



# Universum nu

## 6. Stjärnor I

Universum nu, 23.2 2024 TH



## 6. Stjärnor

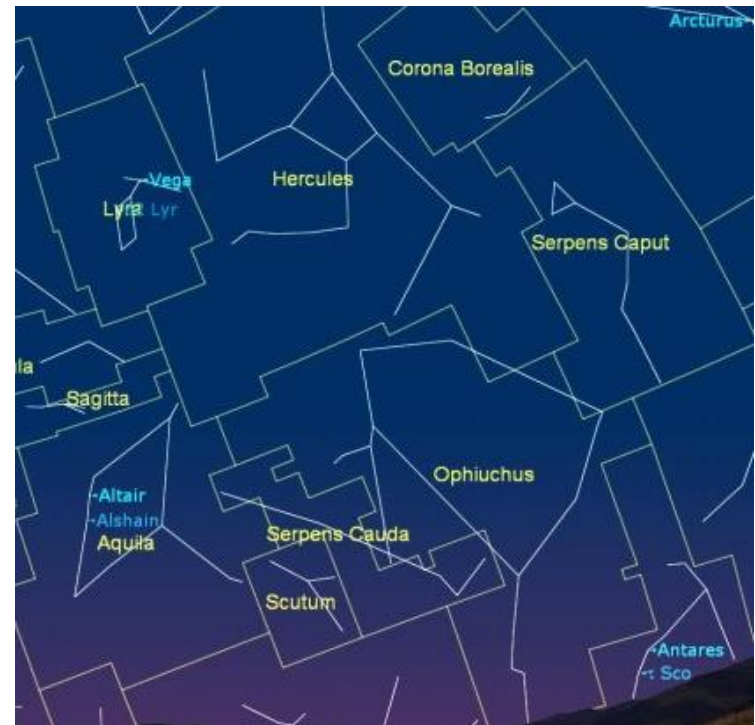
- Stjärnor är självlysande gasklot.
- Hög temperatur => gasen i form av plasma.
- Energiproduktion i allmänhet genom kärnreaktioner (*fusion*).
- Största delen av ljuset från universum kommer från stjärnor.
- Under ideala omständigheter kan man se upp till 5000 stjärnor med blotta ögat.





## 6.1 Namngivning av stjärnor

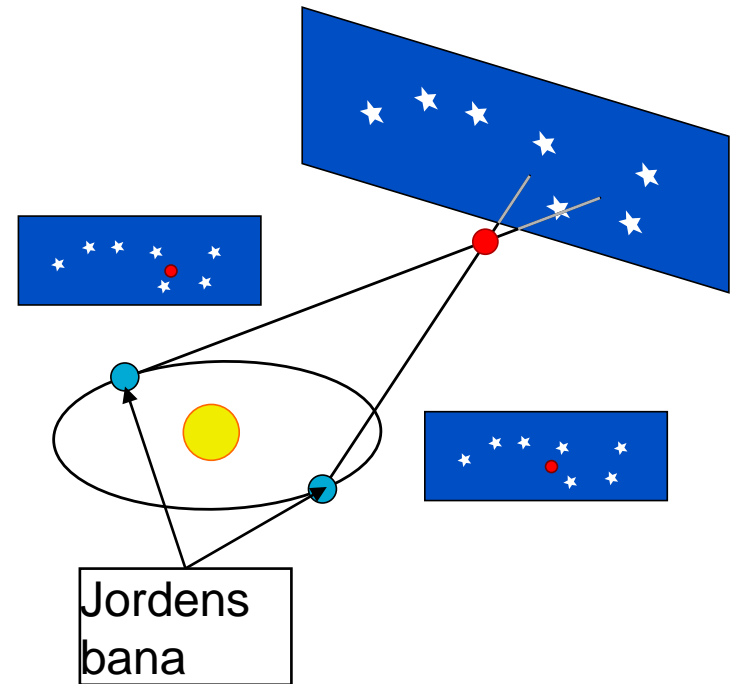
- De ljusstarkaste stjärnorna har egna historiska namn.
- Himmelsfären är indelad i 88 *konstellationer* eller *stjärnbilder*.
  - Konstellationens starkast lysande stjärnor: Grekisk bokstav, t.ex.  $\alpha$  *Ursae Minoris* (UMi) är den ljusstarkaste stjärnan i Lilla björnen.
  - Svagare stjärnor: Ex. *51 Peg.*
- Namn enligt kataloger: Ex. **HR1099 = HD 22468 = V711 Tau**





## 6.2 Avstånd till stjärnor

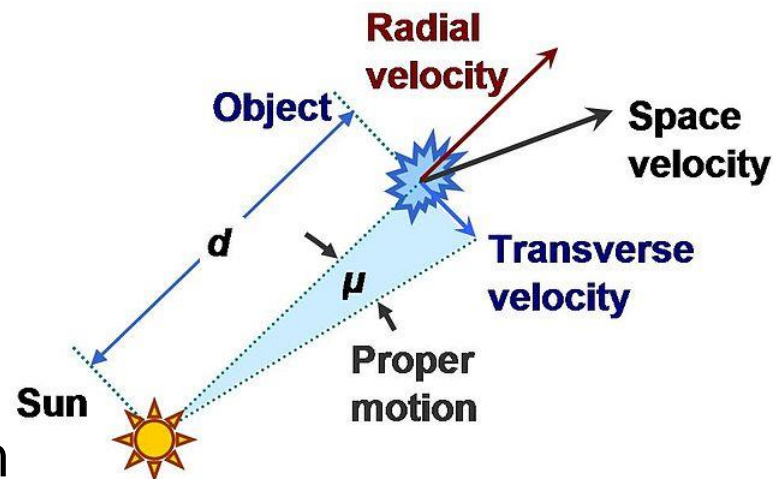
- Avståndet till nära stjärnor  $\leq$  trigonometrisk parallax.
  - Positionen mäts i förhållande till avlägsna objekt med halvårs mellanrum.
  - Med satelliter: Hipparcos (1989-1993)  $\rightarrow$  hundra pc avstånd; Gaia  $\rightarrow$  10 000 pc.
- Metoder för längre avstånd:  
*dynamisk parallax, standardljus, kosmologisk rödförskjutning.*





## 6.3 Stjärnors rörelse

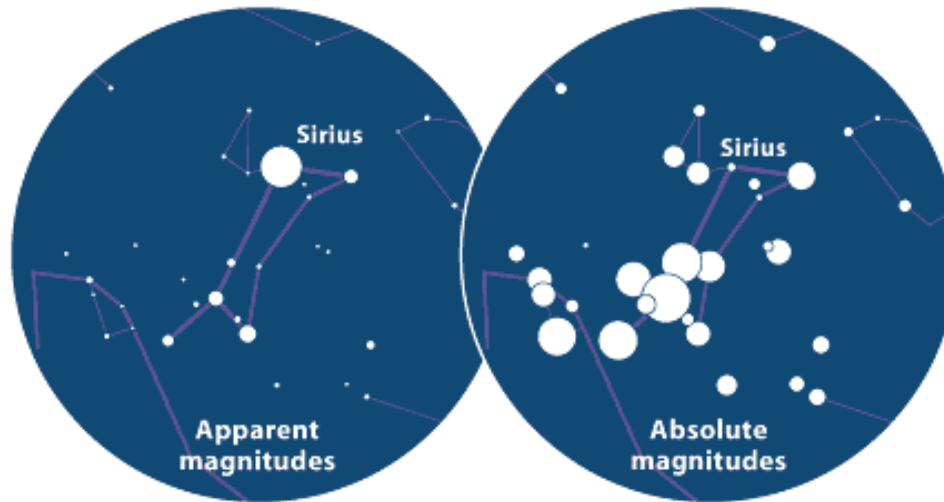
- Stjärnors tangentialhastighet syns som *egenrörelse*.
  - Typiskt max. några bågsekunder per år.
- Stjärnors radialhastighet mäts genom dopplershiftning av spektrallinjer:
  - Kortare våglängder om stjärnan rör sig mot oss (*blåförskjutning*).
  - Längre våglängder om stjärnan rör sig bort från oss (*rödförskjutning*).



Barnards stjärna har stor egenrörelse



## 6.4. Stjärnors ljusstyrka: Magnituder

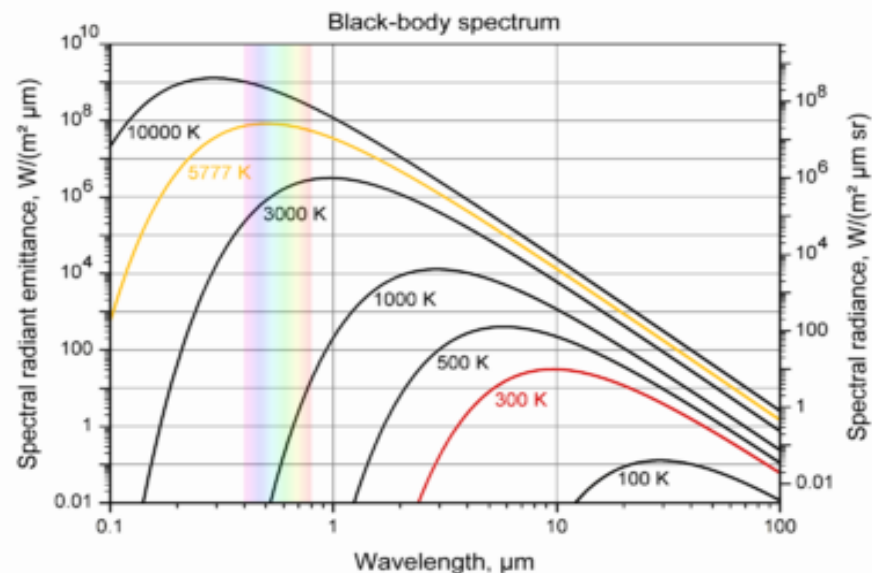
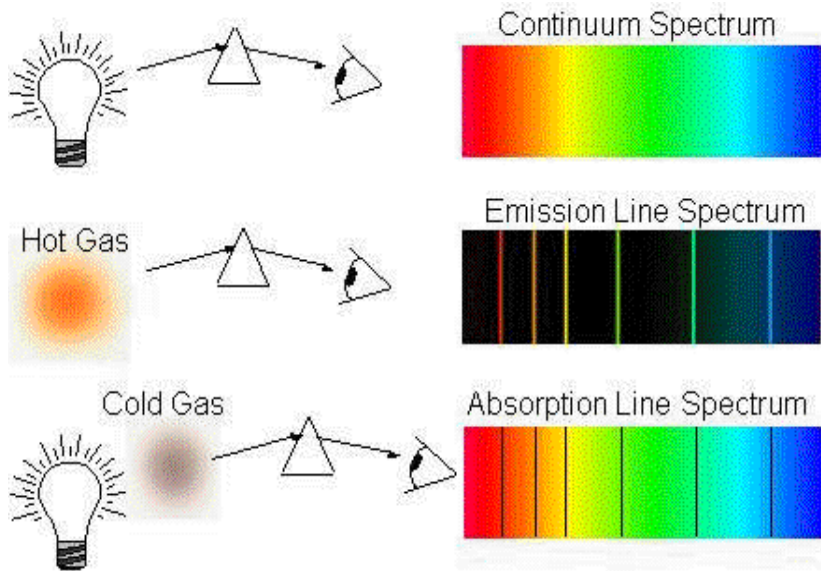
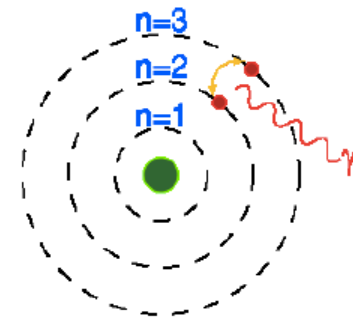


- *Skenbar (= apparent)* magnitud: hur stjärnan uppfattas från Jorden.
- *Absolut* magnitud: Skenbar magnitud som stjärnan skulle ha på 10 pc avstånd:
  - Solen har en absolut magnitud på 4.8, Sirius 1.4 och *Rigel* -7.8.



# Elektromagnetisk strålning (repetition)

- Spektrum = hur strålningen fördelas på olika våglängder.
- Linjer (absorption och emission): uppkommer vid atomers energiovergångar => "fingeravtryck" för olika grundämnen.
- Kontinuum: svartkroppstrålning beror på temperaturen.

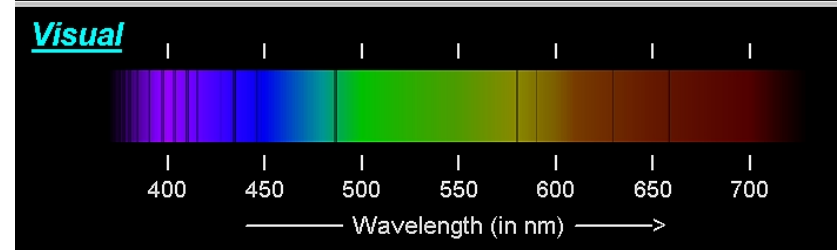
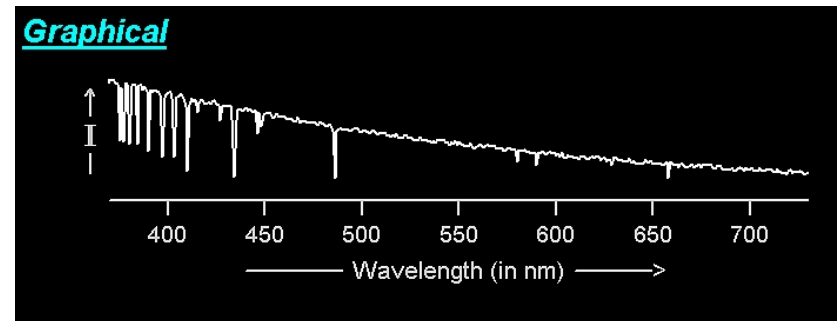
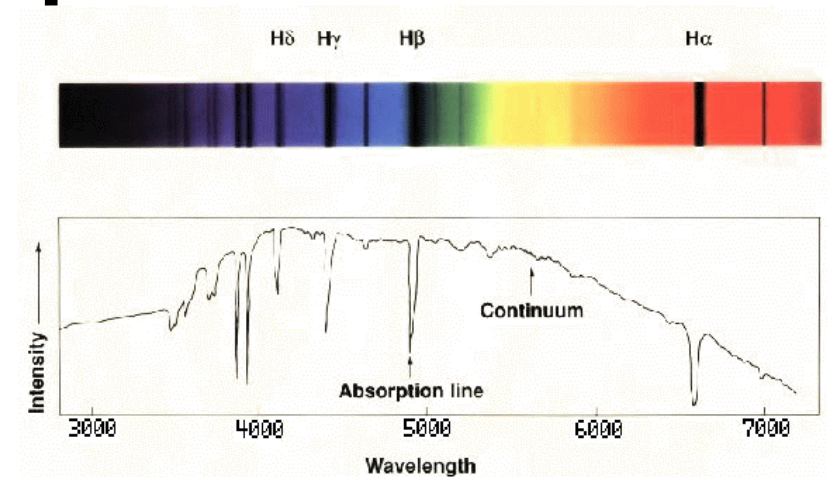






## 6.5 Stjärnors spektra

- Största delen av den information vi har om stjärnor: Genom att studera deras *spektra*.
- Synliga ljuset härstammar från stjärnans yta:
  - Strålningstoppens våglängd berättar vilken färg stjärnan  $\Leftrightarrow$  stjärnans temperatur.
  - Absorptionslinjerna  $\Leftrightarrow$  kemiska sammansättningen.







## 6.5.1 Spektralklasser

- Harvardklassifikationen: enligt temperatur/färg:
  - Klasserna indelas i underklasser 0-9.
  - Även speciella klasser för t.ex. kemiskt avvikande stjärnor och bruna dvärgar.

klass	eff. temperatur (K)	färg	framträdande spektrallinjer
O	30000 - 50000	blåviolett	HeI, HeII
B	10000 - 30000	blåvit	HeI, HI
A	7500 - 10000	vit	HI, CaII
F	6000 - 7500	gulvit	CaII, FeI
G	5000 - 6000	gul	CaII, metaller
K	3500 - 5000	orange	neutr. metaller
M	2500 - 3500	röd	TiO

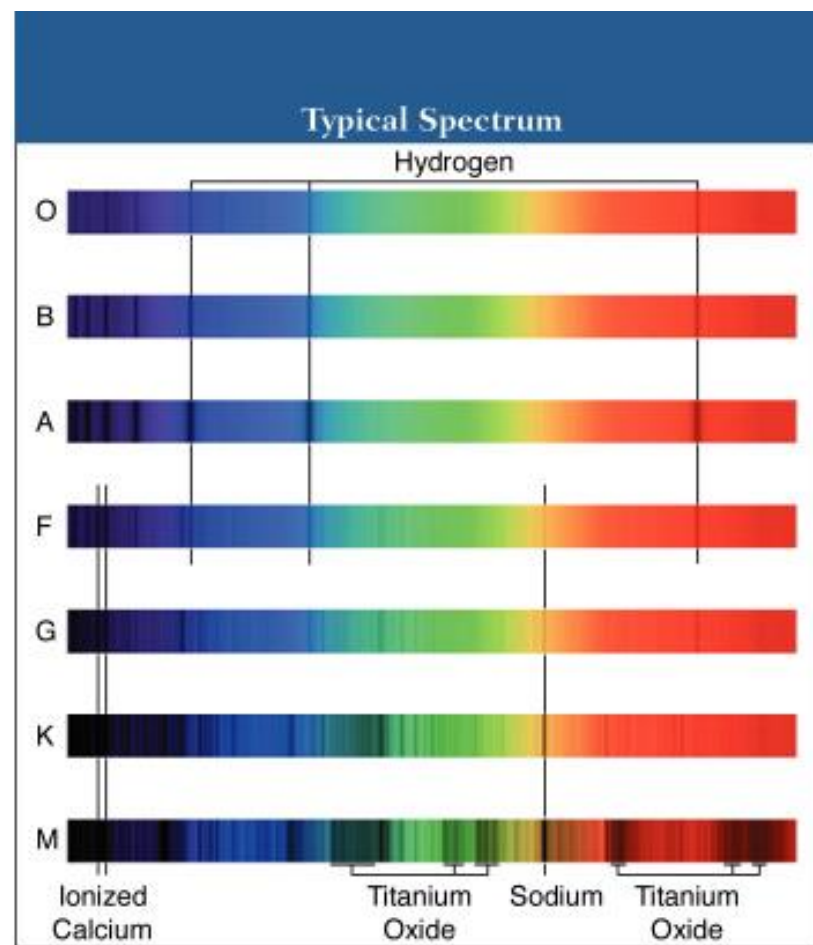
Ramsa för att minnas spektralklasserna:

*Oh Be A Fine Girl/Guy, Kiss Me!*



## 6.5.2 Stjärnors absorptionsspektra

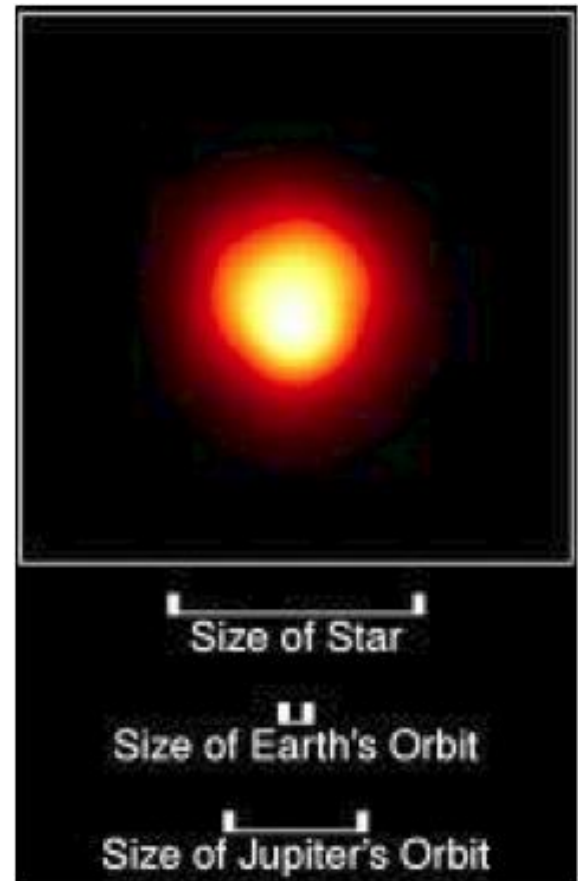
- Spektralanalys  $\Leftrightarrow$  stjärnors kemiska sammansättning.
- I allmänhet:
  - $\frac{3}{4}$  väte.
  - $\frac{1}{4}$  helium.
  - Halten av tyngre grundämnen (=”metaller”) varierar, högst några %.





## 6.5.3 Luminositetsklasser

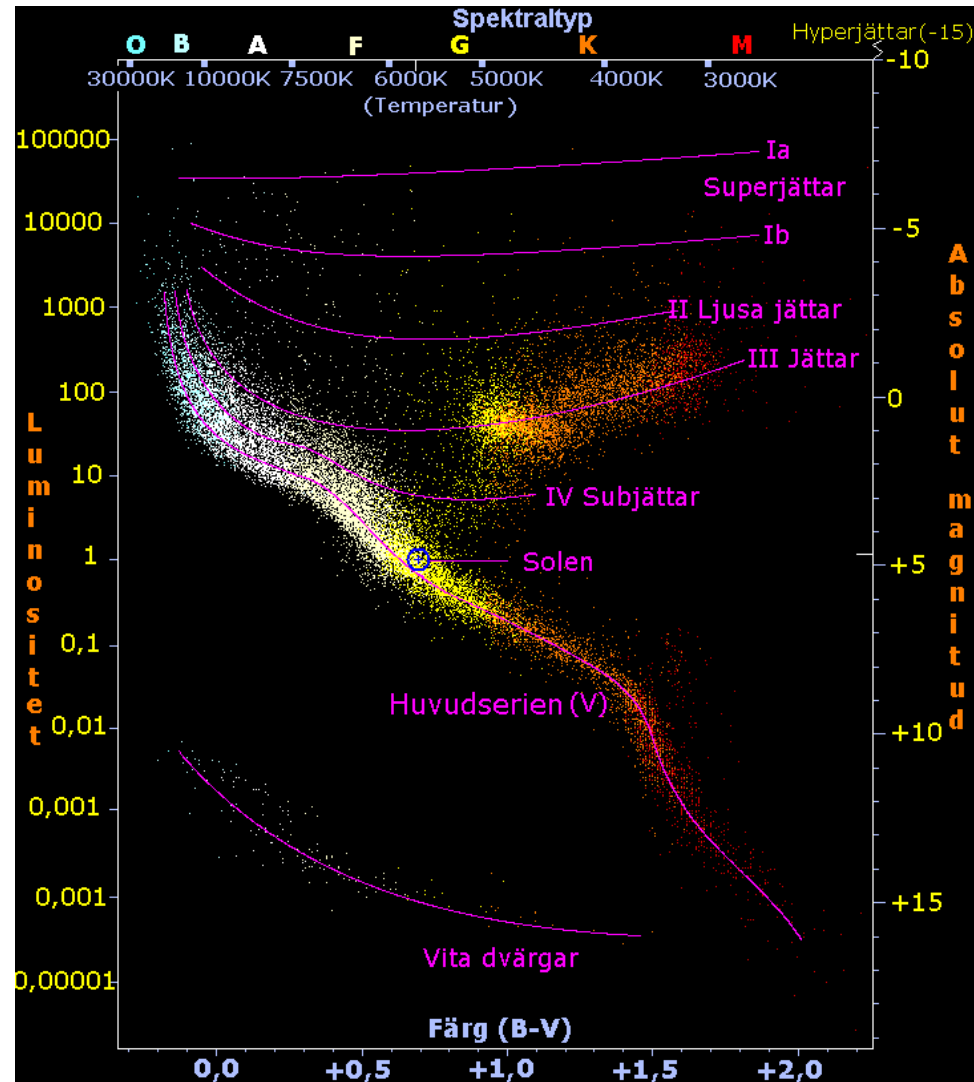
- Yerkes-klassifikationen: enligt ljusstyrka (luminositet):
  - Ia ljusstarkaste superjättar
  - Ib ljussvagare superjättar
  - II ljusstarka jättar
  - III normala jättar
  - IV underjättar
  - V huvudserien (dvärgar)
  - VI subdvärgar
- Exempel: Solen G2V, *Betelgeuse* M2Ia.





## 6.5.4 HR-diagram

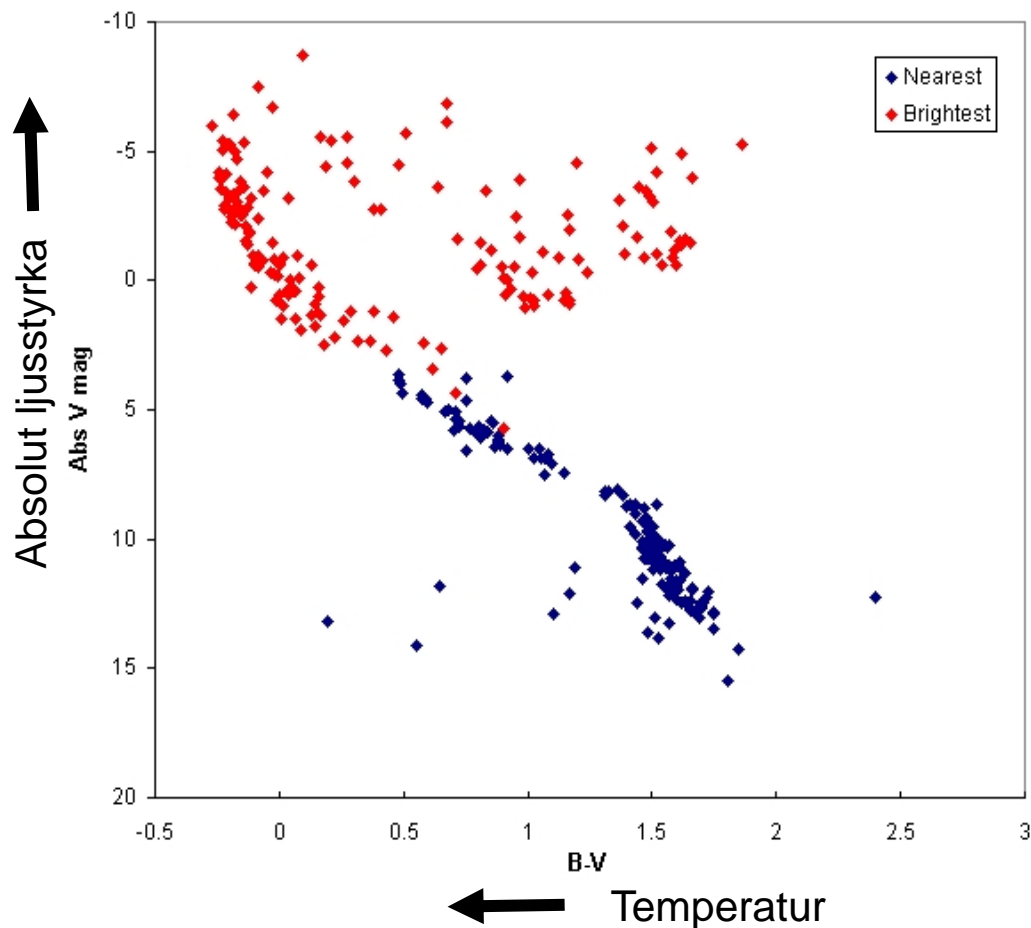
- Hertzsprung-Russell diagram:
  - X-axeln: temperatur eller färg.
  - Y-axeln: ljusstyrka (luminositet eller absolut magnitud).
- Största delen av stjärnorna koncentrerade till bestämda områden:
  - *Huvudserien*
  - *Jättar*
  - *Vita dvärgar*





# Uppgift: HR-diagram

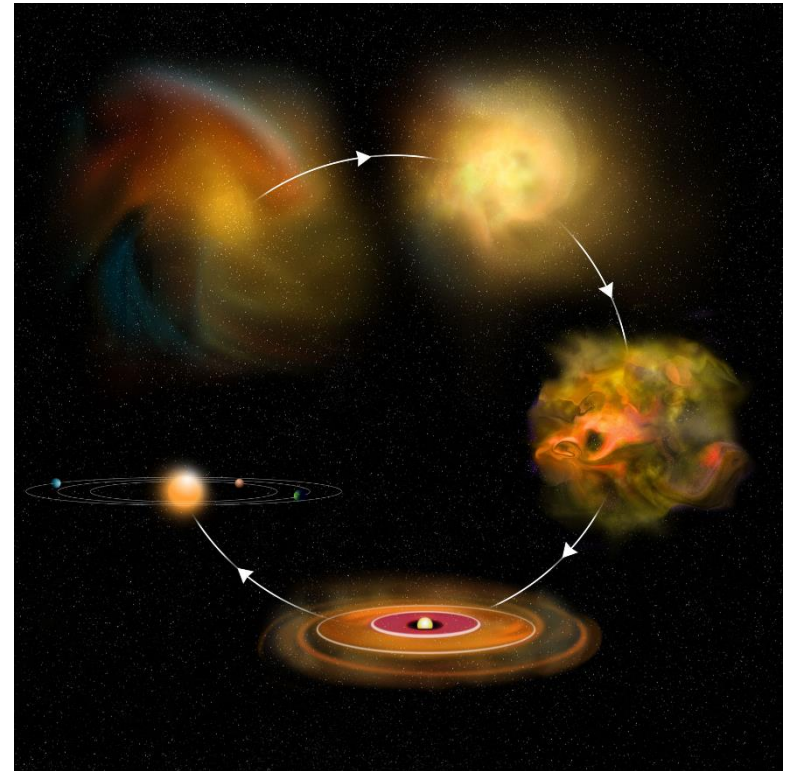
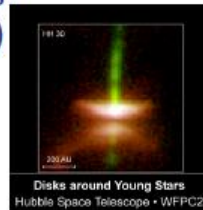
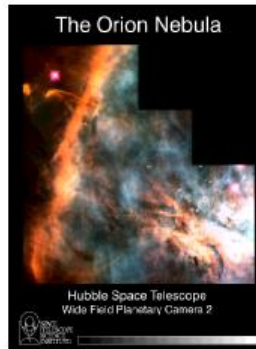
- Bilden visar HR-diagram för de stjärnor som är närmast solen (blått) och de som ser ljusstarkast ut från jorden (rött):
  - Hur skiljer sig grupperna?
  - Varför finns det så många stjärnor som är nära, men inte syns med blotta ögat?





## 6.6 Stjärnbildning

- Stjärnor uppkommer i de kalla inre delarna av interstellära moln. (Jmf. solsystemets uppkomst.) Gravitationen gör att molnet drar ihop sig.
- Ofta uppkommer stjärnor i grupper där ett stort interstellärt moln fragmenteras till olika stjärnsystem.
- Stjärnor förekommer ofta som dubbelstjärnor (och trippelstjärnor osv.). Två eller flera stjärnor bildas av samma molnfragment.
- När fragmentet blir tillräckligt tätt, kan (den gravitationella) energin inte stråla ut helt  $\Rightarrow$  temperaturen stiger  $\Rightarrow$  en protostjärna uppkommer.



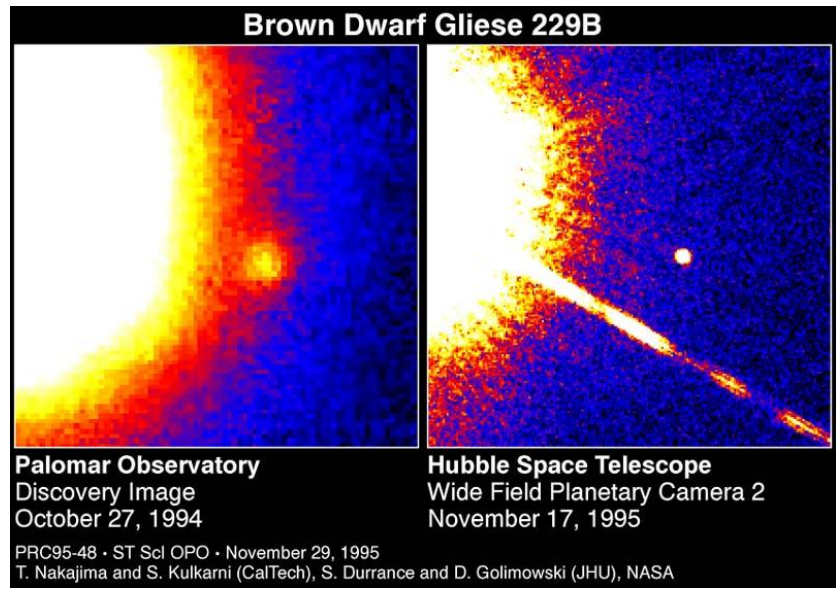
I Vintergatan föds det för tillfället i medeltal 2-3 stjärnor per år



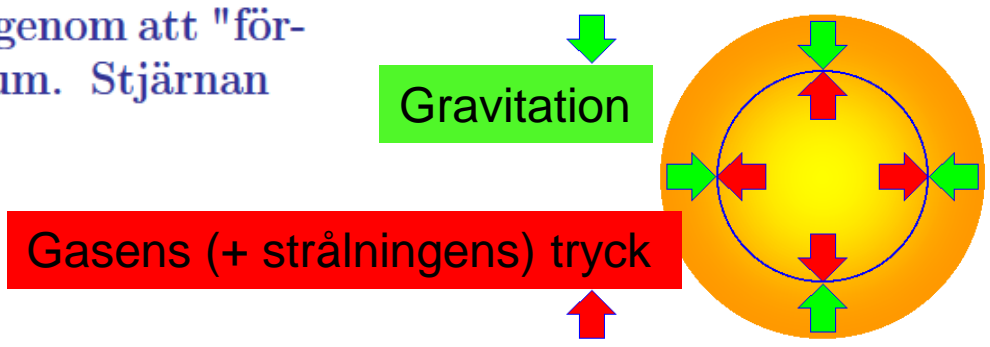


# 6.7 Gränser för massan

- När temperaturen blir tillräckligt hög  $\Rightarrow$  kärnreaktionerna startar. För att detta skall ske måste stjärnan ha en massa av minst  $0.08M_{\odot}$  ( $M_{\odot}$  = solens massa).  $M < 0.08M_{\odot} \Rightarrow$  brun dvärg.  
 $M > 100M_{\odot} \Rightarrow$  stjärnan instabil och förstörs av strålningstrycket.
- När stjärnan har stabiliserat sig inleds *huvudseriefasen*: Stjärnan producerar energi främst genom att "förbränna" väte till helium. Stjärnan är i jämvikt.



## Hydrostatisk jämvikt

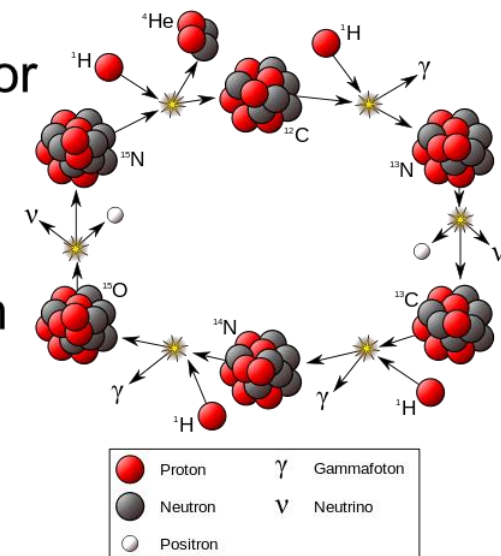
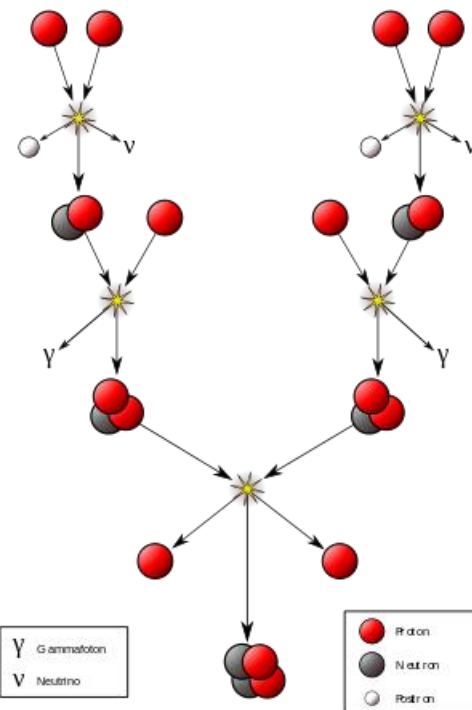






# 6.8 Huvudseriefasen

- Stjärnornas "normala" tillstånd
- Klart samband mellan ljusstyrkan, massan och temperaturen:
  - $L \propto M^3$
- Energin produceras genom fusion av väte till helium (kräver  $T > 4$  milj. K)
  - Proton-protonkedjan för mindre stjärnor
  - CNO-cykeln (kol-kväve-syre) för massivare stjärnor
  - Fyra protoner väger något mera än en heliumatom => skillnaden blir energi

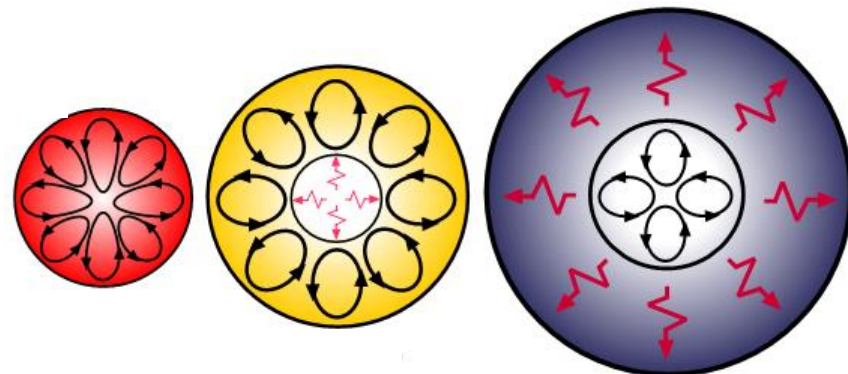


$$E = mc^2$$



# 6.8.1 Stjärnors struktur under huvudseriefasen

- $M < 0.3 M_{\odot}$ 
  - energiproduktionen: fusion H  $\rightarrow$  He genom proton-proton cykeln
  - hela stjärnan är konvektiv
- $0.3 M_{\odot} < M < 1.5 M_{\odot}$ 
  - energiproduktionen: fusion H  $\rightarrow$  He genom proton-proton cykeln
  - stjärnans inre radiativ, yttre konvektiv
  - $M > 1.1 M_{\odot} \Rightarrow$  konvektiv kärna
- $M > 1.5 M_{\odot}$ 
  - energiproduktionen: fusion H  $\rightarrow$  He genom kol-kväve-syre cykeln, effektivare än pp-cykeln men kräver högre temperatur
  - stjärnans inre är konvektiv och yttre delen radiativ



- Ju större en stjärna är desto kortare tid i huvudseriefasen, dvs. kortare "livstid"
  - En stjärna av spektralklassen O: Ca 5 miljoner år
  - Solen är i huvudserien ca 10 miljarder år
  - En M-dvärgstjärna: Ca 100 miljarder år.