

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

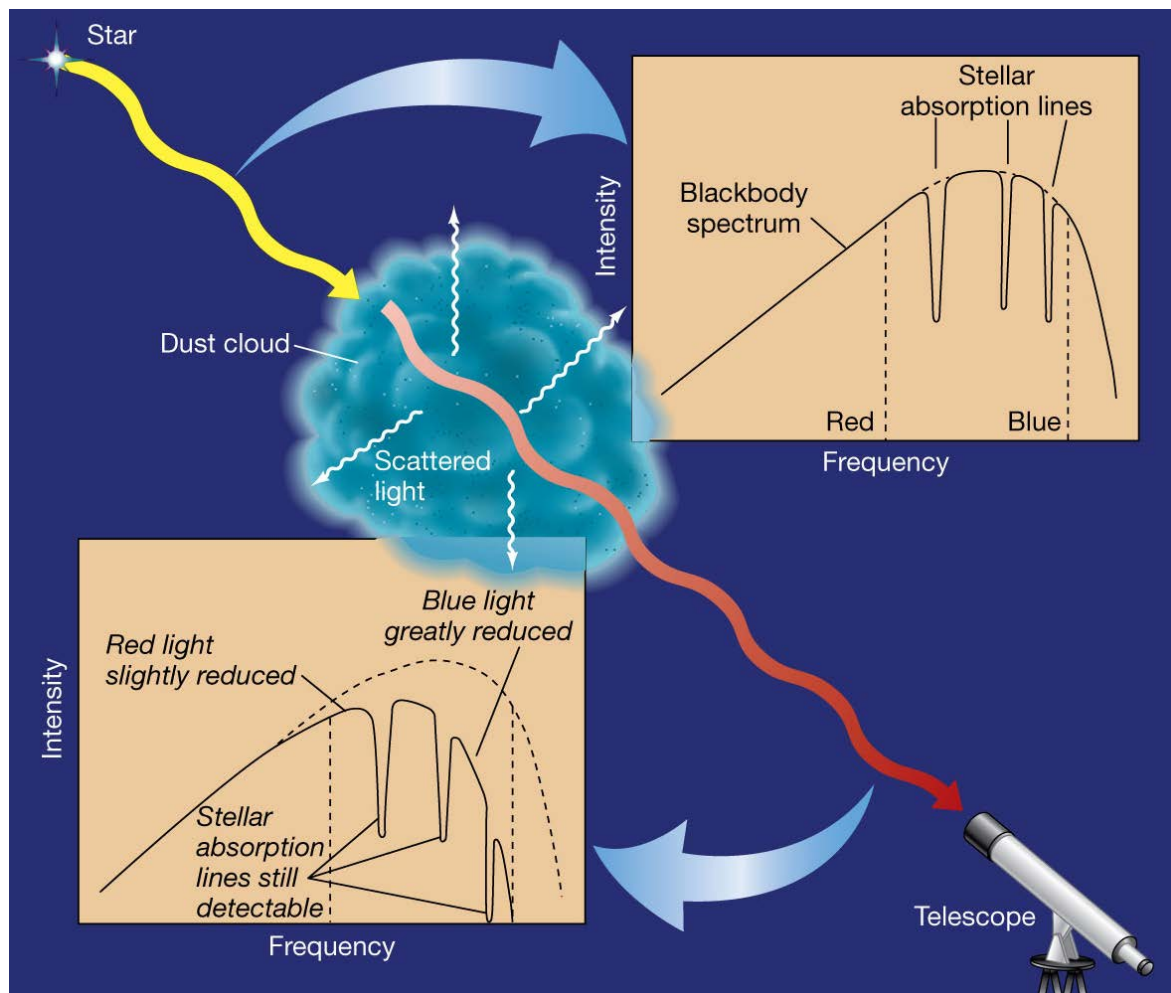
=>

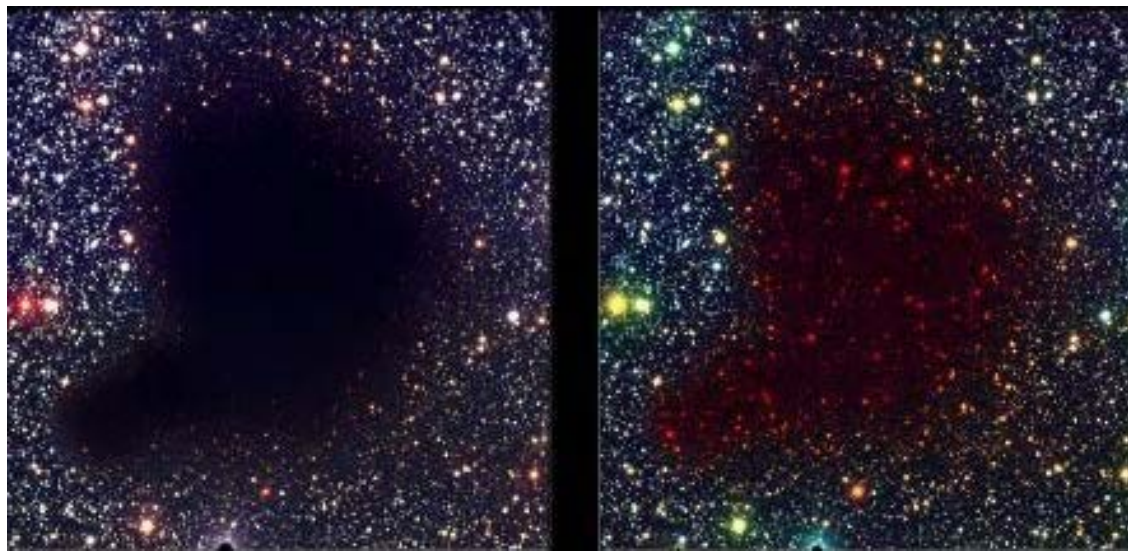
modré světlo rozptylováno více

=>

mezihvězdné zčervenání

(objekty červenější než jsou ve skutečnosti)



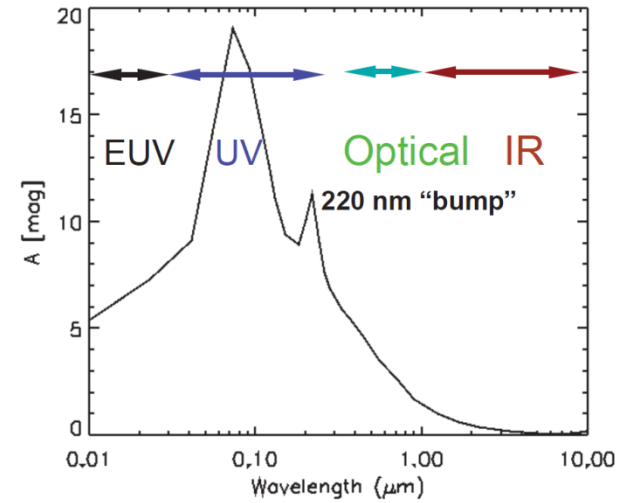


optická

IR

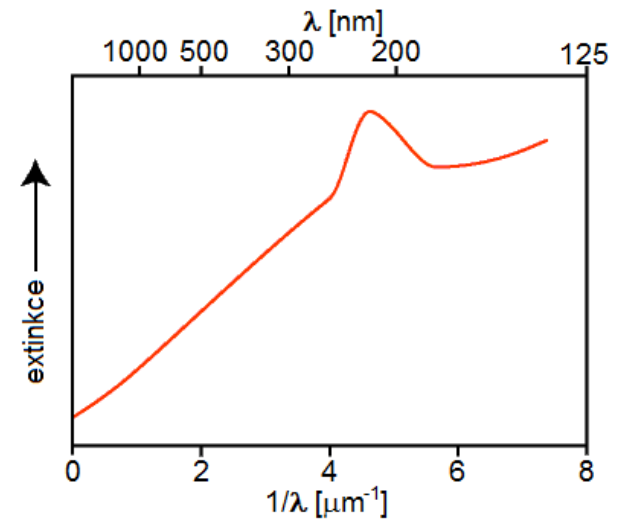
část spektra

Barnard 68 Oph



mezihvězdná extinkce

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



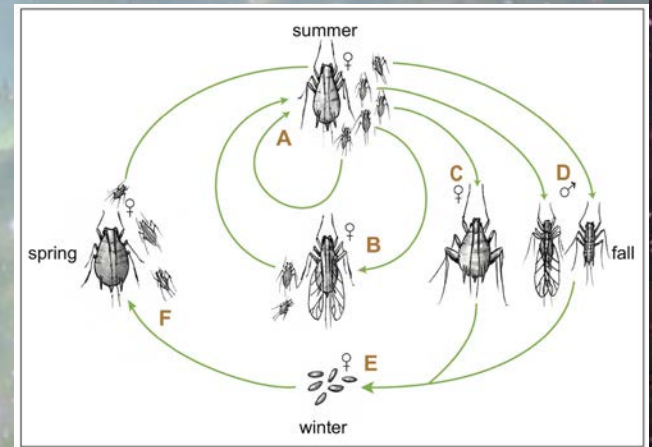
Ve směru do centra Galaxie až +30 mag ve vizuální oblasti spektra!

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/cm³, zhustky až 10^6 částic/cm³
 - složení – až 99 % H₂, 1-10 % prach

=> z jednoho oblaku desítky až tisíce nových hvězd

GMC Koňská hlava v Orionu



Akt zrození



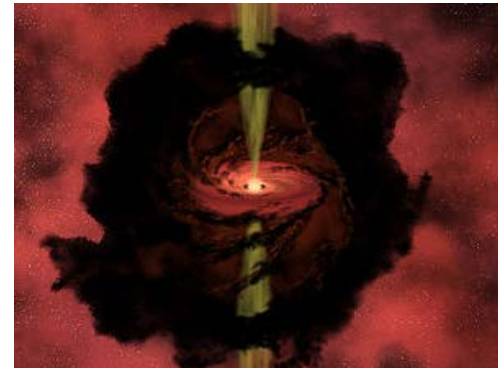
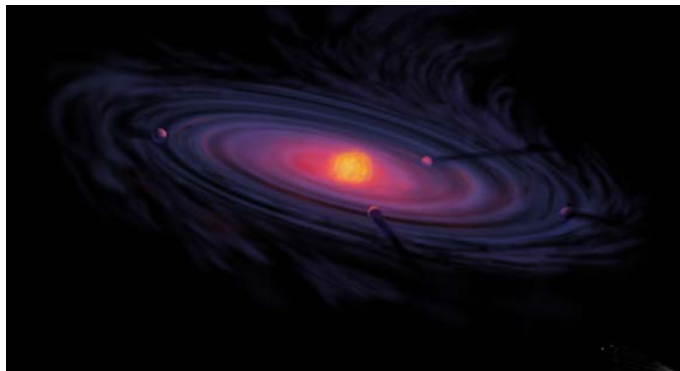
o 9 měsíců později ...



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

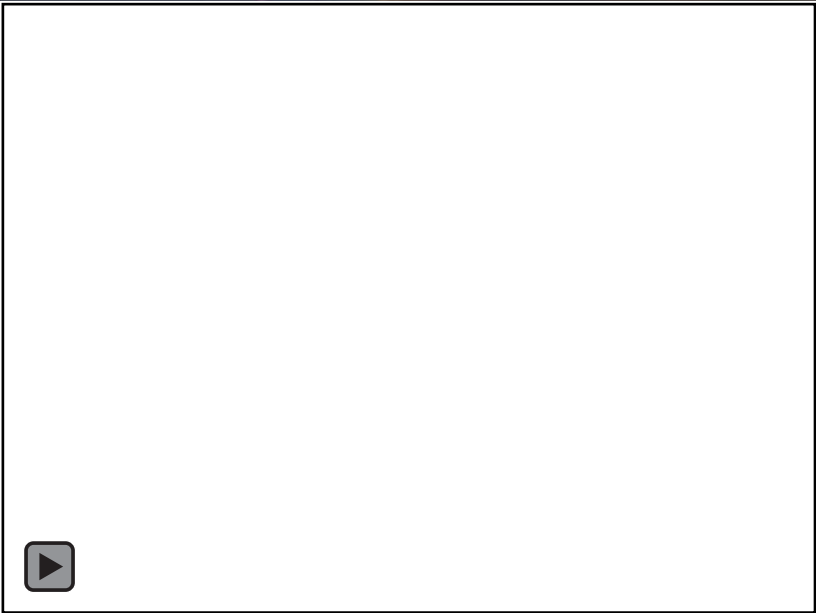
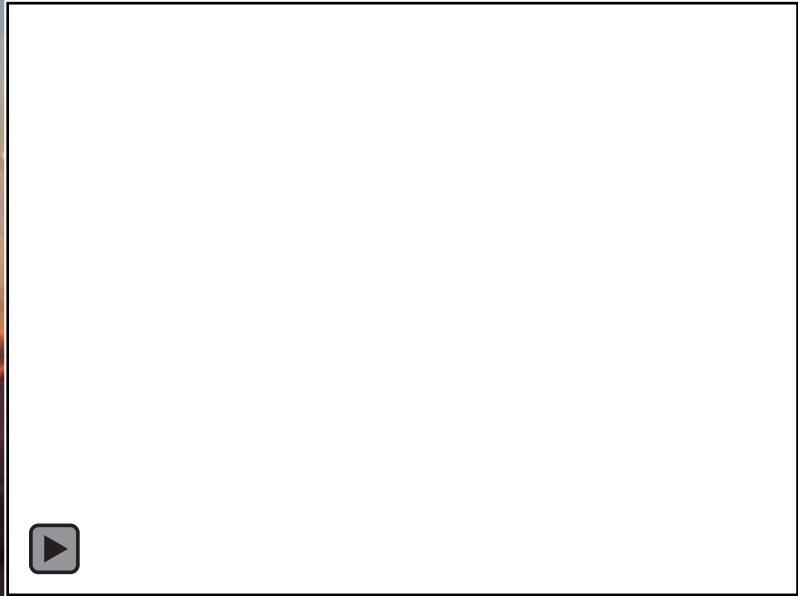
- na počátku GMC v hydrostatické rovnováze - proti gravitaci působí gradient tlaku (tlak plynu, teplota materiálu, rotace, magnetické pole)
- vnější působení => změna podmínek, gravitace vítězí => začíná **kolaps**
možné příčiny kolapsu:
 - srážka s jiným mračnem
 - výbuch blízké supernovy (rázová vlna)
 - 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)

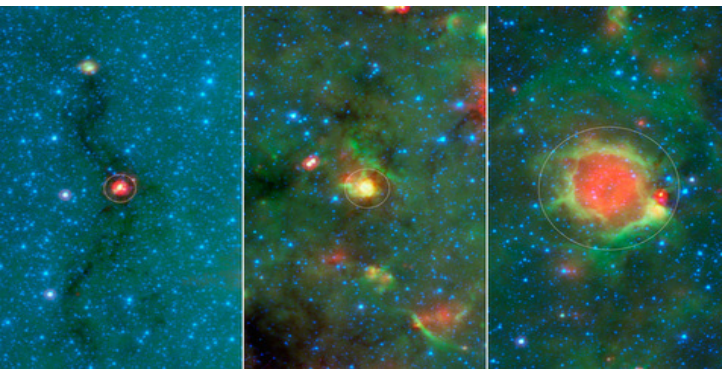
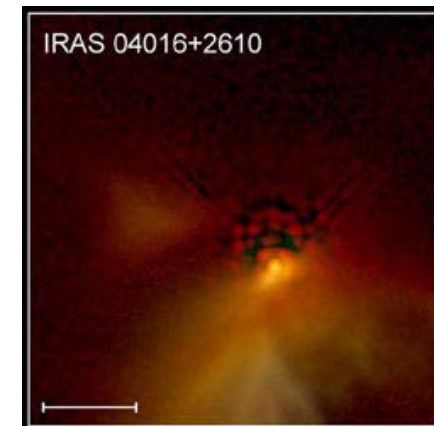
zastaví se fragmentace,
smršťování pokračuje



3. Protohvězda

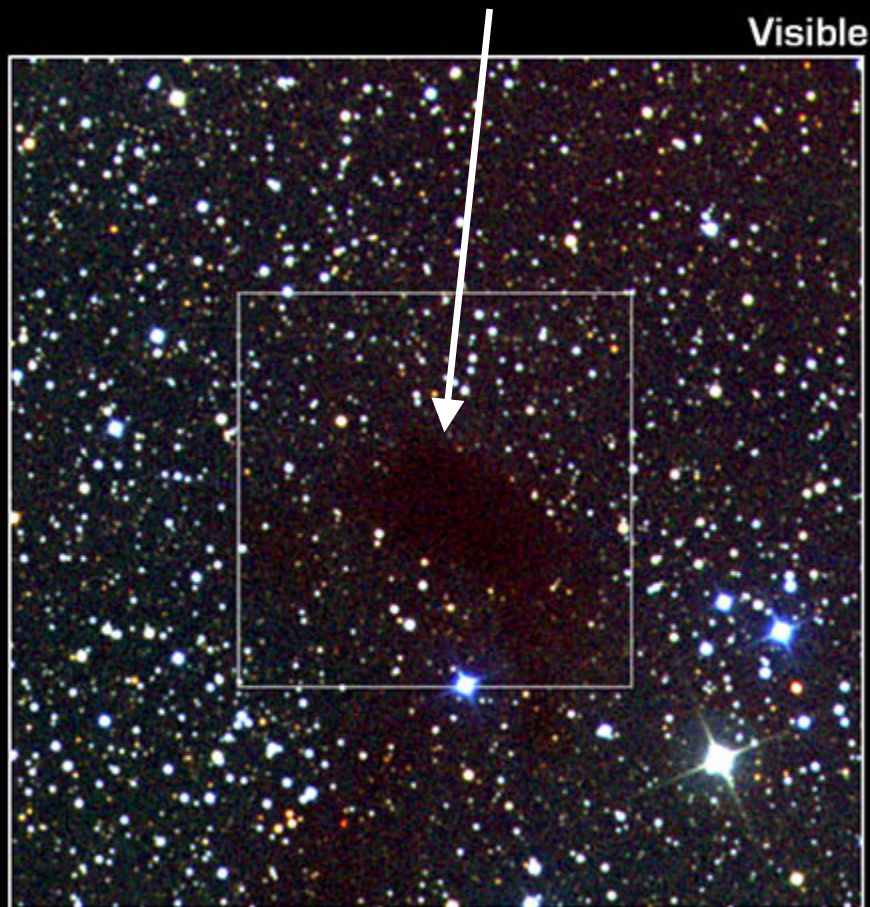
velmi rychlé smršťování → až je fragment velikostí srovnatelný s rozměry Sluneční soustavy - v centru se vytvoří hustá neprůhledná oblast => fragment se začíná podobat hvězdě - **protohvězda**

- ❖ 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

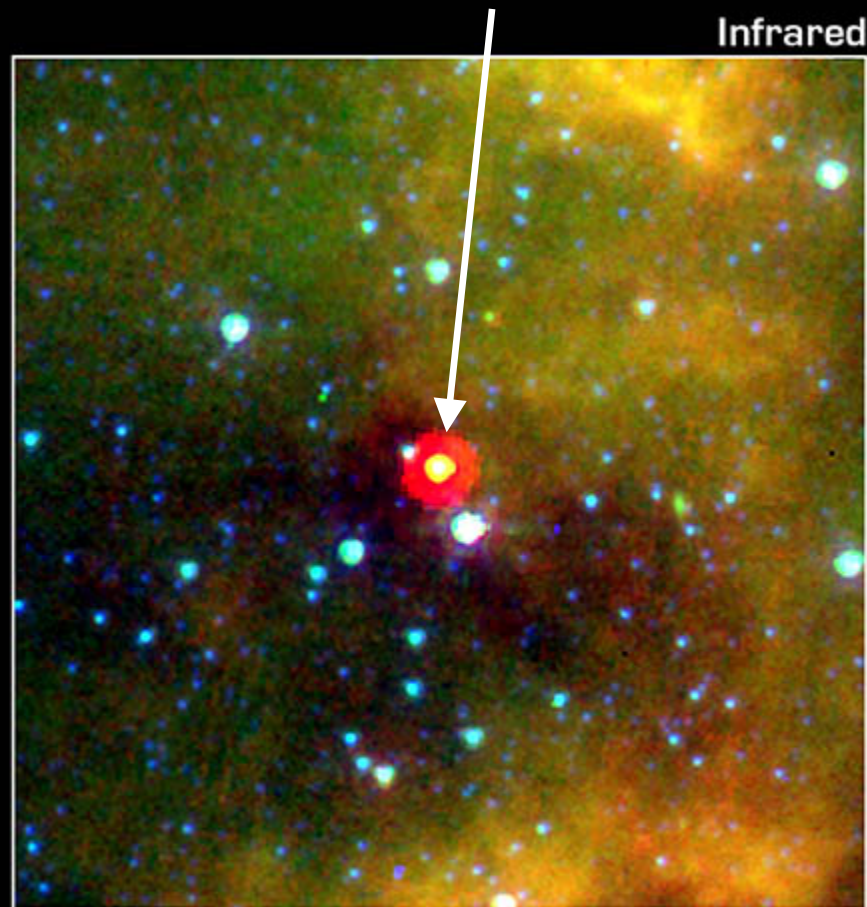
místo vzniku zahalené opticky tlustým diskem



“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

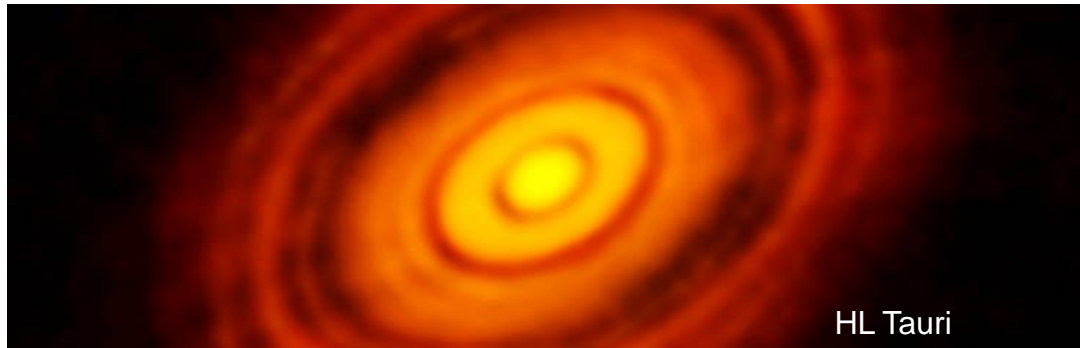
Protohvězdy s disky

- 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

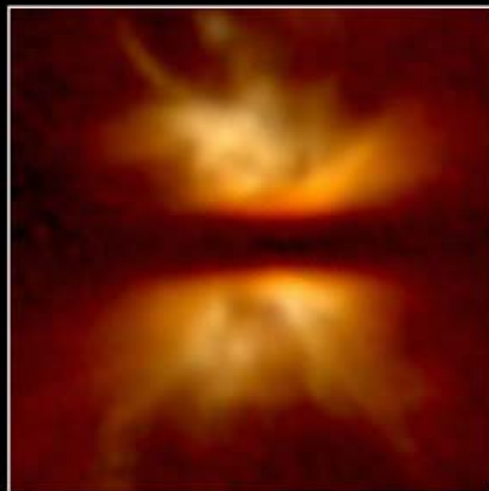
(část je odvanuta z okolí hvězdy později po zapálení jaderných reakcí)

Výtrysky (jety)

- v polárních oblastech – odklizení přebytečné hmoty a energie



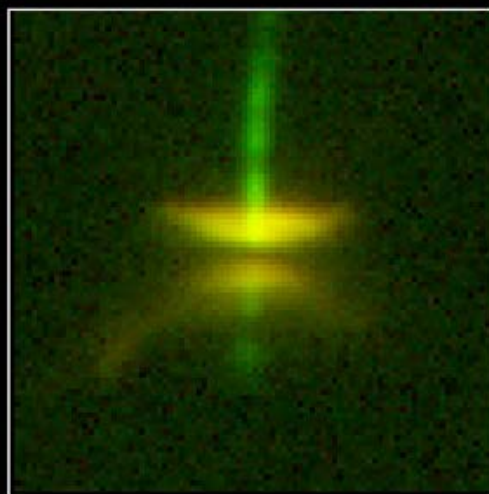
IRAS 04302+2247



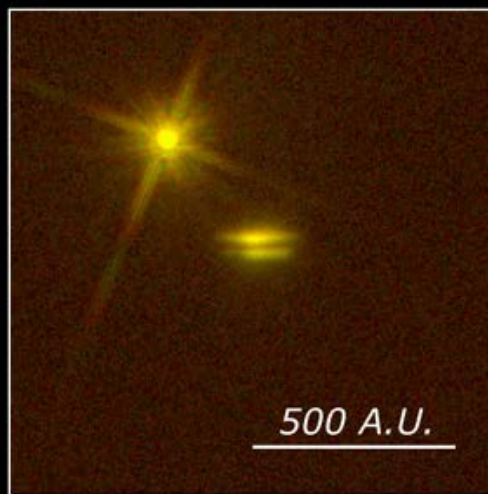
Orion 114-426



NICMOS



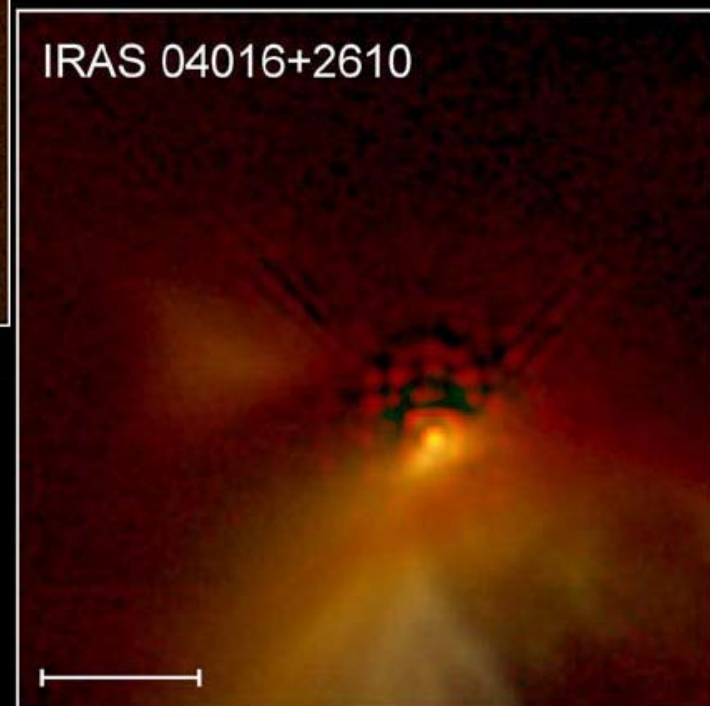
HH 30

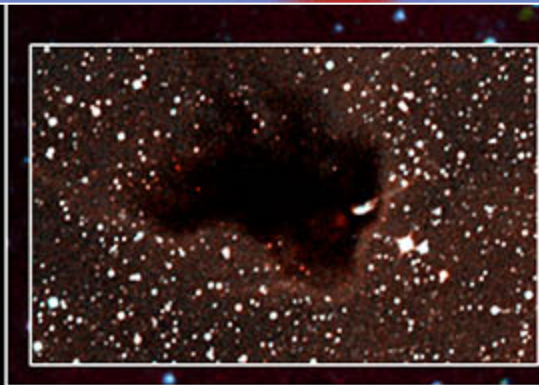
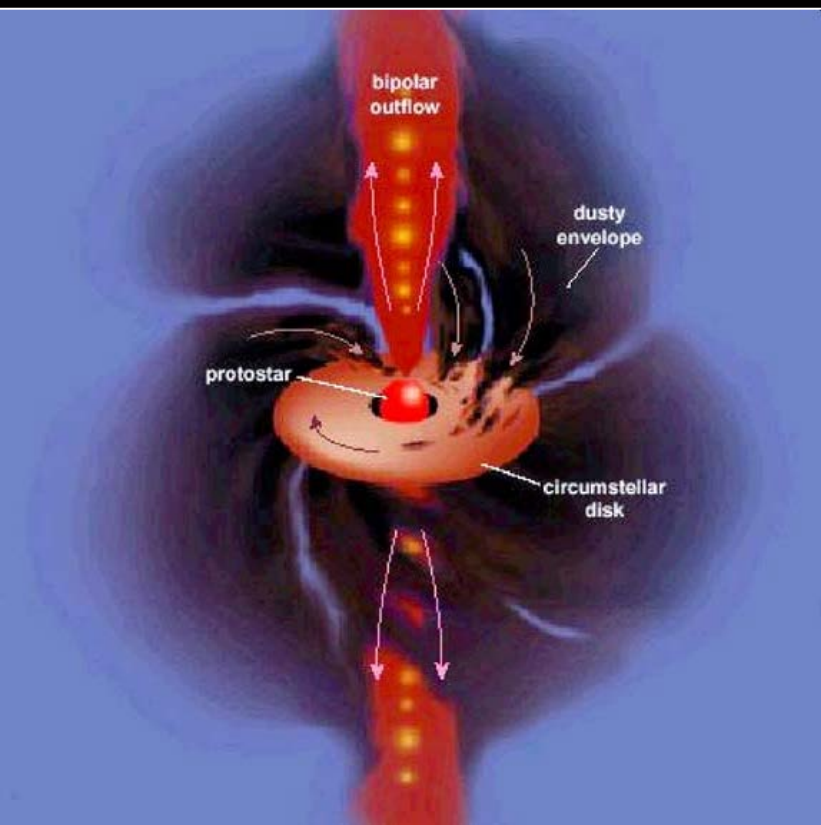


HK Tau/c

WFPC2

IRAS 04016+2610

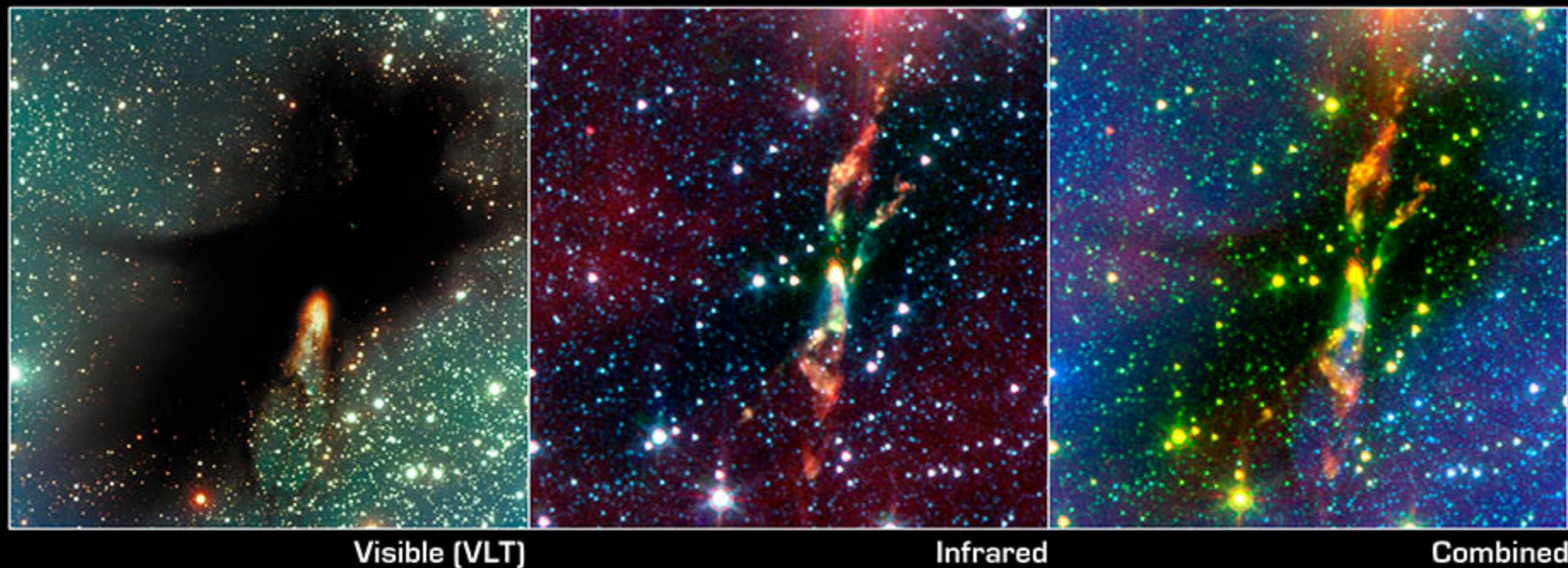




Embedded Outflow in HH 46/47

Spitzer Space Telescope • IRAC

Inset: visible light (DSS)



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

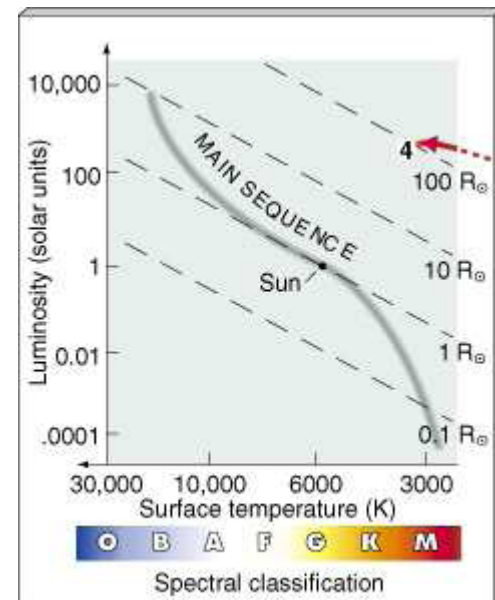
Spitzer Space Telescope • IRAC
sig07-005

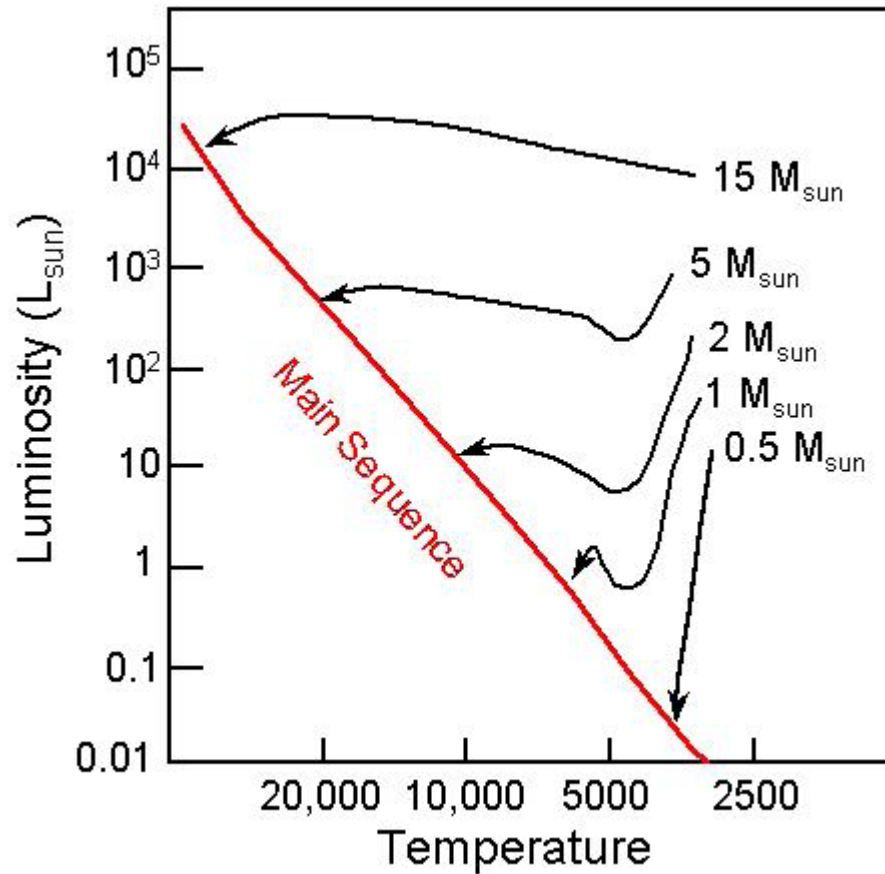
4. Kelvinova-Helmholtzova kontrakční fáze

- 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

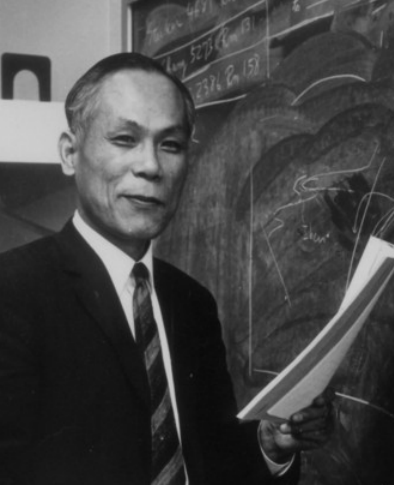
$$\tau_{KH} \approx \frac{GM^2}{RL}$$

- 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



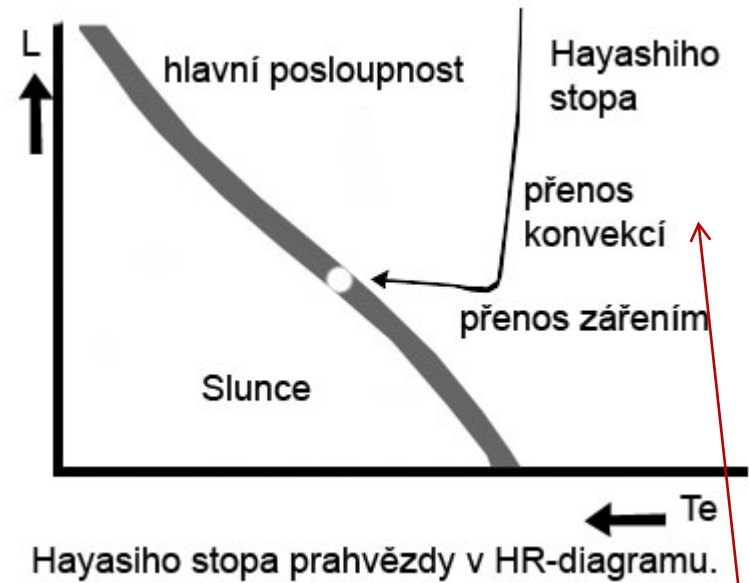


Kelvinova-Helmholtzova časová škála – čas, za který se hvězda v HR diagramu přesune až na hlavní posloupnost

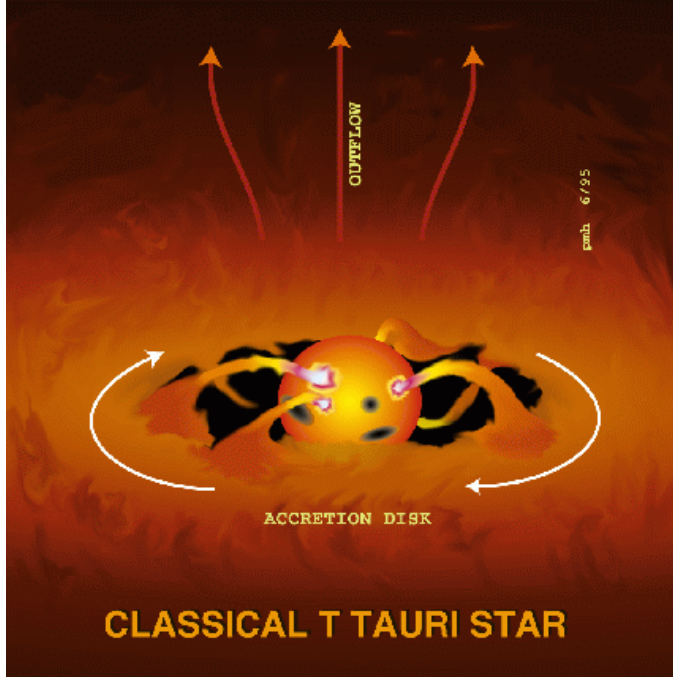


5. Hayashiho stopa

- 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)



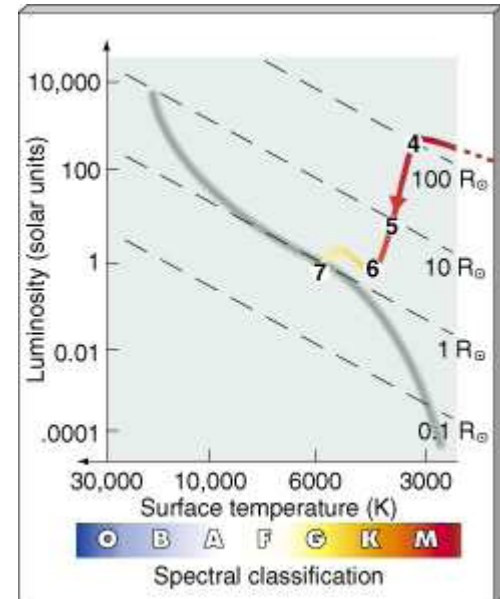
vpravo od Hayashiho linie nemůže existovat stabilní objekt



6. Zrození nové hvězdy

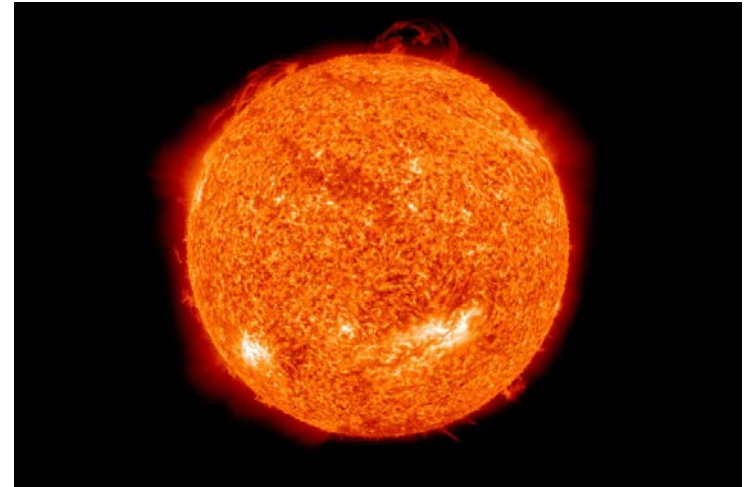
v nitru se zapalují jaderné reakce!

- 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)

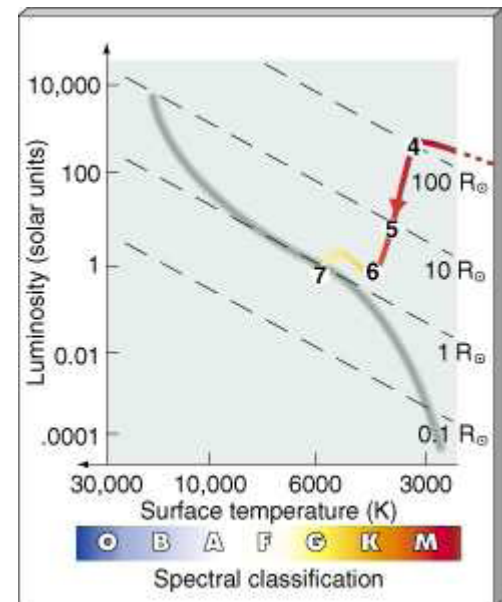


7. Hvězda dosedá na hlavní posloupnost

- teplota v jádru – sluneční
- zářivý výkon - sluneční
- povrchová teplota – cca sluneční
- centrální hustota = 10^{32} částic/m³
- hvězda v hydrostatické rovnováze

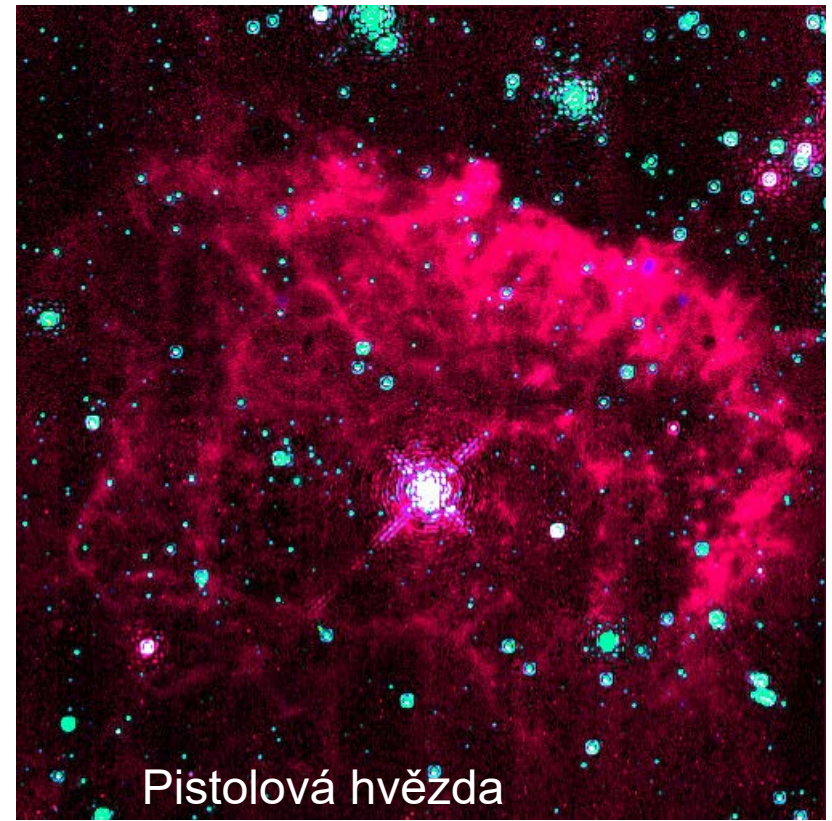
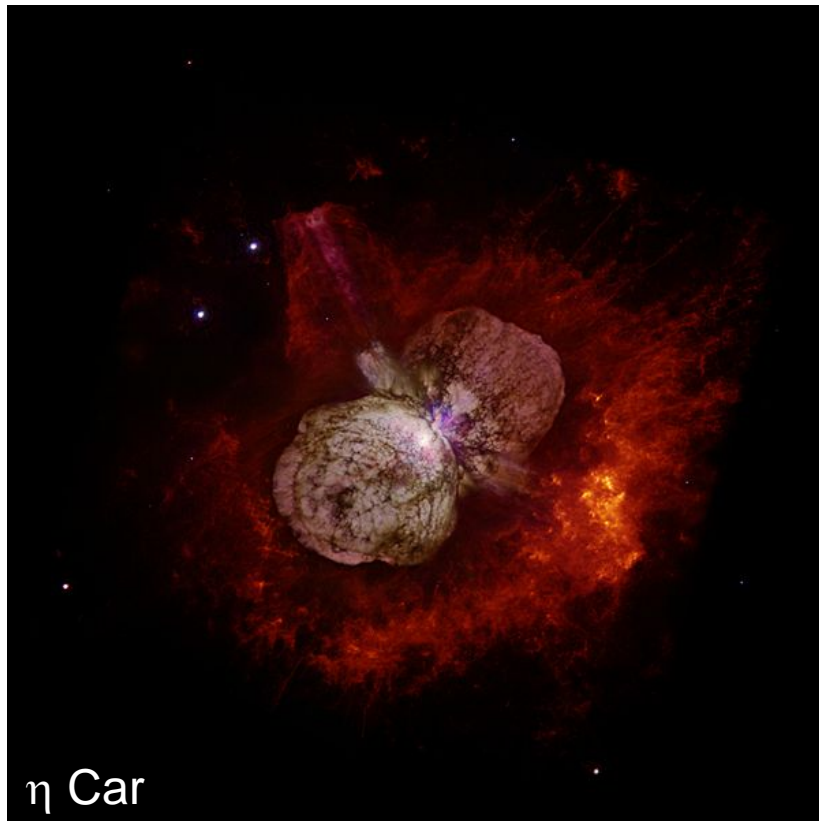


Vývojové etapy 1-7 trvají 40-50 miliónů let z celkové doby života Slunce (10 mld let) méně než 1 %!



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



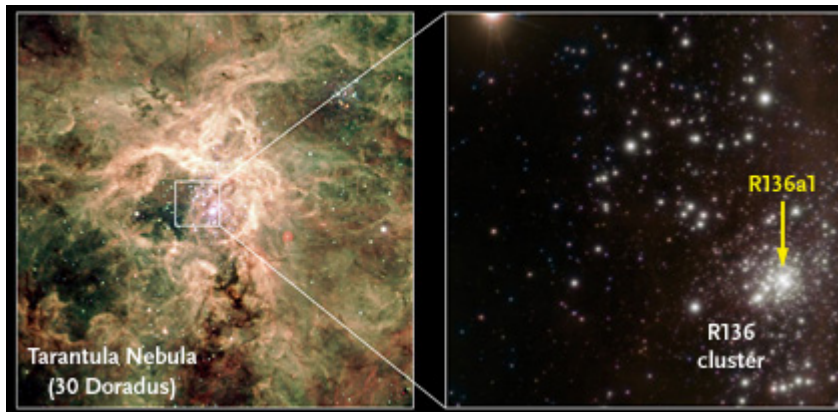
Protohvězdy s nadváhou

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

- nad 100-150 M_{\odot} , jádro příliš žhavé => tlak záření převyší 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



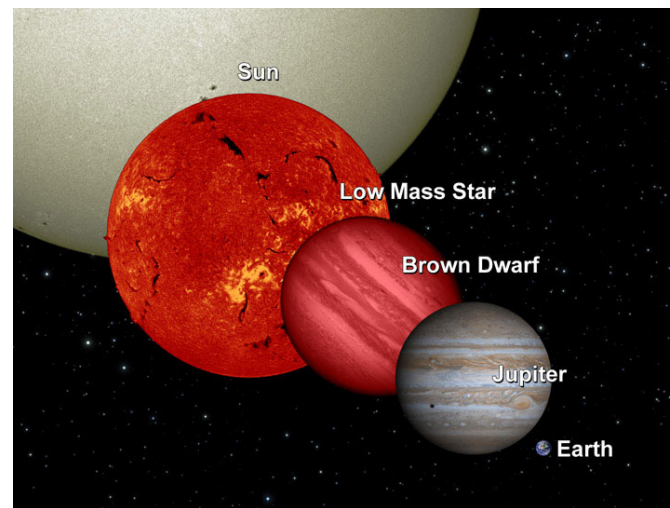
Hvězda	Hmotnost [M_{\odot}]	Výskyt
R136a1	315	LMC
R136c	230	LMC
BAT99-98	226	LMC
R136a2	195	LMC
Melnick42	189	LMC
R136a3	180	LMC
Melnick34	179	LMC
eta Car A	~120-200	Galaxie
HD15558 A	>152±51	Galaxie

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

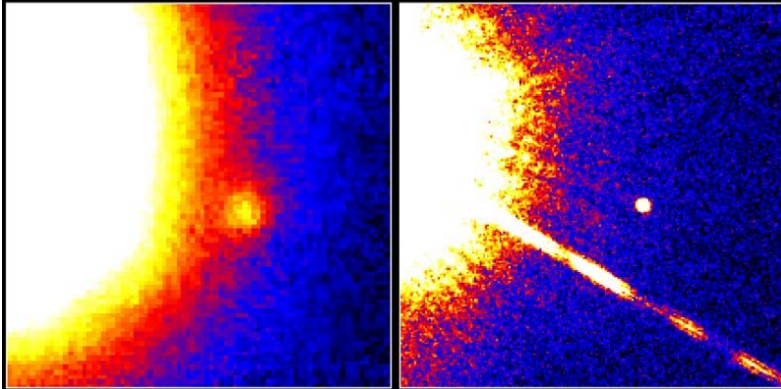
Objekty pod míru

- **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

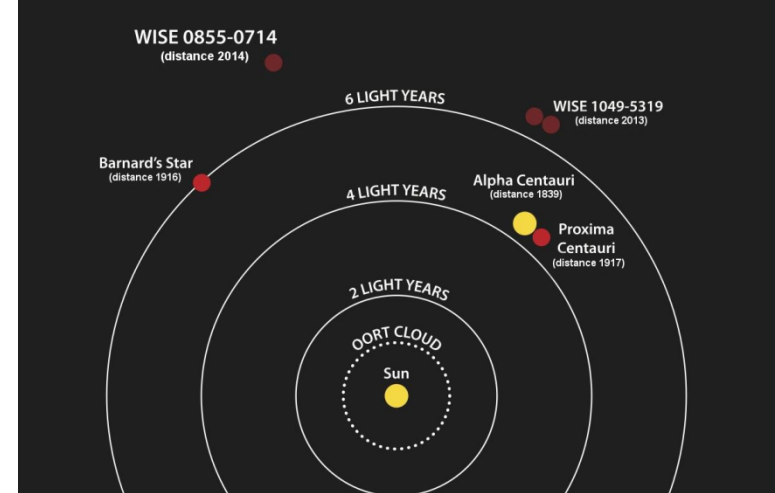


Palomar Observatory
Discovery Image
October 27, 1994

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°C

2016 – 3 soustavy s planetami kolem HT

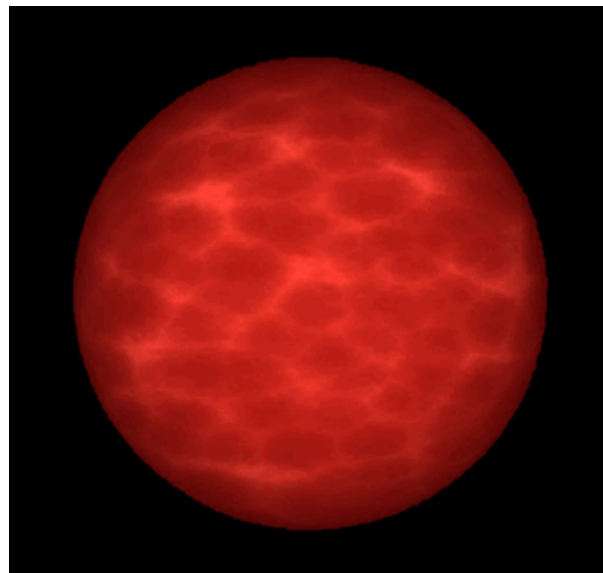
existují hnědí trpaslíci s planetami i volně plující HT



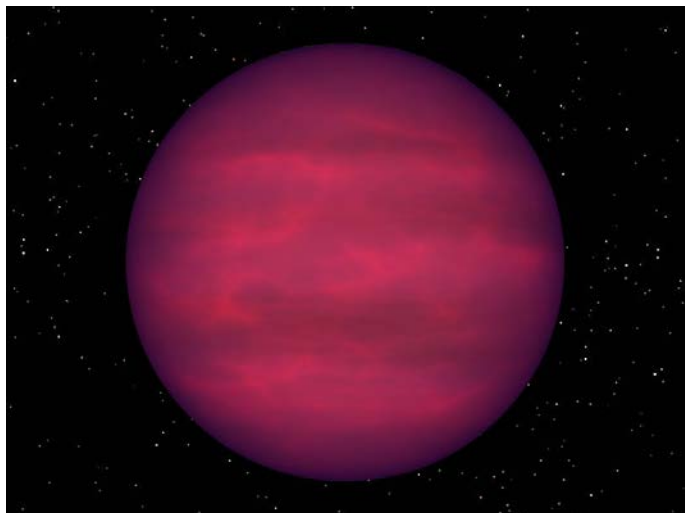
Typologie hnědých trpaslíků



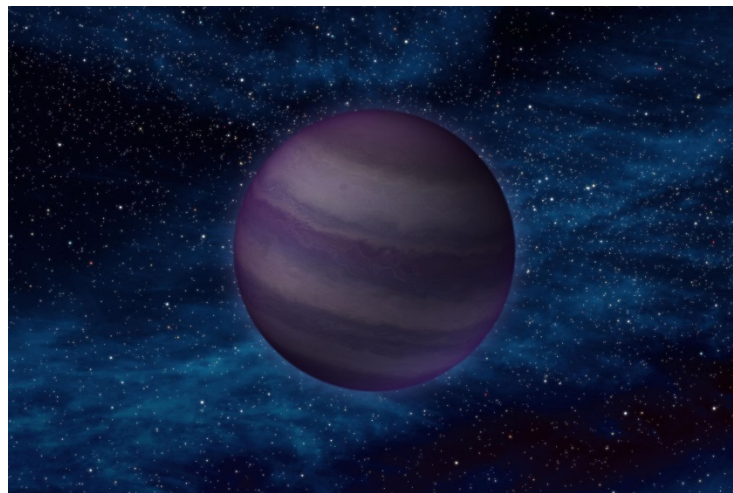
typ M



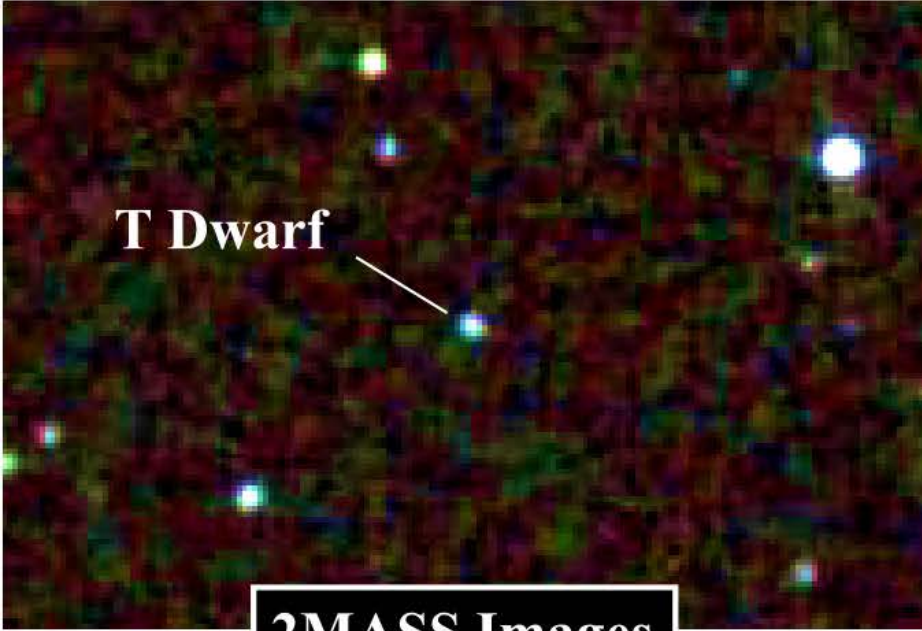
typ L



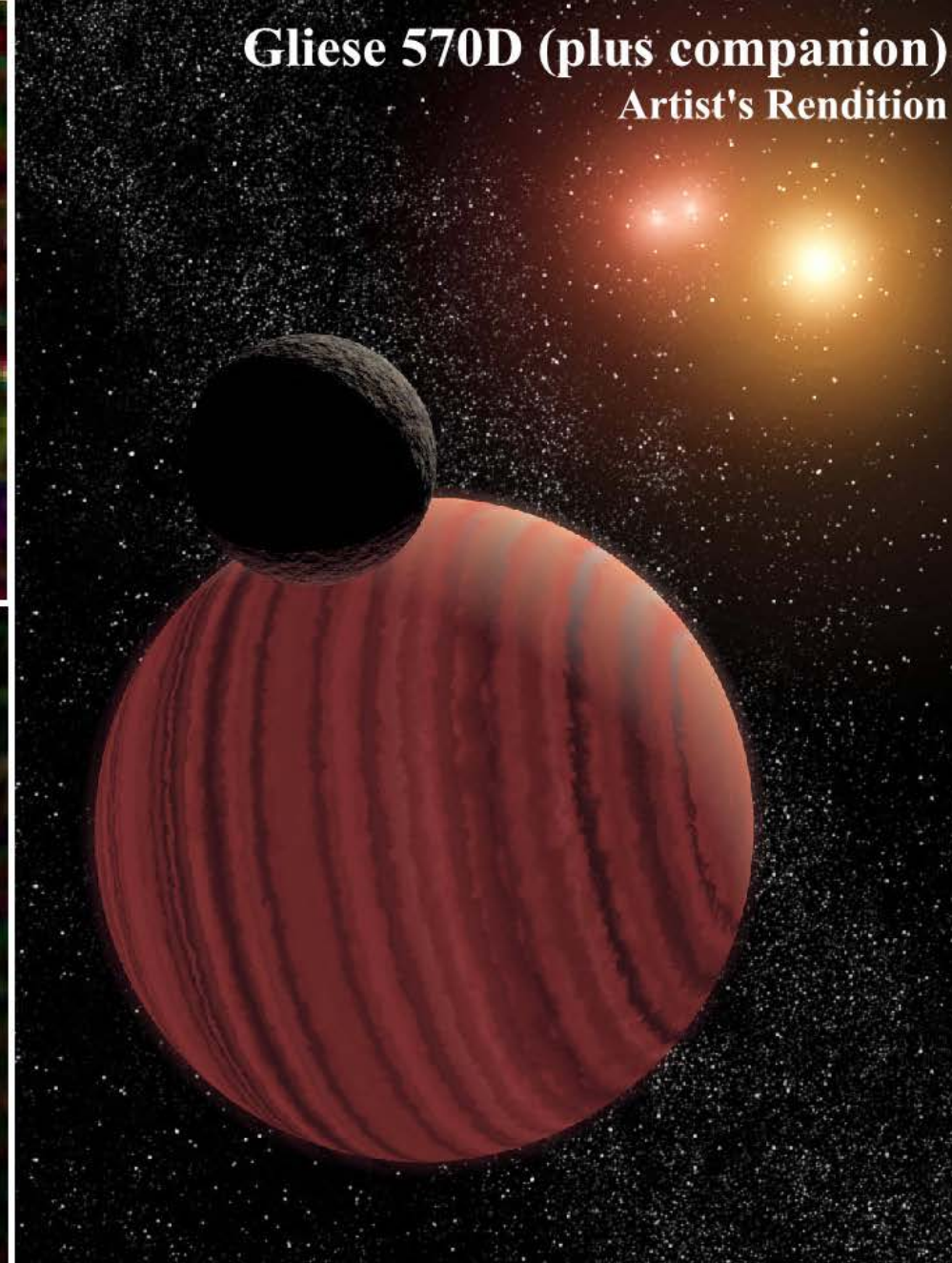
typ T



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