

Översiktskurs i astronomi

Lektion 9: Stjärnors födelse och död



Upplägg

- Det interstellära mediet
 - Emissionsnebulosor
 - Reflektionsnebulosor
 - Mörka nebulosor
 - Stoft
 - Neutralt väte
 - Molekyler
- Stjärnbildning
- Stjärnors slutstadier
 - Vita dvärgar
 - Supernovor
 - Neutronstjärnor
 - Svarta hål
- Det kosmiska kretsloppet

Vad består det interstellära mediet av?

- Gas (ca 99%)
Mest väte (~65—75%) & Helium (~25—35%), samt ett par procent "metaller".

Uppträder i form av:

- Atomer
- Molekyler
- Joner & elektroner



Gas

Vad består det interstellära mediet av?

- Stoft (ca 1%)
 - Fruset H_2O och andra molekyler
 - Silikater
 - Grafter



Stoftslöja

Orionnebulosan i närbild

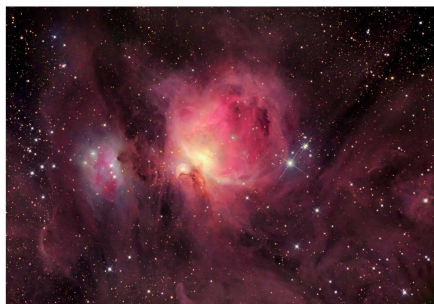


BILD 8:10

Orionnebulosan

Orionnebulosan är vår närmaste emissionsnebulosa, avstånd ca 1 500 ljusår.

Den är också vårt närmaste stjärnbildningsområde.

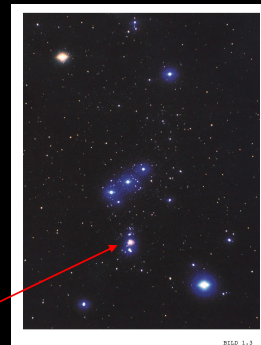
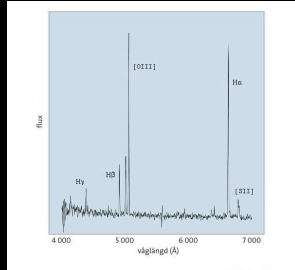


BILD 1:3

Emissionsnebulosor (HII-områden)

Emissionsnebulosor

- Gasmoln bestående av de flesta grundämnen (men mest väte).
- Exciteras och joniseras av heta ($T_{\text{eff}} \geq 30\,000\text{ K}$) stjärnor som får gasen att lysa.
- Kallas även HII-områden
 HI = Neutralt väte
 HII = Joniserat väte



Reflektionsnebulosor

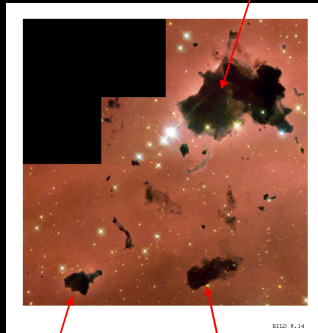
Reflektionsnebulosor

- Ljuset från stjärnorna reflekteras av stoftet mellan dem.
- Stoftkornens storlek motsvarar ungefär våglängden för visuellt ljus och det kortvågigare blå ljuset sprids mer än det röda, vilket är orsaken till att reflektionsnebulosor ser blå ut (ett fenomen liknande det som ger himlen dess blå färg).

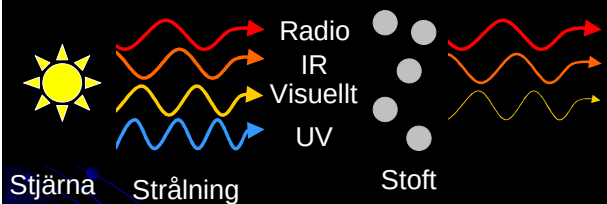


Mörka nebulosor

- Består av mycket täta stoftmoln
- Utsläcker ljuset från bakomliggande ljuskällor
- Är idealiska för stjärnbildning



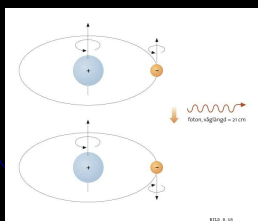
Stoftextinktion är våglängdsberoende



IR- och radiostrålning påverkas mindre av stoft än vad visuellt/UV-strålning gör

Neutrale vätgasmoln (HI-moln)

- När en övergång till det lägre energitillståndet sker kommer energiskillnaden ut i form av en foton vid våglängden 21 cm.
- Det tar i genomsnitt 11 miljoner år för en elektron att, spontant, byta riktning.



Molekyler

- T.ex. H_2 , CO , samt mer komplicerade molekyler som $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ (etanol).
- Observeras ofta i radioområdet.
- Nya, mer komplicerade, molekylära föreningar hittas med jämna mellanrum i universum.

Var föds stjärnor?



Carinanebulosan – ett typiskt stjärnbildningsområde (avstånd ca 8000 ljusår)

Villkor för stjärnbildning

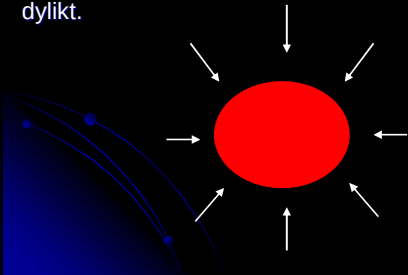
Både observationer och modellberäkningar visar att stjärnor bildas ur mörka, kompakta molekylnmoln när dessa (eller delar av dessa) drar sig samman under sin egen gravitation.



Trifidnebulosan uppvisar alla tre typerna av nebulosor; emission, reflektion och mörk.

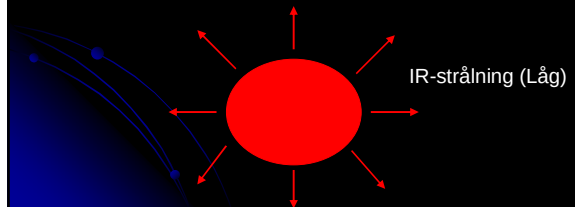
Stjärnbildning i fem steg

1. Ett långsamt roterande molnfragment börjar kontrahera, t.ex. som följd av någon yttre påverkan som en chockvåg från en supernovaexplosion eller dylikt.



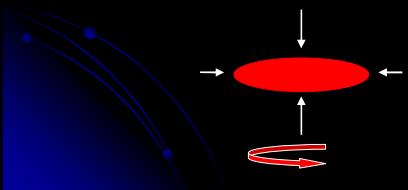
Stjärnbildning i fem steg

På ca. 500 000 år byggs en massa av $1M_{\odot}$ upp om temperaturen i molnet är $T \sim 10K$. Under detta tidiga skede är molnet genomskinlig för infraröd (IR) strålning och T stiger därför inte.



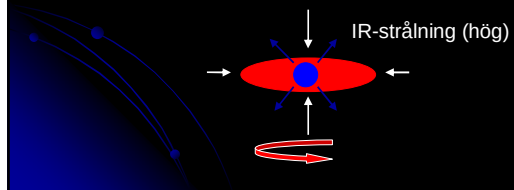
Stjärnbildning i fem steg

2. Rotationen motverkar infallet, mest i ekvatorsplanet, och klumpen börjar plattas av. En s.k. ansamlingsskiva av gas och stoft bildas. För en massa av $1M_{\odot}$ har den en radie av ca. 400 A.E.



Stjärnbildning i fem steg

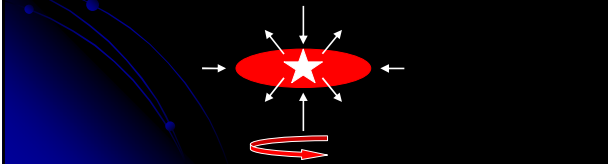
3. När massan i den centrala delen har vuxit till ca. $0.01 M_{\odot}$ börjar gasen där bli ogenomskinlig även för IR-strålningen och T i centrum börjar stiga. Objektet kan nu ses som en IR-källa och vi har fått en protostjärna.



Stjärnbildning i fem steg

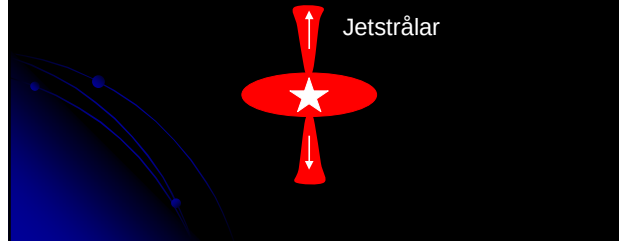
4. Efter hand stiger temperaturen i centrum till så höga värden att spontana termonukleära reaktioner kan starta (vid 4-5 miljoner K).

Protostjärnan har nu blivit en "pre-main-sequence"-stjärna, d.v.s. en stjärna som ännu inte kontraherat ner till huvudserien i HR-diagrammet.



Stjärnbildning i fem steg

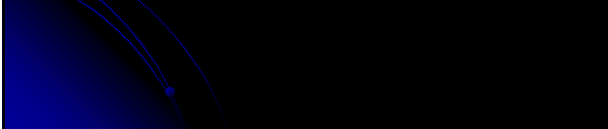
En kraftig vind börjar nu blåsa ut från stjärnan. Enligt en modell kanaliseras den längs med ansamlingsskivans magnetfältslinjer och infallet upphör nu successivt.



Stjärnbildning i fem steg

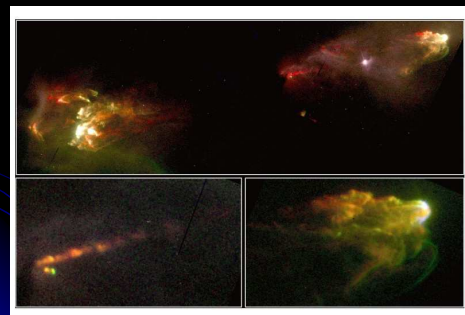
5. Så småningom blåser stjärnvinden hål i det omgivande molnhöljet, där tjockleken är minst. En sådan stjärna kallas T-Tauristjärna om massan är mindre än $2M_{\odot}$.

De kraftiga jetstrålarna ger upphov till s.k. Herbig-Haro objekt när de exciterar och joniserar det interstellära mediet.

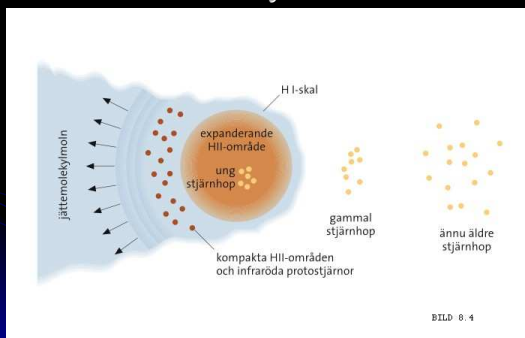


Stjärnbildning i fem steg

Herbig-Haro objekt

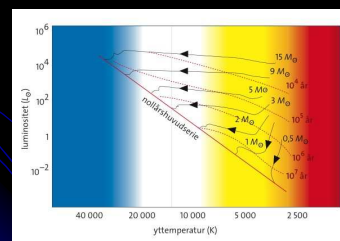


Stjärnbildning fortplantar sig genom ett molekylnoln



Utvecklingen till huvudserien i HR-diagrammet

Under protostjärnestadiet alstras energin nästan enbart av att $E_{\text{grav}} \rightarrow E_{\text{term}}$. Ankomsten till huvudserien (ZAMS=Zero Age Main Sequence, Nollårshuvudserien) markerar tidpunkten då kontraktionen upphör och termonukleära fusionsprocesser startat på allvar i kärnan.



Var stjärnan som markerade Jesus födelse en nyfödd stjärna?

Knappast...

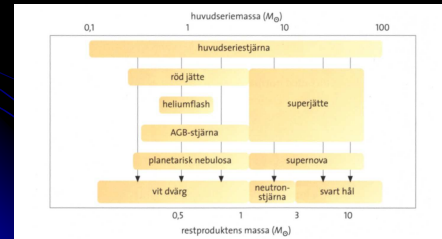
Andra tänkbara förklaringar:

- Uppgradade planeter
- Komet
- Nova
- Supernova

Stjärnors slutstadier

En stjärnas massa avgör dess öde. Möjliga utvecklingsvägar:

- Planetarisk nebulosa → vit dvärg → ev. supernova typ Ia
- Supernova typ II → neutronstjärna
- Supernova typ II → Svart hål



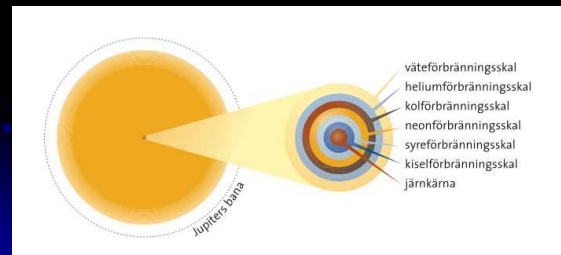
Vita dvärgar

- Förutom den planetariska nebulosan återstår en extremt tät kärna med temperatur $\approx 200\,000\text{K}$ eller till och med högre, som svalnar till svart dvärg efter några tiotals miljarder år.
- Vita dvärgar i dubbelstjärnesystem kan ge upphov till Supernovor typ Ia



Vägen fram till en supernova typ II

Den inre strukturen hos en mer massiv stjärna när vätet börjar ta slut



Utvecklingen för en stjärna med en massa av $25\,M_{\odot}$ på nollårshuvudserien (endast kärnförbränning).

Förbränning av	Huvudserie-massa ($M_{\odot}$)	Kärnans temp (K)	Stadiets längd
Väte	$\geq 0,4$	4×10^7	5×10^6 år
Helium	$\geq 0,4$	2×10^8	5×10^5 år
Kol	≥ 4	6×10^8	500 år
Neon	≥ 8	$1,2 \times 10^9$	1 år
Syre	≥ 15	$1,5 \times 10^9$	5 månader
Kisel	≥ 25	$2,7 \times 10^9$	1 dag
Kärnkollaps	-	$5,4 \times 10^9$	0,25 sek
Kärnstuds	-	$2,3 \times 10^{10}$	0,001 sek
Supernova	-	-	-

Supernovor av typ II

- Föregångaren tros vara massiv superjätte. När temperaturen i kärnan inte räcker till för att fortsätta fusionen kollapsar kärnan. Utvecklingen för en stjärna av $25\,M_{\odot}$ på nollårshuvudserien:
- Efter 1/10 sekund:
Vid kollapsen hettas kärnan upp ($T_c \approx 5 \times 10^9\text{K}$). Detta skapar energirika γ -fotoner $\Rightarrow Fe$ -kärnor bryts upp till He -kärnor (s.k. fotodisintegration).
- Efter 2/10 sekunder:
Densiteten ökar $\Rightarrow e+p \rightarrow n+\nu$, och fler neutriner produceras och emitteras från kärnan som kyls och kontraherar ytterligare.

- Efter 0.25 sekunder:

Nukleära densiteter uppnås ($4 \times 10^{17} \text{ kgm}^{-3}$), kollapsen av kärnan upphör (ca 20 km i diameter). Ovanliggande lager av stjärnan fortsätter att kollapsa med en hastighet av upp till 15% av ljushastigheten $\Rightarrow$ "kärnstuds". Kollisioner sker med infallande material $\Rightarrow$ chockvågor rör sig mot ytan.

- Efter några timmar:

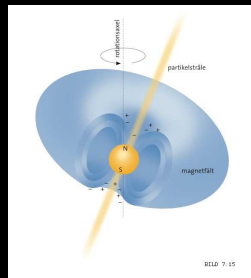
Chockvågorna når ytan och allt utom kärnan kastas ut i rymden. Kvar blir en neutronstjärna eller ett svart hål.

SN 1987A (typ II) i Stora Magellanska Molnet (avstånd: 160 000 ljusår)



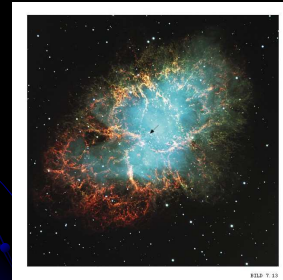
Efter en supernova typ II: Neutronstjärnor

- Magnetfältet finns redan sedan tidigare när neutronstjärnan bildas
- Under kollapsen:
 - Magnetfältet förstärks
 - Rörelsemängdsmomentets bevarande $\rightarrow$ extremt snabb rotation
- Neutronstjärnan agerar som en elektrisk generator där laddade partiklar kastas ut längs de magnetiska polerna. Vi ser en pulsar om vi befinner oss i strålens riktning.

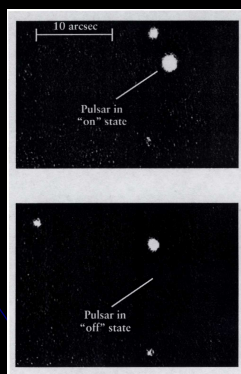


Pulsaren i Krabbnubulosan

Finns i Oxens stjärnbild. Dokumenterades av kineser år 1054. Finns på ett avstånd av 6 500 ljusår. Nebulosans diameter är ca 10 ljusår.



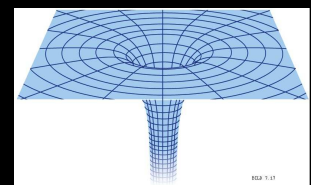
Pulsaren i Krabbnubulosan, på och av



Efter en supernova typ II: Svarta hål

"Svarta" därför att de är så täta (oändligt täta) att inte ens ljuset slipper ut. Einstein skulle uttrycka det som att rumtidstrukturen kring ett svart hål är oändligt krökt.

Teorin baserar sig på Einsteins allmänna relativitetsteori (1916).



Svarta håls egenskaper

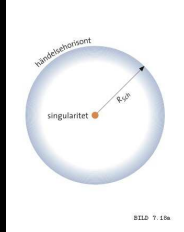
- Ett icke-roterande svart hål kännetecknas av en singularitet och en händelsehorisont.

Händelsehorisonten ges av Schwarzschildradien:

$$R_{\text{Sch}} = 2Gm/c^2$$

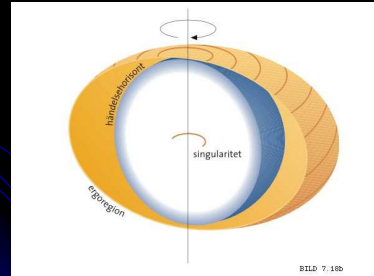
m = massan, c = ljushastigheten,
 G = gravitationskonstanten.

Som exempel är Schwarzschildradien hos ett svart hål av $10 M_{\odot}$ endast 30 km!



Svarta håls egenskaper

- Ett svart hål roterar förmodligen → ergoregionen.

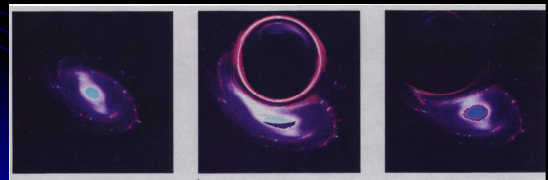
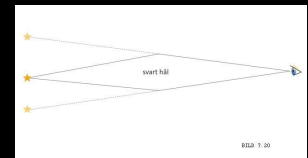


Svarta håls tre (teoretiskt) bestämbara kvantiteter

- Massa. Mäts genom att placera en satellit i omloppsbana runt hålet och bestämma omloppstiden.
- Elektrisk laddning. Man mäter det elektriska fältet kring hålet, troligtvis är laddningen lika med noll.
- Rörelsemängdsmoment (om ergosfär finns). Placera två satelliter i motsatt omloppsbana runt hålet och jämför omloppstiderna.

Kan svarta hål upptäckas?

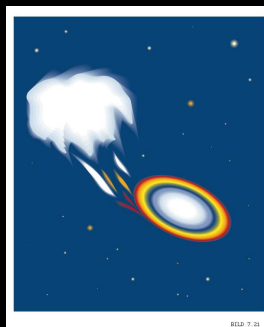
De borde ge upphov till gravitationslinseffekter. Vi vet att de existerar, men finns de några där svarta hål är upphovet?



Kan svarta hål upptäckas?

Borde ge upphov till stark röntgenstrålning (X-rays). Stark kandidat är Cygnus X-1. Flera andra har observerats på senare tid.

Gas sugas in från en grannstjärna, upphettas genom friktion vilket ut sänder röntgenstrålning.



Det kosmiska kretsloppet

Stjärnorna dör och exploderar som supernovor om de är tillräckligt massiva. Materialet sprids även via planetariska nebulosor och stjärnvindar.

Nästa generation stjärnor föds då ur gas och stoft som är mer anrikat på tyngre grundämnen. Dessa stjärnor bygger i sin tur upp mer av tyngre grundämnen.

Denna cirkulation av anrikat stjärnmateri från generation till generation kallas det kosmiska kretsloppet.