



Universums tidskalor - från stjärnor till galaxer

Fysik – och Kemidagarna 2017

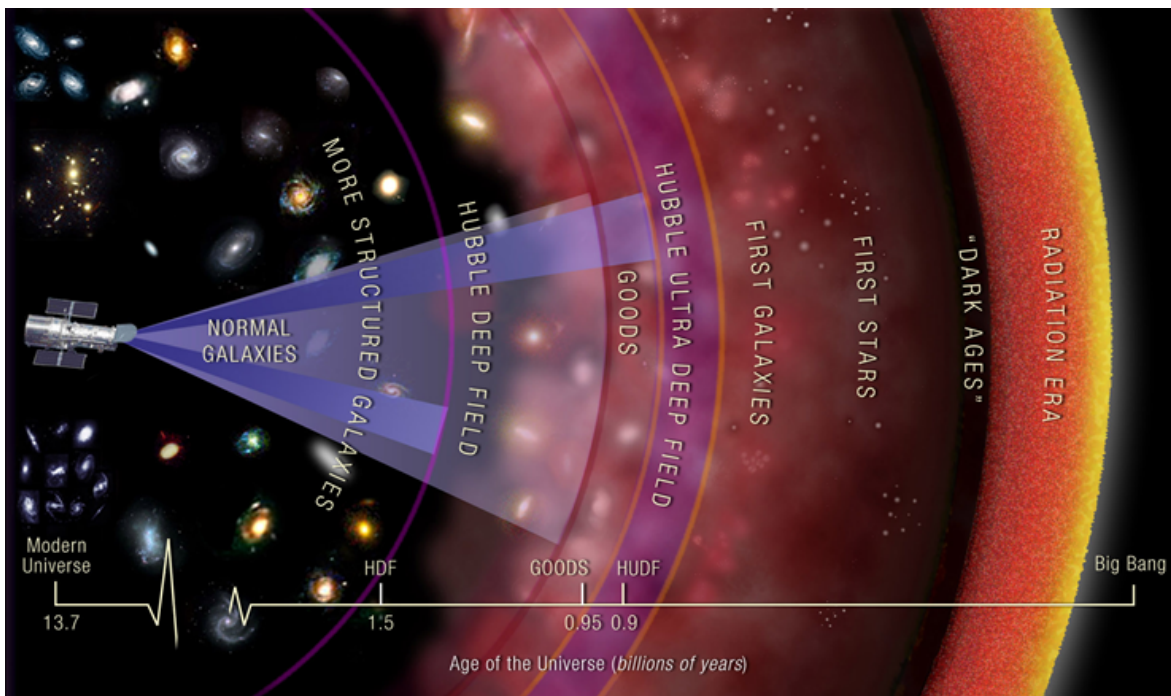
Prof. Peter Johansson

Institutionen för Fysik, Helsingfors Universitet



1. Ljusets hastighet - Astroarkeologi

- Eftersom ljusets hastighet är ändlig tittar vi alltid bakåt i tiden då vi observerar olika objekt.
- Avståndet till Solen är 8 ljusminuter, den närmaste stjärnan Proxima Centauri ligger på ett avstånd av 4.2 ljusår och Andromeda galaxen på ett avstånd av 2.5 miljoner ljusår.



Ljusets ändliga hastighet möjliggör utforskningen av det tidiga Universumet.



Stjärnor – Dynamisk jämvikt

- Vad är en stjärna?
- Ett massivt plasmaklot som är i **hydrostatisk jämvikt** (gravitationen $\leftrightarrow$ gastrycket) och producerar energi genom fusionsreaktioner.
- Om det inre trycket skulle plötsligt försvinna skulle stjärnan kollapsa på den **dynamiska tidskala**.

$$t_{\text{dyn}} \approx \sqrt{\frac{R^3}{GM}}$$



I Solen fall är den dynamiska tidskalan ungefär en halv timme.



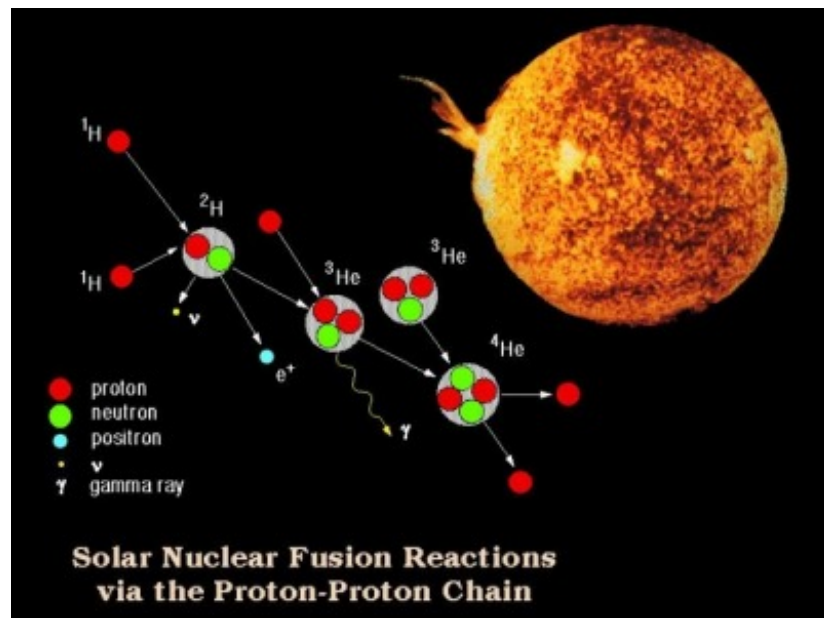
Energiproduktion i stjärnor

- Om fusionsreaktionerna skulle plötsligt avstanna skulle en stjärna kunna stråla sin energi på den **termiska tidskalan** där stjärnan strålar sin kinetiska energi.

$$t_{\text{term}} \approx \frac{0.5GM^2/R}{L}$$

- Fusionen fortskrider på **kärntidskalan**. Eftersom verkningsgraden för väte-helium fusion är 0.7% och i medeltal 10% av den totala massan fusioneras:

$$t_{\text{karn}} \approx \frac{0.007 \times 0.1Mc^2}{L}$$

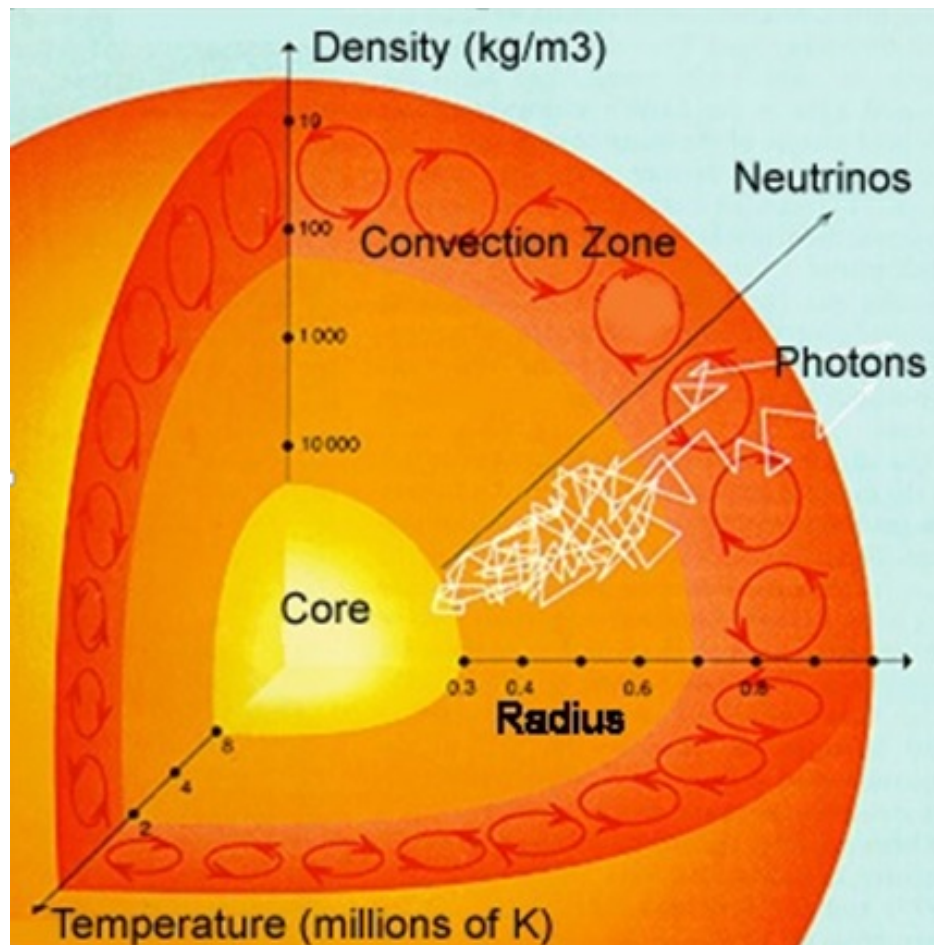


I Solen fall är den termiska tidskalan ungefär 20 miljoner år och kärntidskalan ungefär 10 miljarder år.



Energitransport i stjärnor

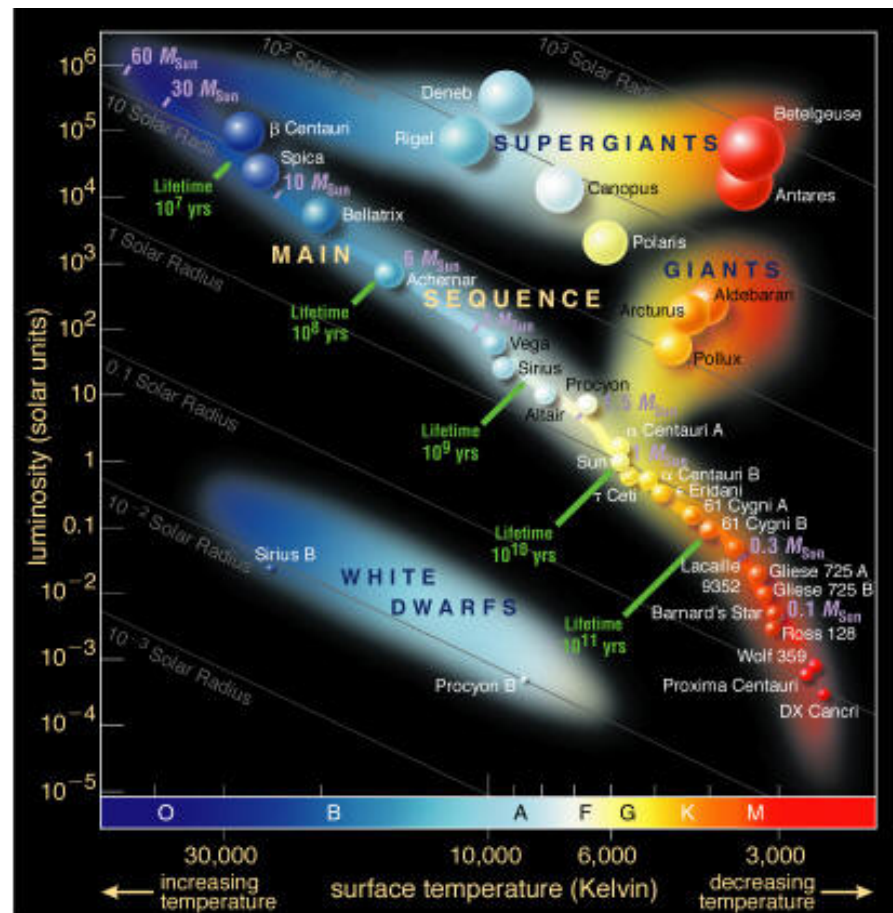
- Fotonen vandrar från stjärnans centrum mot ytan genom en stor mängd av absorptions- och emissions-processer.
- Den här processen kan beskrivas genom en slumpvandring (random walk) med $\sim 10^{26}$ steg i Solens fall.
- I solens fall är ett steg i processen ungefär 10^{-4} m, vilket leder till ett avstånd av 10^{22} m.
- Med ljusets hastighet varar det ungefär 1-10 miljoner år förrän fotonen når Solens yta!





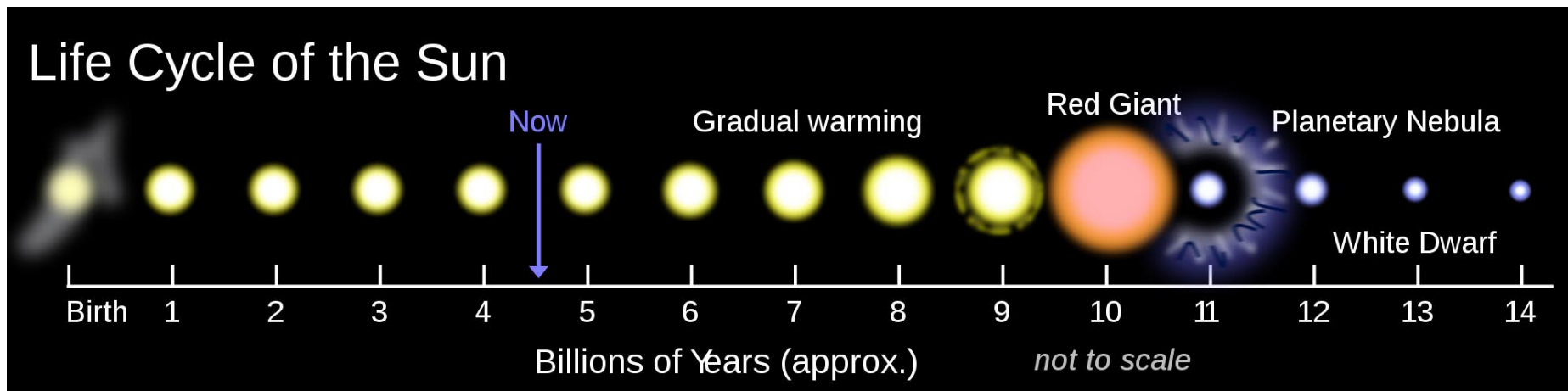
Stjärnornas struktur och utveckling

- Stjärnornas livstid och ljusstyrka är starkt beroende av stjärnas massa. Ju större stjärnas massa är desto större är ljusstyrkan men också desto kortare är dess livstid.
- Massiva stjärnor ($>20-100 M_{\odot}$) lever bara några miljoner år, medelmassiva stjärnor (t.ex. Solen) lever 10 miljarder år och röda dvärgstjärnor kan leva i hundratals miljarder år.





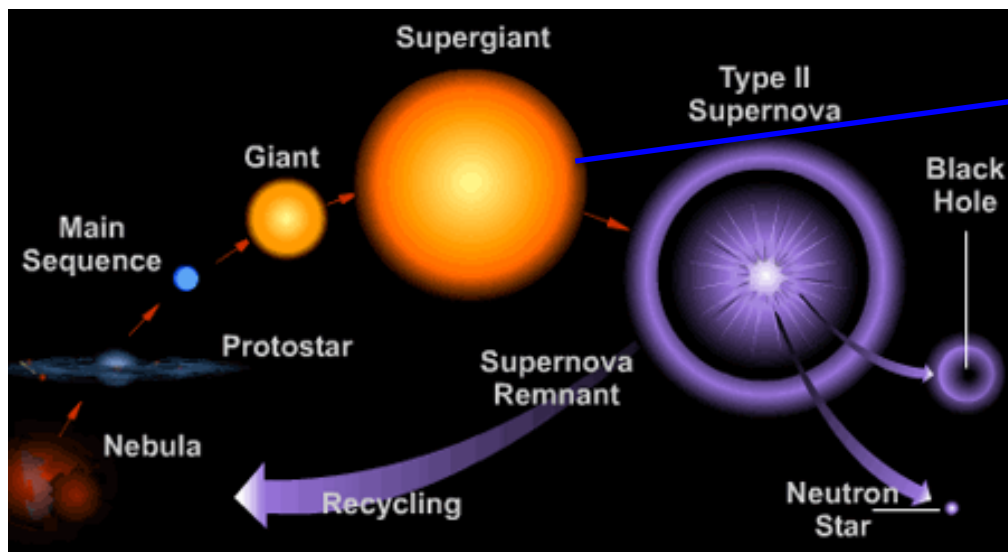
Lågmassiva stjärnors utveckling



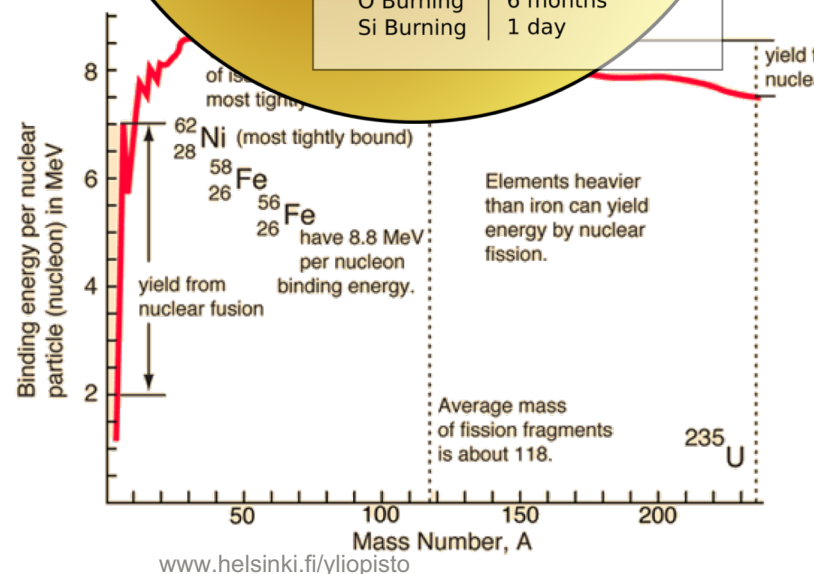
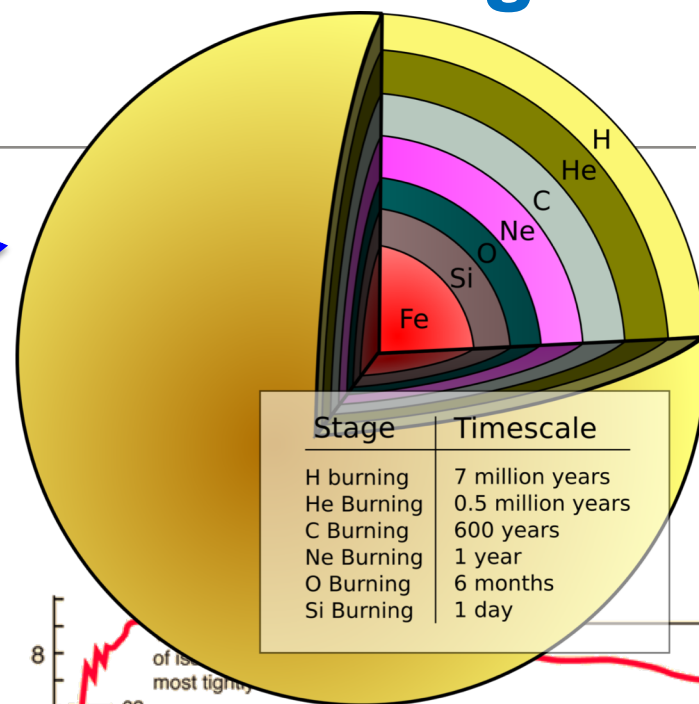
- En lågmassiv stjärna, så som Solen utvecklas sakta men säkert mot en **röd jätte**.
- Då vätet i stjärnans centrum har tagit slut, börjar stjärnan fusionera **väte i ett skal runt kärnan och till slut fusioneras också helium i stjärnas centrum**. I samband med den här processen expanderar stjärnan till en röd jätte.



Massiva stjärnors utveckling



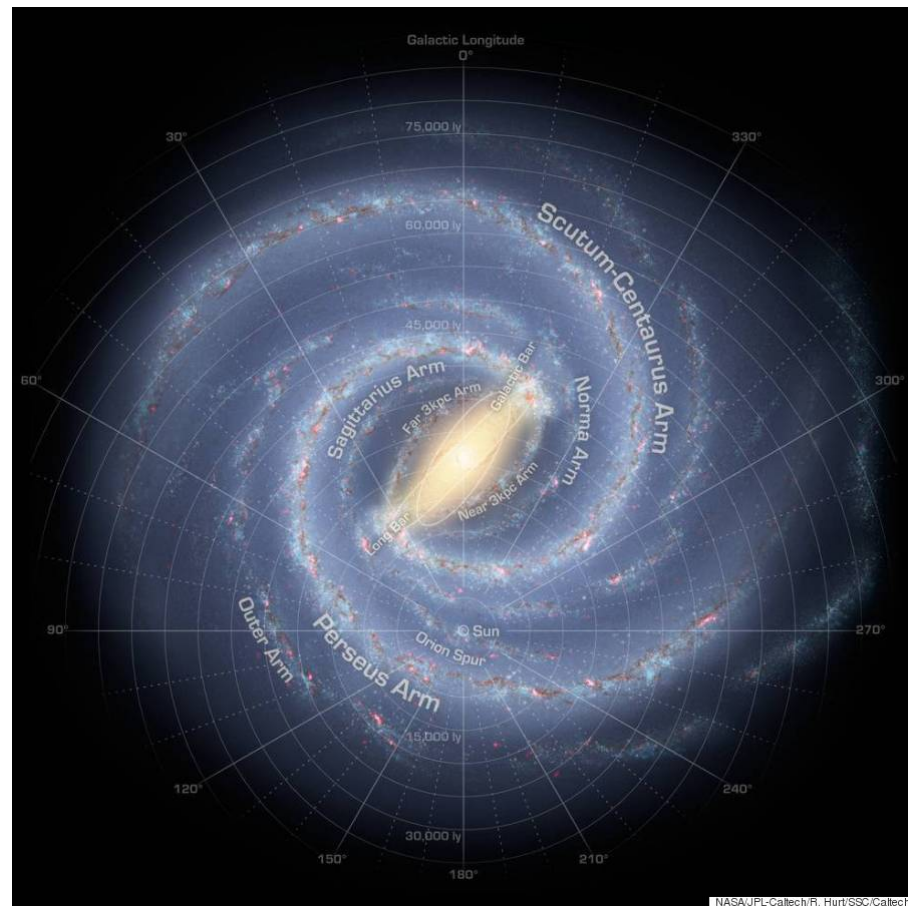
- En massiv stjärna med en massa över 9 solmassor utvecklas först till en superjätte inom 10-30 miljoner år, som sedan exploderar som en supernova.





2. Galaktiska tidskalor

- Det finns ungefär 200 miljarder stjärnor i Vintergatan. Solen befinner sig ungefär 25 000 ljusår från Vintergatan centrum och ett varv runt Vintergatan tar ungefär 220 miljoner år.
- Solen är alltså ungefär **20 galaktiska år gammal**.
- **Kan solen krocka med andra stjärnor?** Det räcker med att en stjärna kommer så pass nära solen att den stör planeternas omloppsbanor.





Krockar mellan Solen och andra stjärnor

- Nära solen är stjärntätheten ungefär 0.017 stjärnor per kubik-ljusår, vilket är mycket låg.
- Dessutom är **Solen kosmiskt sätt mycket liten** med en radie på $6.96 \times 10^8 \text{ m} = 7 \times 10^{-9} \text{ ljusår}$.
- Stjärnornas typiska hastigheter relativt till andra närliggande stjärnor är $\sim 50 \text{ km/s}$.
- **Kollisioner mellan stjärnor nära solen sker i medeltal en gång per 5×10^{18} år, vilket är $\sim 10^8$ gånger längre tid än Universums nuvarande ålder.**

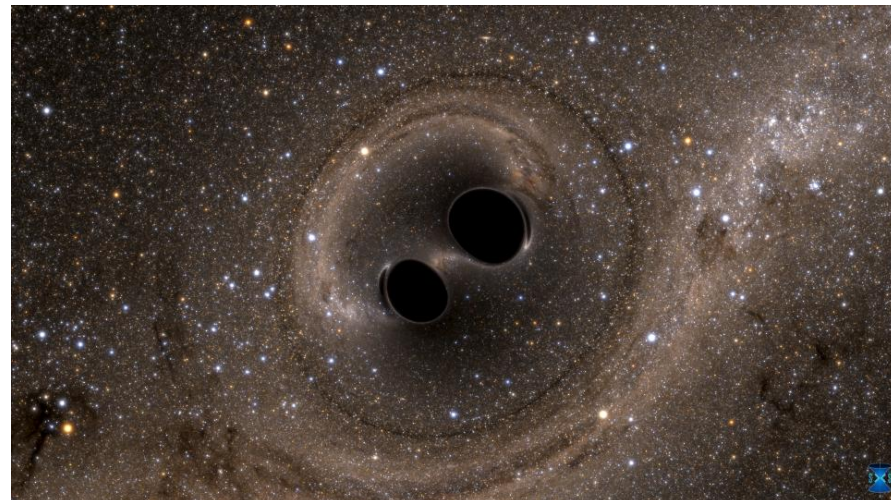


En schematisk bild på en krock mellan två stjärnor i Vintergatan.



Krockar med svarta hål

- Svarta hål kan krocka med varandra, som vi har nyligen sett genom observationerna med **LIGO gravitationsvågsdetektorn**.
- Gravitationsvågorna är mycket svaga och är ingen fara för Jorden, men vad skulle hända om ett svart hål skulle komma in i solsystemet?
- Om det skulle vara ett stort svart hål (>5 solmassor) skulle det kunna förstöra planeterna och t.o.m. solen med sin dragningskraft, men för det här krävs det en direkt kollision med det inre solsystemet.



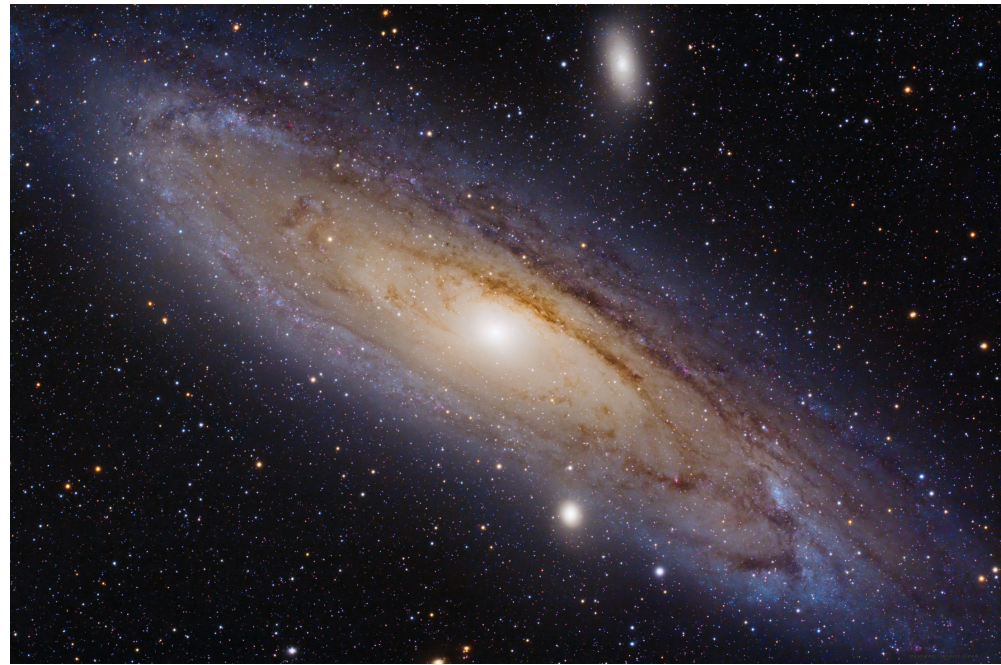
Krockar med stjärnor och svarta hål är ytterst osannolika, eftersom avstånden mellan stjärnorna är väldigt stora jämfört med deras storlekar.

Vi är fortfarande här efter 4.6 miljarder år, alltså har sådana krockar inte skett och kommer nästan 100% säkert att inte ske förrän Solen slocknar.



Krockar mellan galaxer

- Till skillnad från stjärnor så **krockar galaxer ofta med varandra** under Universums livsålder.
- Orsaken till det här är att galaxernas avstånd från varandra är ungefär bara ~10-20 gånger större än deras storlekar.
- Vintergatan har krockat med tiotals eller t.o.m. hundratals galaxer under de senaste 10 miljarder åren.



Andromeda galaxen är närmaste större galaxen på ett avstånd av 2.5 miljoner ljusår och den närmar oss med hastighet av 110 km/s.



Krocken med Andromeda

- Vintergatan och Andromeda kommer att krocka med varandra om ungefär 4 miljarder år. Solen kommer att slockna ungefär vid samma tidpunkt.
- Som vi har redan sett är galaxerna nästan helt tomma, så Solen kommer knappast att krocka med en annan stjärna.
- Solens avstånd från centrumet av den nya ellipsgalaxen ("Milkomeda eller Androway") kommer antagligen att växa till ungefär 100 000 ljusår.

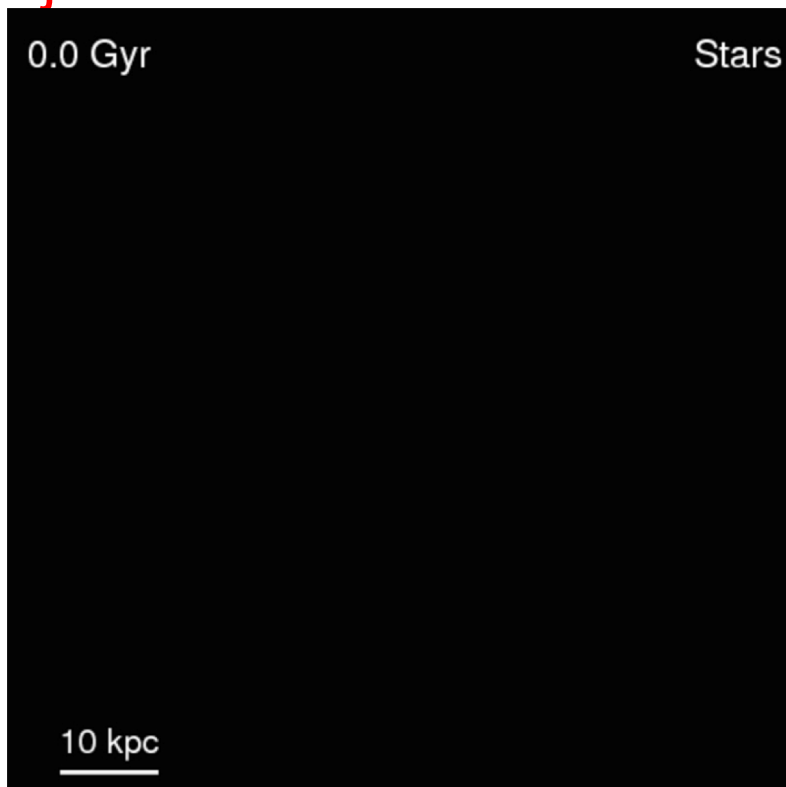


Andromeda och Vintergatan om 3.75 miljarder år, några hundra miljoner år före krocken.

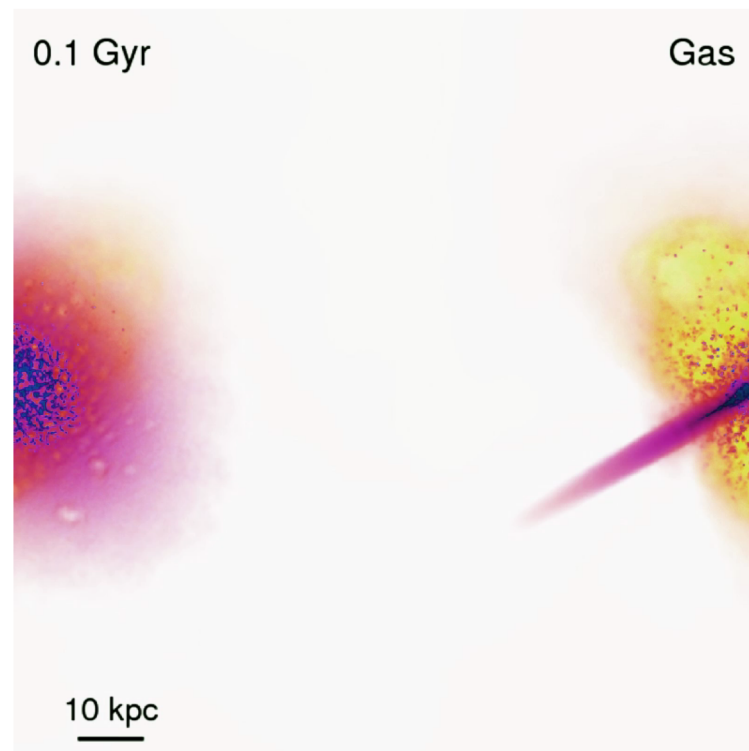


Kollisioner mellan galaxer är en viktig och vanlig händelse i galaxens liv

Stjärnorna i simulationen:



Gasen i simulationen:





3. Universums tidskala

- Edwin Hubble upptäckte på 1920-talet att ju längre bort en galax befinner sig, desto snabbare avlägsnar sig den från oss.

$$v = H_0 D$$

- Hubbles konstant H_0** som har ett värde av ungefär $H_0 = 67.8 \text{ km/s/Mpc}$ uppger proportionaliteten mellan hastigheten och avståndet.

- Det inversa värdet uppger **Hubble tidskalan** som är **Universums expansionstidskala**.

$$t_H = H_0^{-1} = \frac{1}{67.8 \text{ km/s/Mpc}} = 4.55 \times 10^{17} \text{ s} = 14.4 \times 10^9 \text{ a}$$

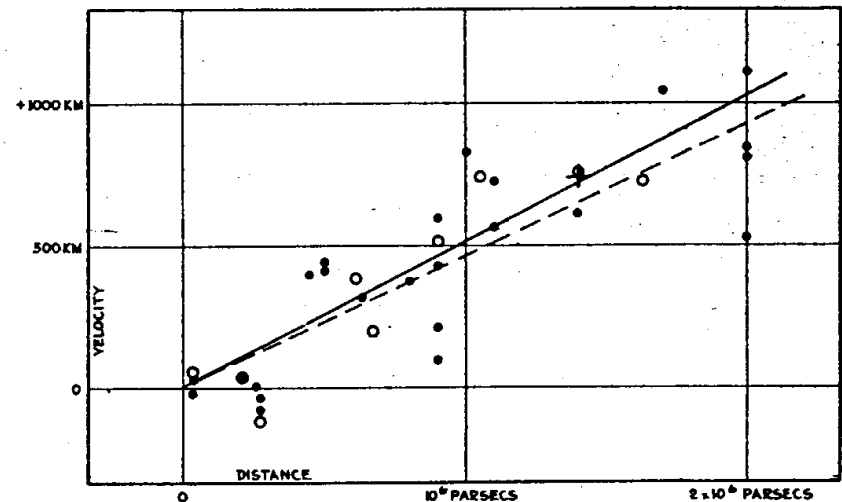


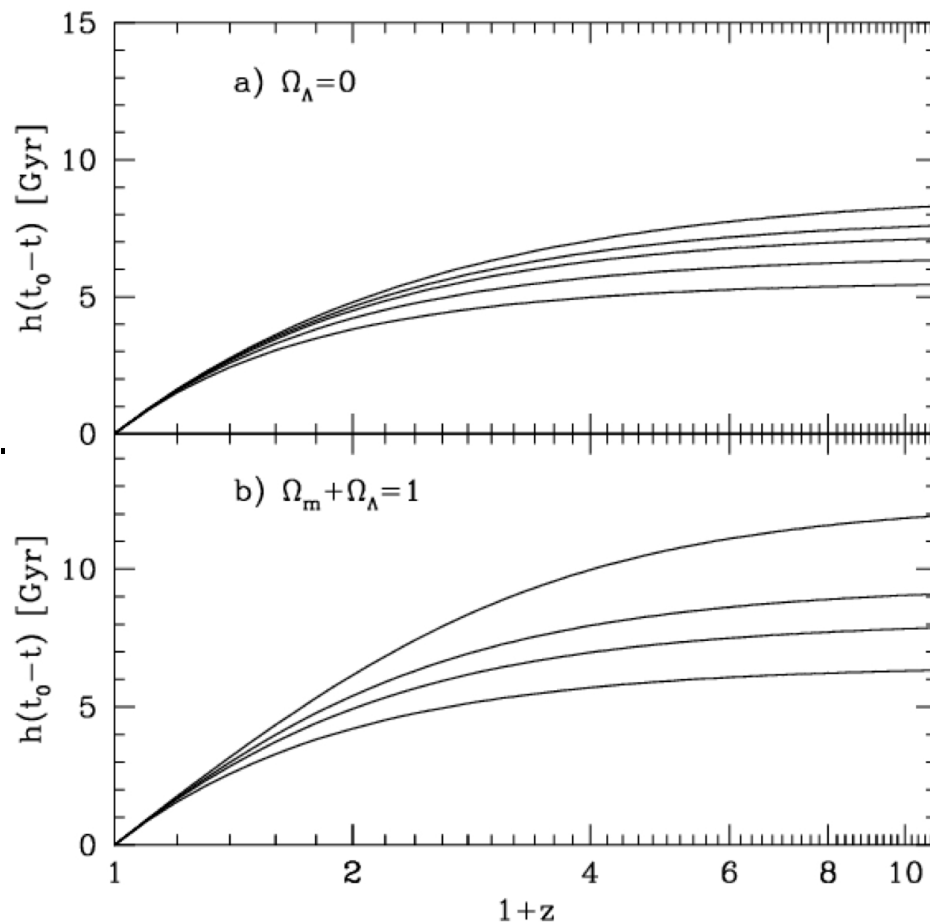
FIGURE 1

Hubbles originaldata från 1927, som visar relationen mellan avstånd och hastighet.



Universums ålder

- Universums ålder beror på dess sammansättning, dvs. hur stor del av energin är i vanlig materia, mörk materia och mörk energi.
- För modellerna i bild a) har vi ingen mörk energi ($\Omega_{\Lambda,0}=0$) och $\Omega_{m,0}=0.1, 0.3, 0.5, 1.0, 2.0$ för de olika linjerna.
- För modellerna i bild b) har vi mörk energi ($\Omega_{m,0}+\Omega_{\Lambda,0}=1$) och $\Omega_{m,0}=0.1, 0.3, 0.5, 1.0, 2.0$ för de olika linjerna
- Den mörka energin och en accelererad expansion gör Universum äldre, men varför?





Universums tidskalor

1. Stjärnorna producerar energi på den långa kärntidskalan. Stjärnornas livstid och ljusstyrka är starkt beroende av stjärnas massa. Ju större stjärnas massa är desto större är ljusstyrkan men också desto kortare är dess livstid.
2. Ett galaktiskt år för Solen är ungefär 220 miljoner år. Vintergatan kommer helt säkert att krocka med Andromeda galaxen om ungefär 4 miljarder år, men Solen kommer inte att krocka med en annan stjärna.
3. Universums tidskala bestäms av Hubbles konstant som uppger ungefär hur lång tid det tar att fördubbla Universums storlek.