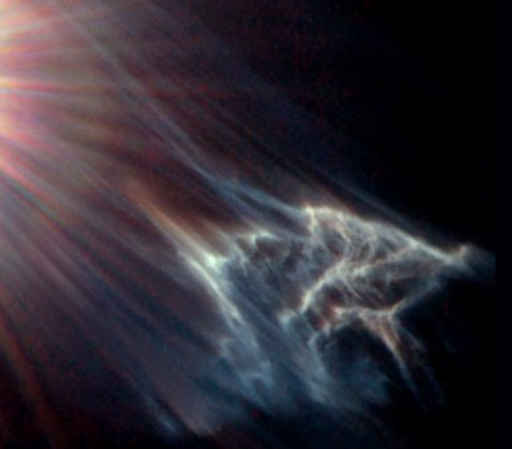


# Zrození, život hvězd





# Látka v mezihvězdném prostoru

- zbytky po předchozím vývoji
- zárodečný materiál
- průhledný závoj zahalující svět hvězd

rozptyl na částicích prachu –  
nejvíce záření srovnatelné vln.  
délky s velikostí částic

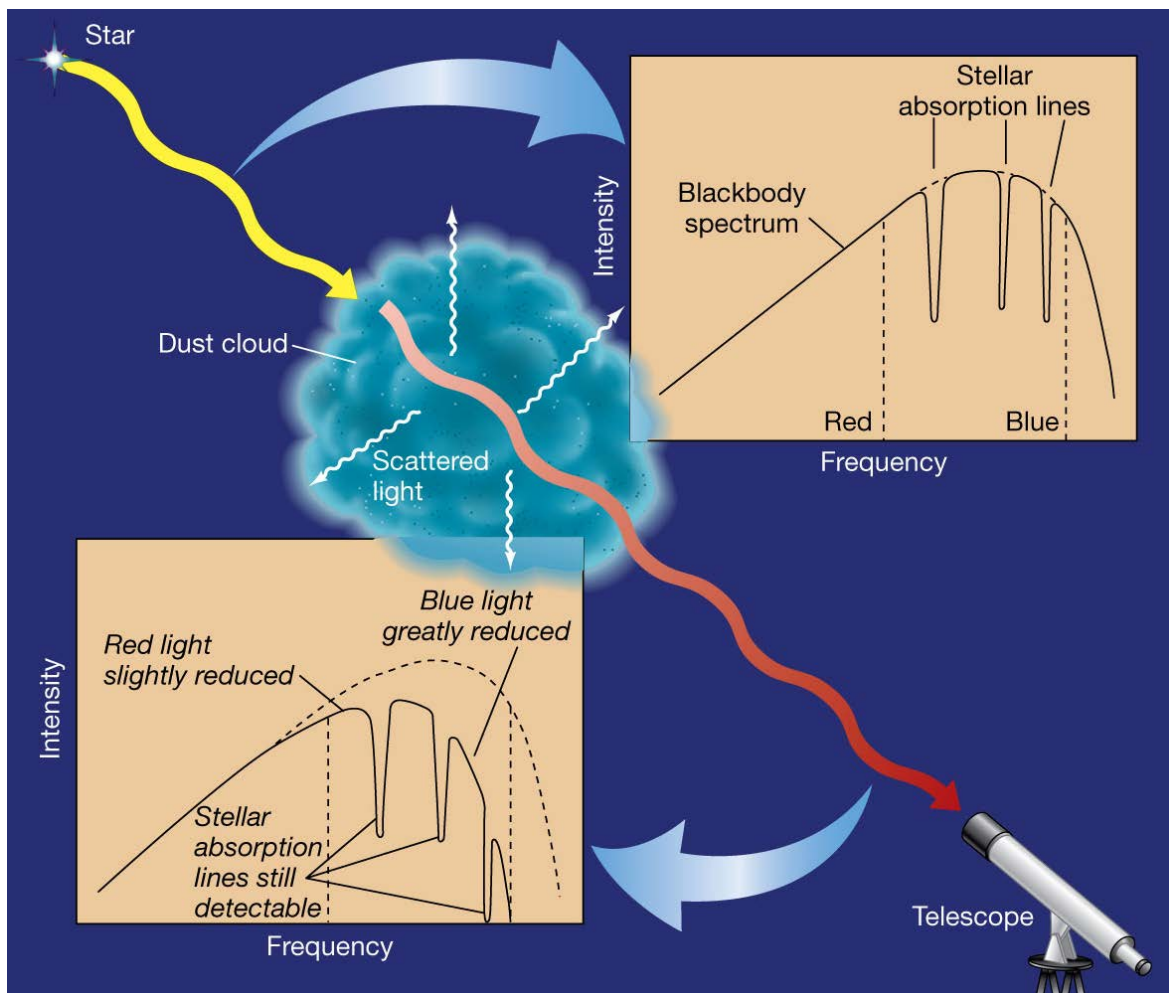
=>

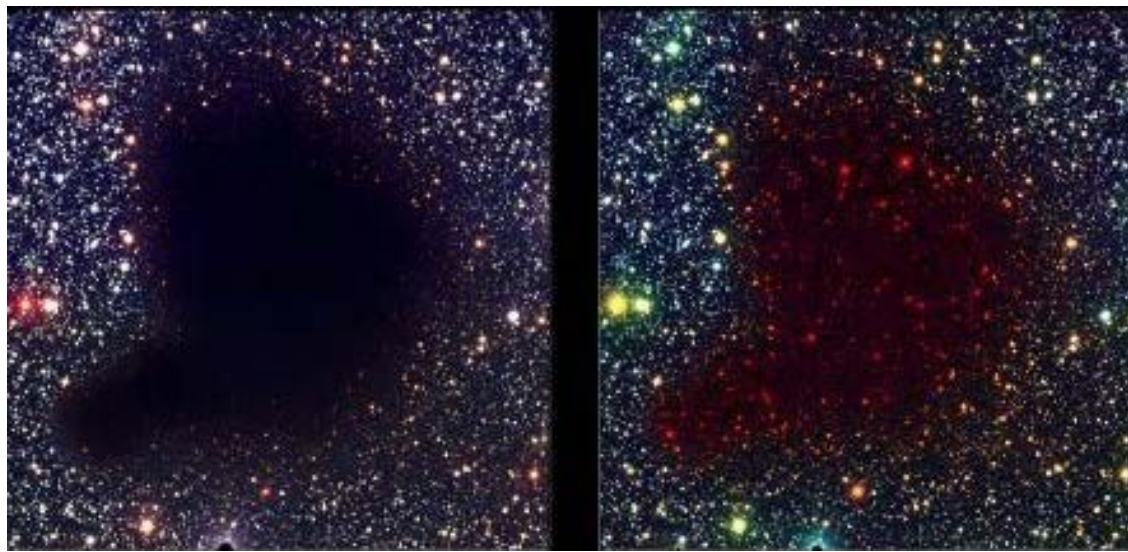
modré světlo rozptylováno více

=>

**mezihvězdné zčervenání**

(objekty červenější než jsou ve skutečnosti)



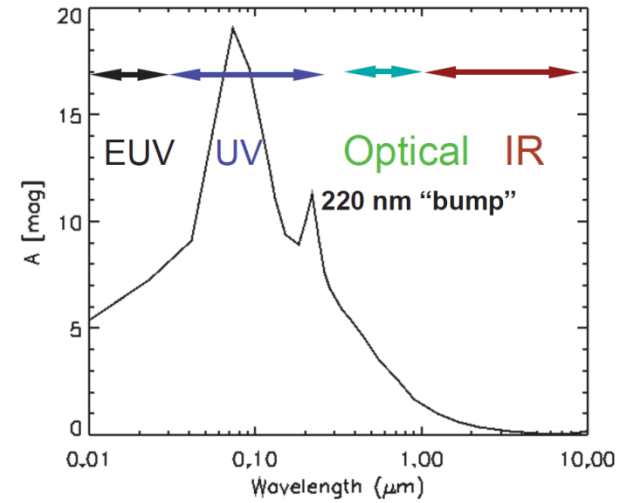


optická

IR

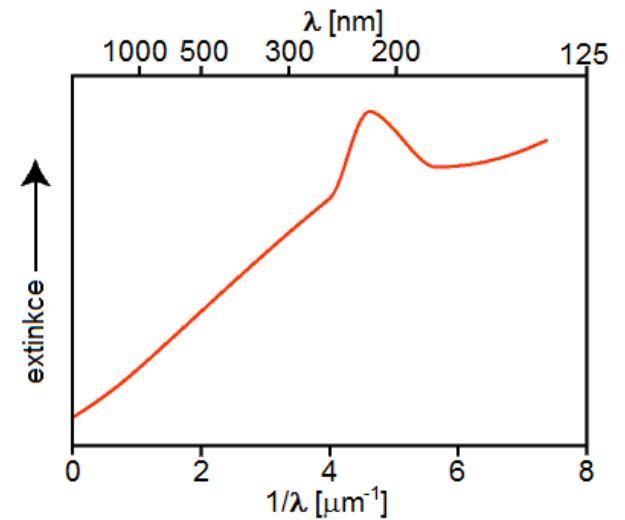
část spektra

## Barnard 68 Oph



mezihvězdná extinkce

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



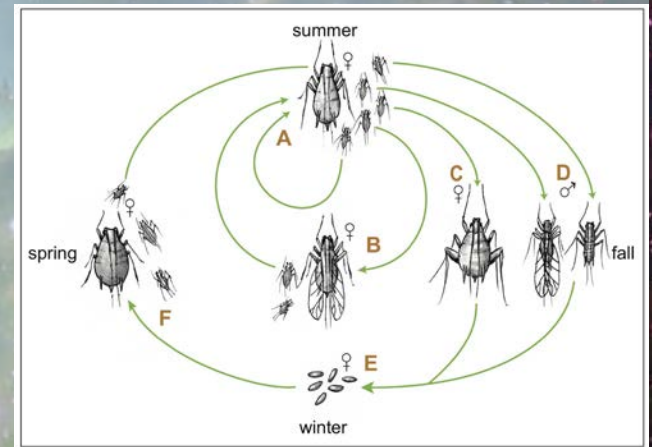
**Ve směru do centra Galaxie až +30 mag ve vizuální oblasti spektra!**

# Jak hvězdy vznikají?

vývoj („život“) hvězdy – velmi dlouhý proces (ve srovnání s lidským životem)  
=> záznam momentek ze života různě starých hvězd  
=> skládání obrazu života jedné hvězdy

## Problémy?

- výběrový efekt
- četnost hvězd daného typu
- vzdálenosti



# Hvězdné porodnice

mezihvězdné prostředí

- vyplněno plynem a prachem (drobné částice), většinou velmi řídký, molekulární, atomární nebo ionizovaný vodík (cca 75 %), chladný (desítky K) nebo horký (až 10 000 K)
- v něm vložena neforemná oblaka chladného, hustého molekulárního vodíku **hvězdné porodnice = GMCs (obří molekulová mračna) nebo části**
  - rozměry – 10 - 200 pc
  - teploty – kolem 15 K
  - hmotnosti – řádově  $M_{\odot}$  až  $10^5 M_{\odot}$  (GMC až  $10^7 M_{\odot}$ )
  - hustoty –  $10^2$ - $10^3$  částic/cm<sup>3</sup>, zhustky až  $10^6$  částic/cm<sup>3</sup>
  - složení – až 99 % H<sub>2</sub>, 1-10 % prach

=> z jednoho oblaku desítky až tisíce nových hvězd

**GMC Koňská hlava v Orionu**



# Akt zrození



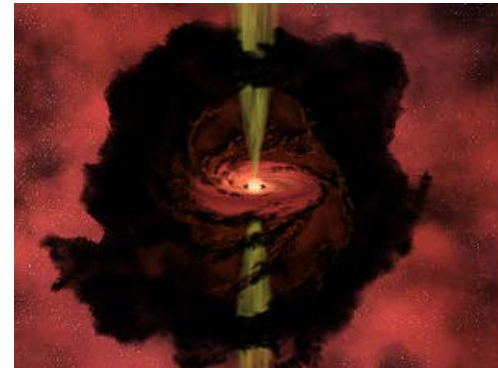
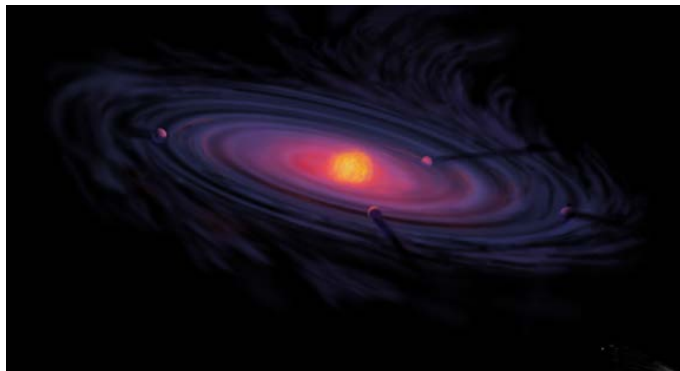
o 9 měsíců později ...



# Akt zrození

## aneb 7 kroků ke vzniku hvězdy

1. Mračno plynu a jeho fragmentace
2. Samostatný kolaps fragmentu
3. Protohvězda (konec fragmentace)
4. Kelvinova-Helmholtzova kontrakční fáze
5. Hayashiho stopa
6. Zážeh (zrození nové hvězdy)
7. Hvězda hlavní posloupnosti





# 1. Dělení GMC

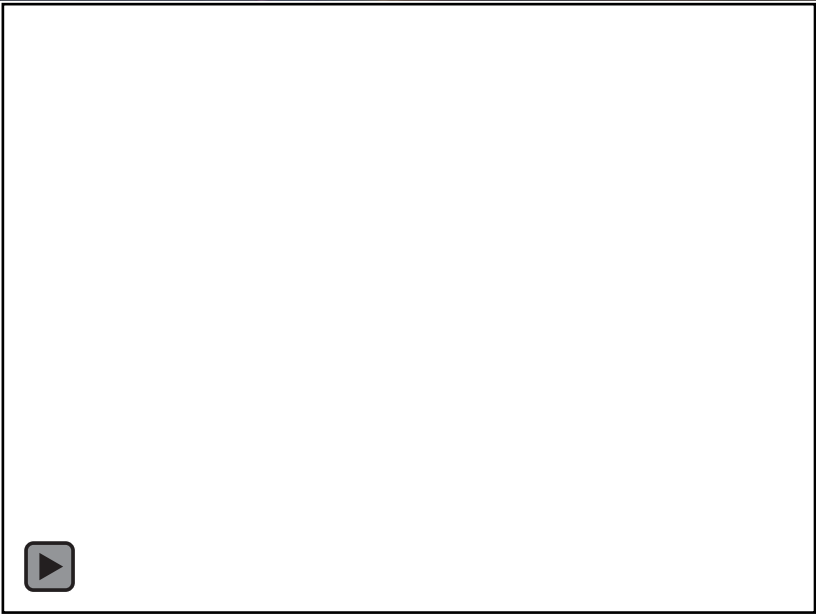
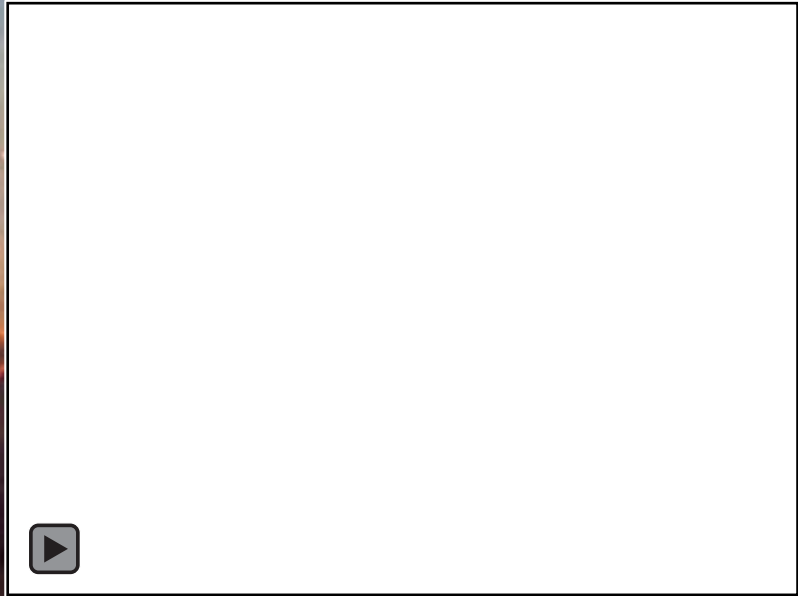
- na počátku GMC v hydrostatické rovnováze - proti gravitaci působí gradient tlaku (tlak plynu, teplota materiálu, rotace, magnetické pole)
- vnější působení => změna podmínek, gravitace vítězí => začíná **kolaps**  
možné příčiny kolapsu:
  - srážka s jiným mračnem
  - výbuch blízké supernovy (rázová vlna)
  - blízký vznik hmotné hvězdy typu O nebo B
  - průchod mračna spirálními rameny Galaxie
- GMC obsahují shluky (clumps) cca 0.1 pc, hmotnost řádově  $M_{\odot}$   
hustší – méně stabilní => kolabují dříve a rychleji;  
**fragmentace mračna** → na shluky a ty dále na jádra => celé GMC se rozdělí na hustá jádra o hmotnosti srovnatelné s hmotností hvězd

typický oblak – možnost vzniku:

- několika málo velmi hmotných hvězd ( $>20 M_{\odot}$ ),
  - mnoha hvězd podobných Slunci
  - mnohem více málo hmotných hvězd a hnědých trpaslíků
- délka procesu – několik milionů let

Tarantula, 30 Dor







globule v emisní mlhovině IC 1396  
(Spitzer)

**Tmavý prachový oblak (globule)  
v NGC 281 (asi 10 000 ly od nás) (HST)**



## 2. Samostatný kolaps jednoho fragmentu

(dále úvahy pro budoucí hvězdu velikosti Slunce)

- fragment – chomáč, plynná koule, z něhož má vzniknout hvězda 1-2  $M_{\odot}$
- velikost fragmentu – 100x větší než Sluneční soustava
- hustota ve středu dosahuje cca  $10^{12}$  částic/ $m^3$
- centrální teplota vzrostla na 100 K

x

teplota vnějších částí stále nízká, materiál je tenký => energie získaná uvnitř chomáče snadno unikne do prostoru

- ❖ smršťování => zvyšuje se hustota  
=> roste tlak a teplota

(vyzáří se jen  $\frac{1}{2}$  energie)

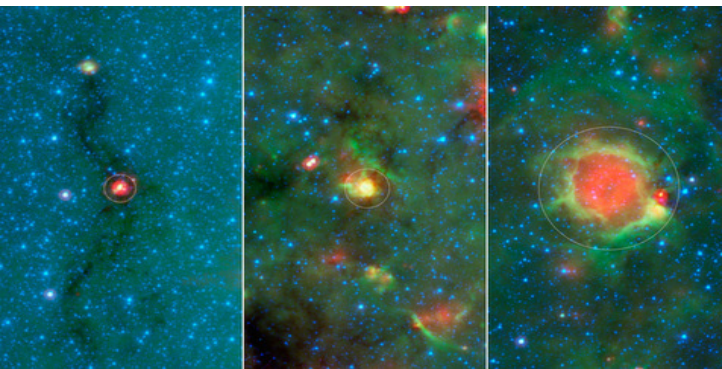
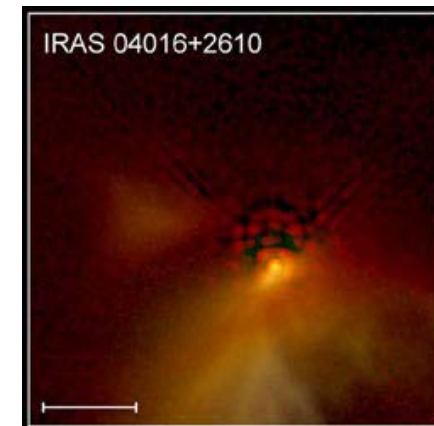
zastaví se fragmentace,  
smršťování pokračuje



### 3. Protohvězda

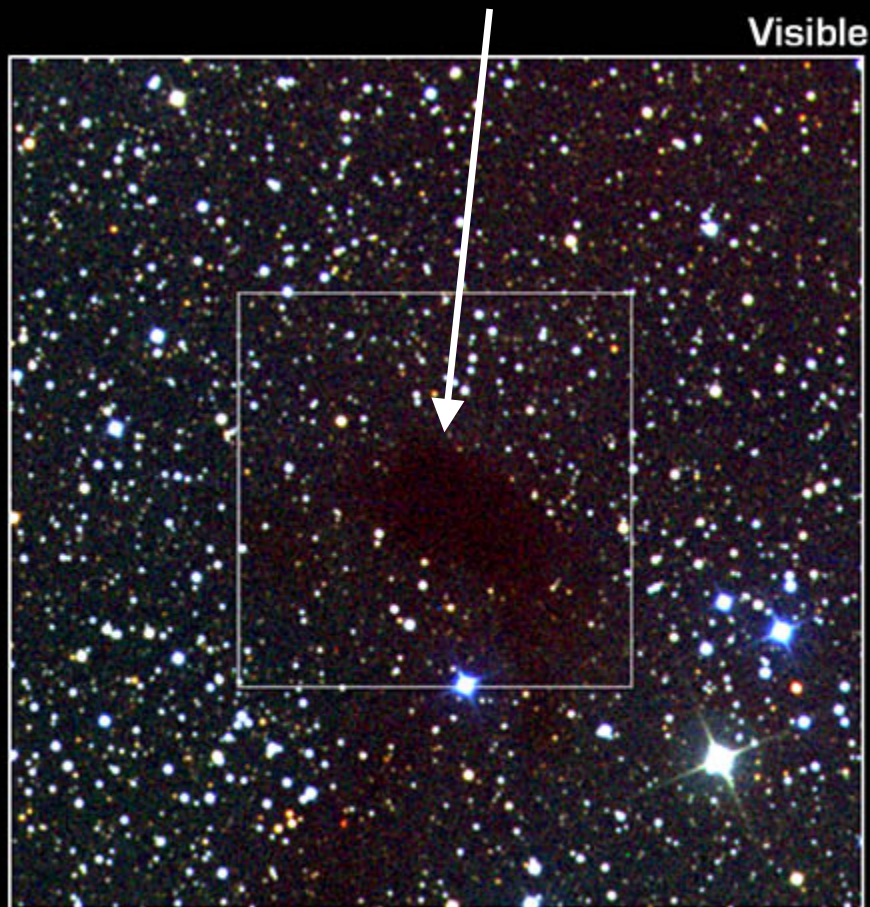
velmi rychlé smršťování → až je fragment velikostí srovnatelný s rozměry Sluneční soustavy - v centru se vytvoří hustá neprůhledná oblast => fragment se začíná podobat hvězdě - **protohvězda**

- ❖ centrální teplota  $\sim 10\,000\text{ K}$
- ❖ hustota ve středu  $\sim 10^{18}\text{ částic/m}^3$
- ❖ vnější části stále chladnější a tenčí
- ❖ hmotnost protohvězdy roste a objekt se dále smršťuje
- ❖ ukryta v zárodečném materiálu & velmi krátká etapa ( $10^4$ - $10^5$  let) => velmi málo pozorovaných protohvězd



Ize pozorovat bubliny v mezihvězdné látce, příznak vznikající hvězdy

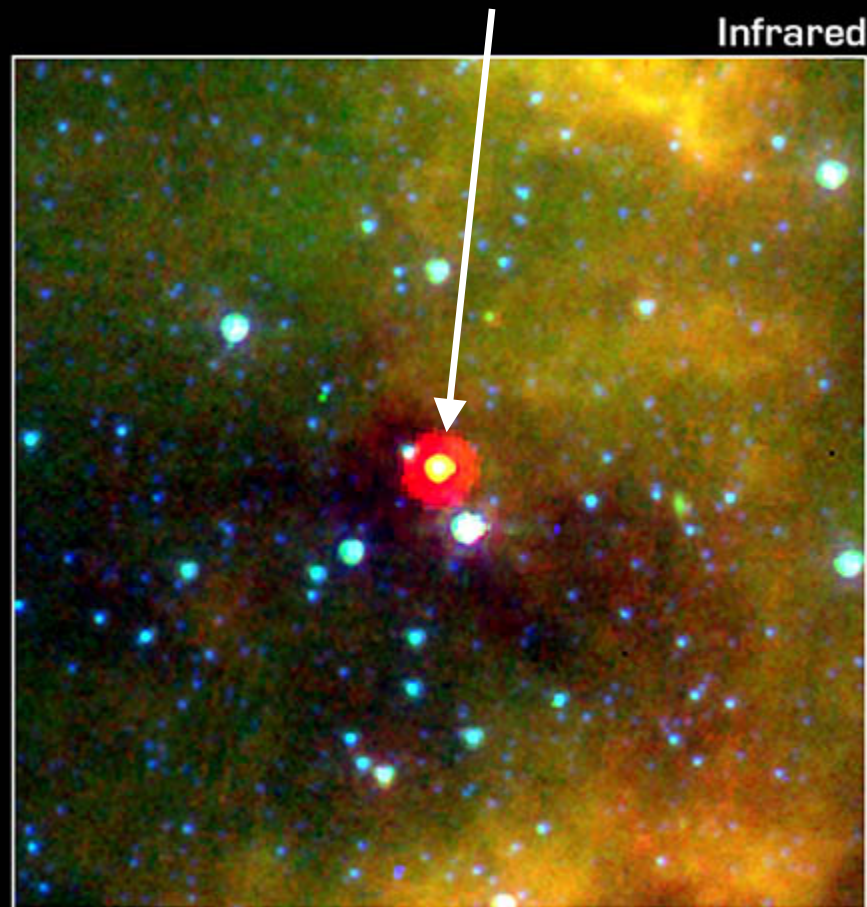
místo vzniku zahalené opticky tlustým diskem



**“Starless” Core L1014**

NASA / JPL-Caltech / N. Evans (Univ. of Texas at Austin)

formující se hvězda



**Spitzer Space Telescope • IRAC • MIPS**

Visible: DSS  
ssc2004-20a

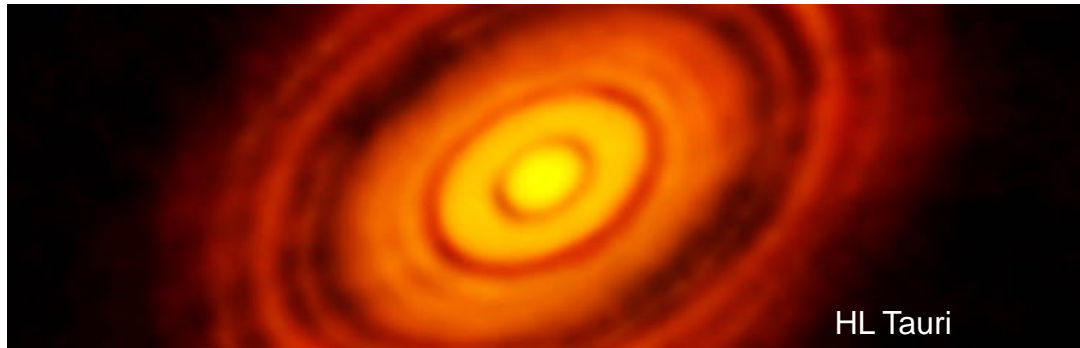
# Protohvězdy s disky

- původní chomáč plynu se smršťuje, ale také rotuje =>
  - v okolí pólů dopadá volným pádem, kolem rovníku je brzděn odstředivou silou
  - => zplošťuje se → disk kolem rovníku protohvězdy
- disky z prachu a „zbytků“ pozorujeme kolem mladých hvězd nízké hmotnosti
- **úklid disku** po zformování protohvězdy (plyn „zmizne“ do 6 mil. let)
  - část materiálu spadne na protohvězdu
  - část poslouží ke zformování planet

(část je odvanuta z okolí hvězdy později po zapálení jaderných reakcí)

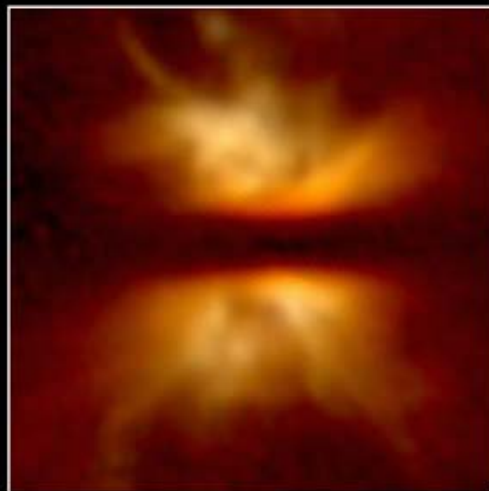
## Výtrysky (jety)

- v polárních oblastech – odklizení přebytečné hmoty a energie





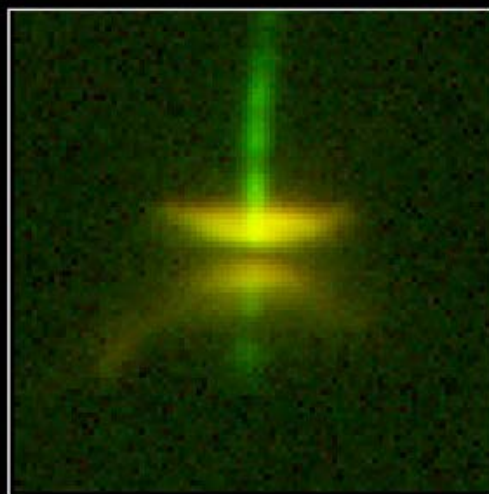
*IRAS 04302+2247*



*Orion 114-426*

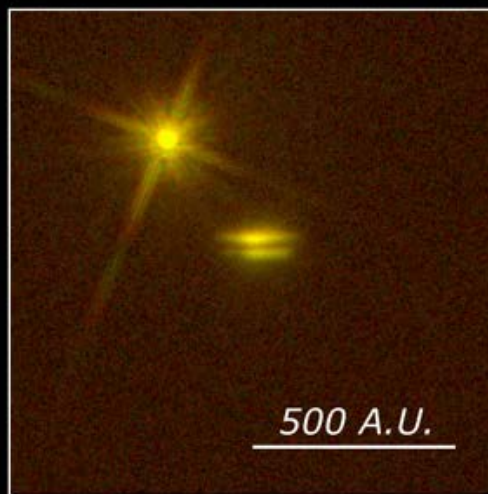


**NICMOS**



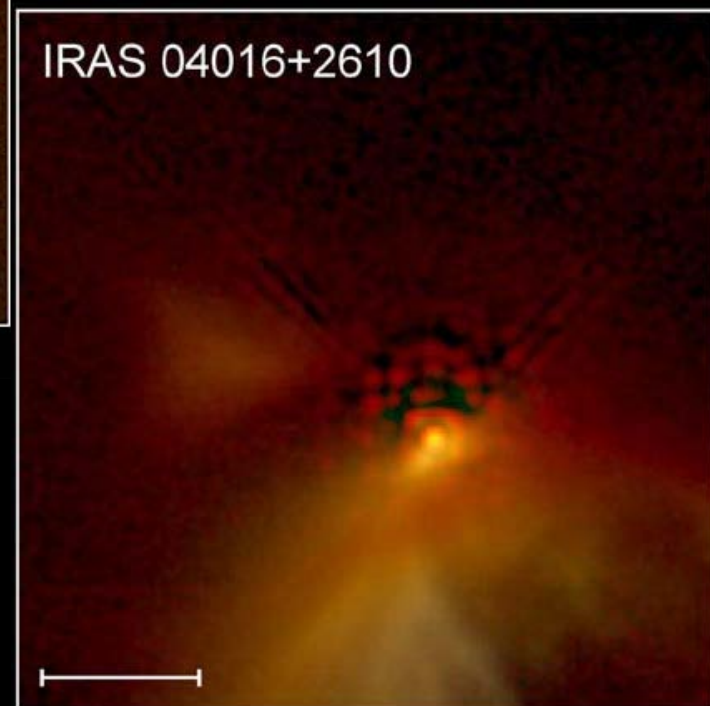
*HH 30*

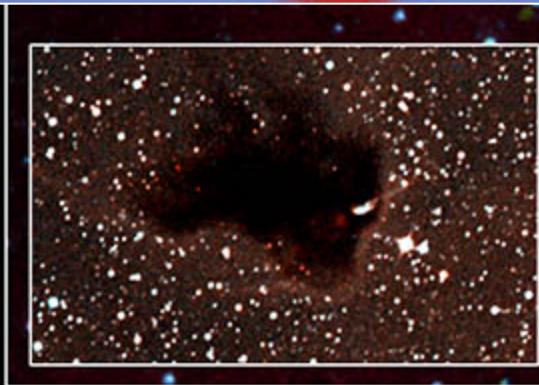
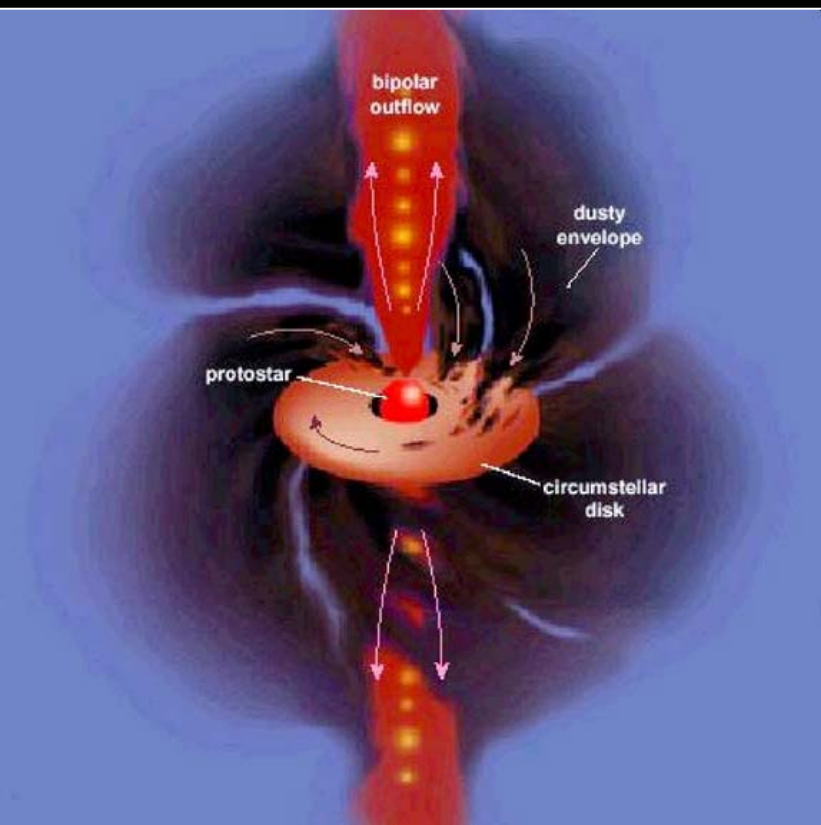
**WFPC2**



*HK Tau/c*

*IRAS 04016+2610*

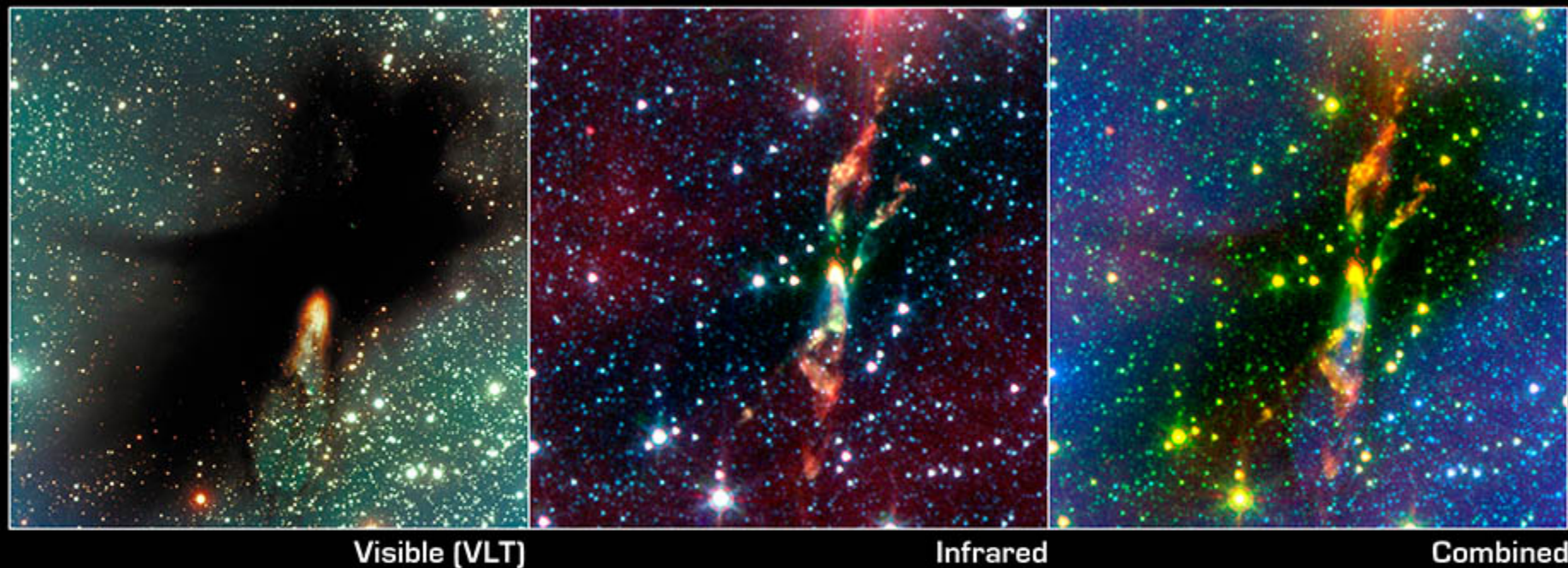




## Embedded Outflow in HH 46/47

Spitzer Space Telescope • IRAC

Inset: visible light (DSS)



**Protostellar Jet in BHR 71 Dark Cloud**  
NASA / JPL-Caltech / T. Bourke (Harvard-Smithsonian CfA)

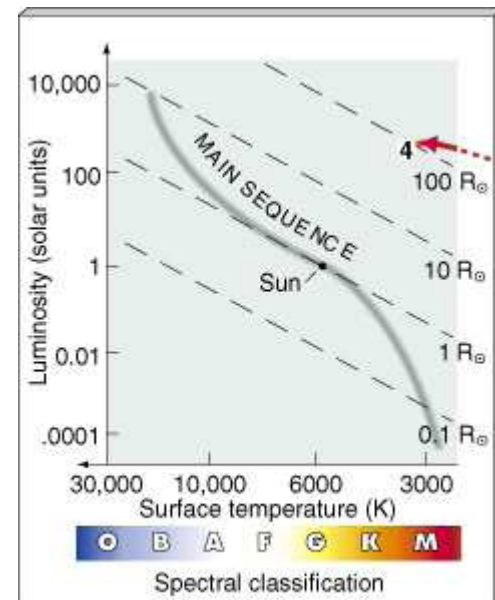
**Spitzer Space Telescope • IRAC**  
sig07-005

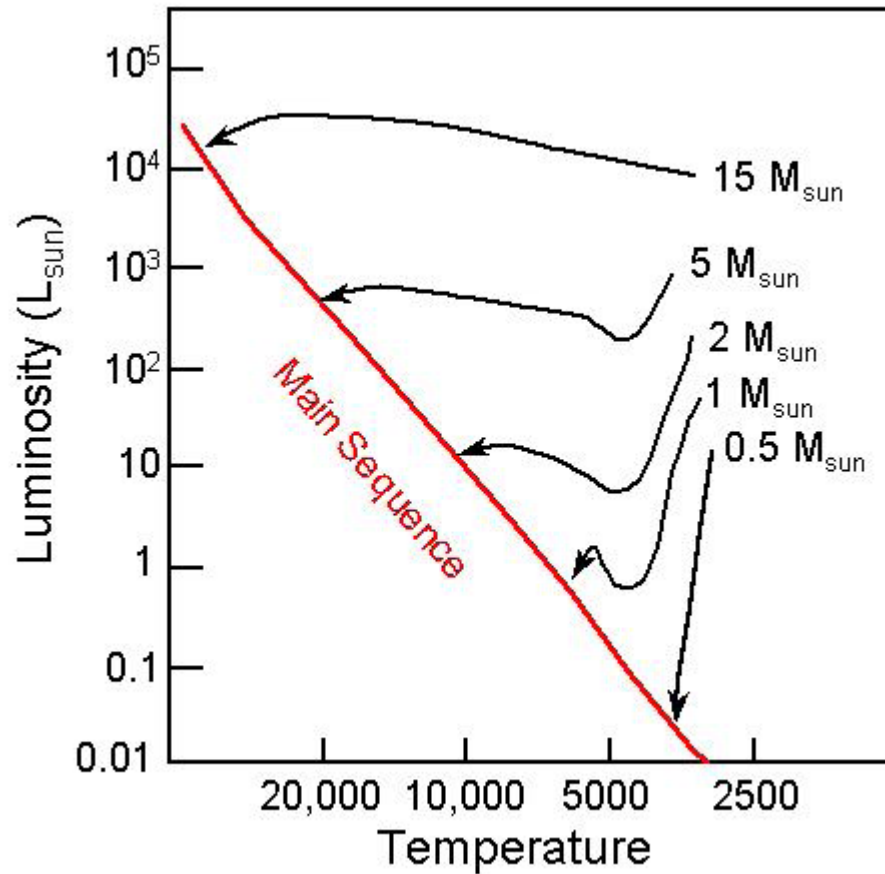
## 4. Kelvinova-Helmholtzova kontrakční fáze

- rychlé smršťování → růst hustoty
- růst teploty v jádru (až na  $10^6$  K) i na povrchu (na cca 3000 K)
- dosažení velké hustoty a teploty v centru vede ke zpomalení smršťování
- velikost protohvězdy > Slunce ( $\approx$  trajektorie Merkuru)
- zářivý výkon až  $1000 L_{\odot}$ , i když  $T_{\text{eff}} = \frac{1}{2} T_{\text{eff}} \text{ Slunce}$
- teplota v jádru nestačí na zapálení jaderných reakcí => zářivý výkon je krytý z potenciální energie
- viriálový teorém => získaná energie se z  $\frac{1}{2}$  vyzáří,  $\frac{1}{2}$  spotřebuje na ohřev

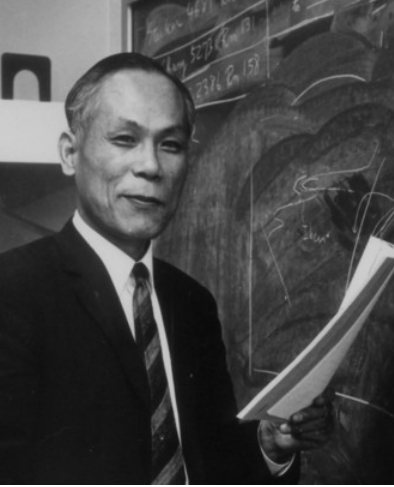
$$\tau_{KH} \approx \frac{GM^2}{RL}$$

- délka K-H fáze – pro hvězdu typu Slunce cca  $3 \cdot 10^7$  let
- poprvé lze objekt zakreslit do HR diagramu => začátek vývojové dráhy hvězdy v HRD



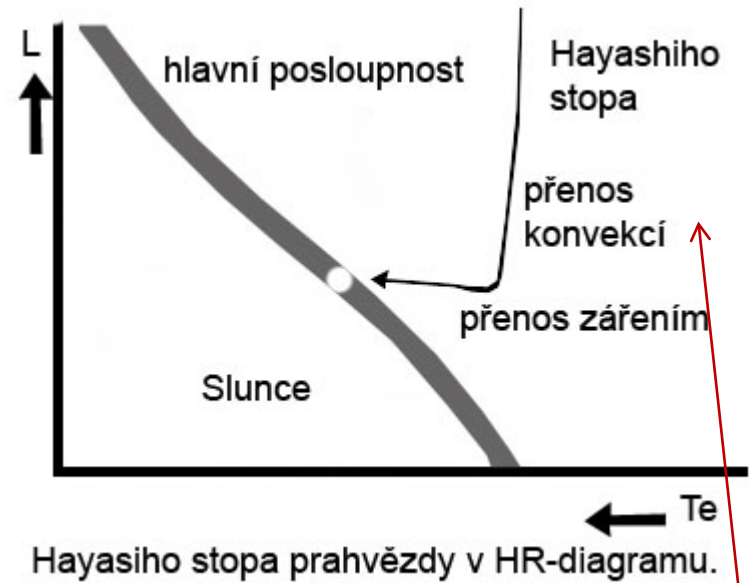


Kelvinova-Helmholtzova časová škála – čas, za který se hvězda v HR diagramu přesune až na hlavní posloupnost

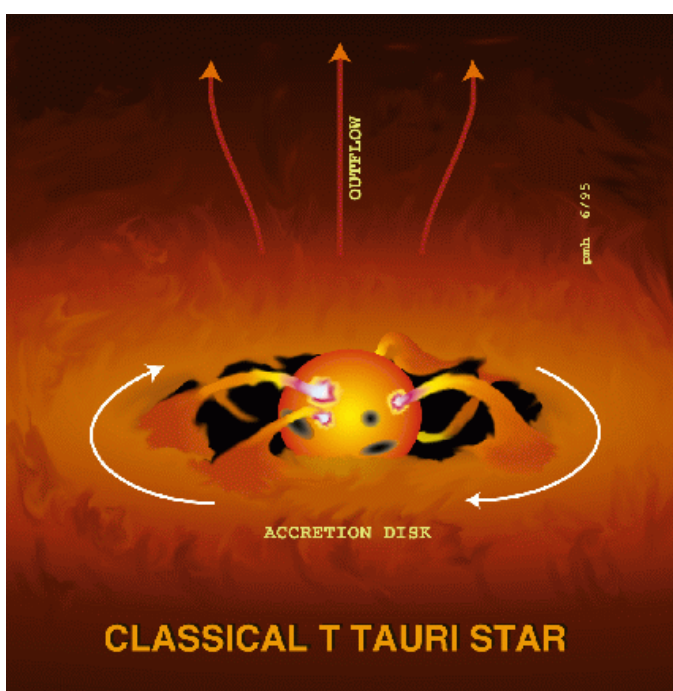


## 5. Hayashiho stopa

- smršťování stále pokračuje => velikost protohvězdy  $10 R_{\odot}$
- centrální teplota  $5 \cdot 10^6$  K (žádné jaderné reakce)
- povrchová teplota 4000 K ale dále neroste!
- zářivý výkon  $10 L_{\odot}$  a klesá!  
proč?
  - poloměr se zmenšuje, teplota zůstává
- stáří cca 1 milión let
- protohvězda plně konvektivní
  - => hvězda je chemicky stejnorodá, dokonale promíchaná
  - => silná povrchová aktivita, silný hvězdný vítr (fáze T Tauri)



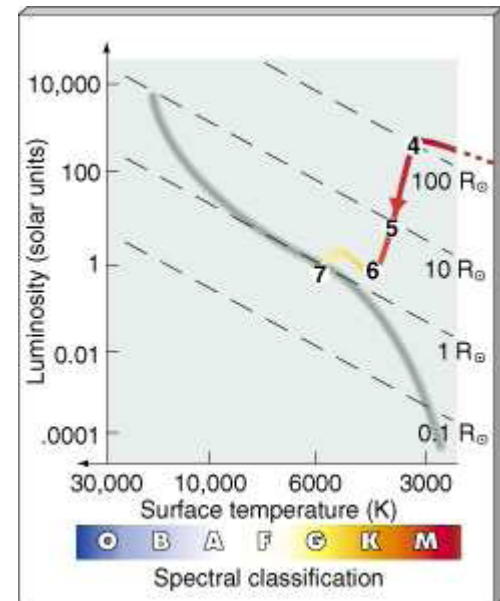
vpravo od Hayashiho linie nemůže existovat stabilní objekt



## 6. Zrození nové hvězdy

**v nitru se zapalují jaderné reakce!**

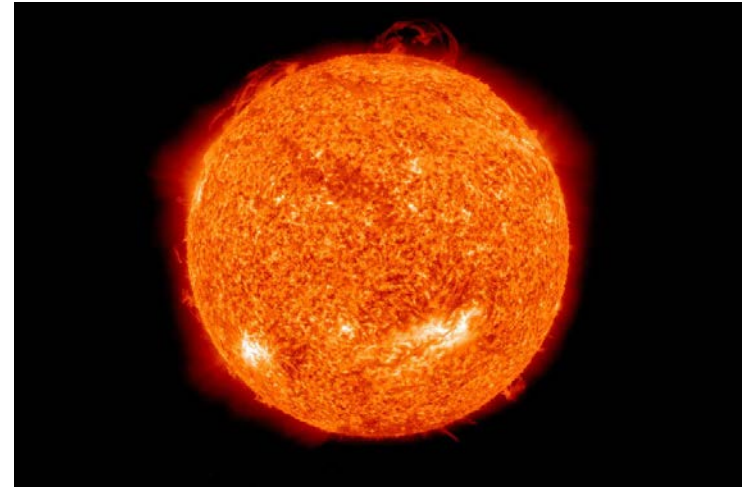
- hmotnost – cca sluneční
- teplota v jádře dosáhla mez pro zapálení jaderných reakcí
- povrchová teplota – menší než sluneční
- velikost – mírně větší než Slunce
- zářivý výkon – menší než Slunce (chladnější fotosféra)



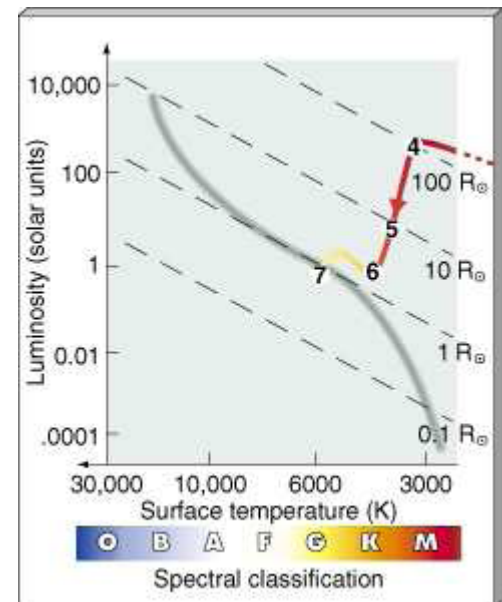


## 7. Hvězda dosedá na hlavní posloupnost

- teplota v jádru – sluneční
- zářivý výkon - sluneční
- povrchová teplota – cca sluneční
- centrální hustota =  $10^{32}$  částic/m<sup>3</sup>
- hvězda v hydrostatické rovnováze

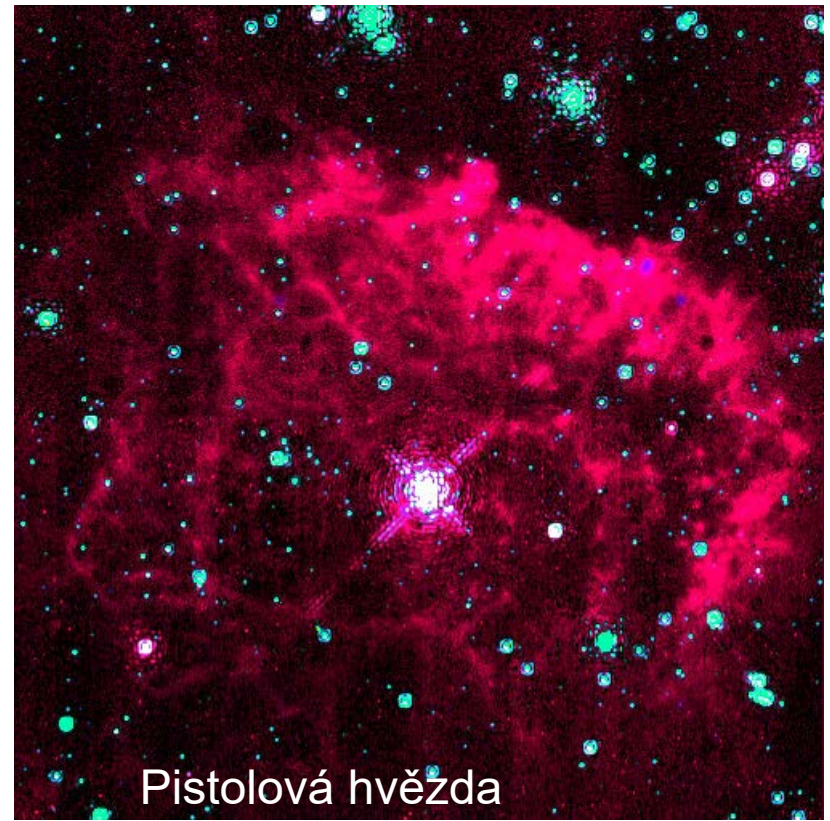
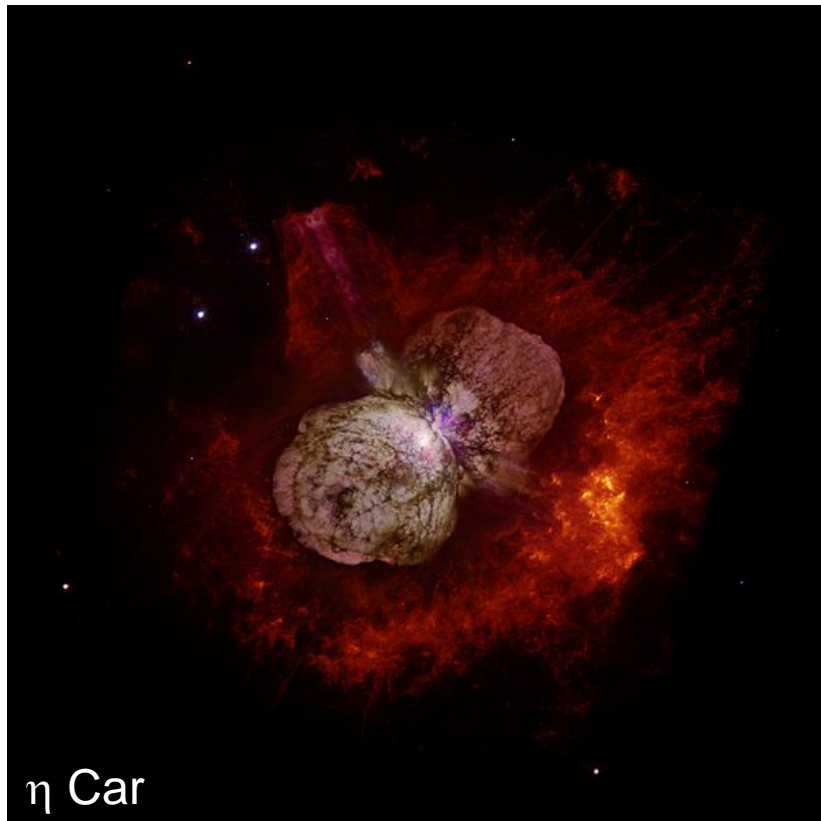


***Vývojové etapy 1-7 trvají 40-50 miliónů let z celkové doby života Slunce (10 mld let) méně než 1 %!***



# Protohvězdy s nadváhou

- vysoká hmotnost => gravitační kolaps velmi rychlý
- pro protohvězdu  $30 M_{\odot}$  kratší než 10 000 let
- kolaps způsobí nárůst centrální teploty až na  $10^7$  K a vyšší => spustí se jaderné reakce - p-p řetězec a pak i CNO cyklus
- hvězda se rozzáří, rychle ionizuje a odfoukne zbylý materiál ze svého okolí



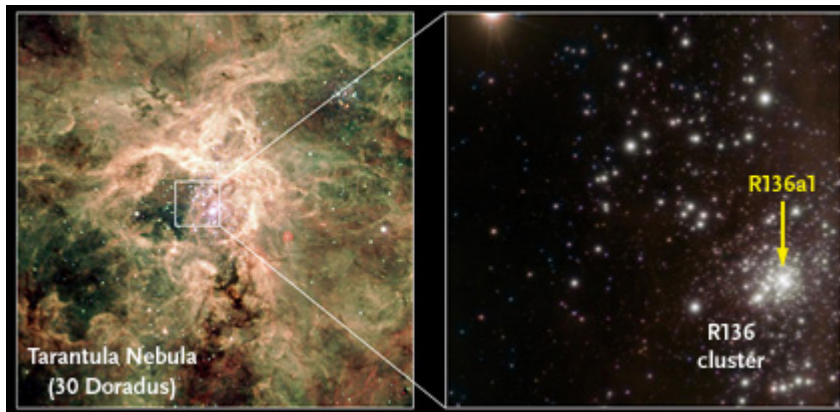
# Protohvězdy s nadváhou

**teorie:** maximální hmotnost 100-300???  $M_{\odot}$

- nad 100-150  $M_{\odot}$ , jádro příliš žhavé => tlak záření převýší gravitaci => hvězda nestabilní a sama se dělí

**skutečnost:** nejhmotnější známá R136a1 – odhadovaná hmotnost 315  $M_{\odot}$ !

velmi hmotné hvězdy velmi vzácné – jen několik v Galaxii



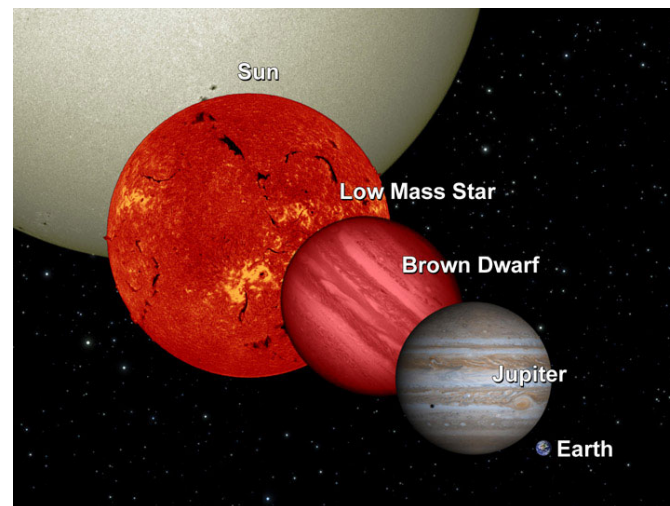
Hvězda	Hmotnost [ $M_{\odot}$ ]	Výskyt
R136a1	315	LMC
R136c	230	LMC
BAT99-98	226	LMC
R136a2	195	LMC
Melnick42	189	LMC
R136a3	180	LMC
Melnick34	179	LMC
eta Car A	~120-200	Galaxie
HD15558 A	>152±51	Galaxie

# Subtilní protohvězdy

- gravitační kolaps pomalejší než pro Slunce a hmotnější hvězdy
  - 1  $M_{\odot}$  asi 30 milionů let
  - 0.2  $M_{\odot}$  až 1 miliarda let
- pokud teplota jádra přesáhne  $10^7$  K, spustí se jaderné reakce (p-p řetězec)
- hvězdný vítr odvane zbytky zárodečného kokonu a disku
- hvězda zvolna dosedá na hlavní posloupnost

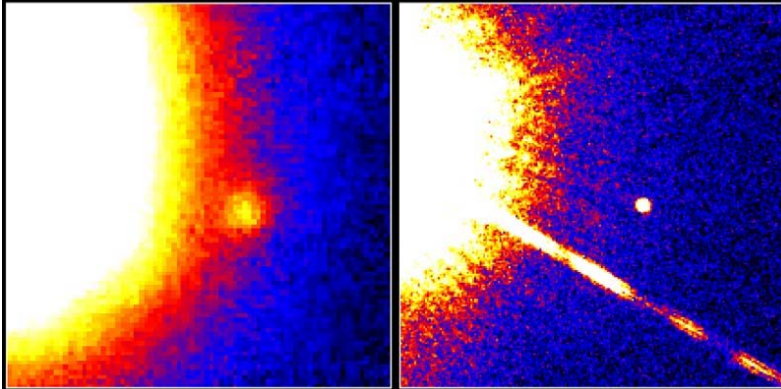
## Objekty pod míru

- **minimální hmotnost cca 0.075  $M_{\odot}$**
- pod 0.075  $M_{\odot}$  se v jádru nikdy nezapálí jaderné reakce => objekt se stane **hnědým trpaslíkem**
- podobají se „superjupiterům“, podobné vlastnosti
- energie z gravitačního kolapsu
- známo jen několik set (velmi slabé), detekce v IR
- tzv. T-trpaslíci



Jill Corner Tarter - autorka pojmu „hnědý trpaslík“

## Brown Dwarf Gliese 229B

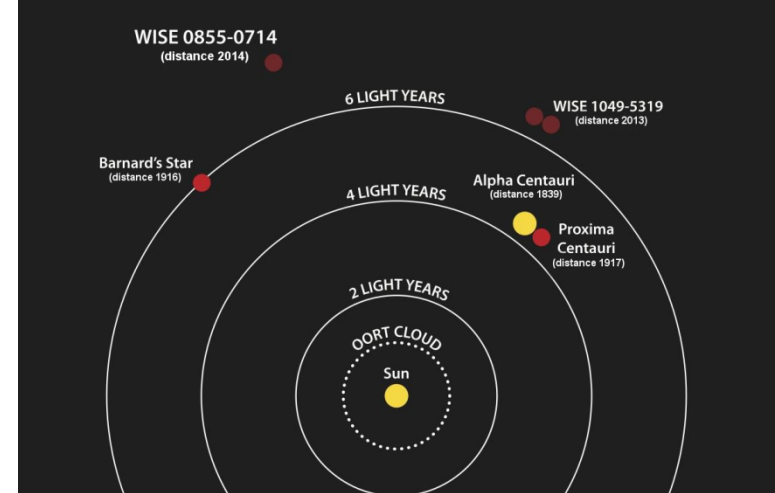


**Palomar Observatory**  
Discovery Image  
October 27, 1994

**Hubble Space Telescope**  
Wide Field Planetary Camera 2  
November 17, 1995

PRC95-48 • ST ScI OPO • November 29, 1995  
T. Nakajima and S. Kulkarni (CalTech), S. Durrance and D. Golimowski (JHU), NASA

## THE SUN'S CLOSEST NEIGHBORS



1995 – ověřena existence 1. HT – Teide 1 (sp. typ M8 v Plejádách)

1995 – 1. metanový HT - Gliese 229B kolem ČT Gliese 229A (ve vzdál. 20 ly)

1998 – 1. HT vyzařující rtg. oblasti - Cha Halpha 1 (sp.t. M8 v temném oblaku Chamaeleon I)

1999 – 1. rtg. záblesk na HT LP 944-20 ( $60 M_J$ , 16 ly), Chandra - 2hod. záblesk flare.

2000 – 1. rádiová emise z HT na LP 944-20 (publ. v Nature)

2013 – nejbližší HT Luhman 16 (6.5 ly)

2014 – nejchladnější HT WISE 0855-0714 (7.2 ly; 7. nejbližší systém od Slunce),  $T \sim -48$  až  $-13^\circ \text{C}$

2016 – 3 soustavy s planetami kolem HT

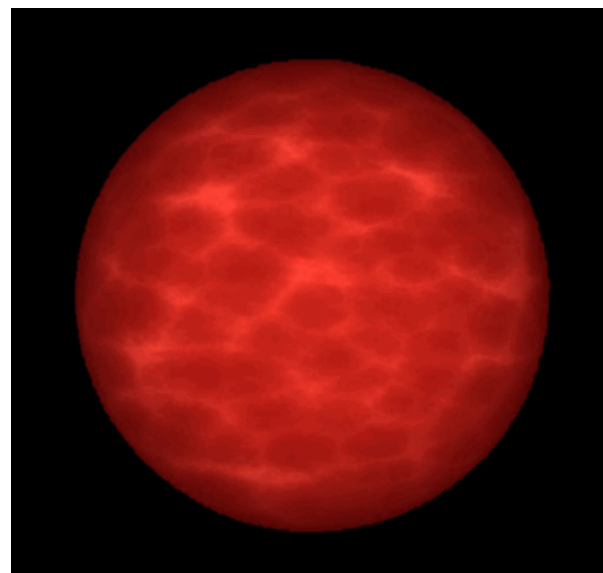
existují hnědí trpaslíci s planetami i volně plující HT



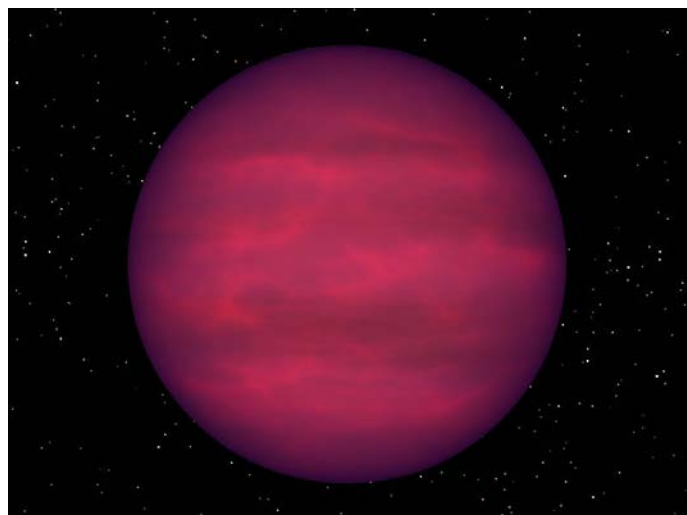
## Typologie hnědých trpaslíků



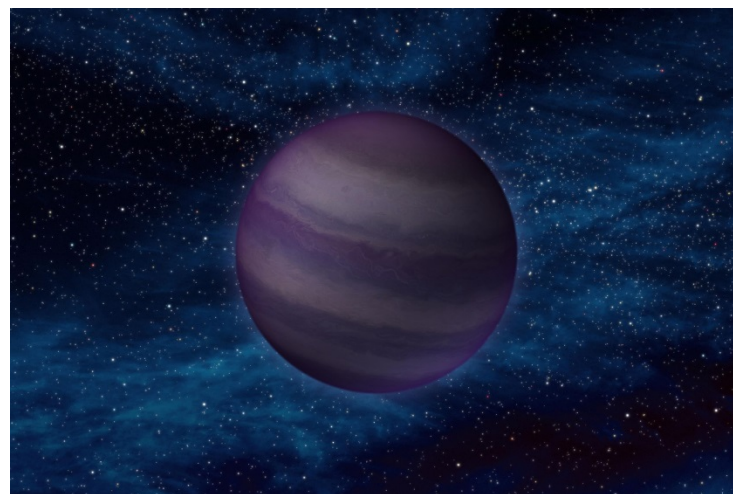
typ M



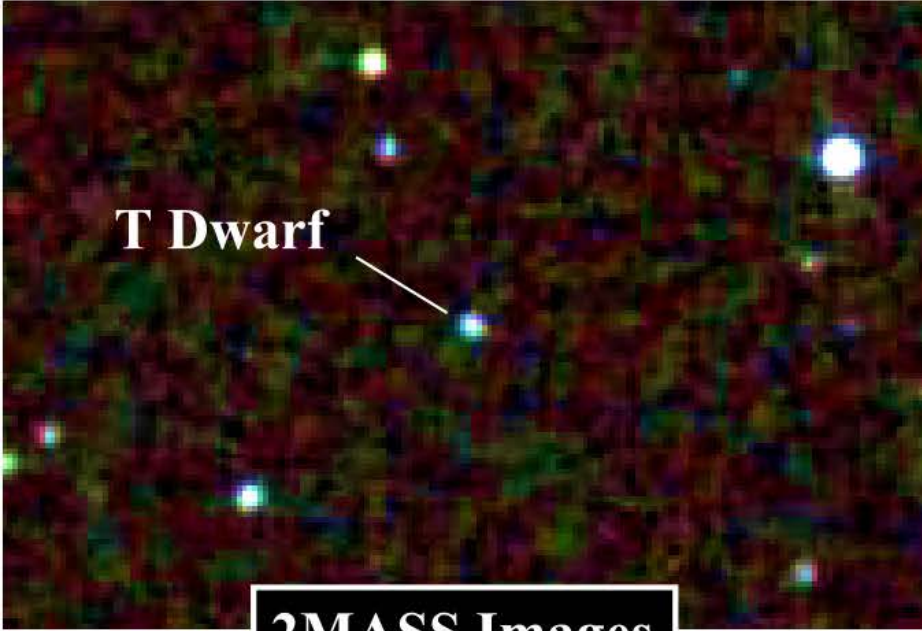
typ L



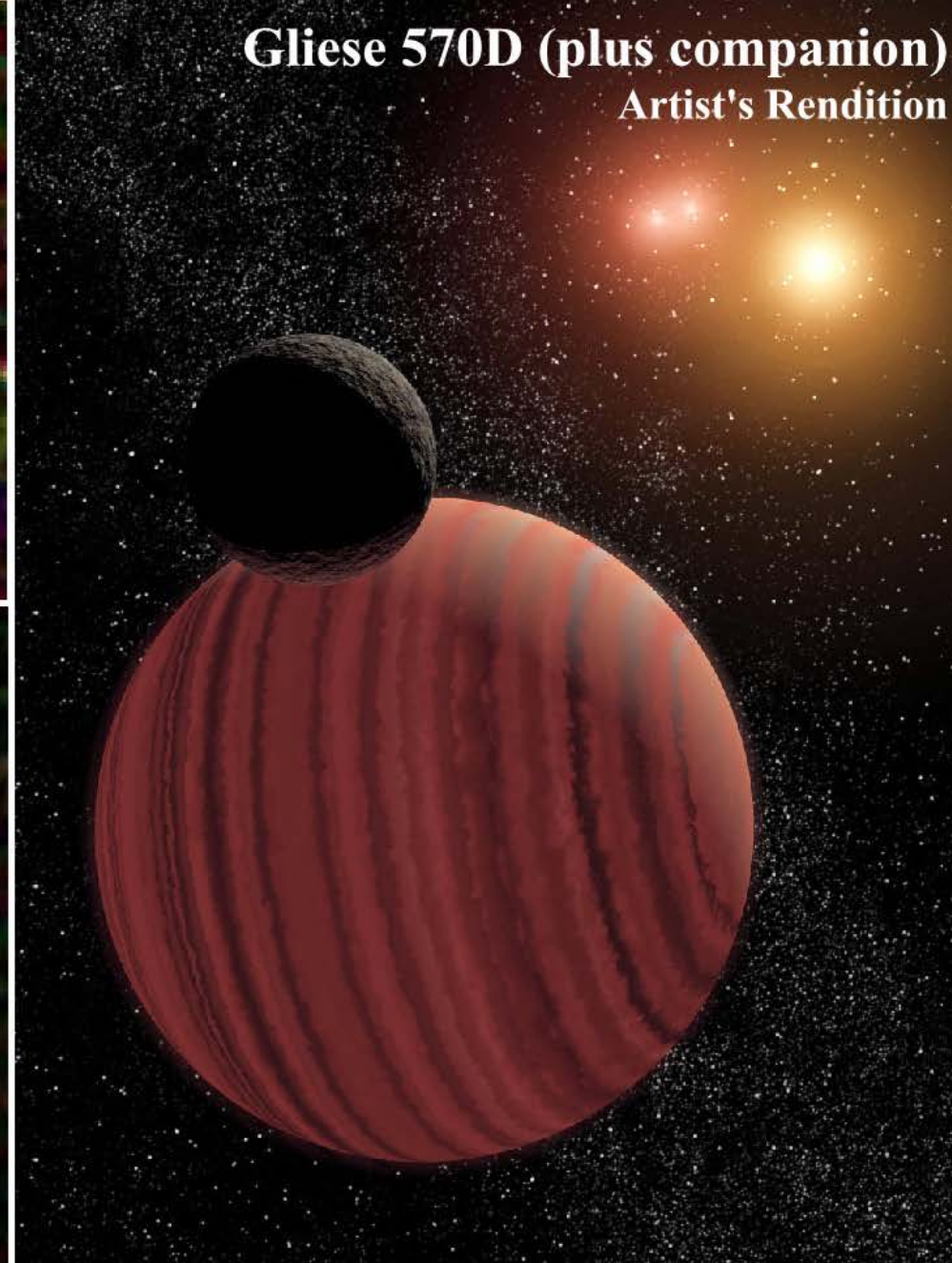
typ T



typ Y



**2MASS Images**



**Gliese 570D (plus companion)**  
Artist's Rendition



A.J. Burgasser, J.D. Kirkpatrick, R.M. Cutri, H. McCallon, G. Kopan, J.E. Gizis, J. Liebert, J.N. Reid, M.E. Brown, D.G. Monet, C.C. Dahn, C.A. Beichman, M.E. Skrutskie