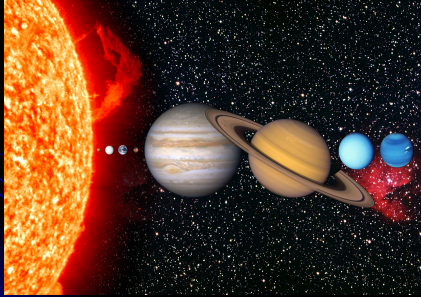


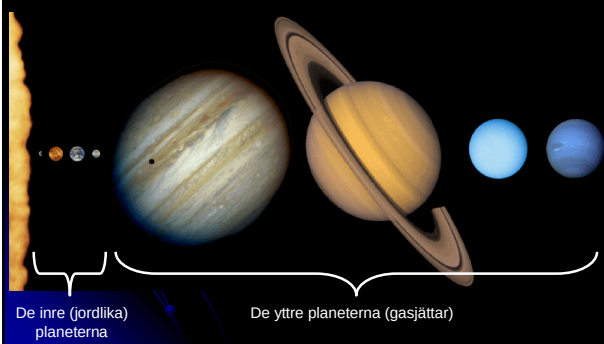
Översiktscurs i astronomi Lektion 5: Planetsystem



Upplägg

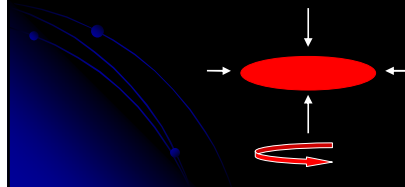
- Solsystemets uppkomst
 - En stjärna föds
 - Planetesimaler
 - Inre och yttre planeter
 - Kometer och asteroider
- Andra planetsystem
 - Metoder för att upptäcka andra planetsystem
 - Vad vi upptäckt hittills
- Liv på andra planeter
 - Vad kan vi egentligen säga om det?

Solsystemet



Solsystemets uppkomst I

- Gravitationen började dra samman ett interstellärt moln för ca 4,6 miljarder år sedan.
- Rörelsemängdsmomentets bevarande får molnet att plattas av



Solsystemets uppkomst II

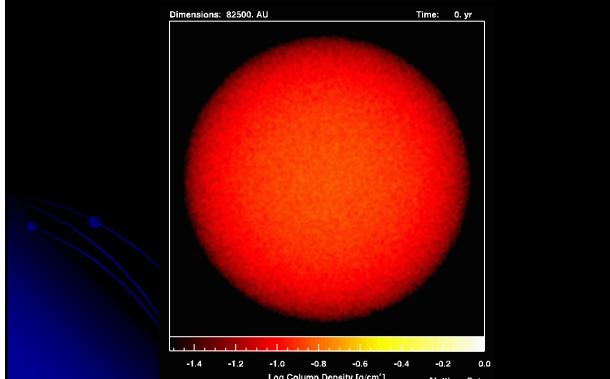
- En central förtätning, protosolen, bildas
- Gravitationell energi omvandlades till termisk energi. Temperaturen i centrum steg till flera tusen grader Kelvin
- Efter ca 10 miljoner år steg temperaturen till ett par miljoner Kelvin → spontana fusionsprocesser → En stjärna tänds
- Överblivet material runt stjärnan bildar protoplanetär skiva (proplyd)



Proplyder



I täta omgivningar blir det mer komplicerat...

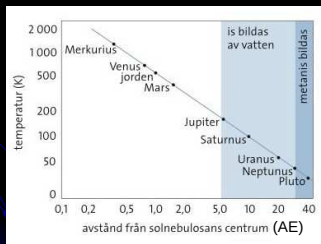


Kondensationstemperatur

- Tätheten och trycket var lågt i den protoplanetära skivan (proplyden).
- Vid tillräckligt lågt tryck kan ett ämne inte existera i flytande form. Övergången från gasform till fast form avgörs av ämnets kondensationstemperatur.
- För vatten, metan och ammoniak är den 100—300 K.
- Mineraler (t.ex. kisel & järn) ligger på 1300—1600 K.
- Ursprungsmolnets temperatur var ca 50 K → alla ämnen utom väte, kväve, helium och andra ädelgaser var i fast form. I centrum var temperaturen ca 2 000 K.

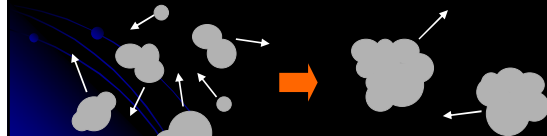
Fördelningen av grundämnen i planetsystemet

- I centrala delarna kunde endast ämnen med höga kondensationstemperaturer förbli i fast form, alla andra förångades.
- I de yttre delarna kunde både iskorn och stoffkorn överleva.



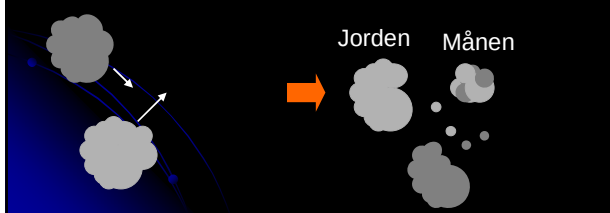
Planetesimaler

- Efter ett par miljoner år hade stoffkornen slagit sig samman i det inre och bildat kilometerstora objekt, planetesimaler i både yttre och inre solsystemet.
- Dessa kolliderade och byggde upp ännu större kroppar.

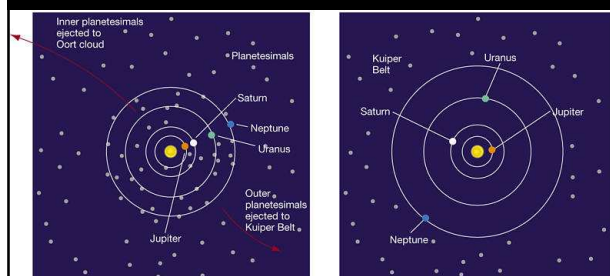


De inre (jordlika) planeterna bildas

- Efter ca 100 miljoner år hade fyra eller fem inre planeter skapats.
- Det som skulle bli jorden kolliderade med en av de andra. Det losslitna materialet blev sannolikt vår måne.

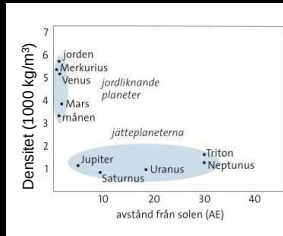


Från planetesimaler till planeter



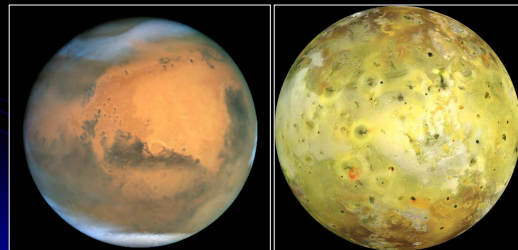
De yttre planeterna (gasjättarna) bildas

- I de yttre delarna var temperaturen mycket lägre. Mer material fanns tillgänglig som kunde bilda planetesimaler → mer massiva planeter
- Dessa drog lättare till sig väte och helium. De har därför lägre densitet än de inre planeterna.
- Till slut fanns fyra yttre planeter som mestadels bestod av dessa ämnen.



Planeternas färger

Planeter och månar är inte svartkroppar! Färgerna har att göra med ytsammansättning och reflektionsförmåga, inte med temperatur.



Mars

Jupitermånen Io

Asteroider och kometer



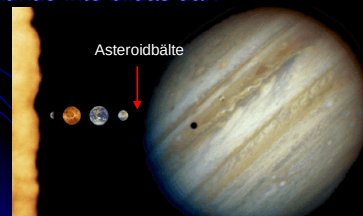
Asteroid
(enkelt uttryckt:
stenklump)



Komet
(enkelt uttryckt:
snö/isklump)

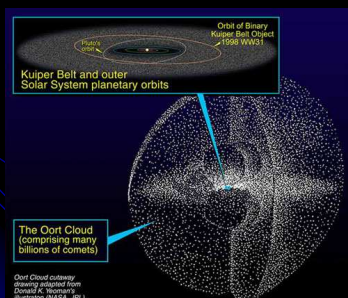
Asteroidernas uppkomst

- De starka gravitationella krafterna från Jupiter skapade asteroiderna och kometerna genom att planetesimalerna kolliderade.
- Kollisioner är troligen orsaken till huvudbälts-asteroiderna mellan Mars och Jupiter. Någon större planet kunde inte bildas där.



Kometernas uppkomst

Kometerna bildades bortom Jupiter och många stördes bort från solens omgivning och finns nu Oorts kometmoln ca 100 000 AE från solen.



Andra planetsystem

Planetbildning kring stjärnan β Pictoris. Stjärnans ljus har blockerats med speciell teknik.

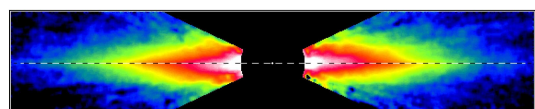


BILD 4.5

Detektionsmetoder

- Direkt metod:
 - Planetdetektion genom blockering av stjärnans ljus
- Några indirekta metoder:
 - Astrometriska metoden
 - Spektroskopiska metoden
 - Fotometriska metoden
 - Mikrolinseffekter

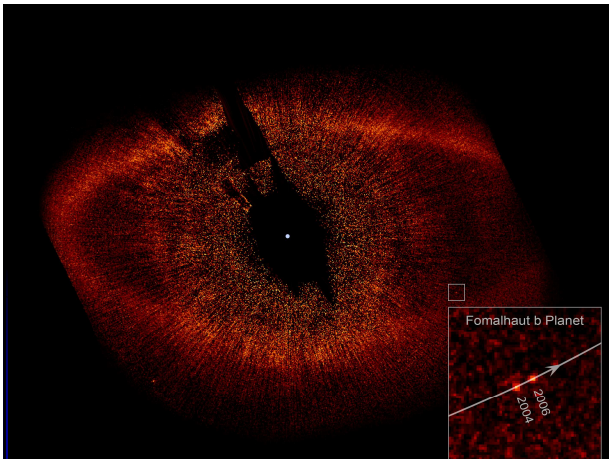
Direkt observation

Problematiskt, eftersom ljuset från en stjärna är ohöjligt mycket starkare än ljuset från dess planeter
→ Måste blockera ljuset från stjärnan för att se dem



Kan i nuläget lyckas om:

- Planeten är stor
- Planeten ligger på stort avstånd från sin moderstjärna
- Planeten är ung och het (utsänder infraröd strålning)



Astrometriska metoden I

Astrometriska metoden:

Stjärnan och planeten rör sig kring systemets gemensamma tyngdpunkt (GM). Metoden bygger på att mäta hur mycket stjärnan förflyttar sig i förhållande till GM, enligt:

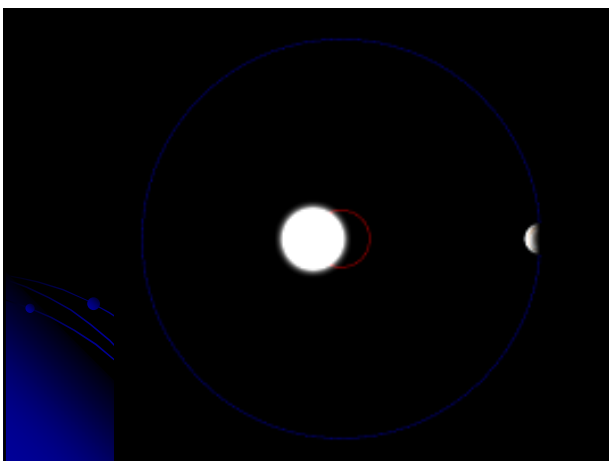
$$r_* = 955 \frac{M_p}{M_*} \frac{a}{D}$$

r_* = avståndet från GM i mikrobågsekunder

M_* , M_p = stjärnans och planetens massa (i Jupitermassor)

a = planetbanans medelavstånd i AE

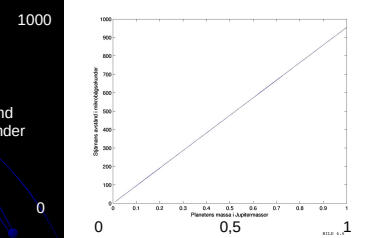
D = stjärnans avstånd från oss i pc



Astrometriska metoden II

I figuren har stjärnan en massa av $1 M_\odot$ och ett avstånd av 1 pc från oss.

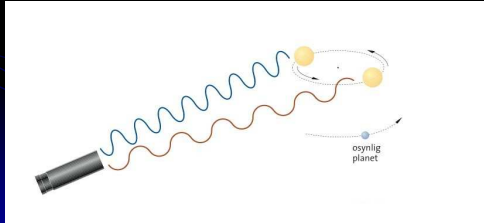
Planetens massa i Jupitermassor



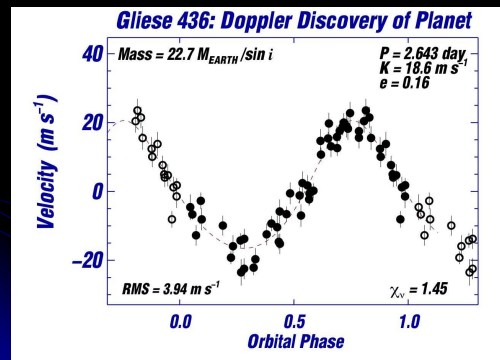
Spektroskopiska metoden I

Spektroskopiska metoden:

Rörelsen kring GM orsakar också ändringar i radialhastigheten (genom Dopplereffekten). Hastigheten beror av planetmassan, stjärnmassan och planetens avstånd från stjärnan.



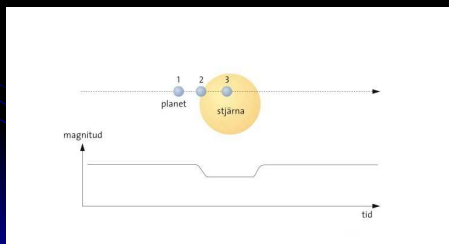
Spektroskopiska metoden II



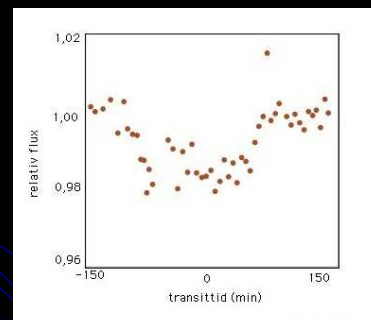
Fotometriska metoden

Fotometriska metoden:

Om planeten passerar framför stjärnan, förmörkas stjärnan. Man kan bestämma den s.k. transittiden ur magnitutförändringen.



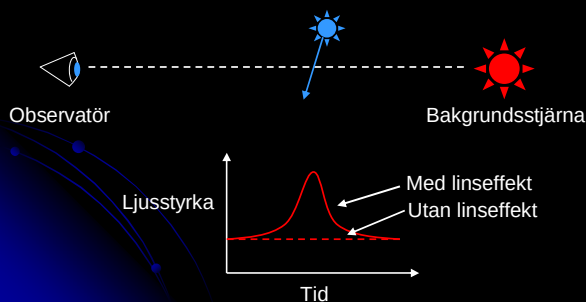
Ljuskurvan för HD 209458



Fotometriska metoden ger många kandidater, men ljusförändringar kan även bero på annat än planeter → Uppföljning med andra metoder krävs

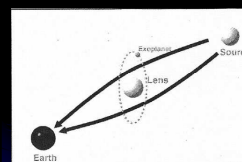
Gravitationslinseffekter I

Ljussvag förgrundsstjärna som rör sig genom synlinjen

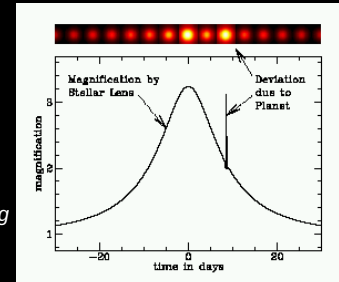


Gravitationslinseffekter II

Om förgrundsstjärnan åtföljs av en planet får man ytterligare toppar i ljuskurvan



Effekten kallas *microlensing* (en av många möjliga gravitationslinseffekter)



Detektionsstatistik (Oktober 2008)

- **Totalt antal: 312 exoplaneter**
- Direkt detektion: 6 planeter
- Spektroskopiska metoden: 293 planeter
 - 251 system (221×1, 21×2, 7×3, 1×4, 1×5)
 - 51 enskilda planeter också upptäckta med fotometrisk metod
- Gravitationslinseffekter: 8 planeter
- Övriga metoder: 5 planeter

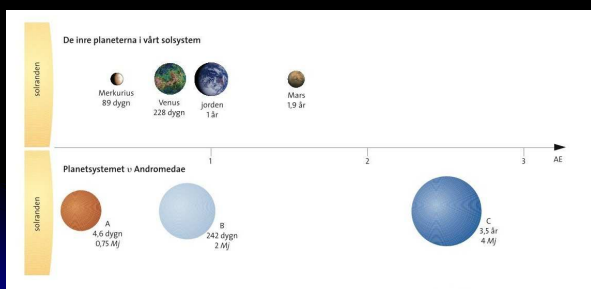
Astrometriska metoden har ännu inte lett till några detektioner, men anses ändå lovande inför framtiden

Egenskaper hos detekterade planetsystem

- Ännu inget system som riktigt liknar vårt!
- Ofta jätteplaneter som ligger mycket nära sina moderstjärnor (s.k. "hot Jupiters")



Planetsystemet γ Andromedae



Liv på andra planeter I

Ett stort antal andra planetsystem är kända. Men finns där liv?

Grundförutsättning för liv som vi känner det:

Vatten bör förekomma i flytande form, d.v.s. temperaturen på planetarytan bör vara högre än 0 °C och lägre än 100 °C.

Mars Odyssey & Phoenix



Vatten funnet på Mars!

Liv på andra planeter II

Temperaturen på en planet beror främst på:

- T_{eff} = effektivtemperaturen för stjärnan
- a = medelavståndet mellan stjärnan och planeten
- A = albedot (planetens reflektionsförmåga, $A=0$ ger ingen reflektion, $A=1$ ger 100% reflektion),
- R_* = stjärnans radie i km
- Planetens rotationsperiod

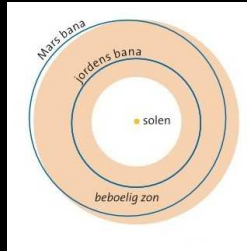
Liv på andra planeter III

P.g.a. växthuseffekten är T ca. 30 °C högre på jorden än vad ekvationen anger.

För vårt solsystem blir den beboeliga zonen, ekosfären:

$$0,7 < a < 1,6 \text{ AE}$$

Mars ligger alltså mestadels inom ekosfären.



Gliese 581c – Upptäcktes 2007



Trots ett kort avstånd till sin moderstjärna (0.07 AE) kan Gliese 581 c ha flytande vatten (yttemperatur 0-40 °C), eftersom dess moderstjärna är svalare än vår sol. Ett år på Gliese 581 c är bara 13 jorddygn långt.

Drakes ekvation

Drakes ekvation ger en uppskattning av antalet civilisationer, N, i vår galax Vintergatan:

$$N = R_* \cdot f_p \cdot n_e \cdot f_l \cdot f_j \cdot f_c \cdot L$$

R_* = stjärnbildningshastigheten av lämpliga stjärnor (antal/år)

f_p = andelen stjärnor som har planeter

n_e = antalet jordliknande planeter i varje planetsystem

f_l = andelen av dessa där liv uppstår

f_j = den andel där intelligent liv uppstår

f_c = andelen som utvecklat teknisk civilisation

L = livslängden för en civilisation med möjlighet att kommunicera. Uppskattningsvis är $N \sim L$.

Voyagersonden

