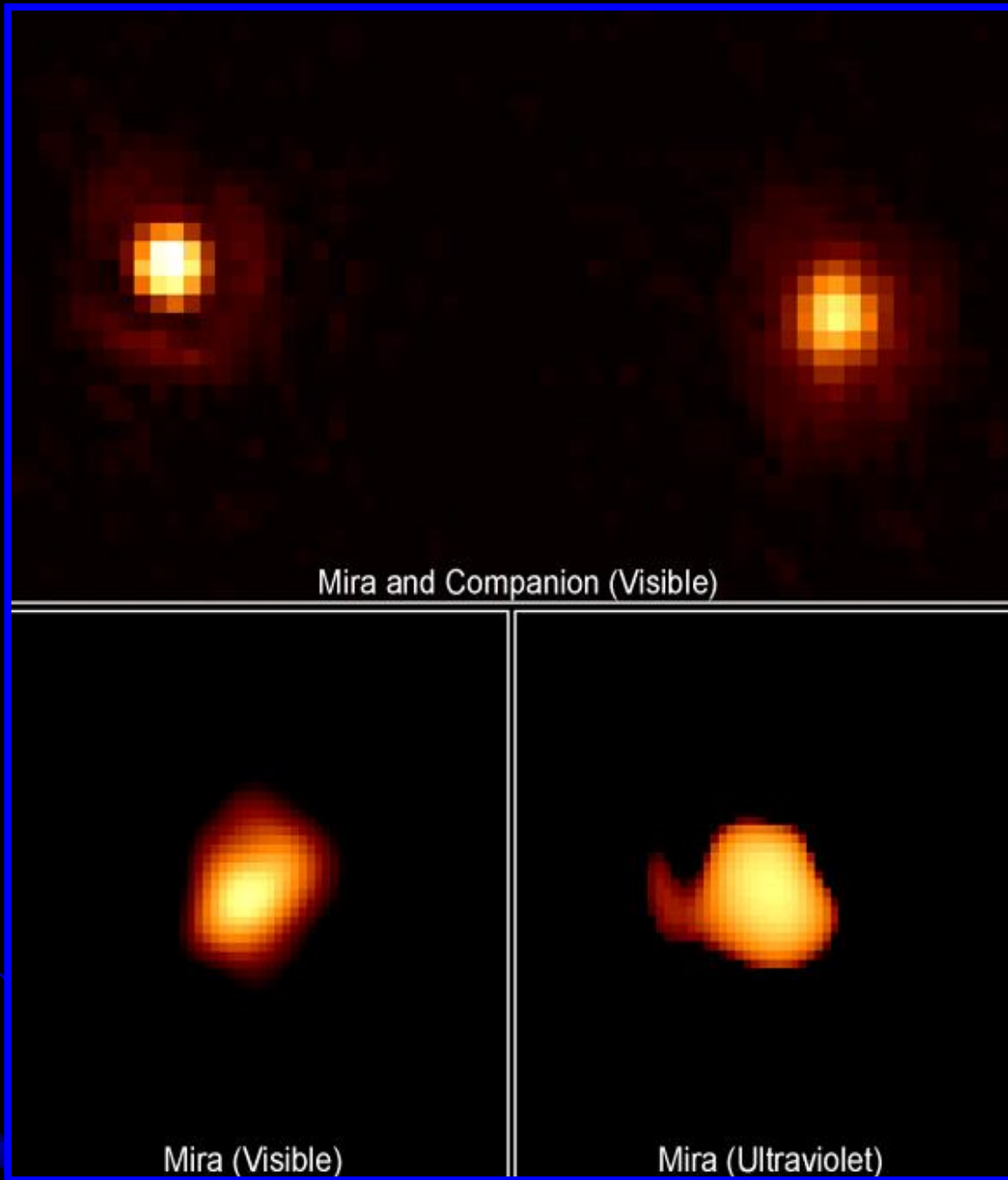
Maximum light

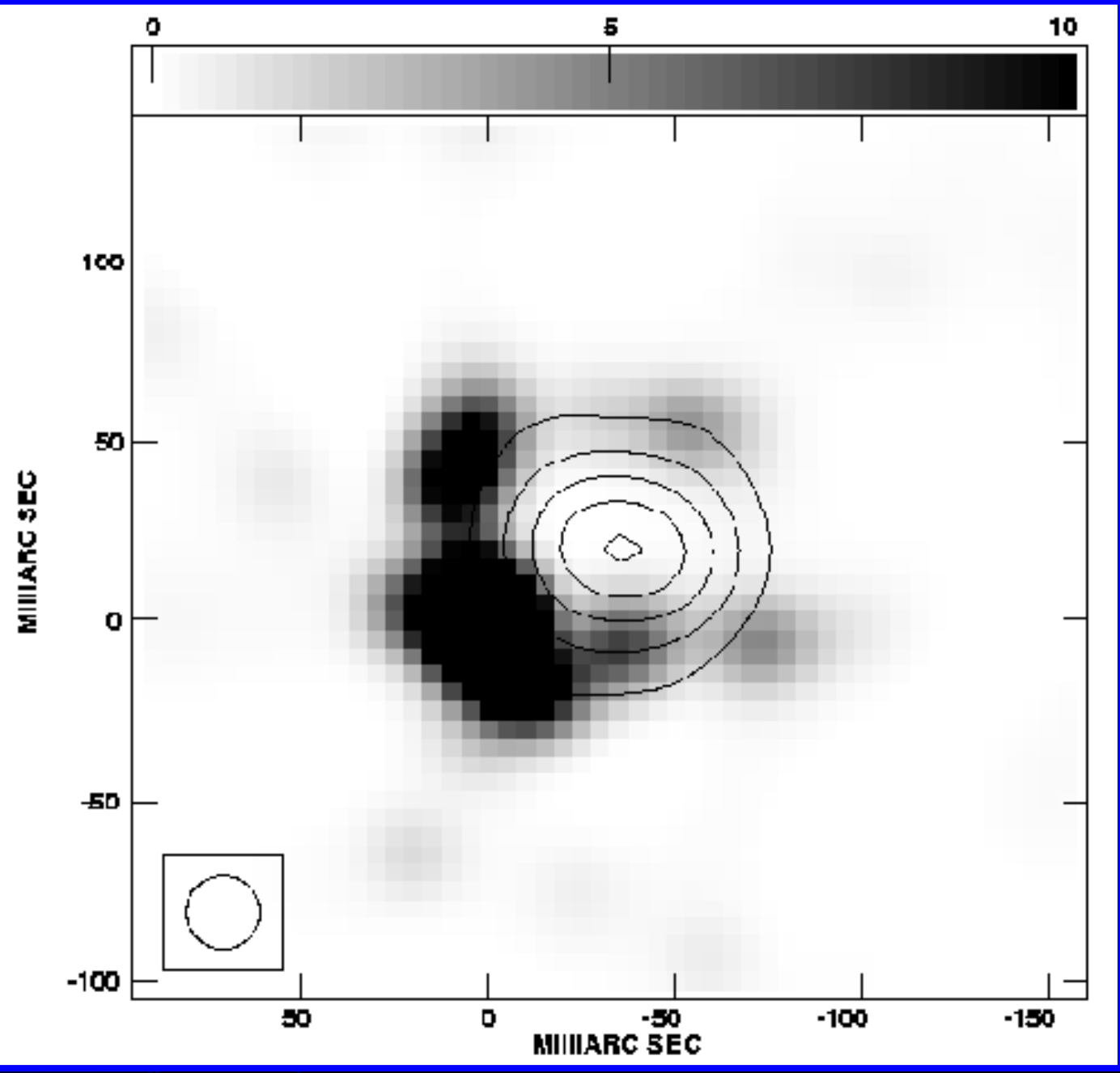
Minimum light



© 2002 Sky & Telescope







# Hvězdy typu Mira

- prototyp: hvězda o Ceti pojmenovaná jako Mira
- pulzující chladní obři s periodami 100-500 dnů
- jsou to hvězdy sluneční hmotnosti v pokročilém vývojovém stadiu
- amplituda změny jasnosti (V) > 2,5 mag
- katalog GCVS obsahuje přes 6000 mirid
- dále se miridy dělí na typy: M - v optické oblasti pásy TiO, S - pásy ZrO, TiO, C - pásy molekul uhlíku (např. C<sub>2</sub>)

# Hvězdy typu Mira

- Miridy jsou rovněž důležité jako "standardní svíčky" sloužící k určování vzdáleností v naší Galaxii a také vzdáleností galaxií nejbližších (Velké a Malé Magellanovo mračno)
- proces, kterým miridy ztrácejí látku není zcela objasněn
- červení chladní obři a veleobři představují velice heterogenní skupinu. Miridy patří k chladným hvězdám (povrchové teploty 3500-3000 K) s velmi pravidelnou periodou a amplitudou větší než 2,5 mag
- velký interval změn jasnosti ve vizuální oblasti je částečně způsoben nízkou povrchovou teplotou těchto hvězd. Pro většinu mirid je maximum energie vyzářeno v IR oblasti



# Supernovy - historická zastavení

- Lundmark ve 20. letech 20. století publikoval názor, že nova pozorovaná Hartwigem v roce 1885 ve Velké mlhovině v Andromedě se nachází v této galaxii, pak její zářivý výkon musí být mnohem větší než u jiných nov
- slovo *supernova* poprvé použili Baade & Zwicky v roce 1934

jejich charakteristika jevu supernovy:

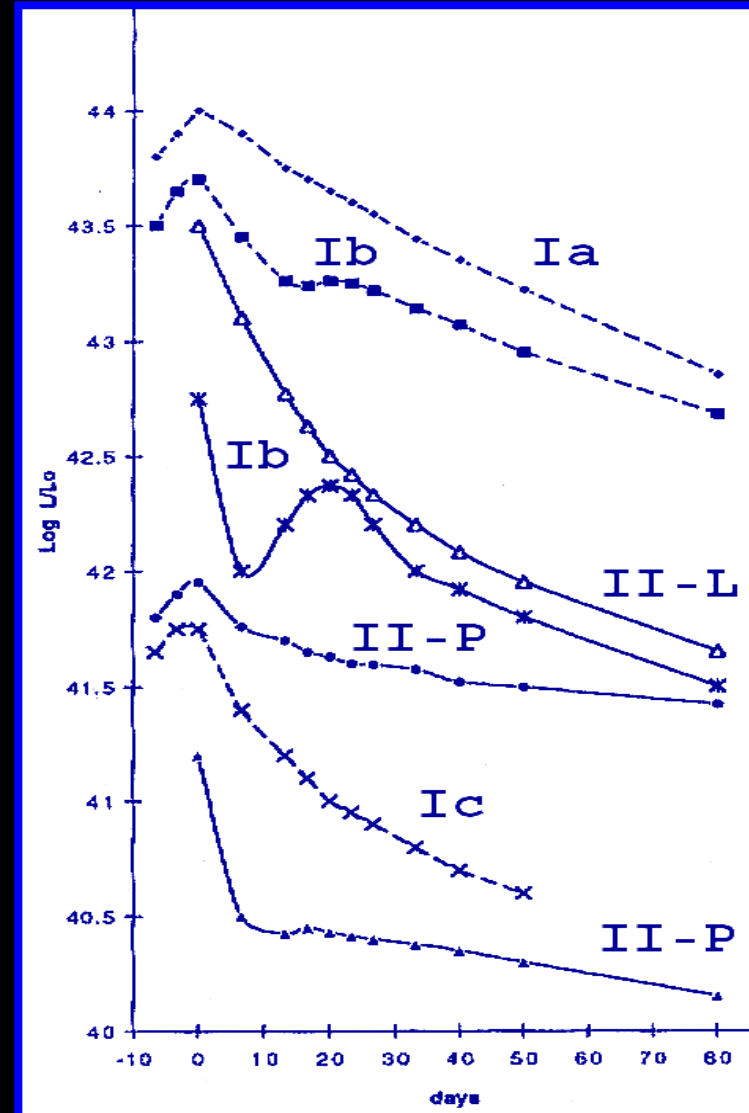
- ✓ celková uvolněná energie řádu  $10^{44}$  až  $10^{46}$  J
- ✓ pozůstatek může vytvořit neutronovou hvězdu
- ✓ při explozi se uvolní rozpínající se obálka ionizovaného plynu

# Historické supernovy v Galaxii

<u>rok</u>	<u>rektascenze</u>	<u>deklinace</u>	<u>souhvězdí</u>
● 185	14h 32m	-60 20	Kentaur
● 393	17h 11m	-38 20	Štír
● 1006	14h 59m	-41 45	Vlk
● 1054	05h 31m	+21 59	Býk
● 1181	02h 02m	+64 37	Kasiopeja
● 1572	00h 22m	+63 51	Kasiopeja
● 1604	17h 27m	-21 27	Hadonoš

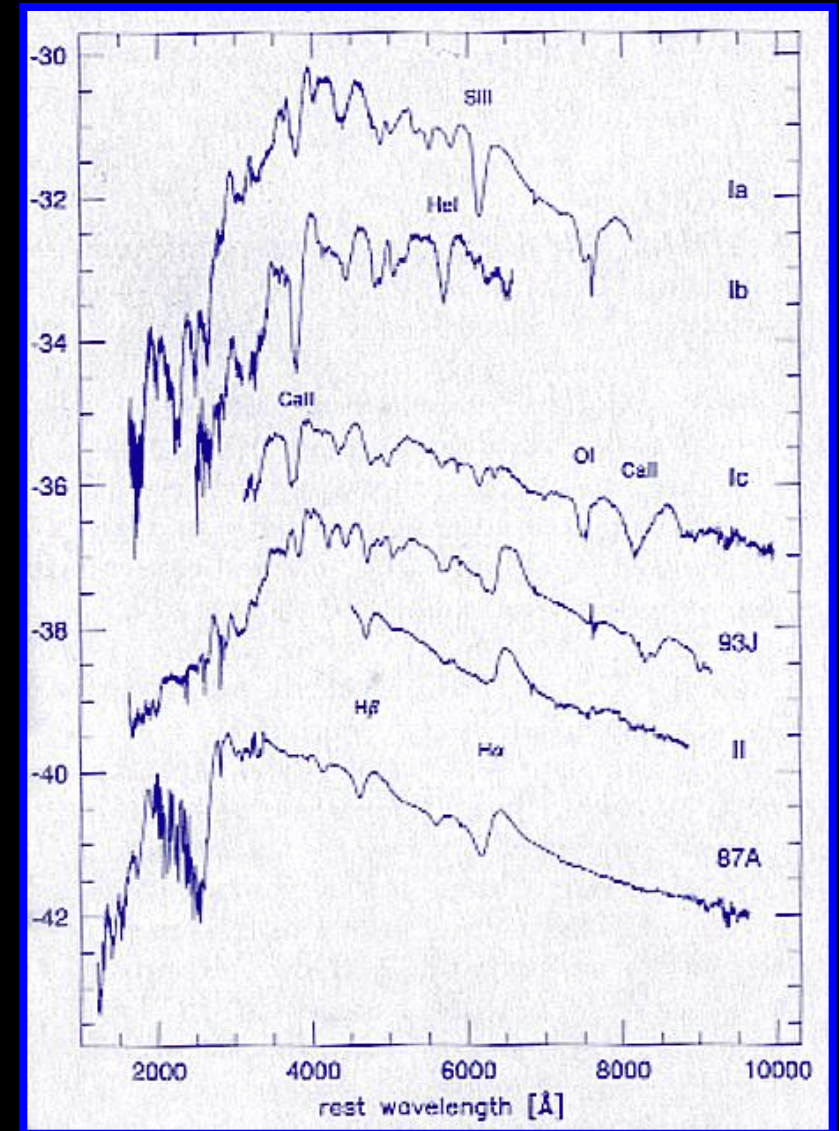
# Světelné křivky a klasifikace

- **Ia** – ve všech typech galaxií i starých populacích
- **Ib** – mladé populace, silné He čáry
- **Ic** – mladé populace, bez He čar,
- **II-P** – spojena s populací I, po maximu zůstane L dlouho téměř konstantní
- **II-L** – po maximu L klesá lineárně

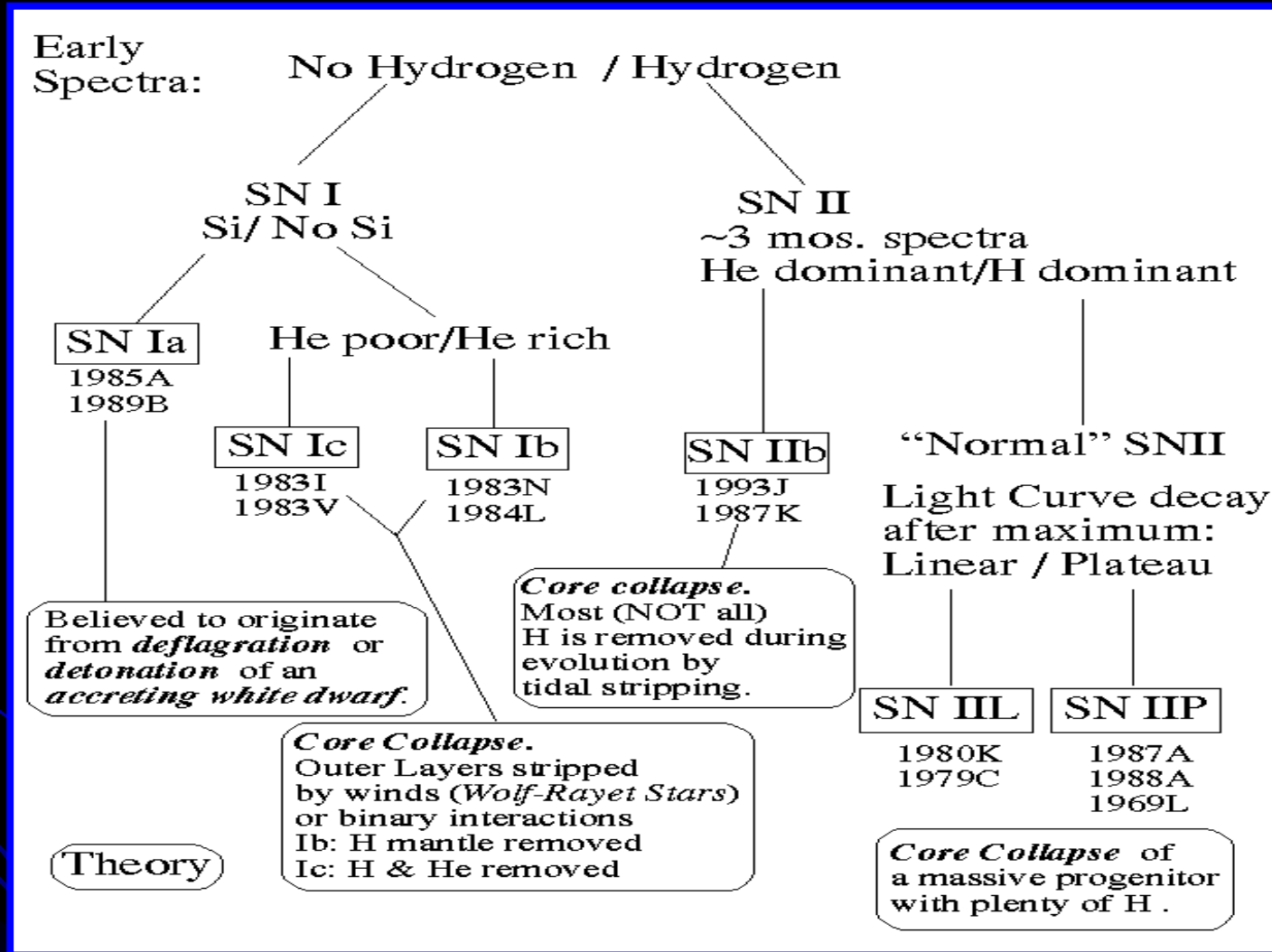


# Spektra supernov

- **Ia** – ve všech typech galaxií i starých populacích
- **Ib** – mladé populace, silné He čáry
- **Ic** – mladé populace, bez He čar,
- **II-P** – spojena s populací I, po maximu zůstane L dlouho téměř konstantní
- **II-L** – po maximu L klesá lineárně



# Klasifikační strom



# Podstata supernov

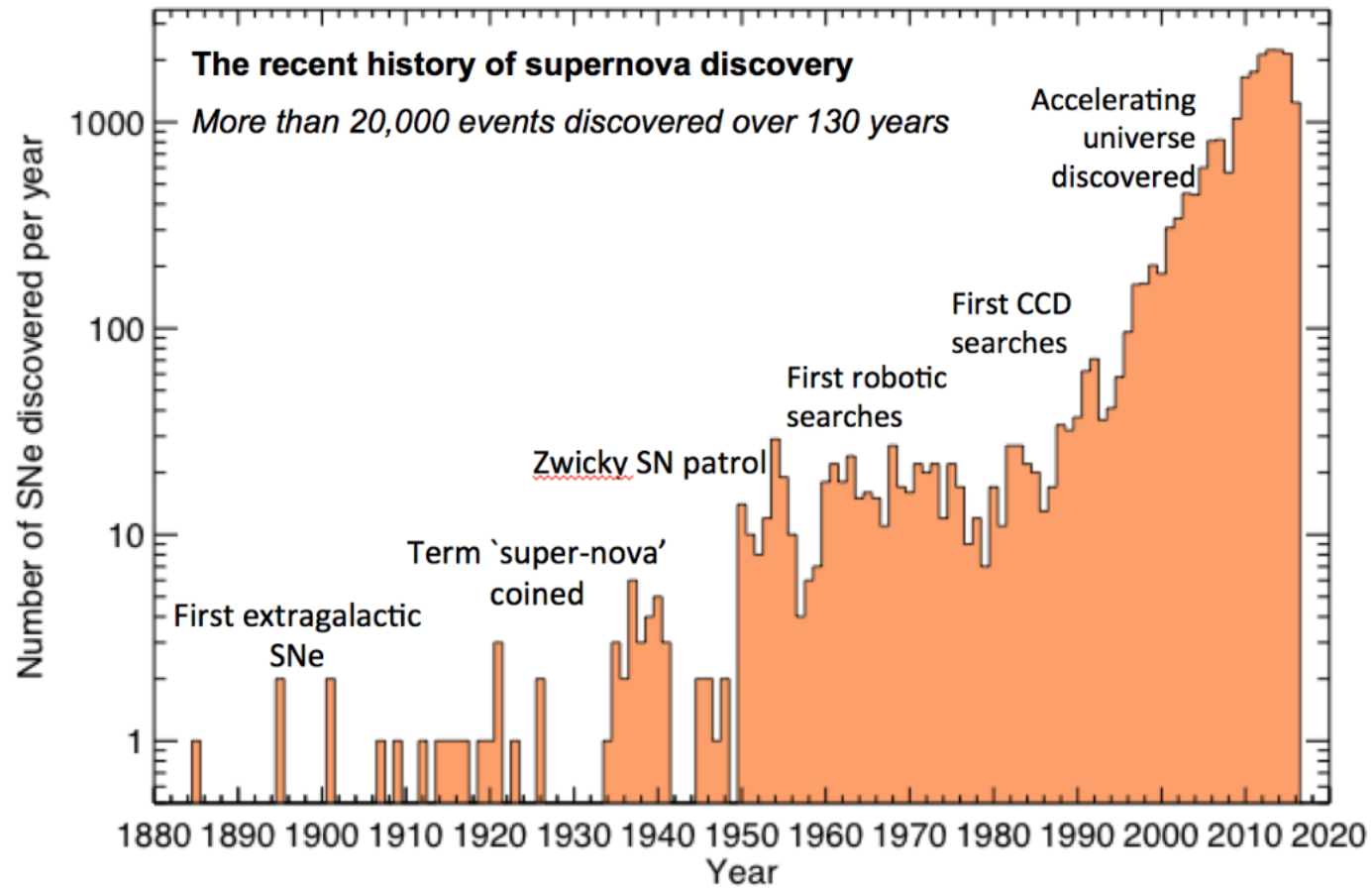
- vývoj velmi hmotných hvězd pak spěje k posloupnosti procesů, které souhrnně označujeme „výbuch supernovy“
- na supernovy lze pohlížet jako na specifický druh proměnných hvězd, kdy mechanismem proměnnosti jsou odezvy na rychlé děje v centrálních oblastech v důsledku hvězdné evoluce
- taková proměnnost je „na jedno použití“
- po „výbuchu“ se totiž hvězda kvalitativně zcela změní – rozplyne se nebo bude NH či ČD

# Objevování supernov

- SN patří k nejžádanějším novým objektům a tak se stále zdokonalují technické prostředky k jejich vyhledávání
- SN označujeme rokem jejich objevu a velkým písmenem abecedy odpovídajícím pořadí objevu v daném roce (např. „SN 1987A“ je první SN objevenou v roce 1987), pokud velká písmena nestačí, používá se dvojice malých písmen: [rok] aa .. az, ba .. bz, atd; např. „SN 2004bk“
- v r. 1990 bylo objeveno 38 extragalaktických supernov
- v r. 1995 to bylo 57 SN, v r. 2000 bylo objeveno 173 SN
- v r. 2003 dokonce 334 SN atd.
- aktuální stav <https://sne.space/>
- má dnes vizuální pozorovatel šanci?



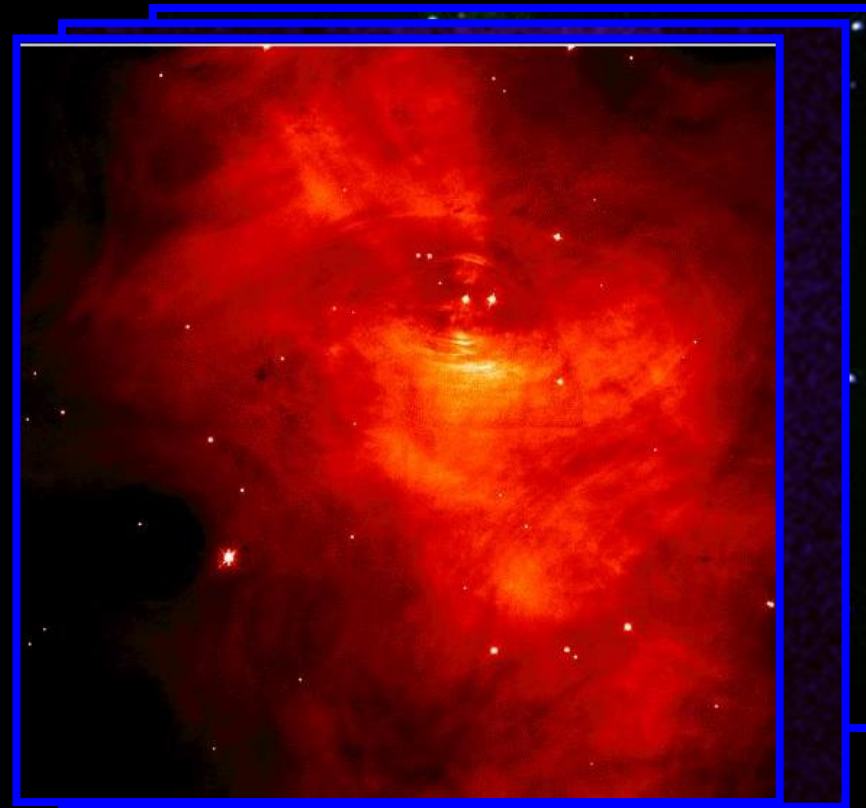
# Objevování supernov



**Figure 2.** Histogram of supernovae discoveries since the 1880s. Figure courtesy of M. Sullivan.

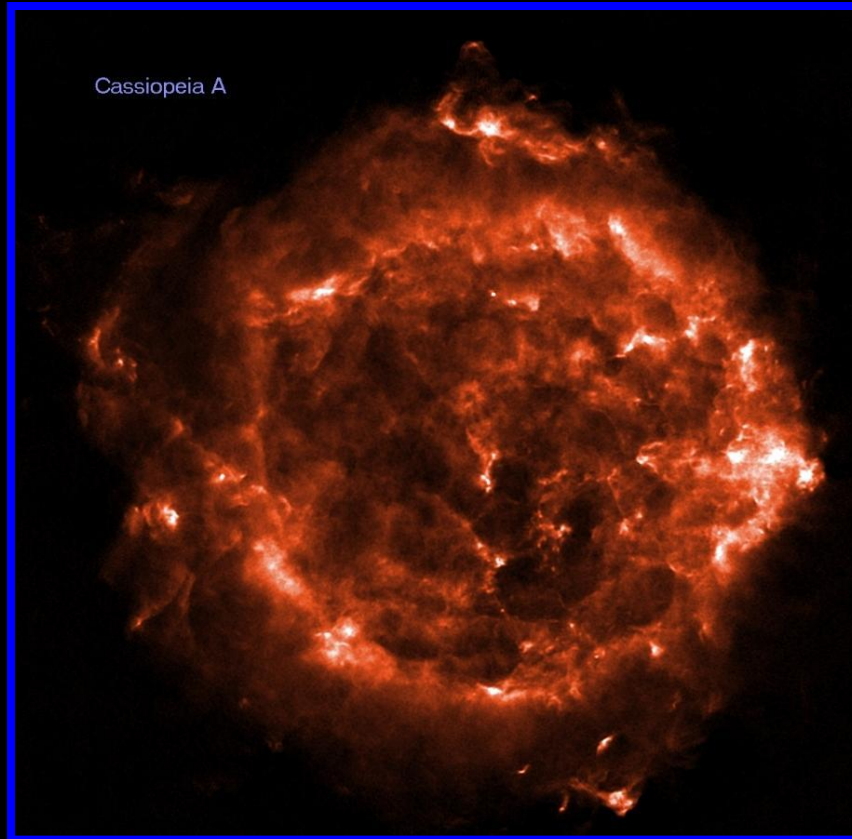
# Od teorie k praxi – M1

- **Krabí mlhovina** je pozůstatkem po supernově z roku 1054, nachází se 6000 světelných roků daleko
- v centru jasné mlhoviny je rychle rotující neutronová hvězda - pulzar, který emituje pulzy záření s frekvencí 30 Hz

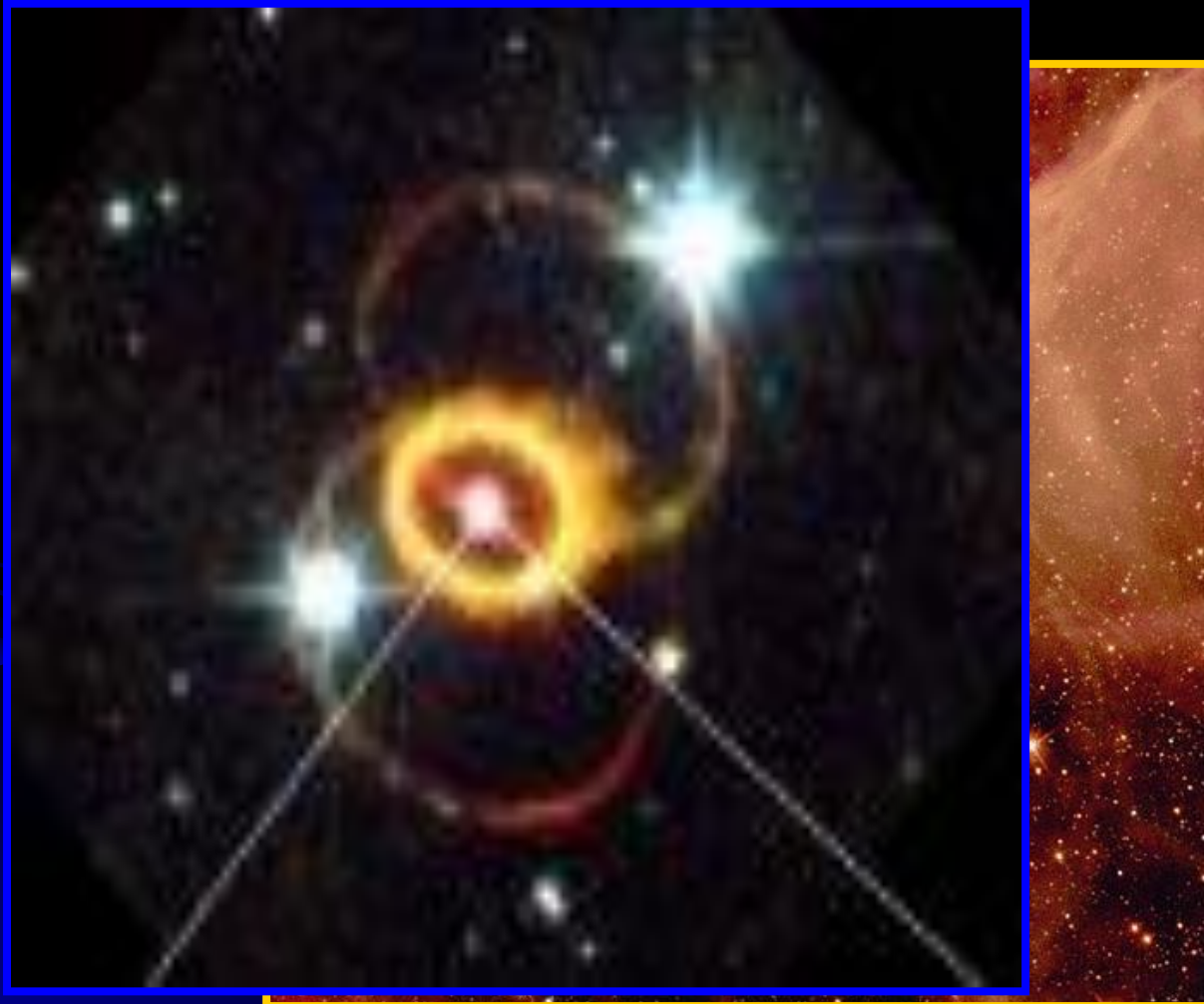


# Od teorie k praxi – Cas A

- poslední SN v naší Galaxii, vzplanula někdy kolem r. 1680, zůstal silný radiový zdroj Cas A - nejsilnější radiový zdroj mimo sluneční soustavu
- družice Chandra měřila rázové vlny v pozůstatku po SN a odtud plyne vzdálenost na 11 000 ly

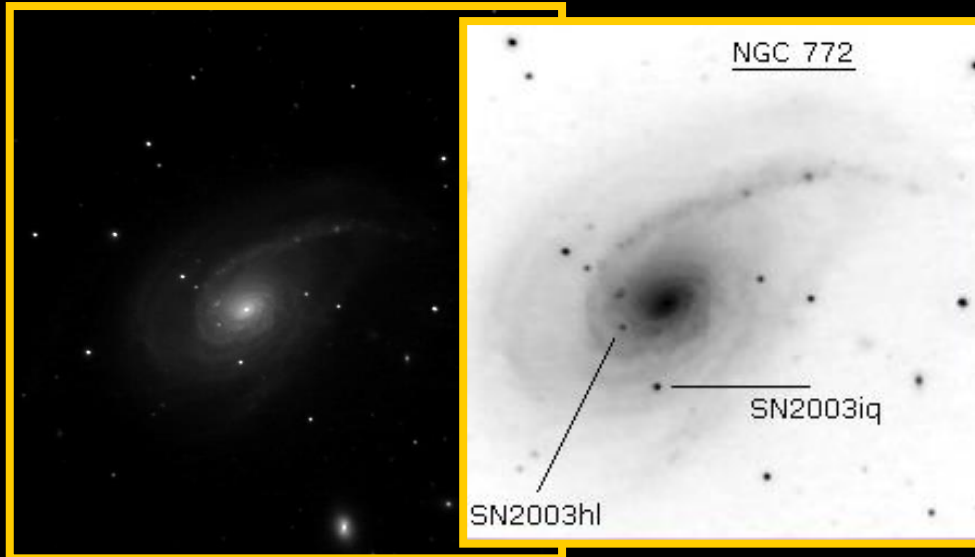


# Od teorie k praxi – SN 1987A

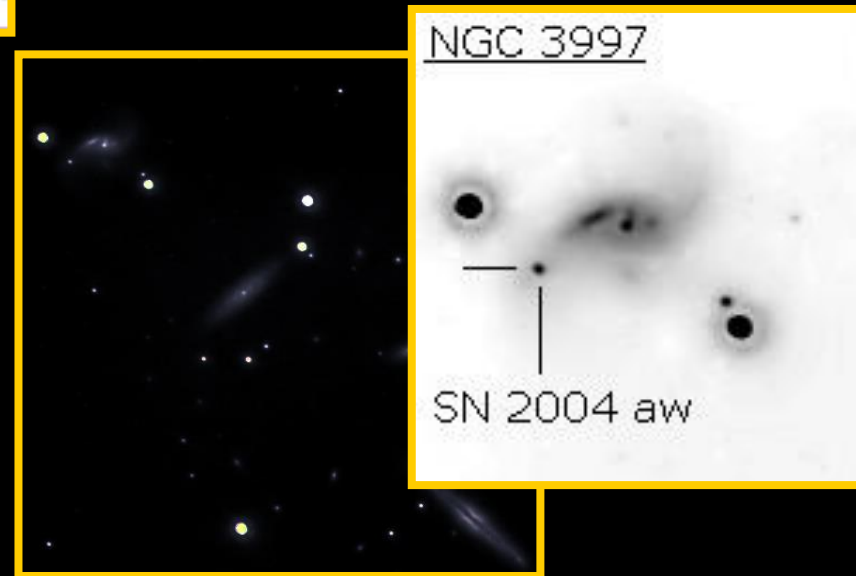


- 24. února 1987 v LMC, vzdálenost 165 000 ly
- poprvé zachycena neutrina generovaná SN pozemskými detektory
- systém tří prstenců zářícího plynu, který obklopuje SN 1987A

# Od teorie k praxi – SN ve vzdálených galaxiích



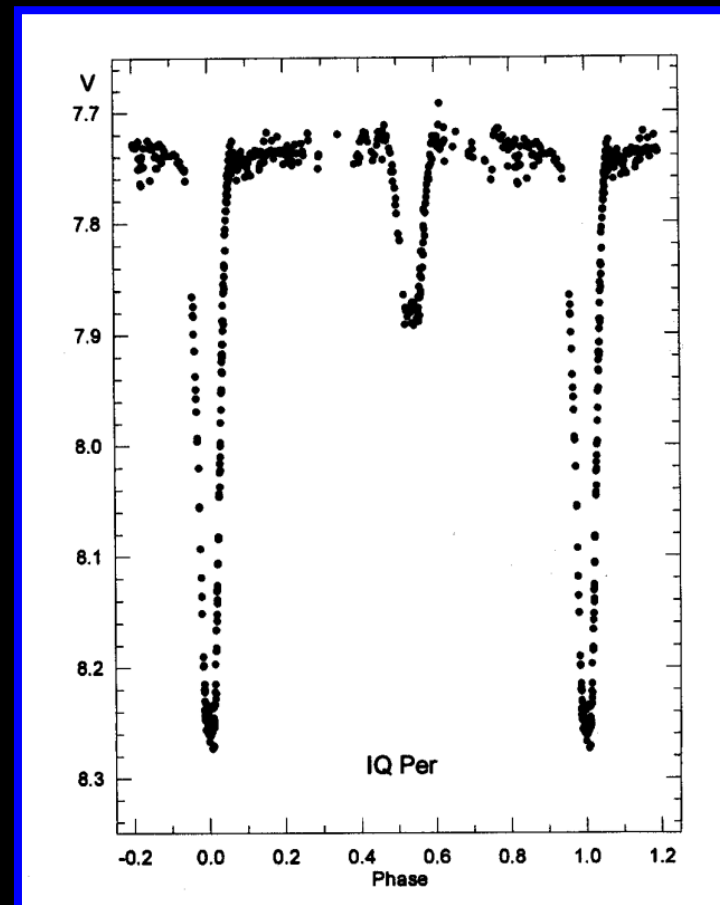
- Robert Evans objevil cca 40 SN vizuálně !
- více [zde](#)





# Metody výzkumu PH

- fotometrie
  - světelná křivka
  - čas minima (maxima)
    - vizuální
    - fotografická
    - CCD
- spektroskopie
- interferometrie

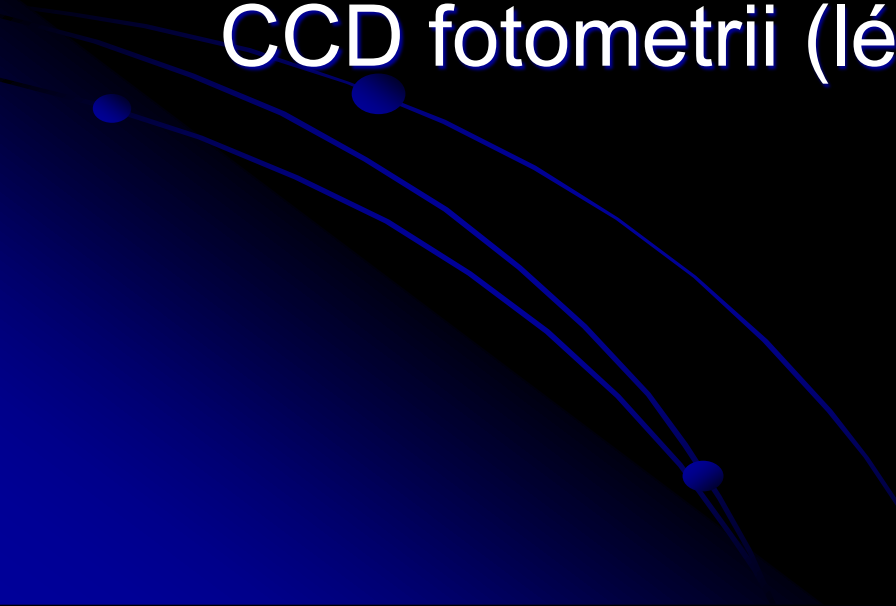


# Role amatérských pozorovatelů

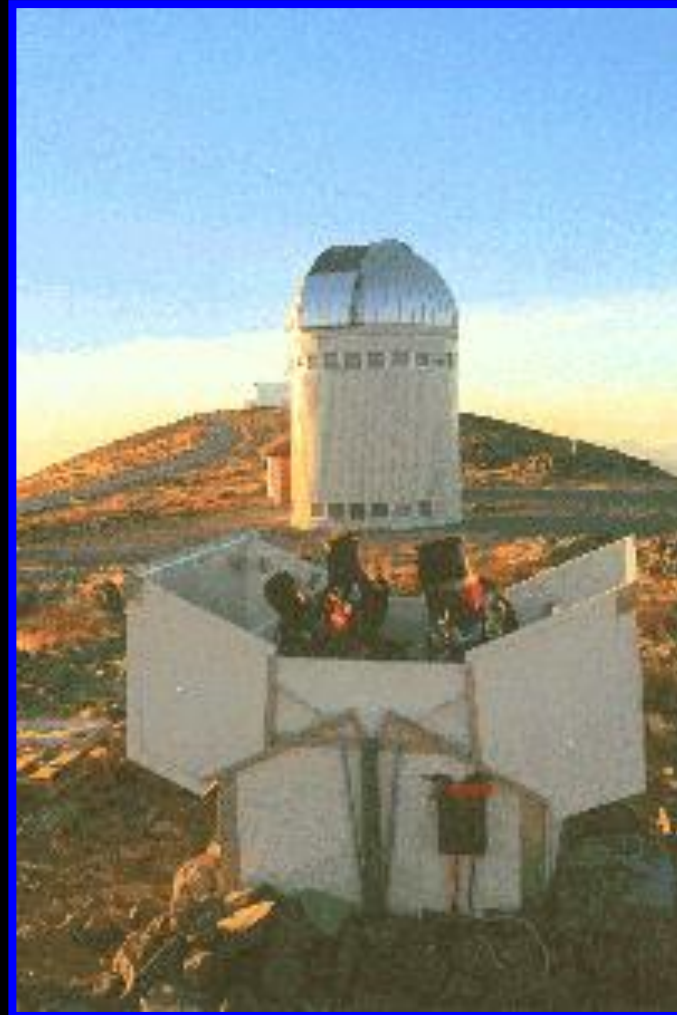
- zákrytové proměnné
  - určení okamžiku minima
  - stanovení (O – C)
  - sestavení celé světelné křivky
- miridy, dlouhoperiodické proměnné
  - světelná křivka
- novy, supernovy
  - objev
  - světelná křivka
- používanou metodou je metoda vizuální nebo CCD fotometrie



# Robotizované dalekohledy

- projekt ASAS
  - soumrak amatérských pozorování LPVs?
  - na severní polokouli podobný projekt neexistuje
  - role amatérů – krátkoperiodické PH, raději přechod na CCD fotometrii (lépe standardní UBVRI)
- 

# Robotizované dalekohledy



# Literatura

- Zdeněk Mikulášek, Proměnné hvězdy, elektronická skripta MU Brno, 2002
- Proměňářské CD, Sekce PPH ČAS
- <http://var.astro.cz>
- <https://www.aavso.org/vsx/>
- <http://www.rochesterastronomy.org/supernova.html>





hasta la vista, amigos