

Chladné hvězdy

Vladimír Štefl

Ústav teoretické fyziky a astrofyziky

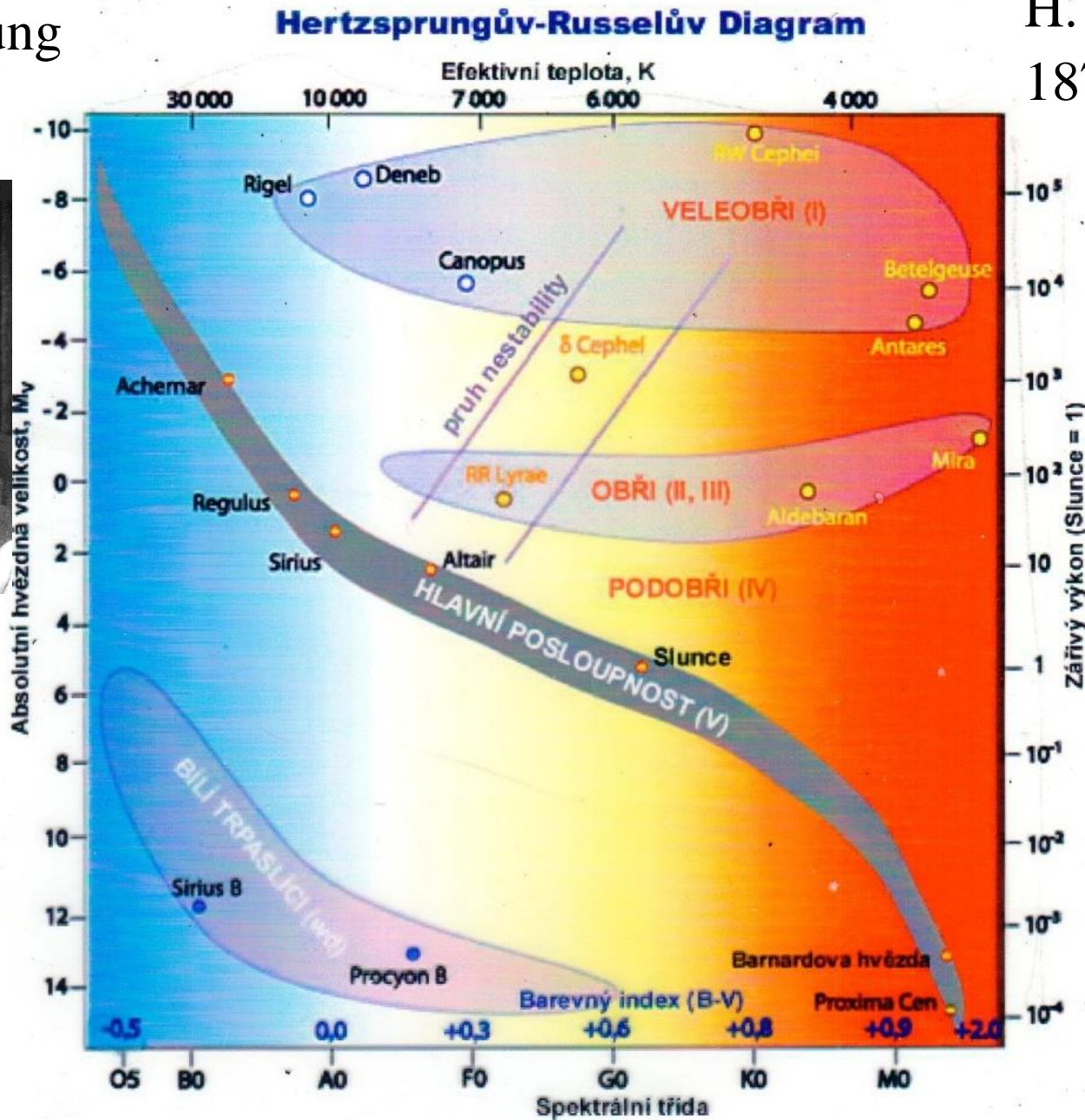
Osnova

- *Úvod, chladné hvězdy na H - R diagramu*
- *Vznik hvězd*
- *Hvězdy T Tauri*
- *Hnědí trpaslíci*
- *Miridy*
- *Závěr - význam sledovaných hvězd*

H - R diagram - stavová interpretace

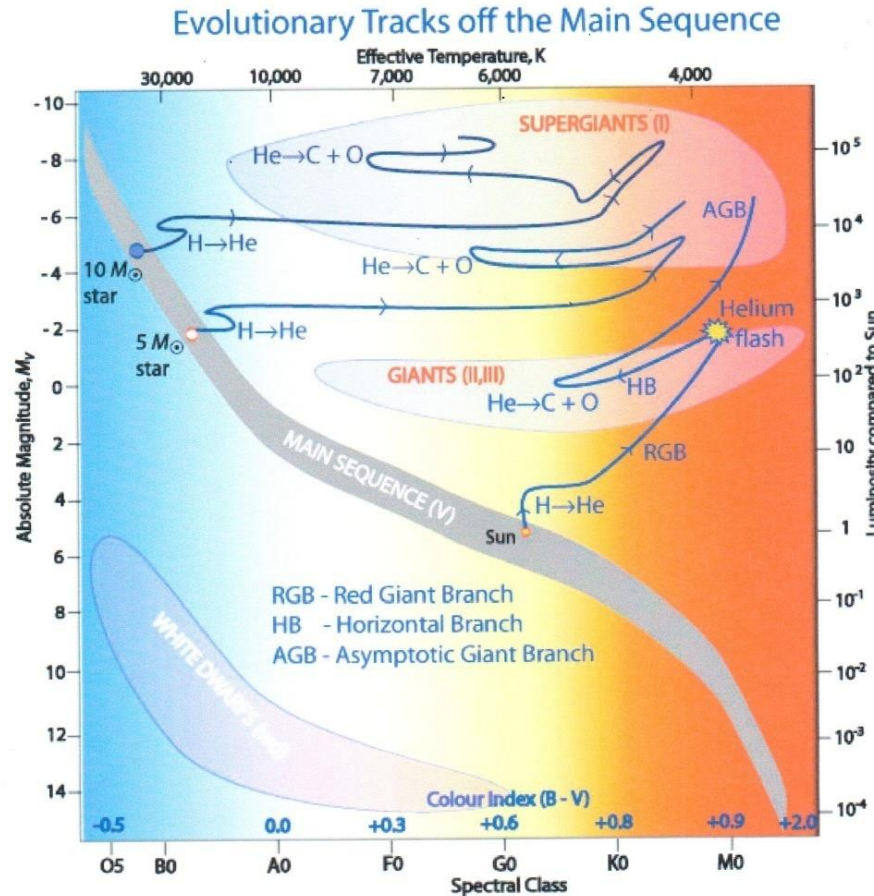
H. N. Russell
1877 - 1957

E. Hertzsprung
1873 - 1967



H – R diagram – vývojová interpretace

B. Strömngren
1908 - 1987



M. Schwarzschild
1912 - 1997



$$\tau_{HP} \approx \frac{1}{M^{2,5}}$$

Vznik hvězd



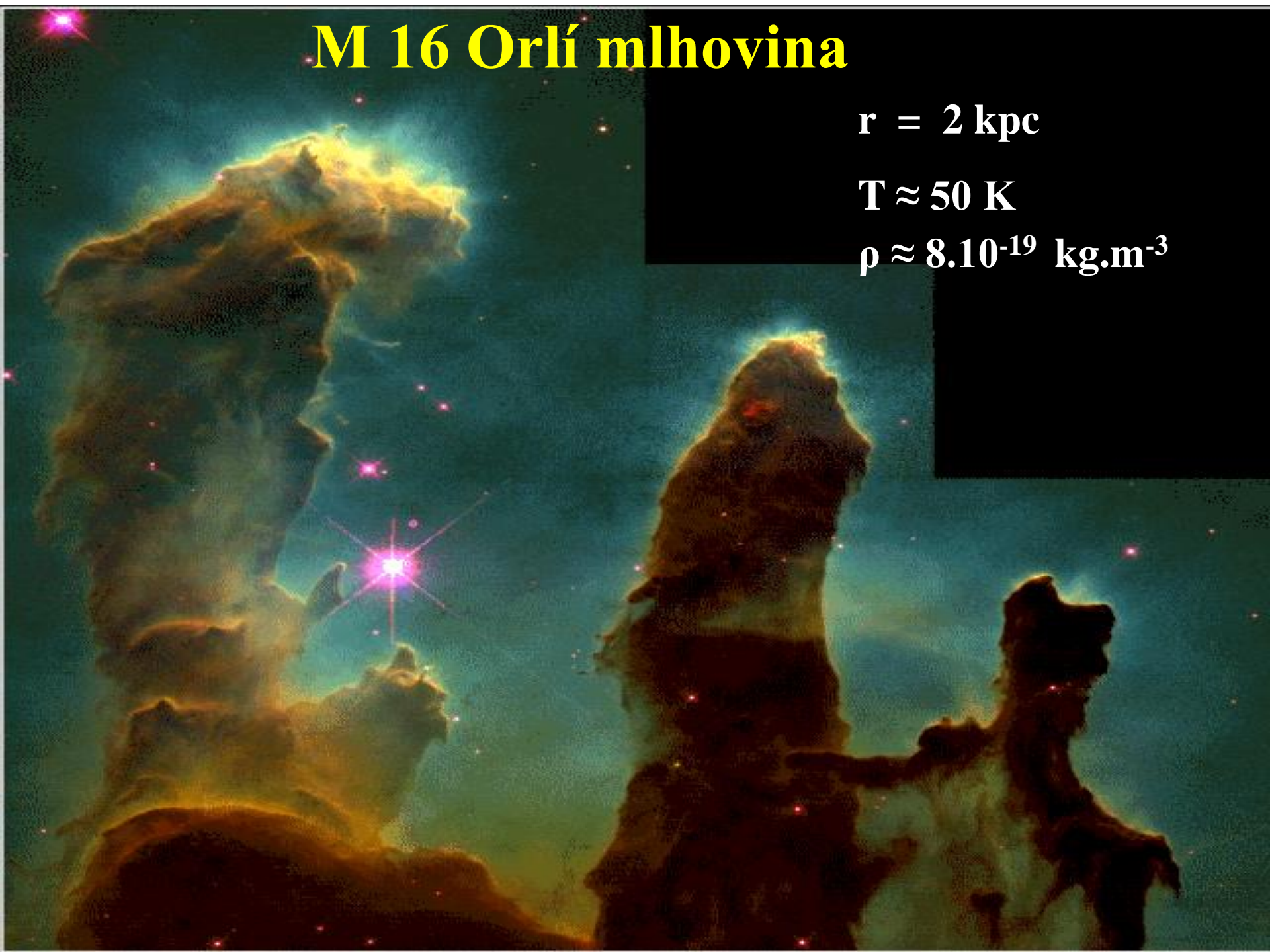
molekulární vodíkový plyn v souhvězdí Štíra

M 16 Orlí mlhovina

$$r = 2 \text{ kpc}$$

$$T \approx 50 \text{ K}$$

$$\rho \approx 8 \cdot 10^{-19} \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$$



Jeansova podmínka vzniku hvězd

H II, 10 000 K, 11 000 M_{\odot}

O4 45 000 K

$r = 1,1$ kpc

$d = 20$ pc, $D = 1^{\circ}$

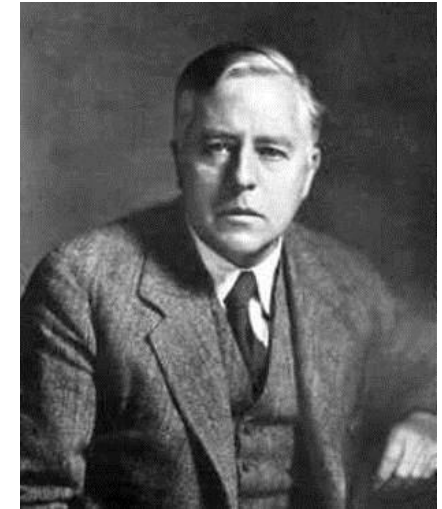
$(10^6 - 10^7)$ částic v m^3

James Jeans 1877 – 1946

co způsobuje vznik hvězd?

gravitační síly + příznivé (fyzikální) podmínky.

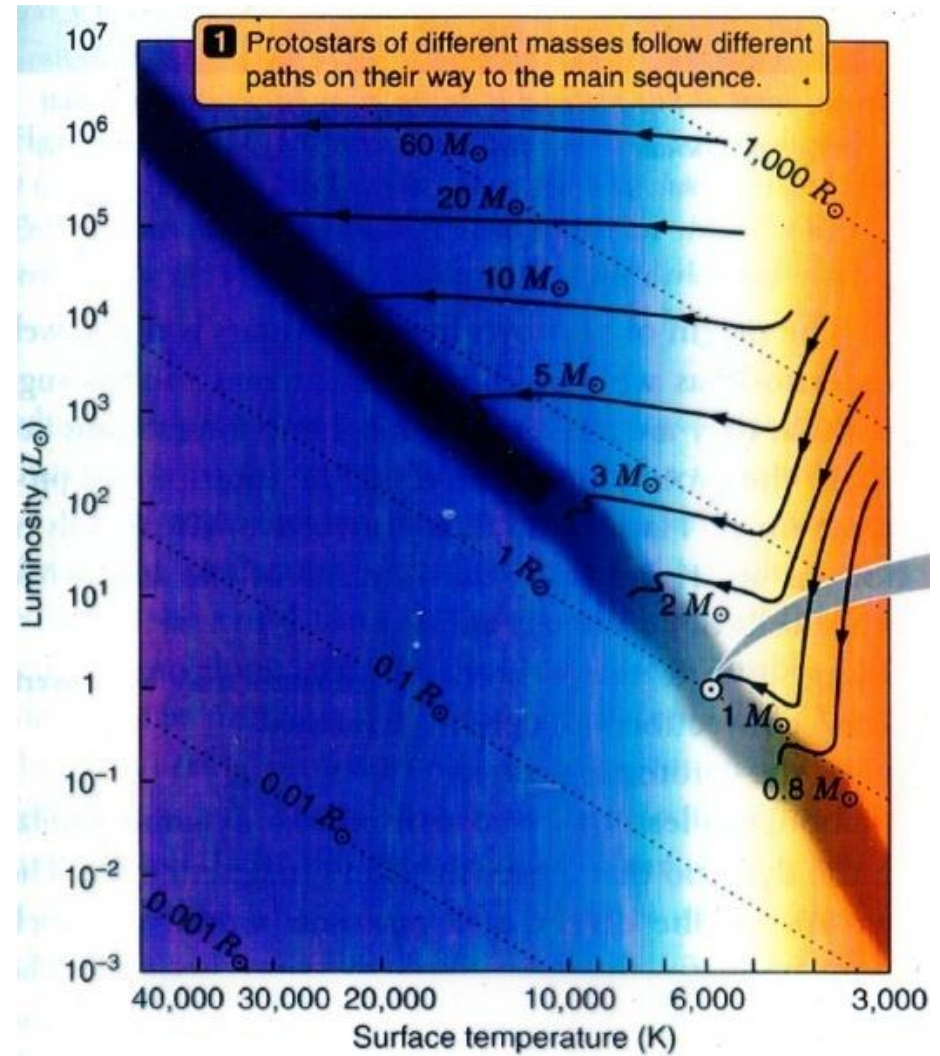
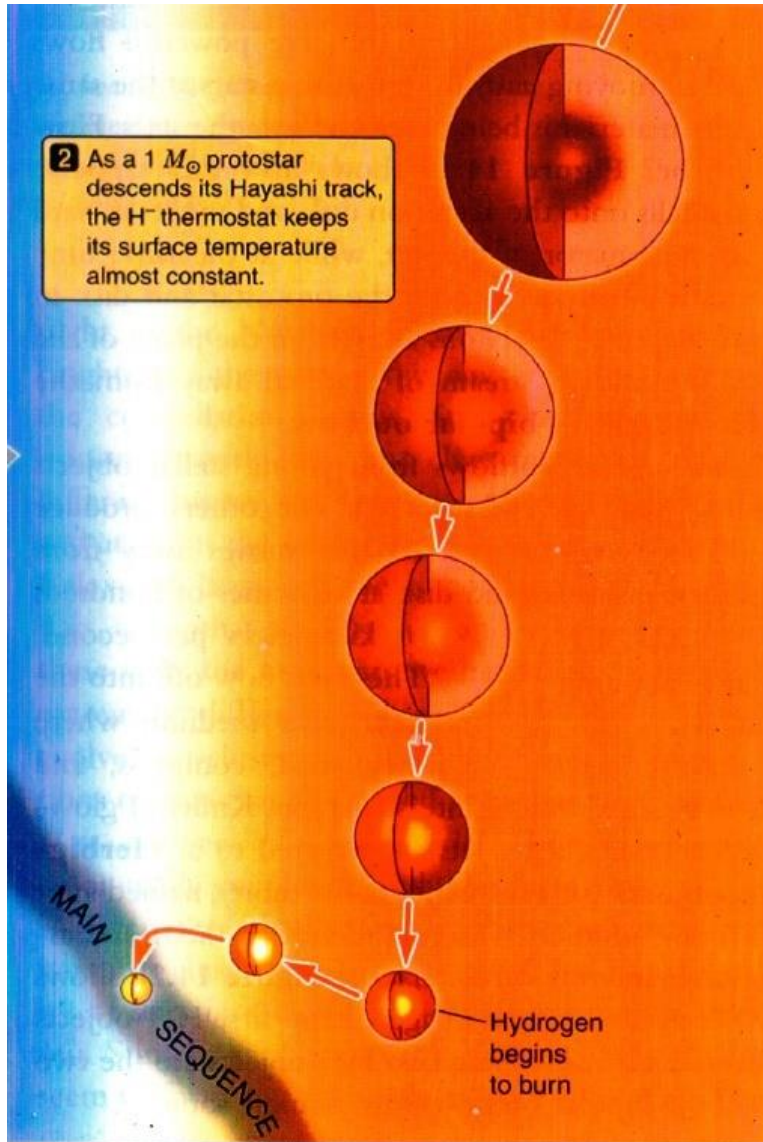
Jeansova hmotnost M_J



$$M_J = \left(\frac{5kT}{G\mu} \right)^{\frac{3}{2}} \left(\frac{3}{4\pi\rho} \right)^{\frac{1}{2}}$$

$$M_r > M_J$$

Příchod na hlavní posloupnost



A. H. Joy: Hvězdy T Tauri

T TAURI VARIABLE STARS

Alfred H. Joy

Mount Wilson Observatory

Received June 9, 1945

ABSTRACT

Eleven irregular variable stars have been observed whose physical characteristics seem much alike and yet are sufficiently different from other known classes of variables to warrant the recognition of a new type of variable stars whose prototype is T Tauri. The distinctive characteristics are: (1) irregular light-variations of about 3 mag., (2) spectral type F5-G5 with emission lines resembling the solar chromosphere, (3) low luminosity, and (4) association with dark or bright nebulosity. The stars included are RW Aur, UY Aur, R CrA, S CrA, RU Lup, R Mon, T Tau, RY Tau, UX Tau, UZ Tau, and XZ Tau. They are situated in or near the Milky Way dark clouds in the direction either of the center or of the anticenter of the galaxy.

Hvězdy T Tauri

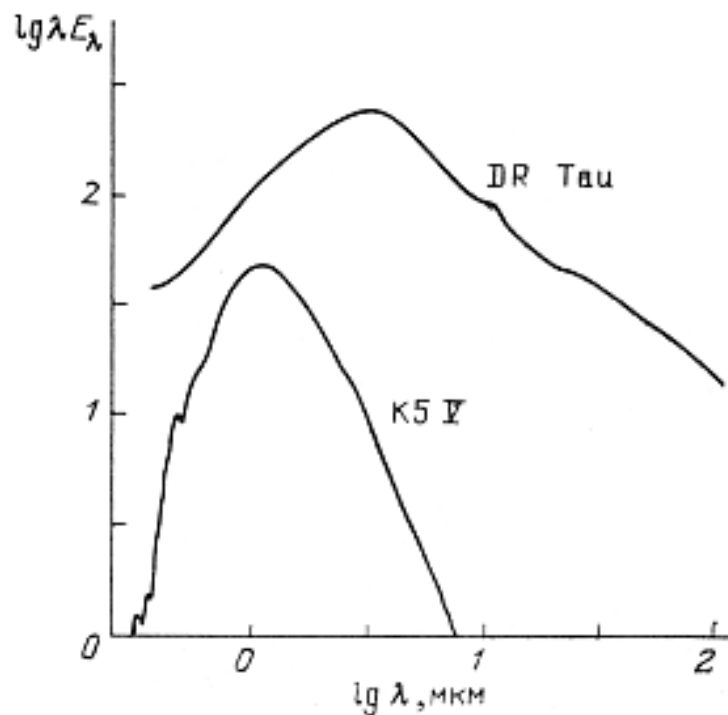
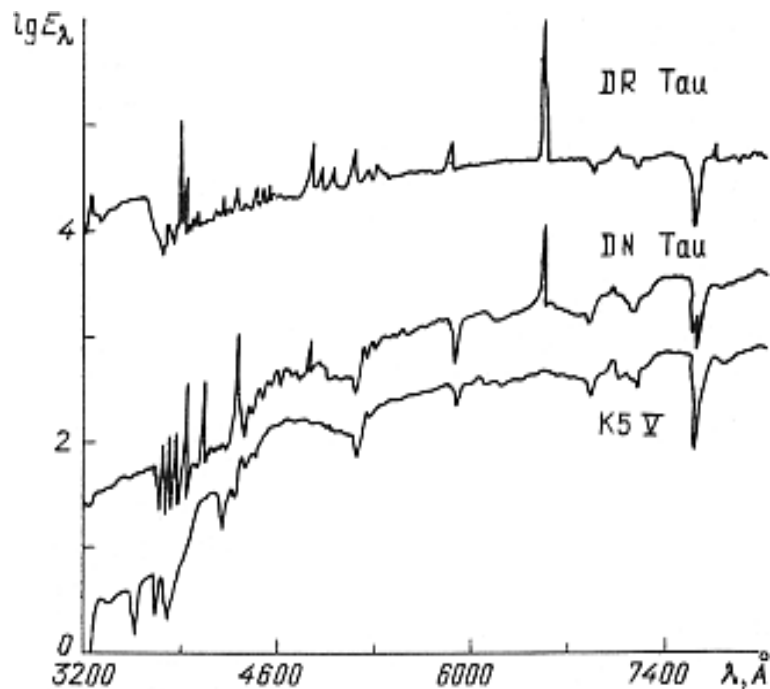
v r. 1945 americký astrofyzik *A. H. Joy* popsal a definoval charakteristiky hvězd podle jejich prototypu T Tauri ve spektrech *emisní čáry H_α*

americký astrofyzik *G. H. Herbig* analyzoval údaje o hvězdách T Tauri → r. 1962 první souhrnný **katalog hvězd T Tauri**, včetně charakteristik

upřesněná kritéria pro zařazování hvězd:

1. spektrální třída G, K, M
2. přítomnost ve spektru emisních čar Balmerovy série vodíku, zejména čáry H_α , dále čar Ca II, K 393,4 nm a H 396,8 nm,
3. přítomnost zakázané emisní čáry S II 406,8 nm, 407,6 nm, silné absorpční čáry Li 670,7 nm
4. přítomnost emisních čar neutrálního železa Fe I 406,3 nm a Fe I 413,2 nm.

Hvězdy T Tauri, čárové a spojité spektrum



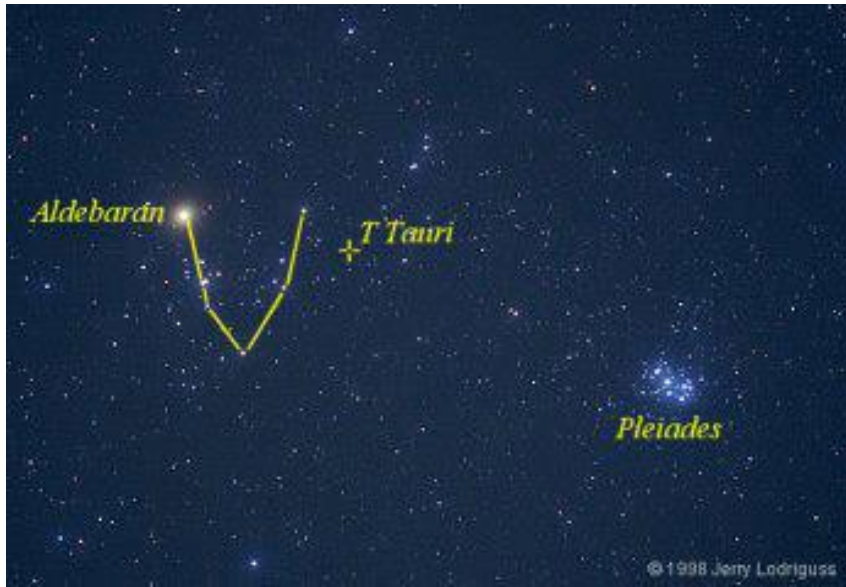
emisní čáry **Ca II**, **Fe I**, **H α**

okolí hvězd protohvězdné mračno, prach částečně pohlcuje záření hvězd
→ převyzařuje v infračervené oblasti – přebytek, exces záření

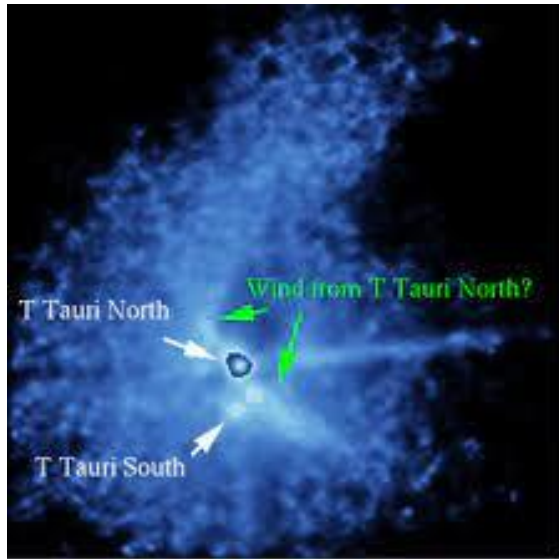
Hvězdy T Tauri

mladé hvězdy, stáří (0,5 – 30) milionů roků, hmotnosti (0,08 – 3) M_{\odot}
teplota v centrálních oblastech nedostatečná pro klasické hoření
vodík → helium, hoří pouze deuterium a lithium
při teplotě $\approx 10^6$ K nejprve v jádře hoření deuteria, později při teplotě
 $\approx 2,5 \cdot 10^6$ K lithia
další zdroj energie - *gravitační smršťování*, přeměna na tepelnou
energii, polovina se vyzáří, druhá polovina vyvolává zahřívání vnitřních
částí hvězdy.
u hvězd s hmotností 1 M_{\odot} trvá vývoj asi 30 milionů roků, smršťování je
pomalé, 0,001% poloměru/rok, jde o tzv. kvazistatickou rovnováhu
po dosažení teploty zapálení reakcí vodík → helium, obraz hvězdy usadí
na hlavní posloupnosti, na *tzv. posloupnosti nulového stáří*
poloha na HP dána pouze hmotností, hvězdy chemicky stejnorodé

Hvězdná asociace T Tauri



*lokalizace hvězdy T Tauri ,
napravo od ní mlhovina
odrážející záření, jasnost se
mění s jasností hvězdy*



Hvězdné asociace T Tauri

- fyzikálně související hvězdy - společné vlastnosti, vznikly v krátkém časovém rozmezí, vývoj v malé oblasti prostoru
- nepříliš výrazná seskupení hvězd určitého typu, prostorová hustota je vyšší než hustota hvězd stejného typu v okolí,
- relativně malá hustota – rychlý rozpad asociace působením vnější gravitačních polí, netrvá déle než 10^7 roků, proto se jedná o mladé útvary
- nepravidelné eruptivní hvězdy, změny jasnosti až několik magnitud,
- proměnná magnetická pole
- hmotnosti $(2 - 3) M_{\odot}$



Hvězdy T Tauri



Typické hodnoty středně pokročilých hvězd T Tauri:

hvězda	oblast	spektrální třída	T_{ef} [K]	L [L_{S}]	R [R_{S}]	M [M_{S}]	stáří 10^6
T Tauri	Taurus	G6	$(5\,700 \pm 140)$ K	$7,8 \pm 0,8$	$2,9 \pm 0,2$	$1,9 \pm 0,3$	$7,3 \pm 1,2$
SU Aur	Taurus	G1	$(5\,945 \pm 142)$ K	$7,8 \pm 1,0$	$2,6 \pm 0,4$	$1,7 \pm 0,2$	$8,7 \pm 0,7$
P2441	Ori	OB 1c	$(6\,115 \pm 167)$ K	$11,5 \pm 2,1$	$3,0 \pm 0,5$	$2,1 \pm 0,3$	$7,2 \pm 0,6$
GW Ori	λ Ori	G0	$(6\,030 \pm 170)$ K	$22,3 \pm 3,4$	$4,3 \pm 0,6$	$2,5 \pm 0,3$	$3,3 \pm 1,2$
GX Ori	λ Ori	G9	$(5\,410 \pm 275)$ K	$3,2 \pm 0,8$	$2,0 \pm 0,5$	$1,5 \pm 0,3$	$9,6 \pm 3,0$

Hvězdy T Tauri

vnější konvektivní zóny, přenášejí mnohem více energie než u Slunce → velké zářivé výkony

Hayashi - výpočty vývojových křivek mladých hvězd, při konvekci, potvrdily pozorování

aktivita hvězd T Tauri podmíněna akrecí látky z prachoplynného disku obklopujícího hvězdu

indikátor aktivity – intenzita čáry H_{α}

klasické T Tauri, ekvivalentní šířka čáry $H_{\alpha} > 1 \text{ nm}$, pozorujeme důsledky akrece z disku obklopujícího hvězdu

u klasických **T Tauri** existuje celkové magnetické pole, magnetická indukce v polárních oblastech až $5\,000 \text{ G} = 0,5 \text{ T}$

Klasické hvězdy T Tauri

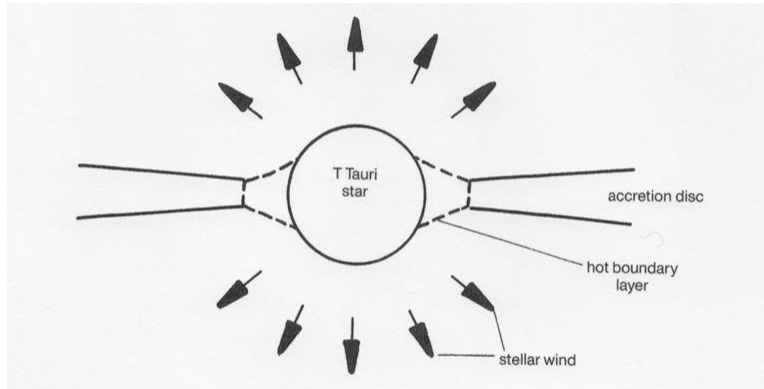
při ekvivalentní šířce čáry $H_\alpha > 1 \text{ nm}$, pozorujeme důsledky akrece z disku obklopujícího hvězdu, rozměry až desetiny au,

první zdroj *zahřívání disku - tření*, vznikající při vzdalování od hvězdy, úhlová rychlost rotace klesá, proto v sousedních vrstvách vzniká tření, které brzdí plyn, přibližující se po spirále ke hvězdě, teplo zahřívá disk, teplota narůstá o desítky kelvinů na okraji disku, v blízkosti hvězdy až o tisíce kelvinů → *analýza profilů spektrálních čar atomů a molekul*

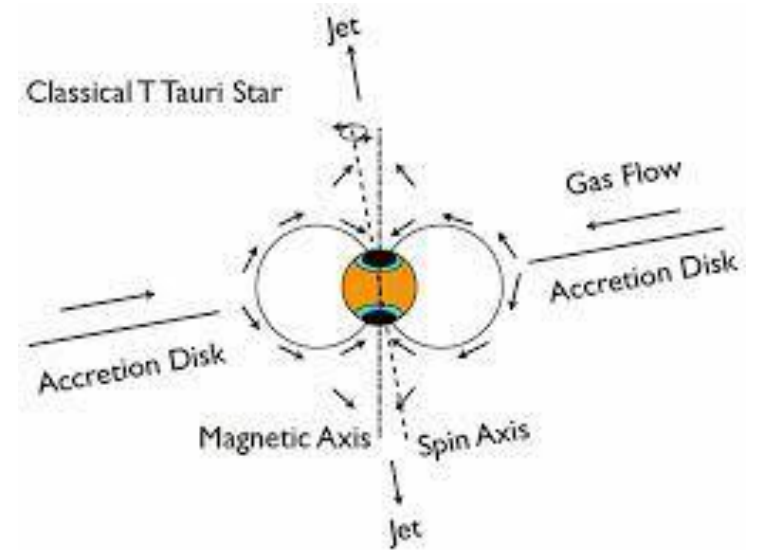
druhý zdroj *zahřívání disku - záření centrální hvězdy*, při výpočtech rozložení teploty v disku je potřebný rozbor výměny tepla mezi plynem a prachem podél poloměru disku, nutnost znalosti fyzikálních a chemických vlastností zrněk prachu a jejich rozdělení podle velikosti

Model T Tauri

Model for T Tauri stars



T Tauri star forms out of gas cloud. Accretion disk supplies mass to the forming star. X-ray flares result from blobs of material falling into star from disk. A powerful stellar wind flows from the main star.



35

změna v obálce kolem hvězdy, nestálost magnetického pole, nestability v akrečním disku, platnost ZZMH

časová proměnnost akrece z disku na hvězdu, nepravidelné změny jasnosti, až několik magnitud → silné emisní čáry ve spektru

Čárově slabé hvězdy T Tauri

projevy aktivity: v chromosférách a korónách, pozorujeme v UV a rtg oblasti, proměnná jasnost ve viditelném oboru → **proměnné hvězdy**

příčiny: mohutné **erupce v chromosféře a koróně**, vzniklé v důsledku rozsáhlých konvektivních zón,

podobný komplex jevů jako na Slunci, magnetická indukce je 1 000krát větší než na jeho povrchu

konvekce, rychlá rotace → silná magnetická pole,
ve fotosférách rozsáhlé skvrny, změny magnetického pole,
energie uvolňována erupcemi, a procesy ve chromosféře

Hnědí trpaslíci

- americký astrofyzik **Harlow Shapley** r. 1958 (O hvězdách a lidech) uvádí myšlenku, že u blízkých hvězd mohou existovat nepozorovatelní průvodci, hmotnost řádově desetinásobně větší než Jupiteru, objekty nazval liliputánské hvězdy
- teoretické vlastnosti objektů zkoumal indický astrofyzik **Shiv S. Kumar**, který r. 1963 propočítal modely trpasličích hvězd, měly mít nízké povrchové teploty 2 000 K
- americká astrofyzikářka **Jill Tarter** navrhla r. 1975 pro takové objekty nevhodný a nevýstižný název **hnědí trpaslíci** - **hnědí trpaslíci**

THE STRUCTURE OF STARS OF VERY LOW MASS

SHIV S. KUMAR*

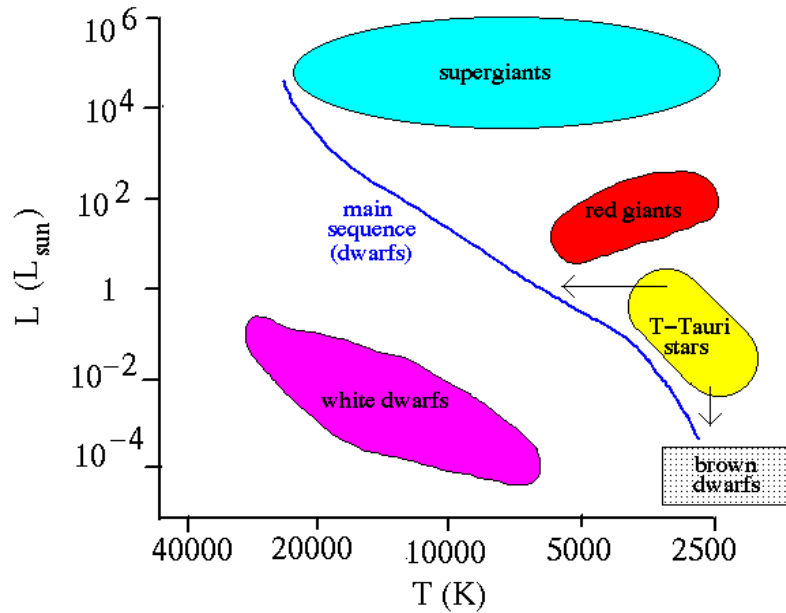
NASA Goddard Space Flight Center, Institute for Space Studies, New York 27, N.Y.

Received October 20, 1962; revised November 27, 1962

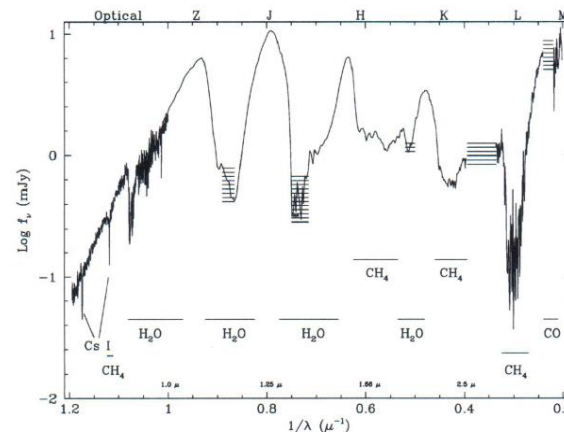
ABSTRACT

Completely convective models have been constructed for stars of masses 0.09, 0.08, 0.07, 0.06, 0.05, and 0.04 (solar units), taking into account the non-relativistic degeneracy of the stellar material. It is shown that there is a lower limit to the mass of a main-sequence star. The stars with mass less than this limit become completely degenerate stars or "black" dwarfs as a consequence of gravitational contraction, and, therefore, they never go through the normal stellar evolution.

Hnědí trpaslíci



The discovery of brown dwarfs



1963 theoretical prediction of existence of Brown Dwarfs by Kumar (1963)

1995 first image of a Brown Dwarf by Nakajima et al. (1995)

1998 first spectrum by Oppenheimer et al. (1998)

Spectrum of Brown Dwarf Gliese 229B (Oppenheimer et al. 1998)

První objevený hnědý trpaslík

fyzická dvojhvězda Gliese 229,

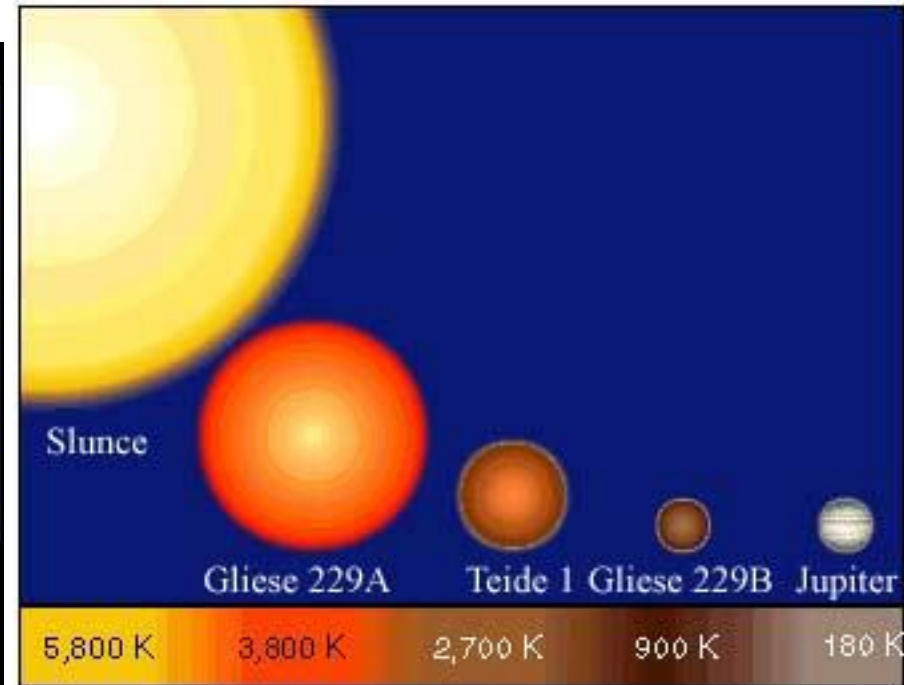
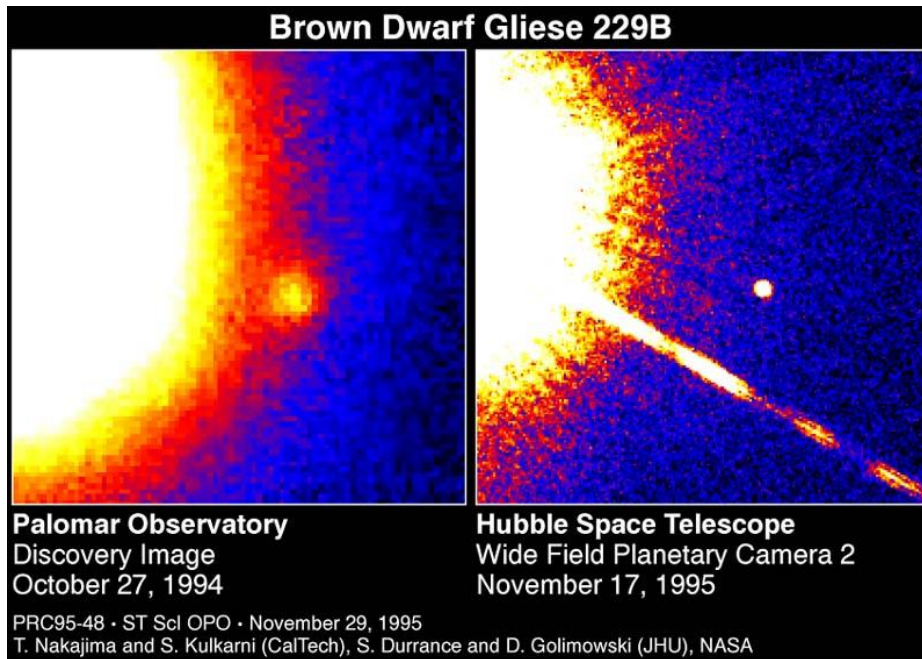
$T = 200$ roků, $a = 40$ au, $r = 5,8$ pc

červený trpaslík, $M_1 = 0,6 M_S$,

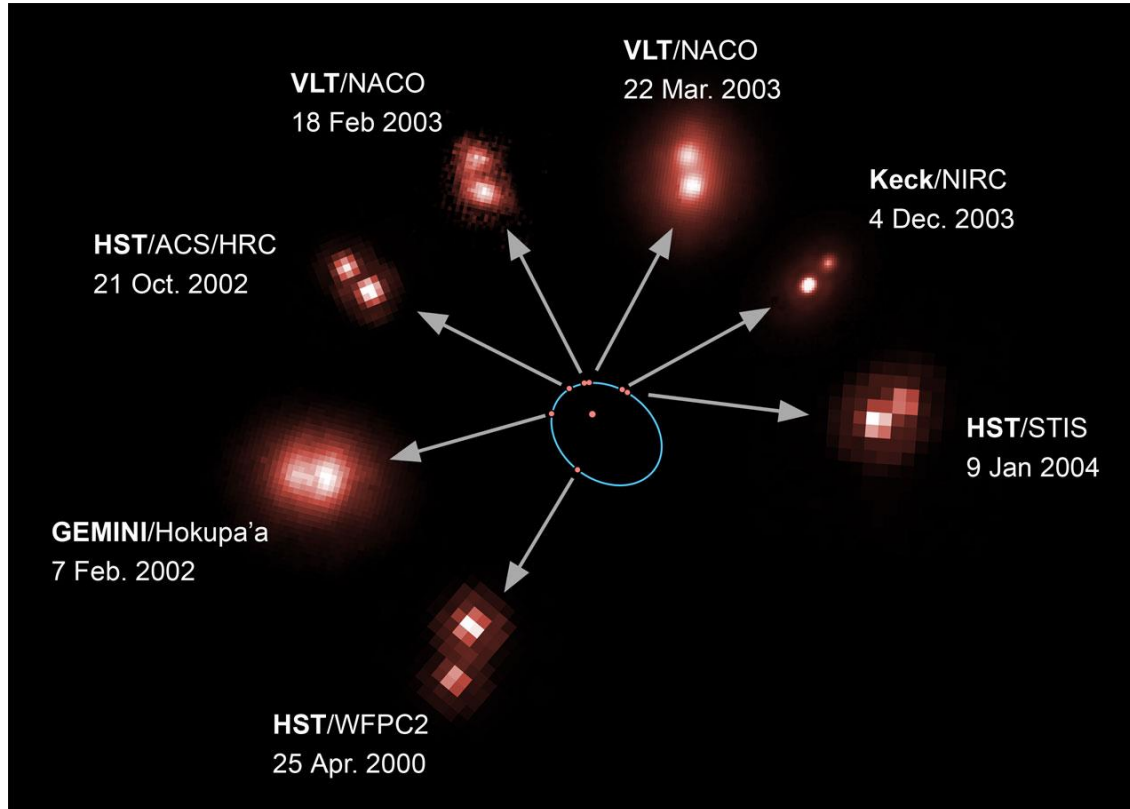
$R_1 = 0,5 R_S$, $T_{ef} \approx 3000$ K,

hnědý trpaslík, $M_2 \sim 40 M_J$, $R = 1R_J$

$T_{ef} \sim 900$ K, CH_4



Fyzická dvojhvězda – červený a hnědý trpaslík



2MASSWJ

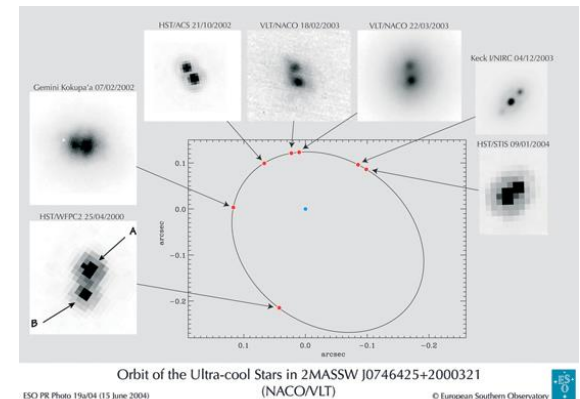
0746425+2000321

$r = 12,3 \text{ pc}$, $a = 2,5 \text{ au}$

$T = 10,5 \text{ roku}$

$M_1 = 0,085 M_S$

$M_2 = 0,065 M_S$



Pozorovací projekty - hnědí trpaslíci

2 Mass The Two Micron All Sky Survey, pozorování v infračervené oblasti (1,4 - 3) v okolí , v letech 1997 - 2001, 300 milionů objektů.

DENIS The Deep Near Infrared Survey, pozorování v optické a infračervené oblasti, 0,82 1,25 , 2,15 v letech 1996-2001, jižní obloha.

SLOAN Digital Sky Survey, multispektrální výzkum, spektrální a fotometrický, v letech 1998-2001, U, G, R, I, Z - 355,1 , 486,6 , 616,5, 748,1 , 893,1 nm.

WISE Wide Field Infrared Survey Explorer, pozorování v infračerveném oboru na kosmickém dalekohledu, 3,4 μm , 4,6 μm - **hnědí trpaslíci**, 12 μm , 24 μm , od roku 2009.

Hnědí trpaslíci jsou vhodnými objekty pro výklad hledané baryonické temné hmoty.

Jak hledání: v blízkém infračerveném oboru, objekt s větším vlastním pohybem, kolem blízkých hvězd, oblast formování nových hvězd.

Hnědí trpaslíci

Oppenheimer r. 2000: planeta **je objekt, ve kterém za celou jeho historii neprobíhaly termonukleární reakce žádného typu.** Jestliže na nějaké etapě vývoje uvolněná energie při termonukleární syntéze byla srovnatelná s energií vyzařovanou objektem → hvězda

Objekt	Hmotnost [M_{\odot}]	Termonukleární syntéza		Přítomnost	
		H → He	D → He	Li	D
hvězda	0,1 – 0,075	dlouhá	krátká	ne	ne
hnědý trpaslík	0,075 – 0,065	krátká	krátká	ano	ne
hnědý trpaslík	0,065 – 0,013	ne	krátká	ano	ne
planeta	< 0,013	ne	ne	ano	ano

Hnědí trpaslíci

Jak hledáme ? - **Lithiový a metanový test**

M trpaslíci $3\,800 > T_{\text{ef}} > 2\,200\text{ K}$

L trpaslíci $2\,200 > T_{\text{ef}} > 1\,400\text{ K}$

T trpaslíci $1\,400 > T_{\text{ef}} > 800\text{ K}$

Y trpaslíci $T_{\text{ef}} < 800\text{ K}$

poloměry $\approx R_{\text{J}}$

hmotnosti $\approx (15 - 75) M_{\text{J}}$

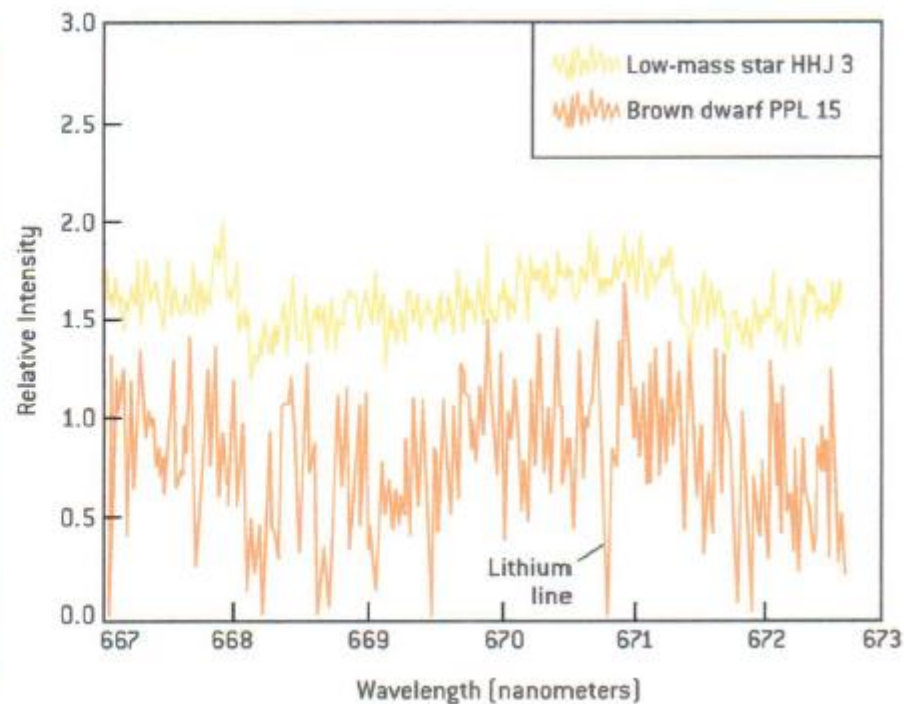
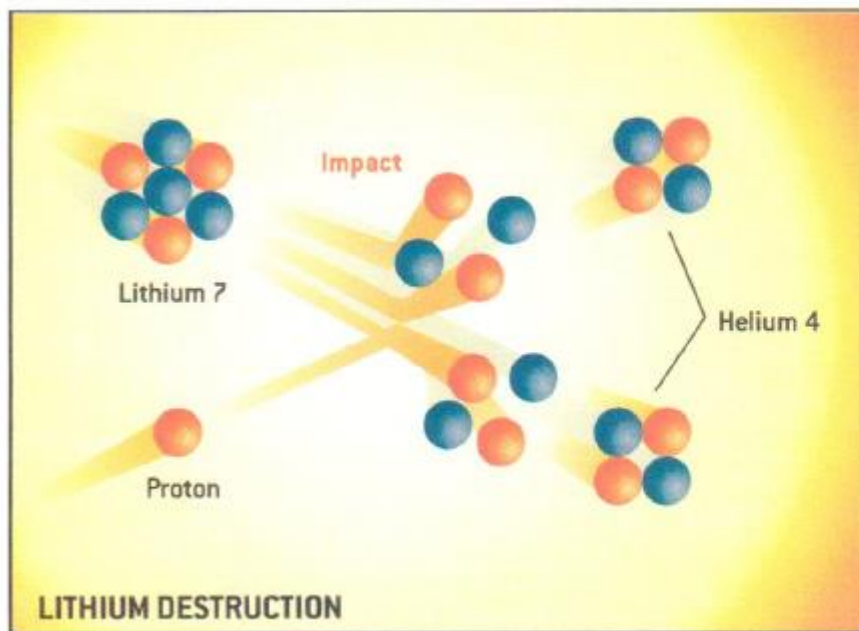
zářivé výkony $\approx 10^{-5} L_{\text{S}}$

nejprve přeměna deuteria na helium, posléze vznik

degenerovaného plynu $T_{\text{c}} \downarrow, P_{\text{c}} \uparrow, U_{\text{i}} \uparrow$

Hnědí trpaslíci – lithiový test

při stáří hvězdy $> 100\,000$ milionů roků, existence čáry **Li 670,8 nm**



Hnědí trpaslíci – metanový test

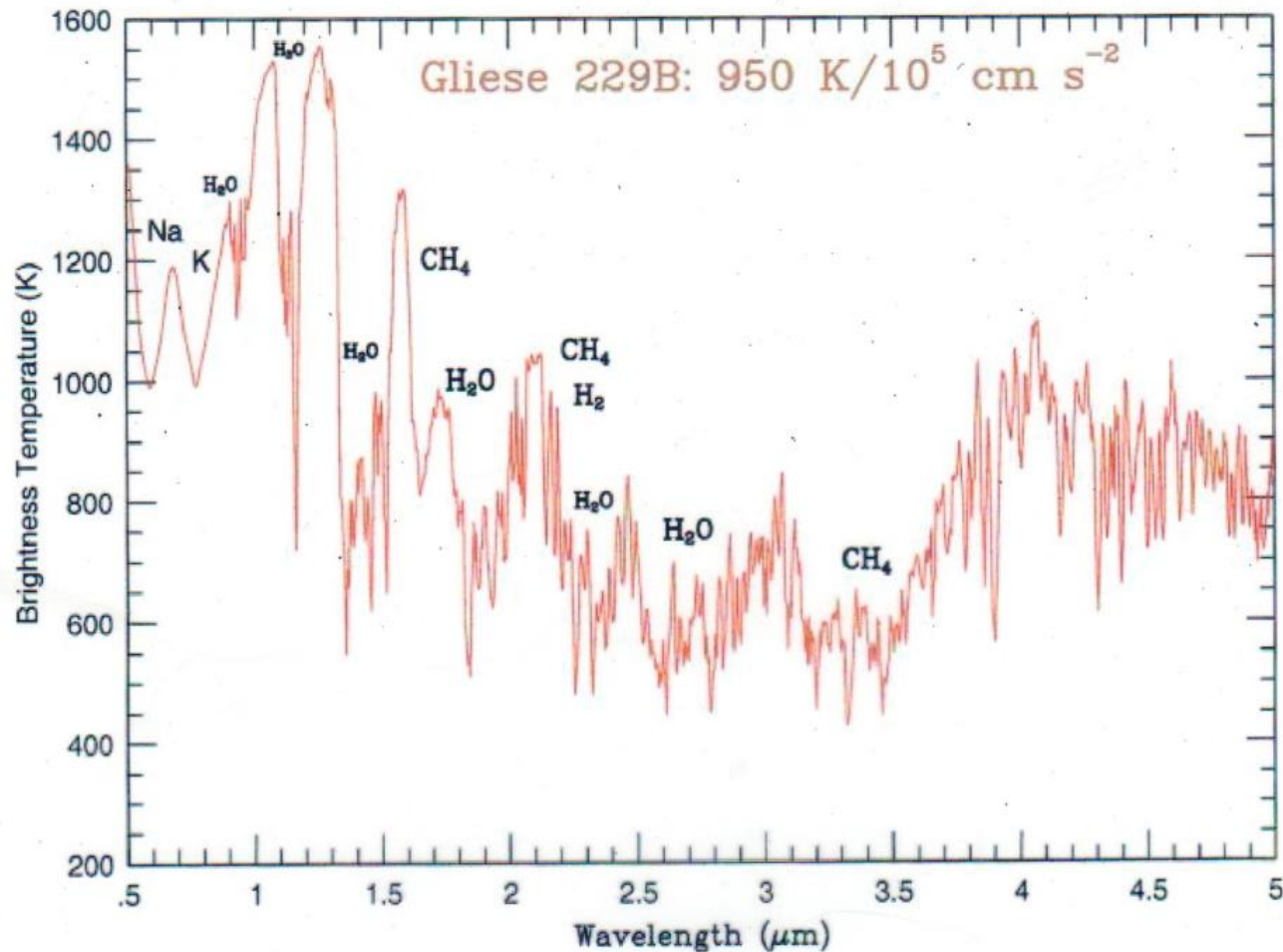


FIG. 28. The “brightness” temperature (in K) vs wavelength (in microns) from 0.5 to 5.0 μm for a representative model of Gliese 229B’s spectrum. This is the temperature in the atmosphere at which the zenith optical depth at the given wavelength is 2/3. Shown are the wavelength positions of various important molecular and atomic absorption features. Such a plot crudely indicates the depth to which one is probing when looking in a particular wavelength bin. Note the many H₂O and CH₄ absorption bands and the Na and K resonance features in the optical [Color].

Porovnání hvězd hlavní posloupnosti, hnědých trpaslíků a Jupiteru



Name	Jupiter	Gliese 229B	Teide 1	Gliese 229A	Sun
Type of object	Gas-giant planet	Brown dwarf	Brown dwarf	Red dwarf star	Yellow dwarf star
Mass (Jupiter-masses)	1	30–40	55	300	1,000
Radius (kilometers)	71,500	65,000	150,000	250,000	696,000
Temperature (kelvins)	100	1,000	2,600	3,400	5,800
Age (years)	4.5 billion	2–4 billion	120 million	2–4 billion	4.5 billion
Hydrogen fusion	No	No	No	Yes	Yes
Deuterium fusion	No	Yes	Yes	Yes	Yes

Stavba červených, hnědých trpaslíků a Jupiteru

Brown Dwarf Structure



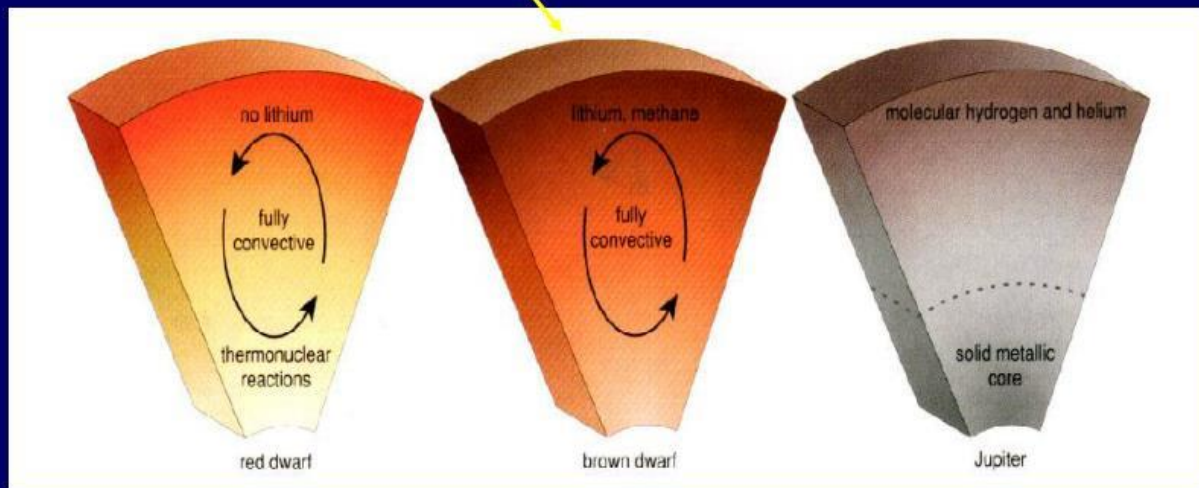
$T_{\text{crit}} \approx 3 \times 10^6 \text{ K}, M_{\text{min}} \approx 0.075 M_{\odot}$



$T_{\text{crit}} \approx 5 \times 10^5 \text{ K}, M_{\text{min}} \approx 0.013 M_{\odot}$

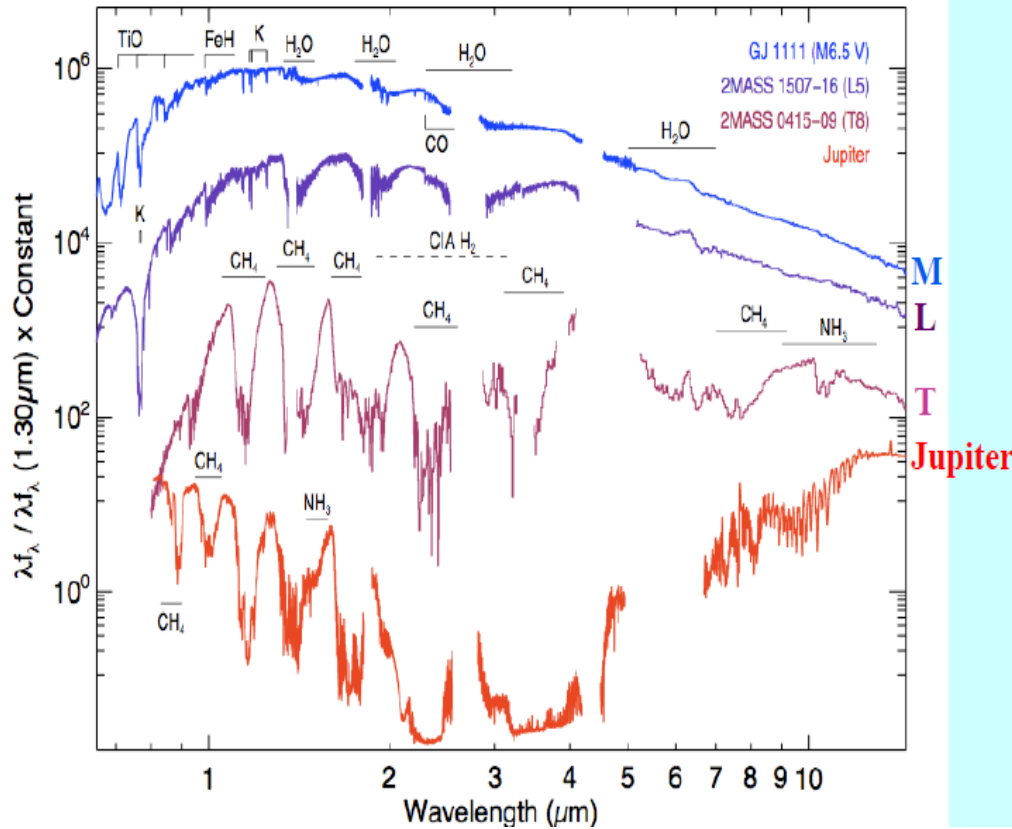


$T_{\text{crit}} \approx 2.5 \times 10^6 \text{ K}, M_{\text{min}} \approx 0.065 M_{\odot}$



Burrow et al. 1997

Chladné hvězdy nebo horké planety?



M dwarfs (3500–2100 K)

Magnetically active, only the youngest brown dwarfs are classified as M-type.



L dwarfs (2100–1300 K)

Molecule-rich atmospheres contain clouds of "hot dirt" and other condensates.



T dwarfs (1300–600? K)

Coldest known brown dwarfs, atmospheres contain H₂O, CH₄, and NH₃ gases.

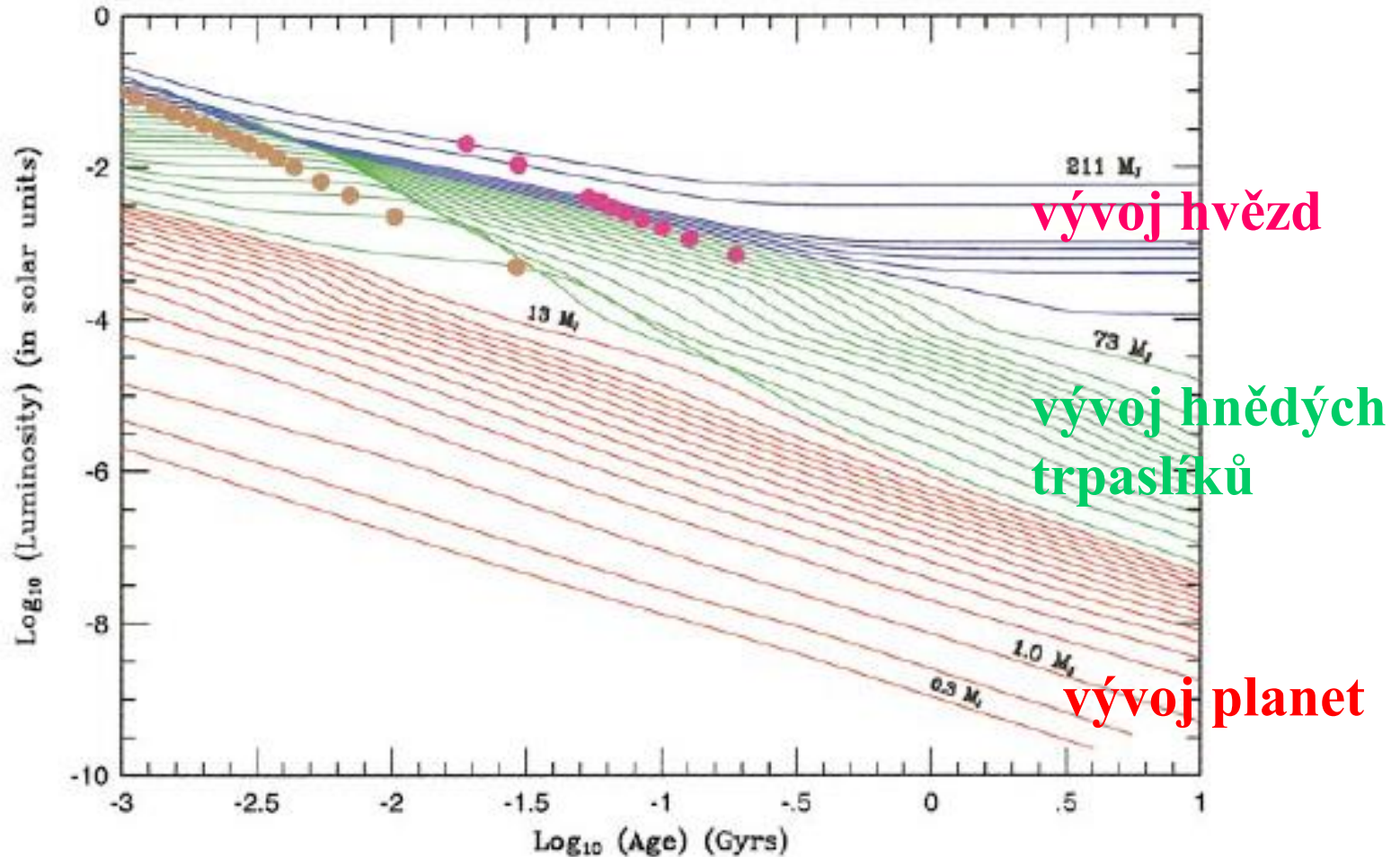


Y dwarfs (<600? K)

Hypothesized class of very cold brown dwarfs, may have H₂O clouds.

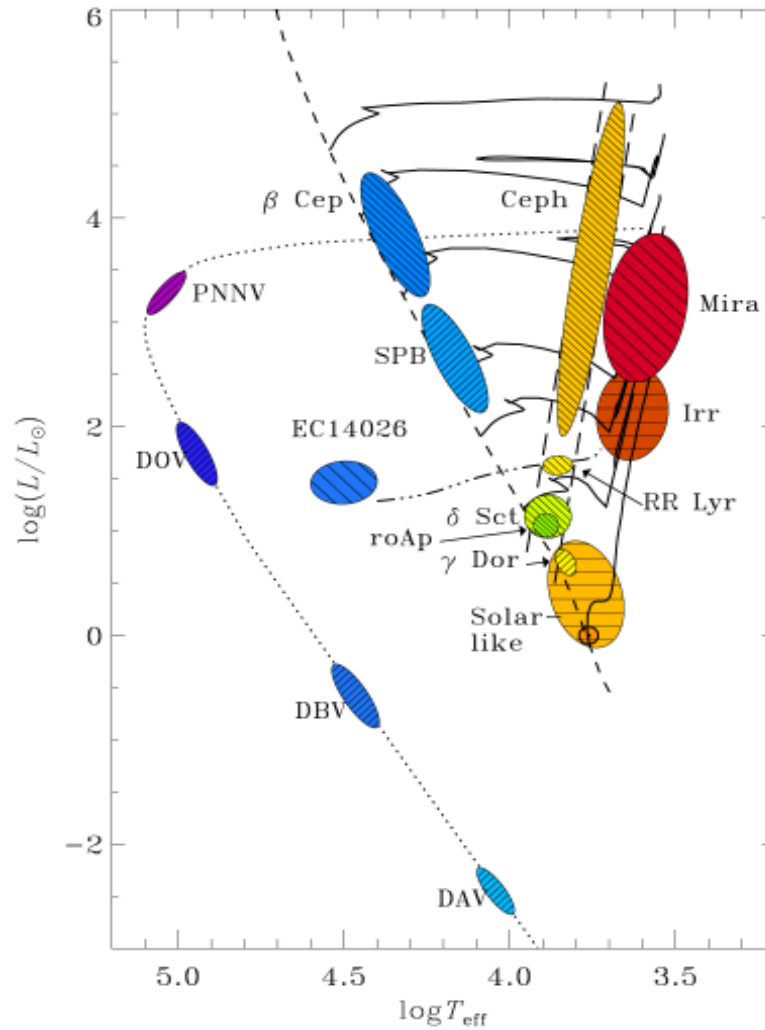


Hnědí trpaslíci, závislost zářivý výkon – čas

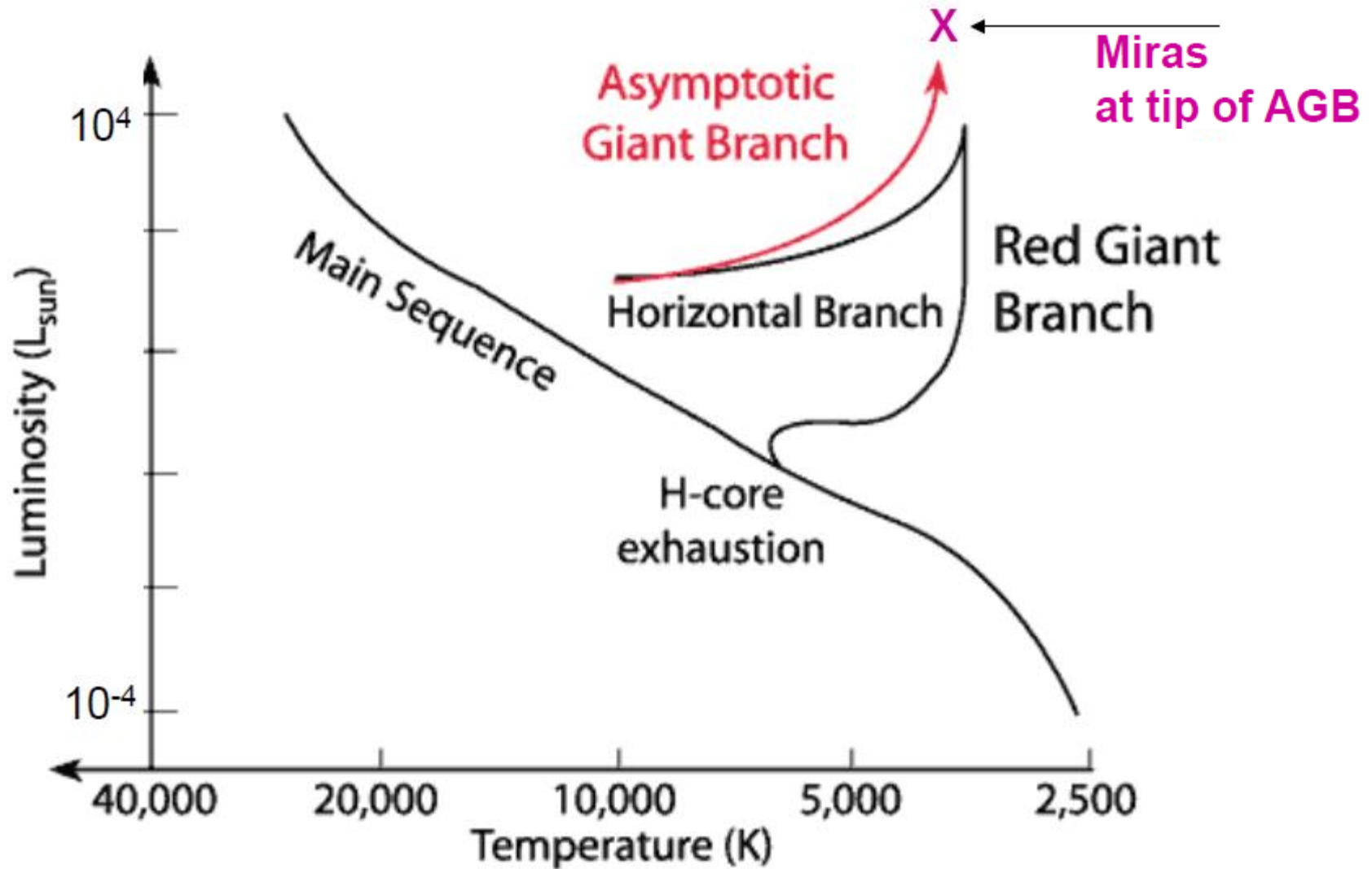


teoretické výpočty závislosti zářivého výkonu na čase

Proměnné chladné hvězdy na H-R diagramu



Miridy – poloha na H- R diagramu



Miridy - dlouhoperiodické proměnné hvězdy

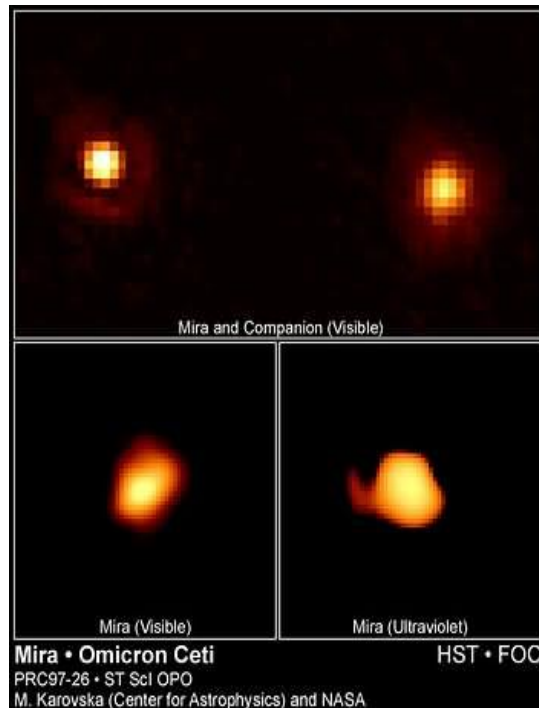
- dlouhoperiodické proměnné hvězdy označujeme jako hvězdy typu Mira respektive miridy, periody 80 - 1000 dnů,
- heterogenní skupinu chladných hvězd, s povrchovými teplotami (2 500 – 3 500) K, maximum energie vyzařováno v infračervené oblasti, mezi (1,0 – 3,0) μm , v katalogu GCVS je nyní zahrnuto přes 30 000 mirid,
- jedná se o chladné obry s hmotností $\approx (0,8 - 3) M_{\text{S}}$ na asymptotické větvi obrů, s poloměry (150 – 450) R_{S}
- zářivé výkony $(10^3 - 10^4) L_{\text{S}}$,
- nepravidelné světelnými změnami, amplitudy světelných křivek dosahují v průměru (4 - 5) mag ve V oboru, (největší amplituda je 14 mag), bolometrické změny jsou podstatně menší, což je zapříčiněno změnami v rozložení energie ve spektru,
- úbytek hmotnosti $\approx (10^{-4} - 10^{-8}) M_{\text{S}}$ za rok

Miridy

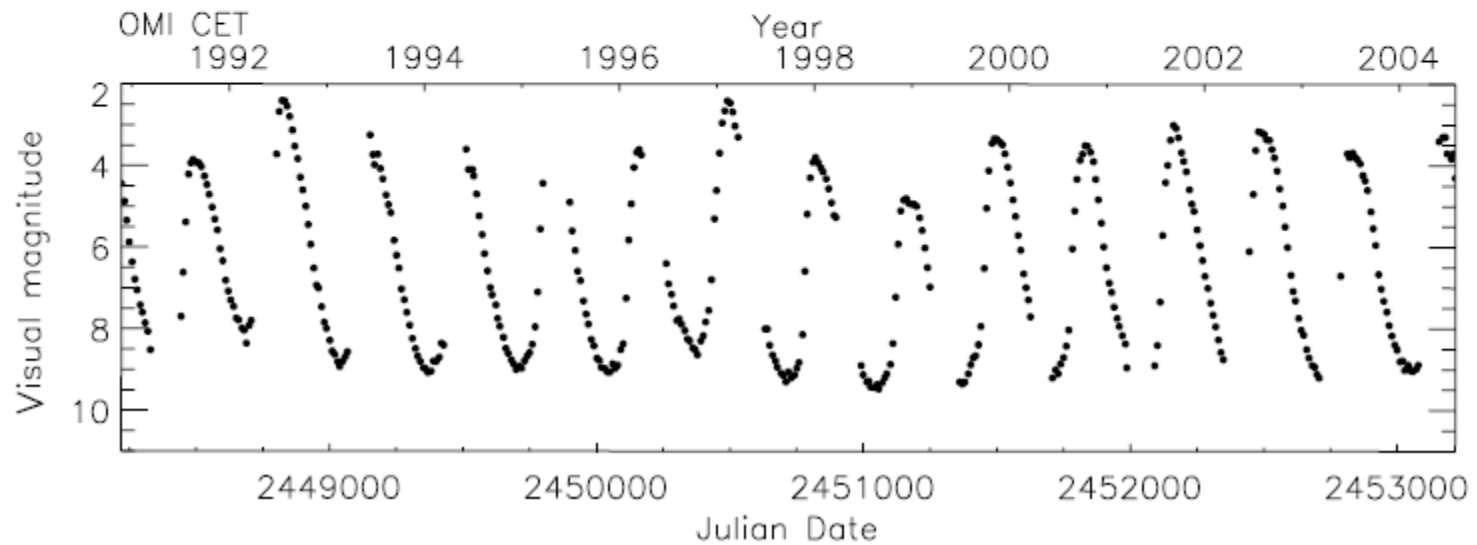
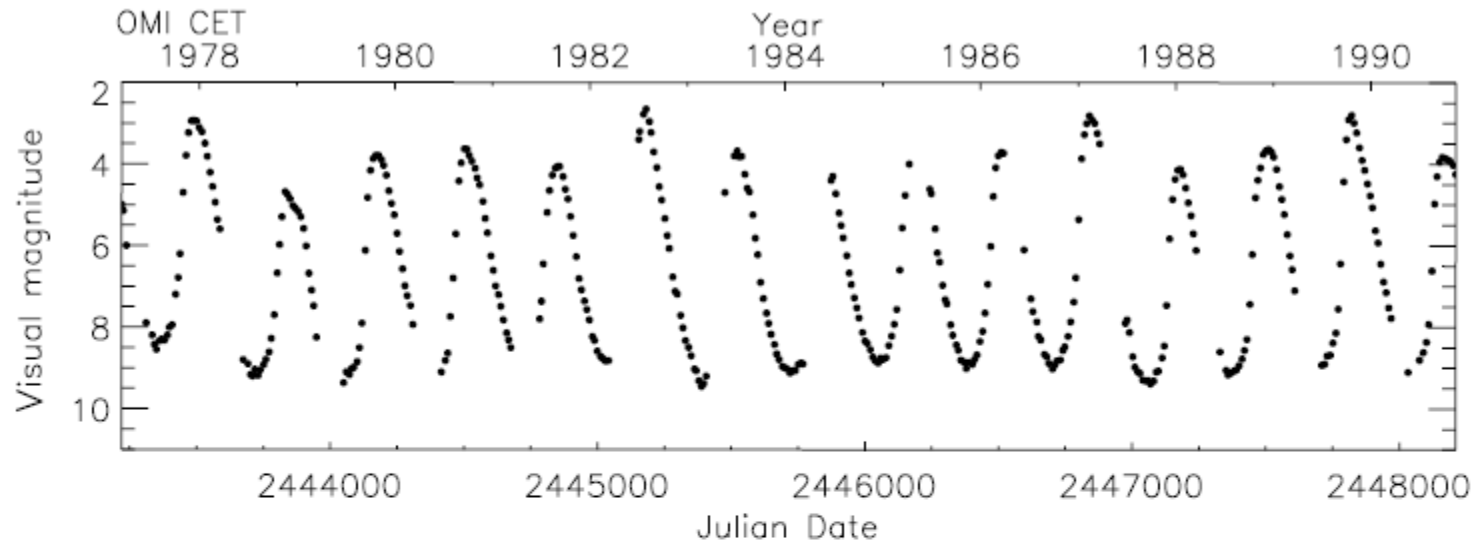
Hvězda	perioda [dny]	Hipparcos		závislost P - L	
		r [pc]	R [R _s]	r [pc]	R [R _s]
o Cet	332	128	424	117 ± 11	387 ± 37
U Her	406	339	455	365 ± 33	490 ± 46
χ Cyg	407	106	224	175 ± 16	371 ± 37
T Cep	390	210	458	187 ± 17	408 ± 38
R Cas	431	107	263	193 ± 17	475 ± 51
T Cas	445	602	842	299 ± 39	418 ± 56

o Ceti

objevil 3.8.1596 **David Fabricius**, pojmenování *Mira* – nádherná
Johann Hevelius, určení periody **Ismael Boulliau** 1667 – 332 dnů
 $T_{\text{ef}} \approx (2\,900 - 3\,200) \text{ K}$, $R \approx (330 - 400) R_{\text{S}}$, $L \approx (8\,400 - 9\,400) L_{\text{S}}$,
 $M \approx 1,2 M_{\text{S}}$, $\approx (2,0 - 10,1) \text{ mag}$, $r \approx 130 \text{ pc}$,
dvojhvězda 70 au, $P = 400 \text{ roků}$
UV snímek, ohon 4 pc, rychlost hvězdy 130 km.s^{-1}

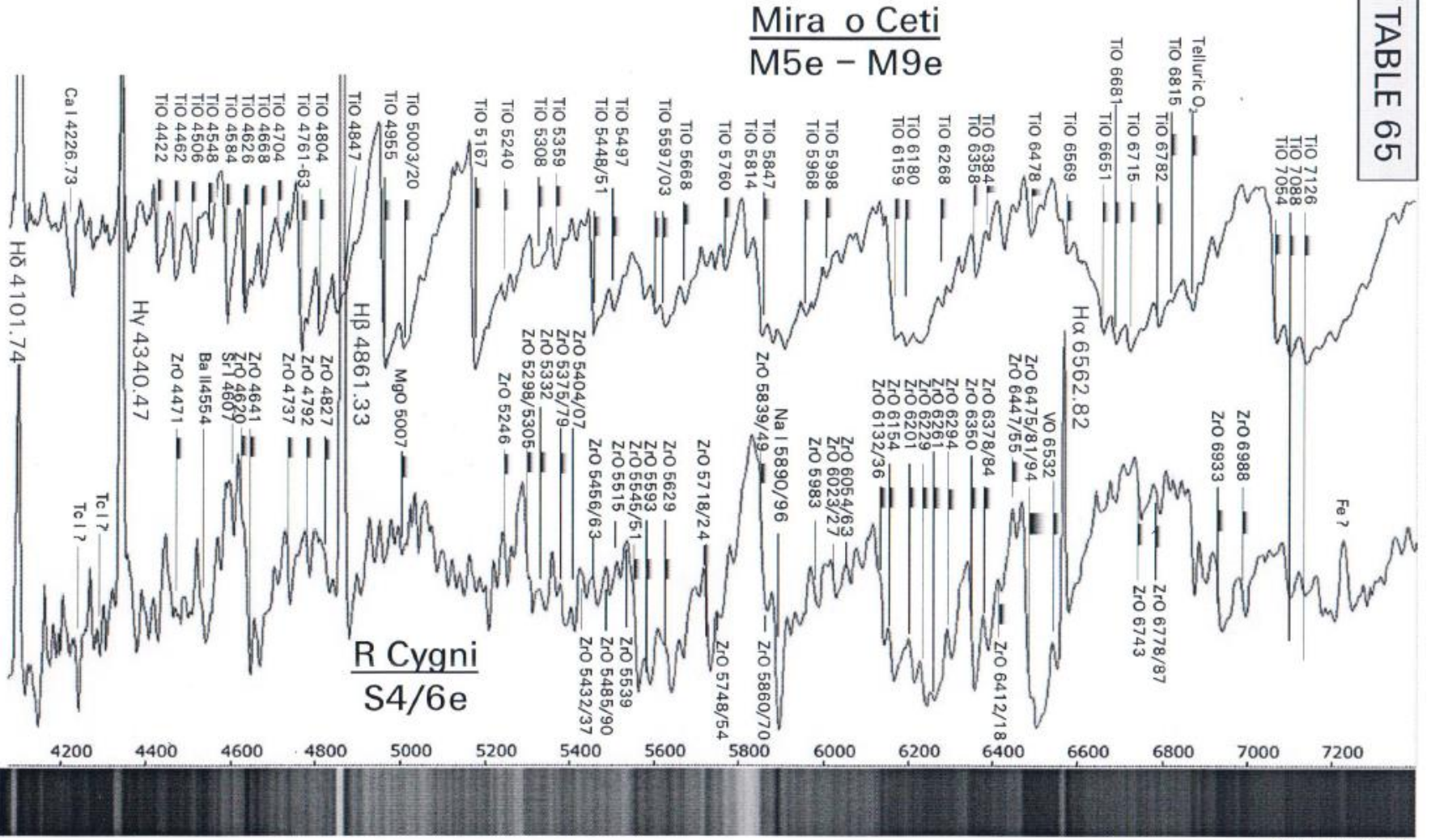


Světelná křivka o Ceti



Spektrum o Ceti

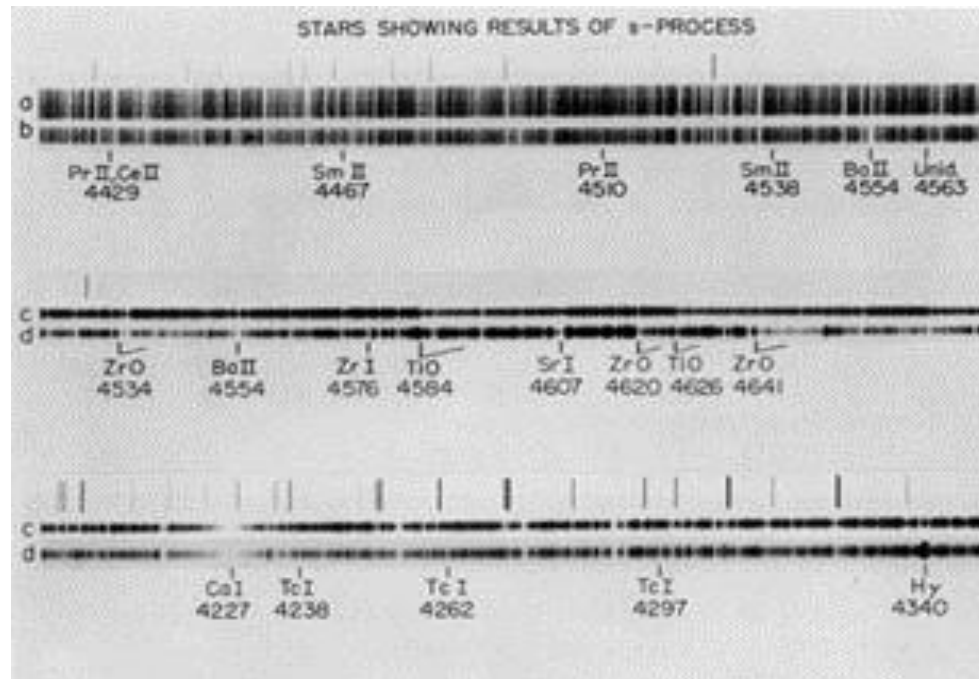
TABLE 65



Spektrum mirid

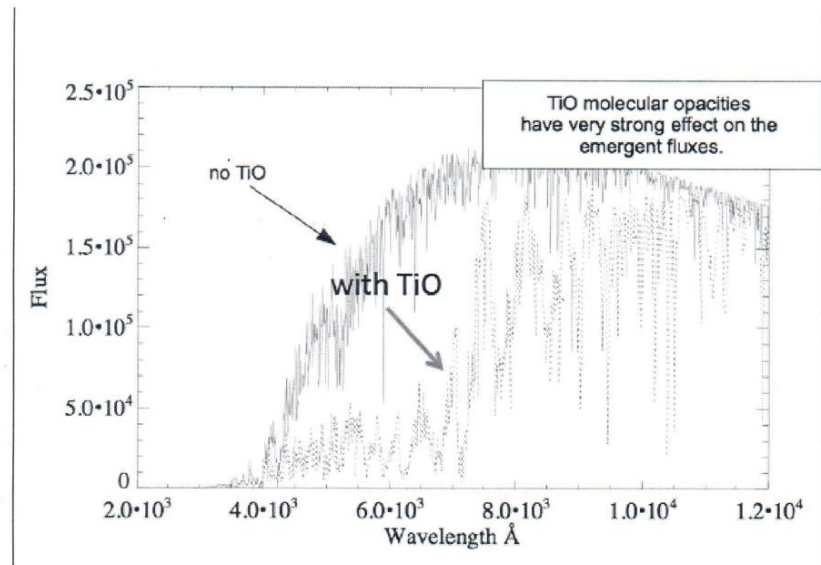
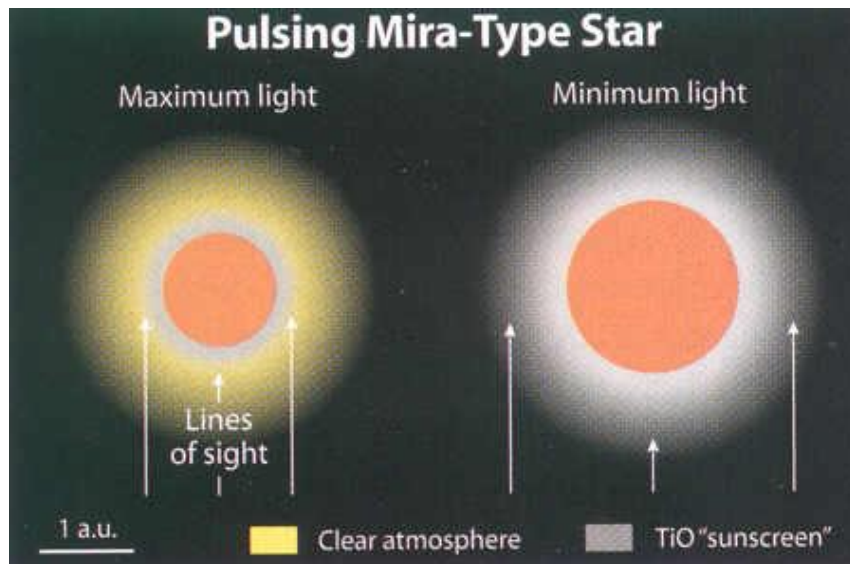
v spektrech v oblasti (418 – 430) nm zjištěny čáry nestabilního technecia ^{99}Tc , o poločasu rozpadu pouze $2 \cdot 10^5$ roků, doba mnohem kratší než setrvání hvězd v této etapě vývoje, izotop vytvářen termonukleárním s procesem a vynášen vzhůru do atmosféry

existence čar ^{99}Tc je indikátorem stavu vývoje hvězd,



Atmosféry mirid - TiO

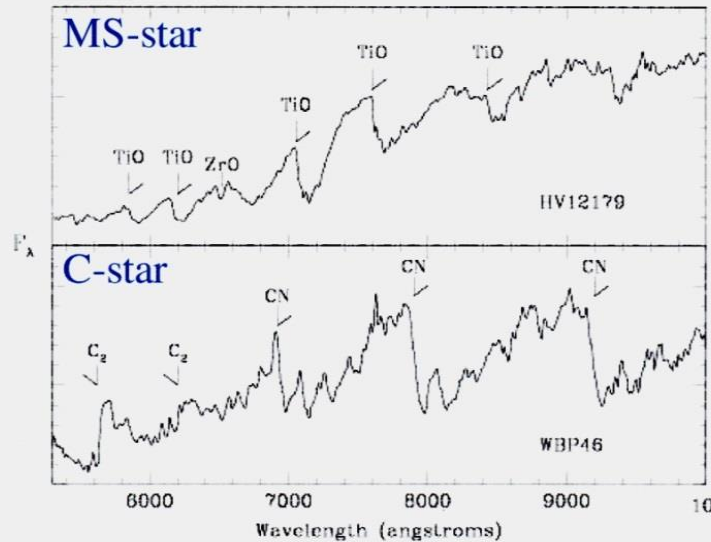
χ Cygni : v atmosféře *TiO* při ohřívání nárůst teploty \rightarrow 2 000 K, dojde k disociaci molekul, \rightarrow nárůst zářivého výkonu, **zjasnění hvězdy**, posléze ochlazení povrchu na původní teplotu (\approx 1500 K), \rightarrow rekombinace, atmosféra neprůhledná, $\text{Ti} + \text{O} \leftrightarrow \text{TiO}$, zahřívání nitra hvězdy, vše se opakuje, pulsace podporují vznik rozsáhlých atmosfér, s intenzivním hvězdným větrem hnaným prachem, řízený tlakem záření \rightarrow hvězdy ztrácí hmotu



Spektra mirid

STRUCTURE and EVOLUTION of AGB stars *(the central star)*

Optical spectra



Key: C/O ratio
strongly bound CO-molecule

sequence increasing C/O-
ratio

M → MS → S → SC → C

MS: TiO and ZrO

S: bands of molecular oxides
disappear

Klasifikace mirid

podle obsahu chemických prvků

C typ bohaté na uhlík $C/O > 1$, ve spektrech dominují pásy molekul uhlíku C_2

M typ bohaté na kyslík $C/O < 1$, v optické oblasti spektra jsou výrazné pásy molekul TiO

S typ s poměrem $C/O = 1$, tvoří přechodový typ mezi oběma předcházejícími, ve spektru pásy ZrO doplněné silnými pásy TiO

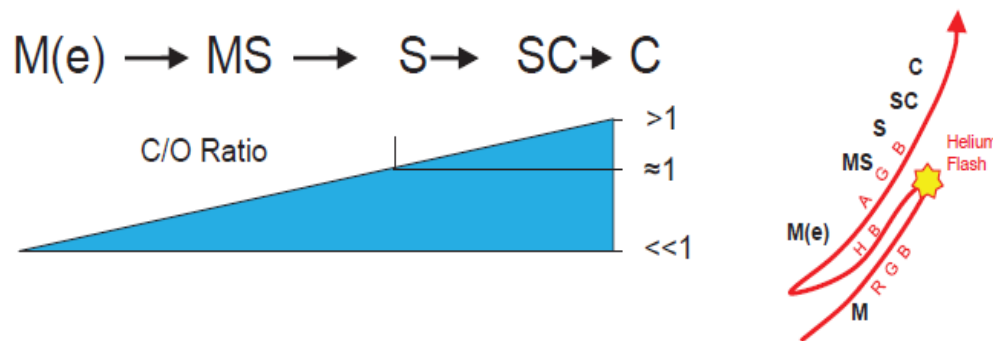
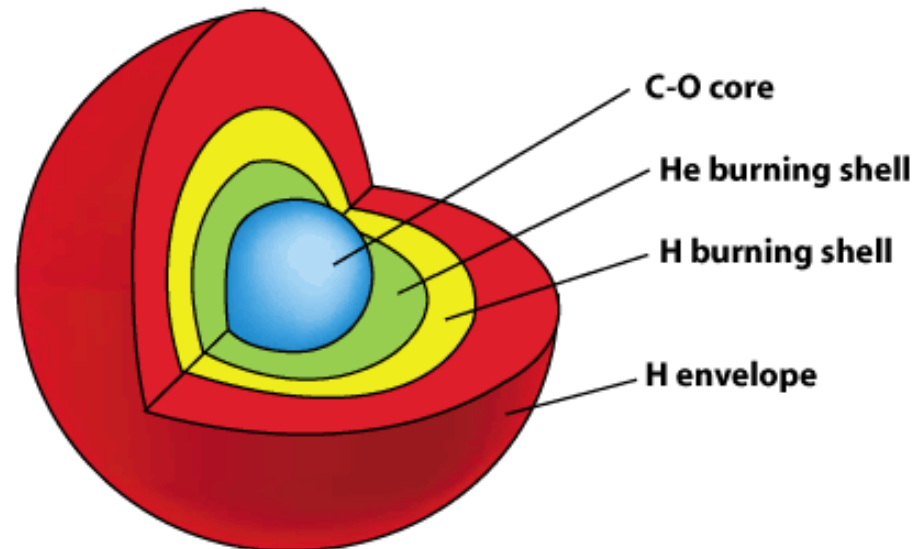


Figure 12.1 During the ascent onto the AGB the abundance of free oxygen in the stellar atmosphere becomes progressively reduced by chemical combination with carbon and other “metals.” This process is described by the increasing C/O ratio.

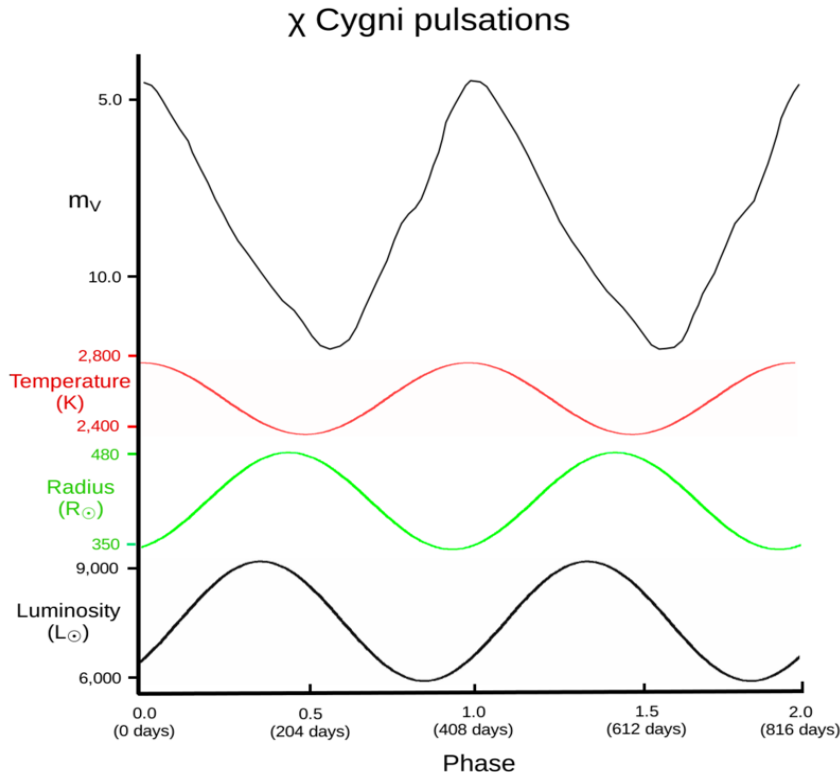
Stavba mirid

hvězdy asymptotické větve obrů,
hoření vodíkové a héliové slupky,
nesynchronizace hoření slupek, střídání maxim hoření různých paliv v
obou slupkách, tepelně nestabilní konfigurace, vznik termálních pulsů,
rázových vln postupujících hvězdou k povrchu,
pulsace radiální, v základní módu, ve stejném směru k povrchu, uzel ve
středu, kmitna na povrchu,
zavedená pulsační konstanta $P \sqrt{\rho} = Q$

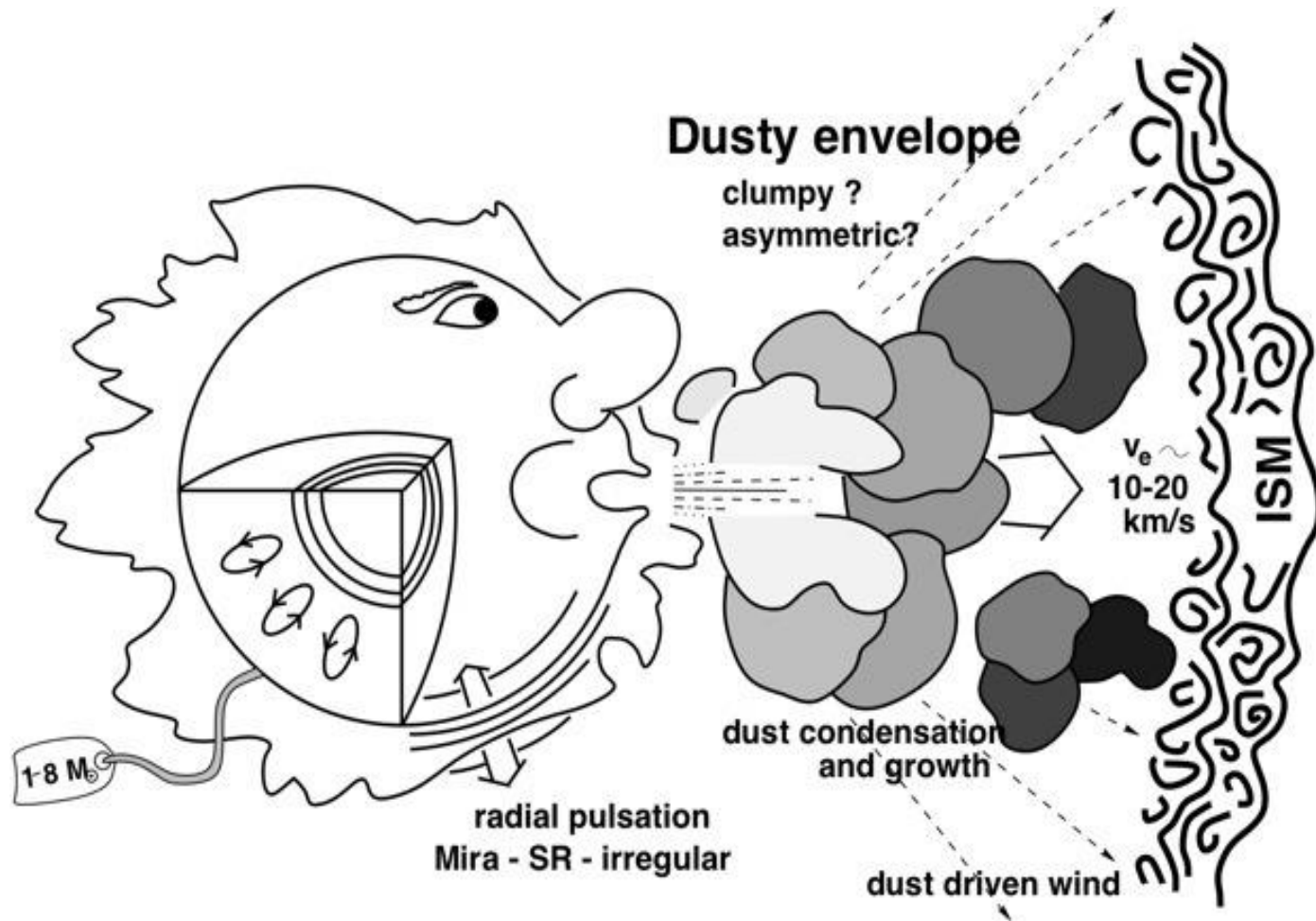


Pulsace mirid

největší vizuální jasnost při nejvyšší teplotě, nejvyšší zářivý výkon odpovídá největšímu poloměru, χ Cygni:
2,1 M_{\odot} , (350 - 480) R_{\odot} , (6 000 - 9 000) L_{\odot} , $r = 169$ pc

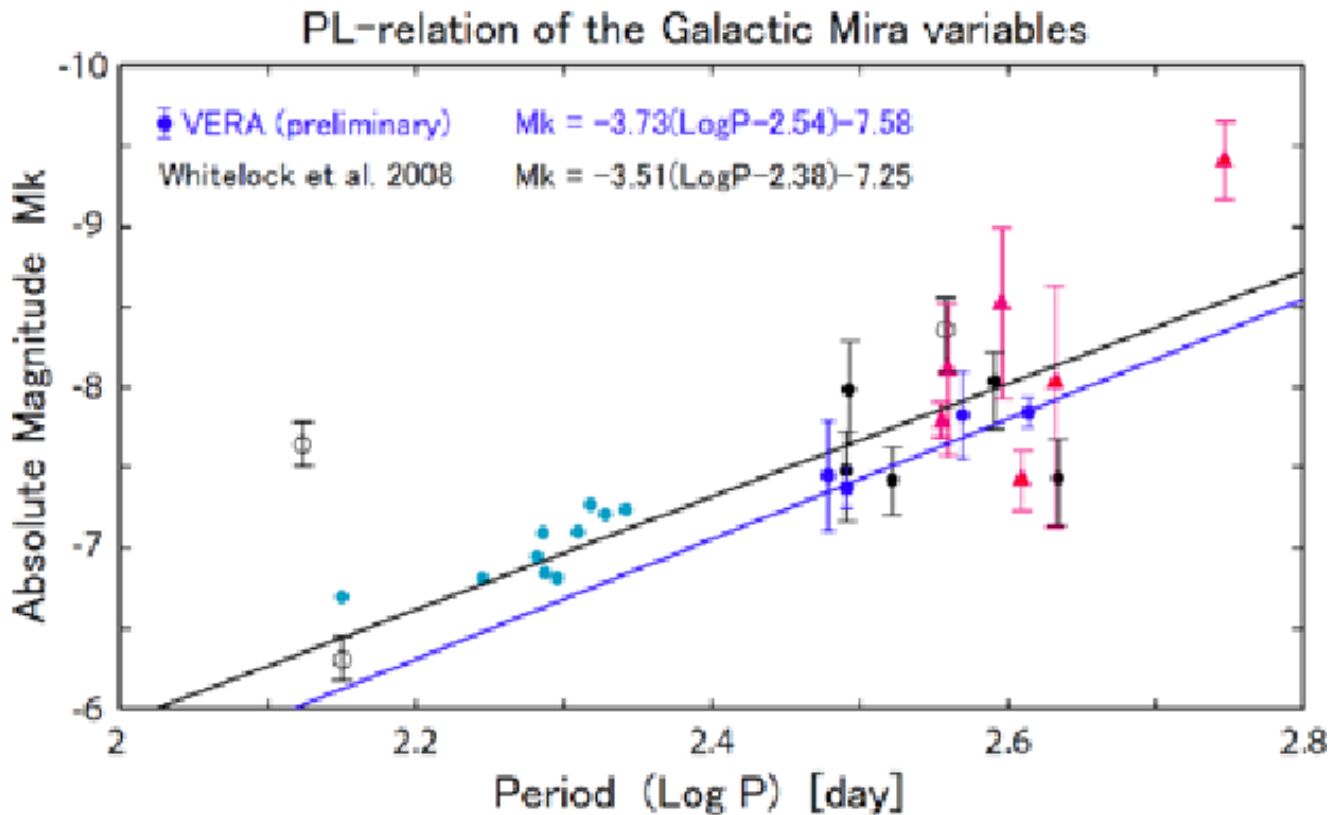


Miridy – umělecké ztvárnění

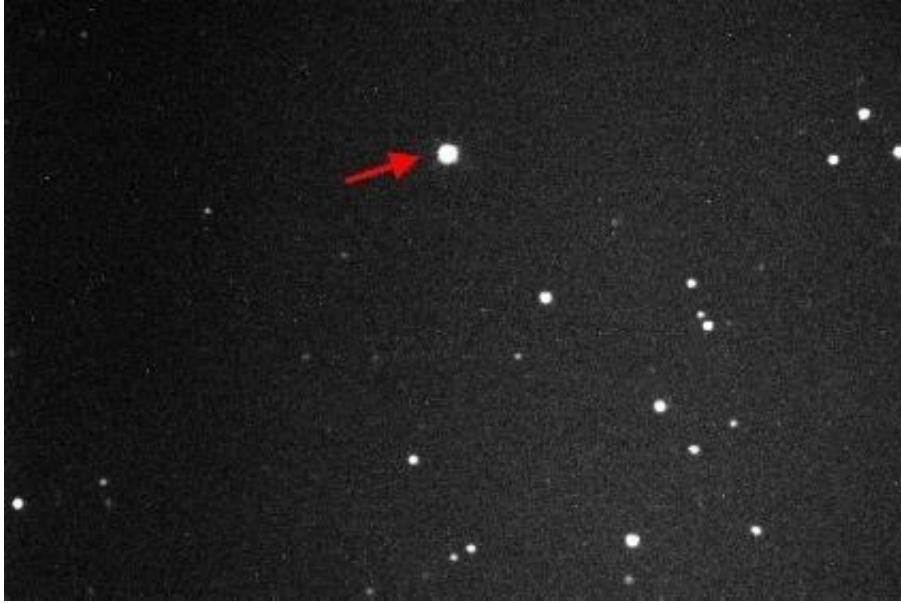


Miridy – určování vzdálenosti

- vzhledem k velkým poloměrům i velké zářivé výkony → indikátory vzdálenosti v Galaxii i galaxiích,
- vztah perioda – zářivý výkon



T UMi



$P = 310 - 315 \text{ dn}\ddot{u}$, $\rightarrow 274 \text{ dn}\ddot{u}$

$r = 3\,000 \text{ pc}$,

$V = (7,8 - 15) \text{ mag}$

$T_{\text{ef}} = 3\,200 \text{ K}$

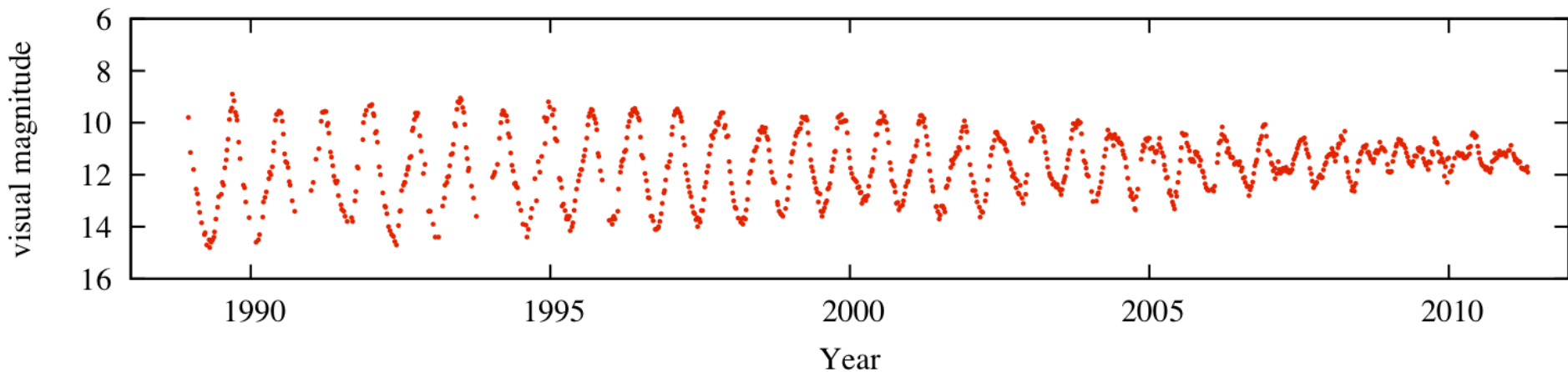
$R = 300 R_{\text{S}}$

$M = 1,6 M_{\text{S}}$

$M 6 \text{ ev}$

T UMi

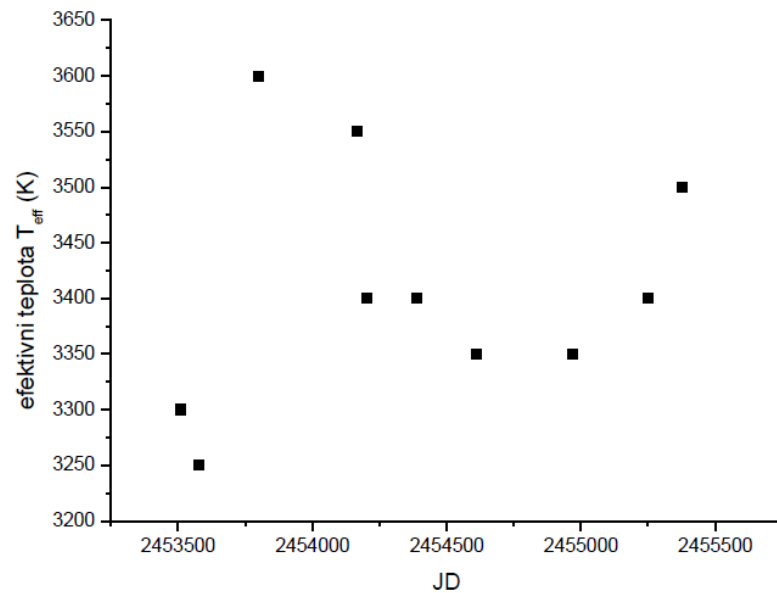
T UMi



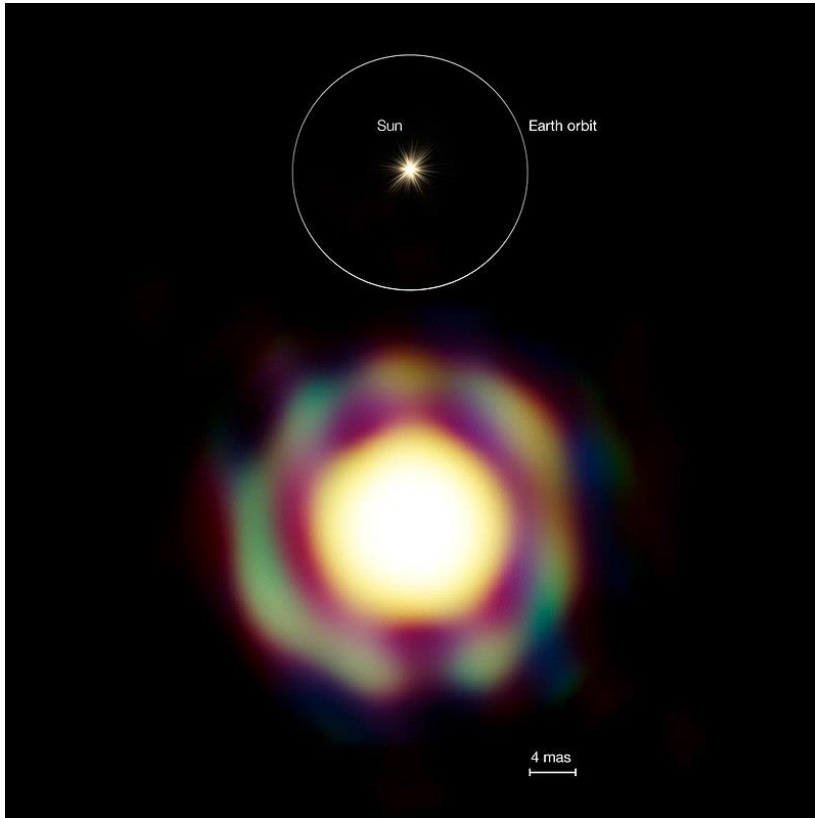
světelná křivka

změna teploty v čase

JD 1.1. 4 713 př.n.l.



T Leporis



mirida,

P - 368,13 dne,

$r = (340 \pm 20)$ pc,

$V = (7,40 - 14.30)$ mag

$T_{\text{ef}} = 2\,800$ K

M 6 ev

atmosféře Zr, Nd, Fe

po každém maximu ztrácí

hmotnost M_Z

Závěr

- **T Tauri hvězdy** - vývoj hmoty po vzniku hvězd, ještě bez klasických termojaderných reakcí
- **Hnědí trpaslíci** – liliputánské hvězdy, šarlatoví trpaslíci, velmi početné hvězdy ve vesmíru, studium hmoty v extrémních podmínkách
- **Miridy** – největší pulsující hvězdy, únik hmoty z nich je důležitou součástí cyklu hmoty v galaxiích, obohacování mezihvězdného prostředí těžšími prvky, standardní svíčky, určování vzdáleností