

Planetsystem


Kapitel 7-8 i boken.

Observera att ni som gör grupparbetet
Inte behöver svara på planet-frågor
på tentan.

Solsystemet

- Det finns **åtta** st planeter i solsystemet :
Merkurius, Venus, Jorden, Mars, Jupiter, Saturnus, Uranus, Neptunus.
- **Pluto** betraktas numera inte som en planet utan som ett av många **trans-neptunska objekt**.
- Planeternas totala massa är ungefär en tusendel av solens massa.


Planeternas omloppsbanor



- Den första slående egenskapen hos solsystemet är att alla planeter rör sig i **samma plan** (samma som solens ekvator) och åt **samma håll** (moturs)
- Detta tyder på ett gemensamt ursprung ur en enda platt, roterande struktur.

Planeternas avstånd

- Planeternas medelavstånd a från solen kan man få genom att mäta deras omloppstid P och använda Keplers tredje lag.

$$P^2 = a^3$$


	a [AU]
Merkurius	0.39
Venus	0.72
Jorden	1
Mars	1.52
Jupiter	5.2
Saturnus	9.6
Uranus	19
Neptunus	30

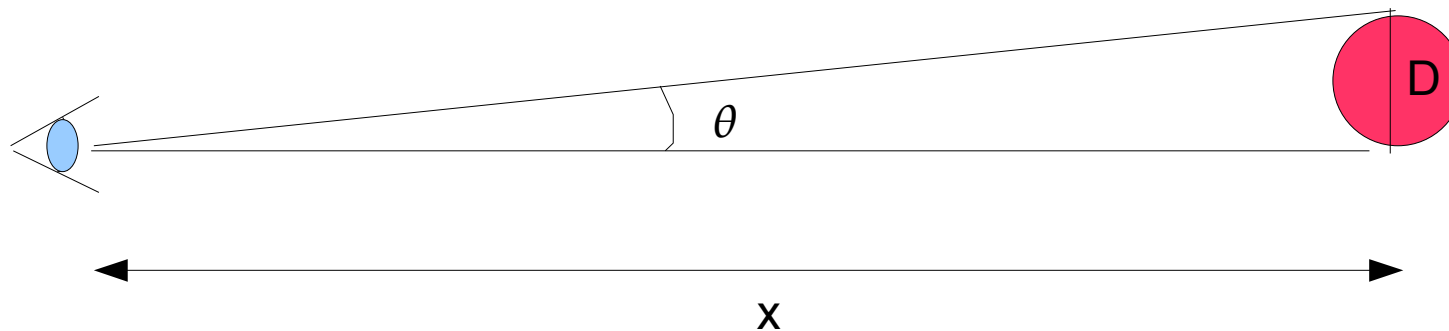
Planeternas eccentricitet

- Alla planetbanor (förutom Merkurius) har en mycket liten eccentricitet.

	e
Merkurius	0.21
Venus	0.007
Jorden	0.017
Mars	0.093
Jupiter	0.048
Saturnus	0.053
Uranus	0.043
Neptunus	0.01

Planeternas storlek

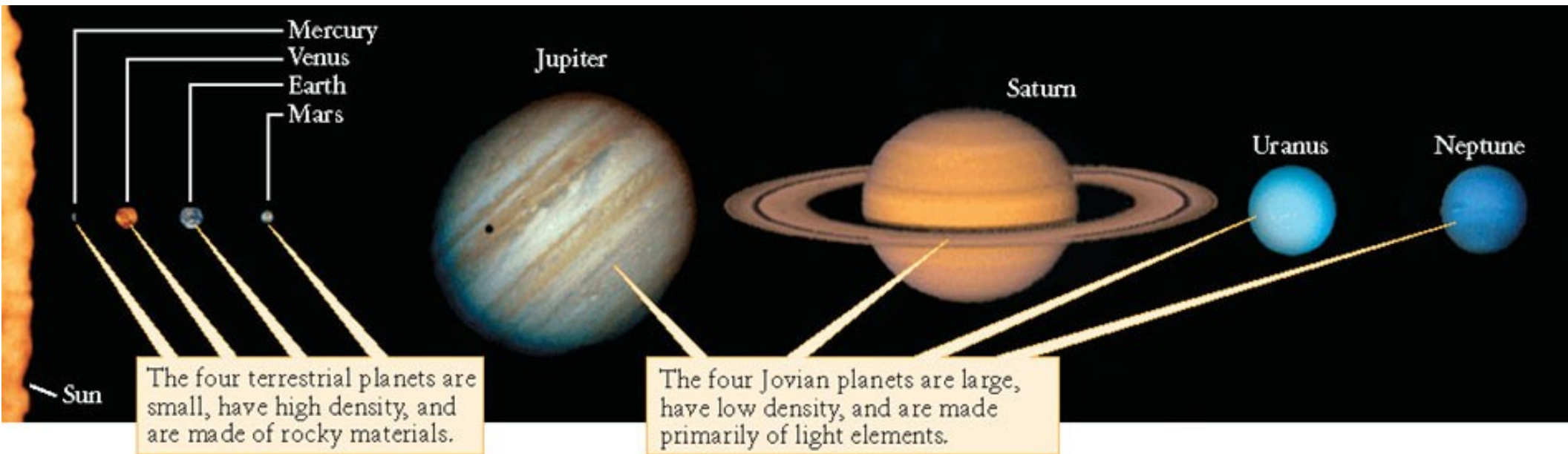
- Hur vet man hur *stora* planeterna är (D)?
- Man multiplicerar deras **vinkelestorlek** θ (alla är upplösta i teleskop) med avståndet x till dem (som vi vet via Keplers 3:e lag).



$$D = x \tan(\theta) \approx x\theta$$

Planeternas storlek

- Storlekarna faller i **två distinkta grupper** : de fyra yttersta är ungefär tio gånger större (diametralt) än de fyra innersta.



Planeternas massa

- Hur vet man planeternas *massor*?
- En kropps omloppsbanan beror *inte* på dess egen massa utan endast på massan M hos det objekt den kretsar runt.

Acceleration $\rightarrow a = G \frac{M}{R^2}$ Newtons lag

- Man kan alltså inte bestämma en planets massa utifrån dess omloppsbanan.

Planeternas massa

- Men har planeten en **måne** beror *dess* omloppsbanan på planetens massa.
- Vi kan då bestämma planetmassan utifrån månens omloppsbanan.
- Alla planeter utom Merkurius och Venus har minst en måne så vi kan få deras massa på detta sätt.
- Massan för Merkurius och Venus känner vi till genom att ha skickat rymdsonder till dem och mätt accelerationen direkt.

Planeternas massa

- Det visar sig att de stora planeterna också har stora massor.

	Massa [jordmassor]
Merkurius	0.06
Venus	0.82
Jorden	1
Mars	0.11
Jupiter	318
Saturnus	95
Uranus	15
Neptunus	17

*Jupiter har 71%
av planeternas
totala massa*



Planeternas densitet

- Med storlek och massa kan vi beräkna densiteten.
- De stora planeterna har 3-10 gånger lägre densitet än jordplaneterna.

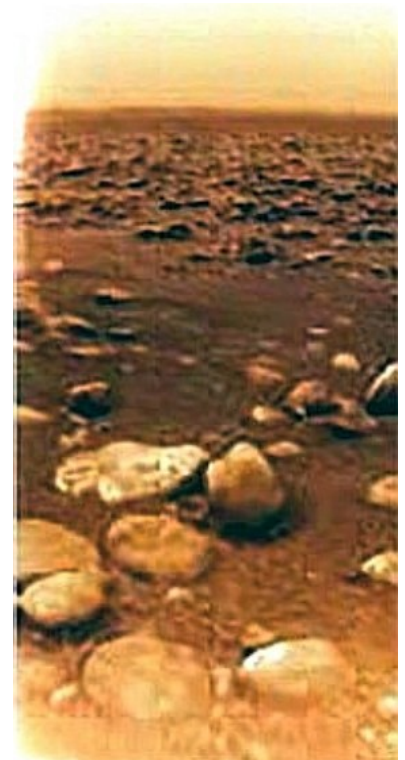
	Densitet [jorden=1]	
Merkurus	0.98	Hög
Venus	0.95	
Jorden	1	
Mars	0.71	
Jupiter	0.24	Låg
Saturnus	0.12	
Uranus	0.24	
Neptunus	0.30	

Planeternas komposition

- Hur vet man vilka *ämnen* planeterna består av?
- **Innandömmet** kan man säga något om utifrån
 - Planetens densitet
 - Planetens magnetfält
- **Ytan och atmosfären** kan man analysera genom
 - Visuell inspektion
 - Spektroskopi
 - Sonder

Kort om sonder

- Alla planeter och många av deras månar har undersökts av förbiflygande sonder.
- Hittills har **landning** skett på fyra st himlakroppar
 - Jordens måne
 - Mars
 - Venus
 - Titan (en måne till Jupiter)



Titan

Innandömen

	Densitet [jorden=1]	[kg/m ³]	
Merkurus	0.98	5400	
Venus	0.95	5200	
Jorden	1	5500	→ Metall + sten
Mars	0.71	3900	
Jupiter	0.24	1300	
Saturnus	0.12	700	
Uranus	0.24	1300	→ Gas + vätska
Neptunus	0.30	1600	

Metall :	7000 kg/m ³
Sten :	3000 kg/m ³
Vatten/is :	1000 kg/m ³
Vätgas:	0.1 kg/m ³

Innandömen - månar

	Densitet [kg/m ³]
Jordens måne	3340
Io (Jupiter)	3530
Europa (Jupiter)	2970
Ganymede (Jupiter)	1940
Callisto (Jupiter)	1850
Titan (Saturnus)	1880
Triton (Neptunus)	2050

→ Sten

→ Sten + is

Metall : 7000

kg/m³

Sten : 3000

kg/m³

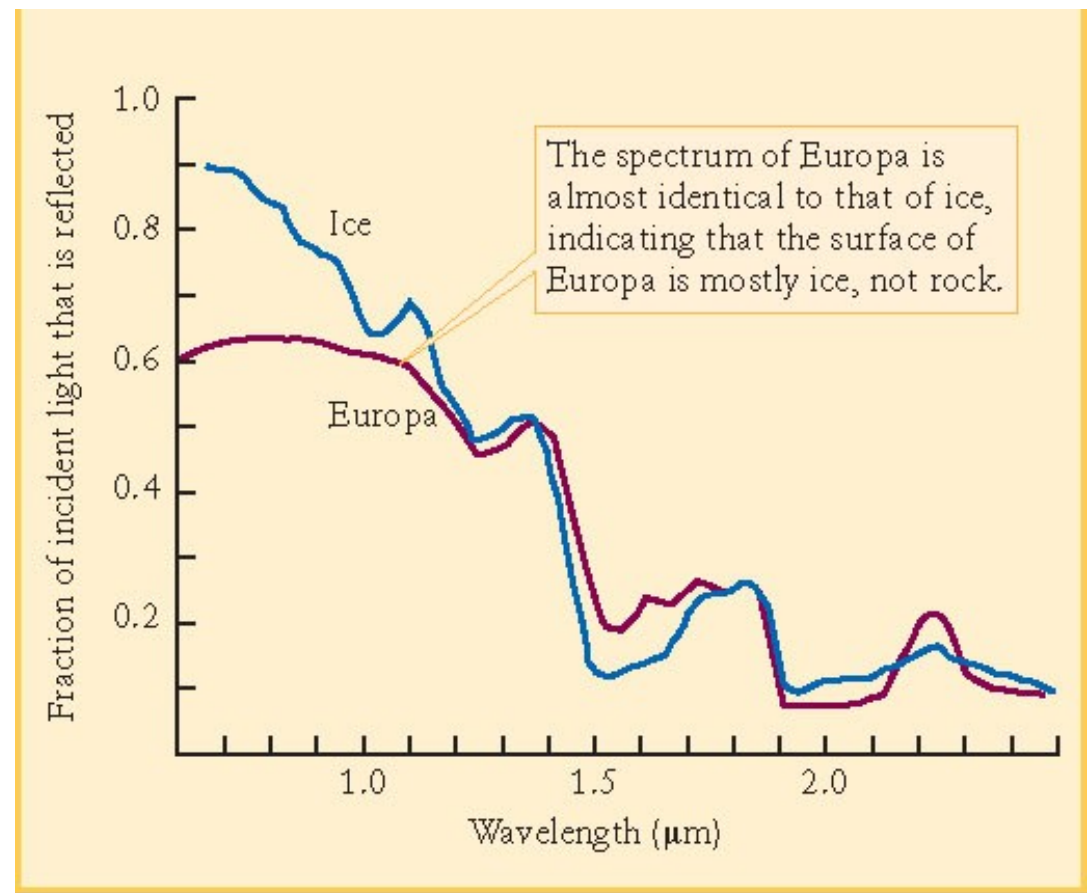
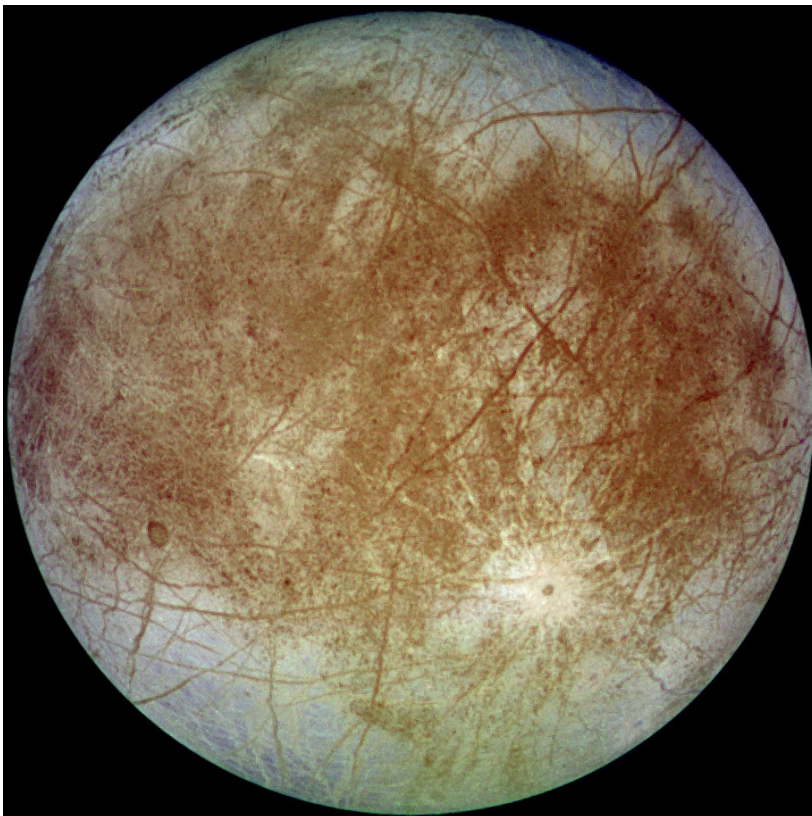
Vatten/is : 1000

Yta

- Gasjättarnas ytor ligger så långt ner i atmosfären att de är onåbara för observation. Det är oklart om de har en fast yta.
- Alla de jordliknande planeterna (och alla månar) har en **fast yta**.
- En fast yta ger inga skarpa spektrallinjer som en atmosfär gör, utan breda absorptionsmönster.

Yta

- Spektrumet av det reflekterade ljuset från Jupiters måne Europas yta visar att den är gjord av **is**.



(b) The spectrum of light reflected from Europa

Atmosfär

- Spektralanalys av atmosfären avslöjar atomer och molekyler via skarpa spektralinjer.
- De små planeternas atmosfärer består av **tunga molekyler** som N_2 , O_2 , CO_2 , H_2O .
- De stora planeternas atmosfärer består av **lätta molekyler/atomer** som H_2 och He.

	Atm.
Merkurius	Ingen
Venus	CO_2
Jorden	N_2, CO_2
Mars	CO_2
Jupiter	H_2, He
Saturnus	H_2, He
Uranus	H_2, He
Neptunus	H_2, He

Atmosfär

- Den enda av månarna som har en atmosfär är **Titan**.
- Spektralanalys visar på att kvävgas dominerar precis som på jorden, samt att stora mängder **metan** (CH_4) finns.
Bekräftades när Huygens landade 2005.

	Atm.
Merkurius	Ingen
Venus	CO_2
Jorden	N_2, CO_2
Mars	CO_2
Jupiter	H_2, He
Saturnus	H_2, He
Uranus	H_2, He
Neptunus	H_2, He

Planeternas temperatur

- Hur vet vi *temperaturen* på planeterna?
- **Genomskinlig atmosfär :**
spektrumet (Plancks lag)
- **Ogenomskinlig :**
sonder

	Medeltemp [K]	[C]
Merkurius	623	+350
Venus	733	+460
Jorden	282	+9
Mars	220	-53
Jupiter	165	-108
Saturnus	93	-180
Uranus	55	-218
Neptunus	55	-218

Planeternas temperatur

- En yta med temperaturen T strålar enligt **Stefan-Boltzmanns lag** med effekten:

$$P = \sigma T^4$$

- I jämvikt måste en planet stråla bort lika mycket energi som den tar emot av solen. Solens effekt är

$$P_i = 1.37 \text{ kW/m}^2 \frac{1}{D[\text{AU}]^2}$$

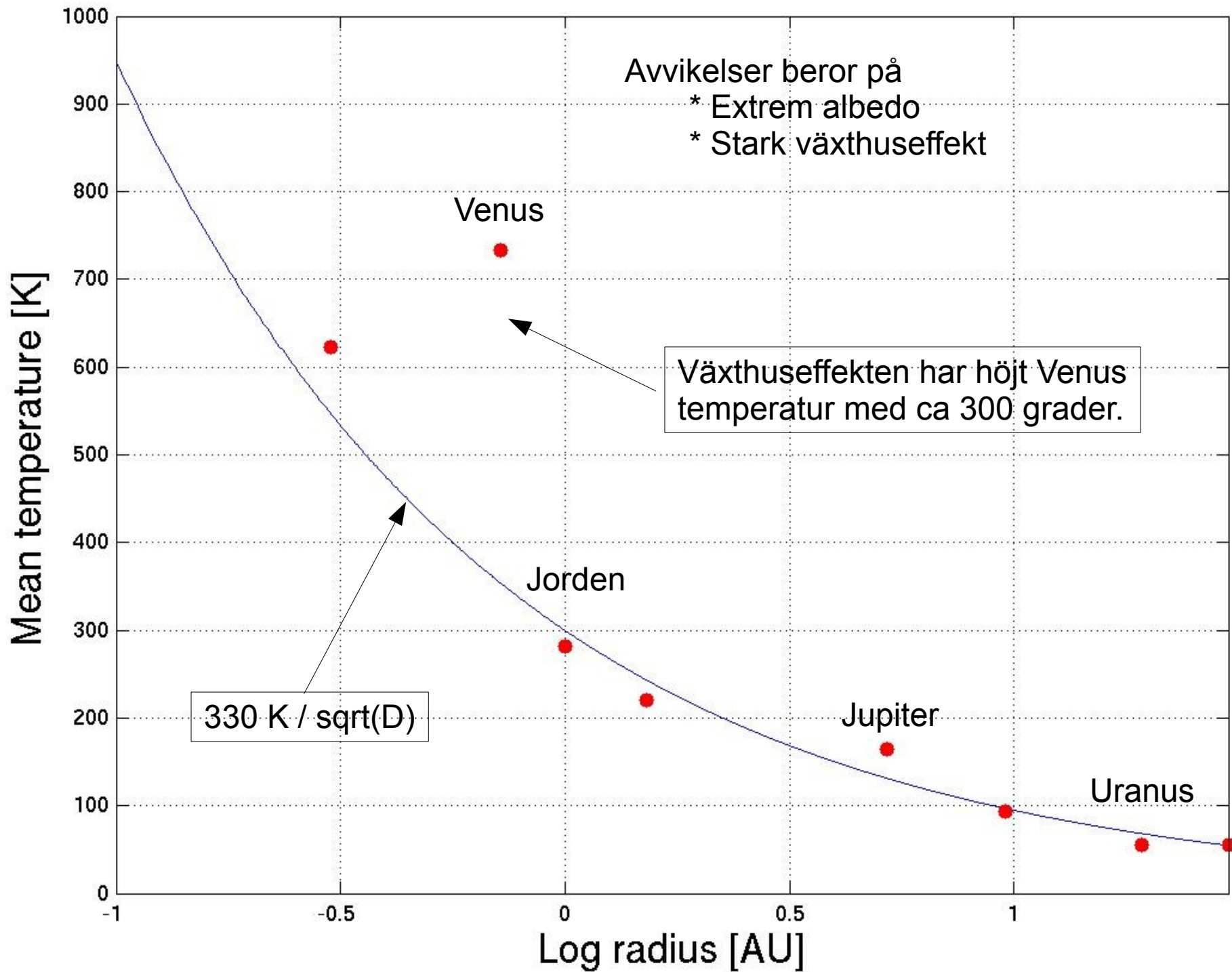
Planeternas temperatur

- **Albedon** a anger hur stor del av solstrålningen som reflekteras tillbaka ut i rymden. $(1-a)$ är då andelen som fångas upp.
- Jämvikt $(1-a)P_i = P_o$ ger

$$T(D) = \left[\frac{1370(1-a)}{\sigma D^2} \right]^{1/4}$$

- Om vi sätter $a=0.5$ får vi

$$T(D) \approx \frac{330 K}{\sqrt{D}}$$

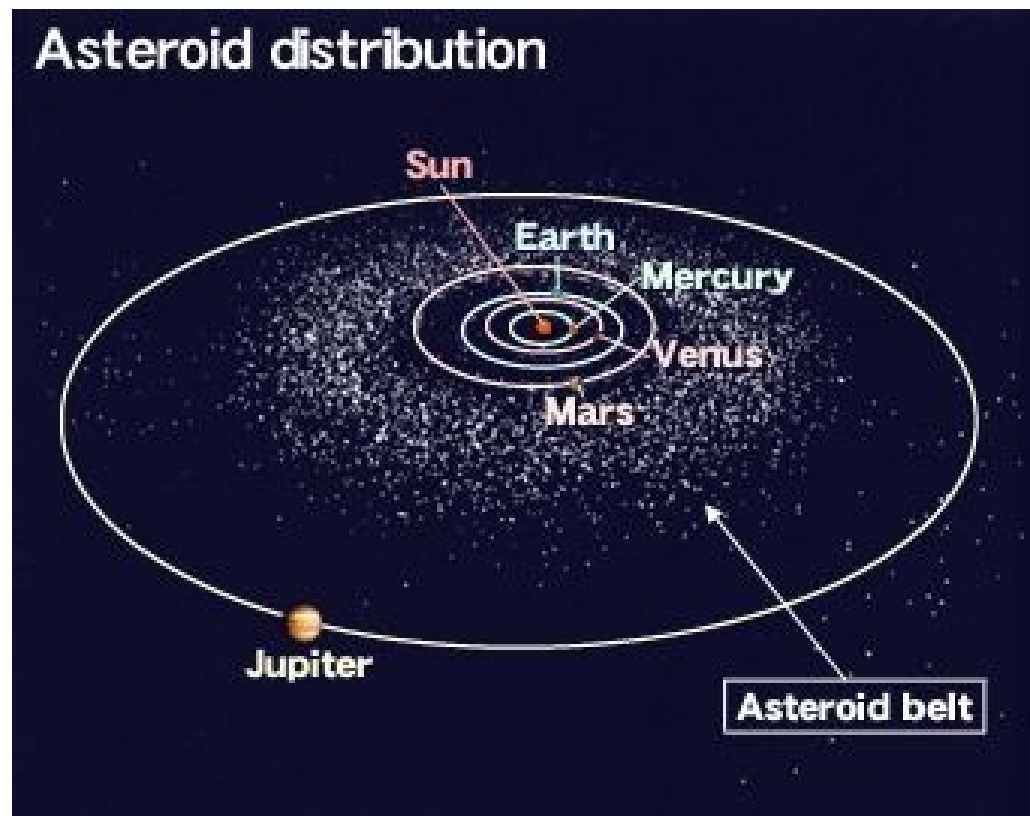


Övriga objekt i solsystemet

- Asteroider
 - *Steniga objekt i det inre av solsystemet*
- Trans-Neptunska objekt
 - *Miniplaneter utanför den sista planeten Neptunus*
- Kometer
 - *Isiga kroppar i mycket stora omloppsbanor*

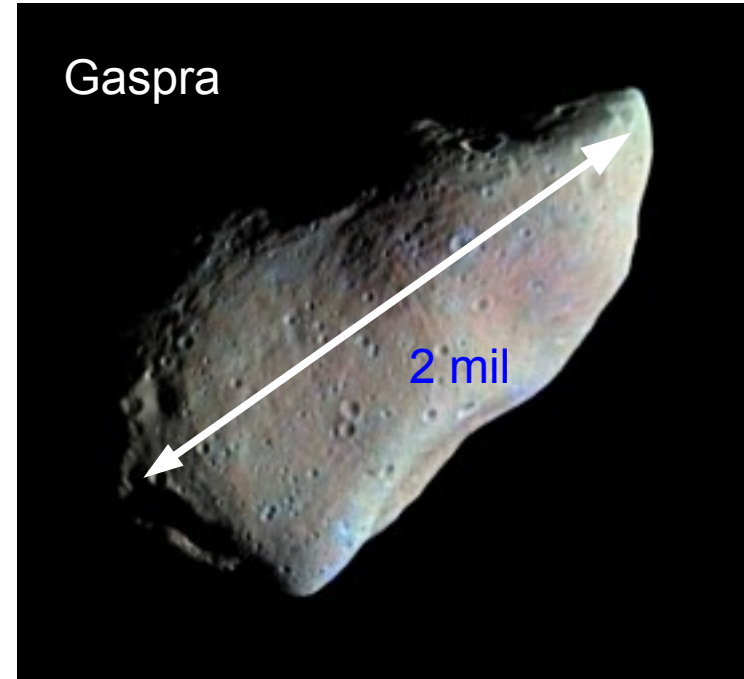
Asteroider

- Finns främst mellan Mars och Jupiter, de flesta mellan 2 och 3.5 AU : **asteroidbältet**. En region som inte blev inbakat i nån planet.



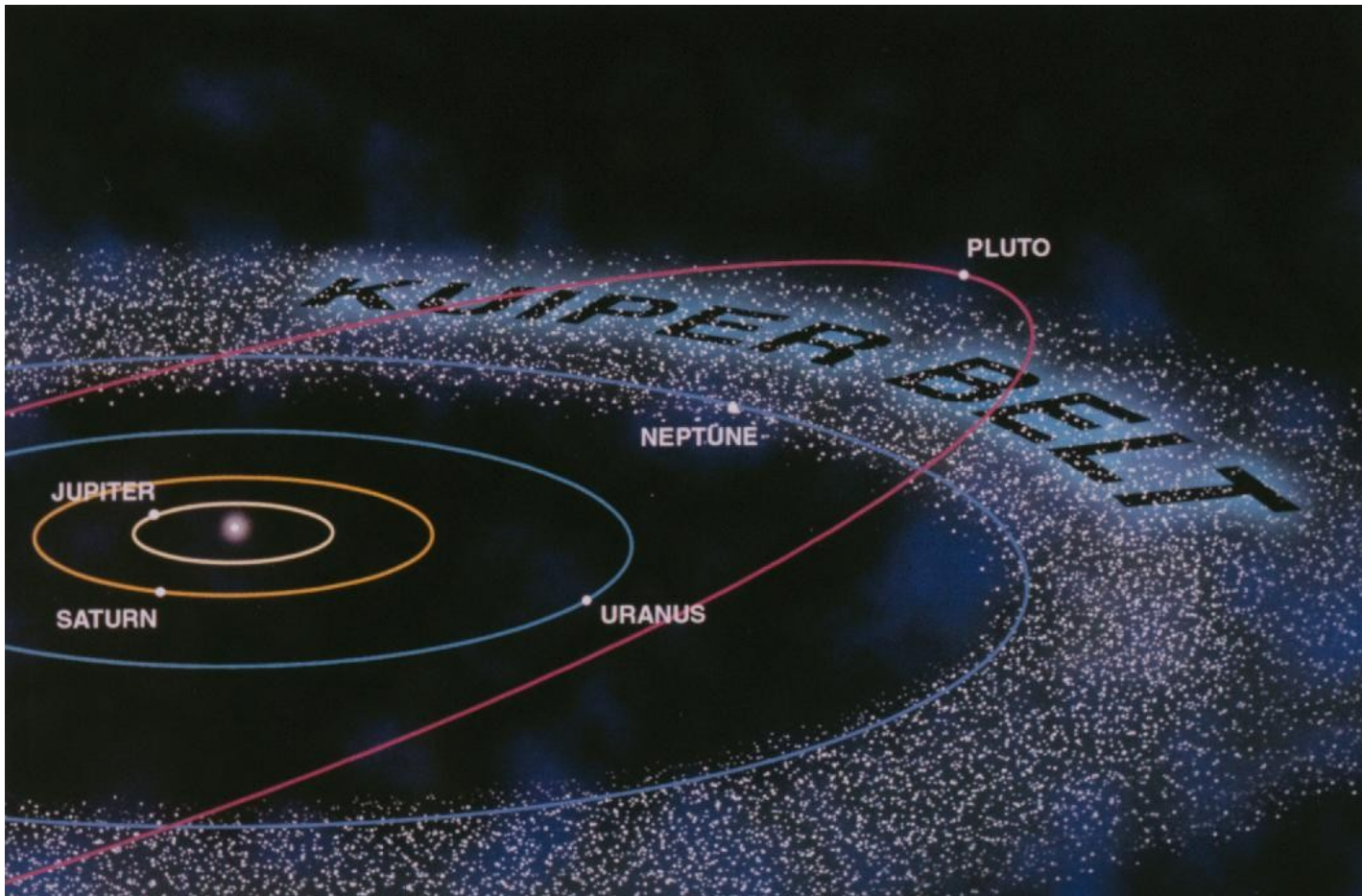
Asteroider

- Alla färdas i samma riktning och plan som planeterna.
- Idag ett par hundra tusen kända. Deras totala massa är mindre än månens.
- Den största (Ceres) har en diameter på 900 km, och är en av få sfäriska asteroider.



Trans-Neptunska objekt

- Finns precis som asteroider främst i ett bälte : **Kuiperbältet** mellan 30 och 50 AU.



Trans-Neptunska objekt

- Den första som upptäcktes var **Pluto** (1930), som har en diameter på 2300 km.
- Idag är cirka 1000 kända. Den största är **Eris** (2900 km).
- Den totala massan beräknas till ungefär en Jupitermassa, dvs mycket större än asteroiderna och ungefär halva massan av hela planetsystemet!

Varför två grupper?

- Asteroider och trans-Neptunska objekt utgör samma typ av uppdelning som sten-planeter och gas-planeter; metall och sten längre in (asteroider) och ismaterial längre ut (trans-Neptunska objekt).

Kometer

- Kometer är isiga kroppar vars omloppsbanor är stora och mycket eccentrica. Vi ser dem när de kommer in mot perihelion och hettas upp av solen. Efter att ha rundat solen färdas de utåt igen, kyls ned och slocknar.
- Notera att svansen pekar bort från solen, inte längs deras färdriktning.



Kometer

- Många kometer har antagligen skapats i kollisioner mellan trans-Neptunska objekt.
- Man tror en del av kometernas aphelion istället fokuseras i en sfärisk region mellan 20,000 – 50,000 AU som kallas **Oorts moln**. Detta moln är dock inte observerat.
- Kometernas totala massa uppskattas till ca 1 jordmassa.

Hale-Bopp som passerade perihelion 1997. Förra gången var år 2250 före Kristus!



Gelogisk aktivitet

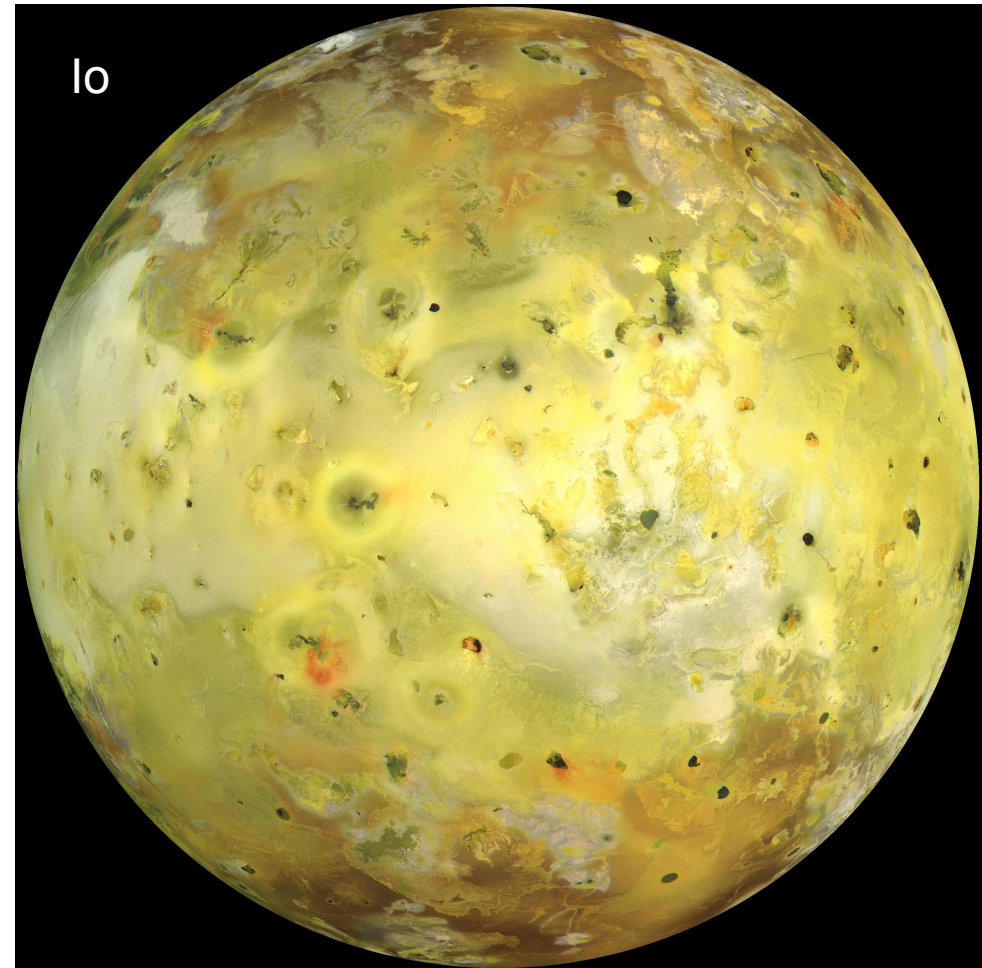
- En mycket viktig egenskap hos planeter är huruvida de har nått **termodynamisk jämvikt**.
- När planeterna bildades var de mycket varma från all den energi som kollisionerna tillförde.
- De små planeterna (Merkurius, Mars) har idag strålat bort denna ursprungliga värme, men de andra har inte det!



Vulkaner finns på jorden, Venus och Mars, samt även på en del månar som text lo som har aktiva vulkaner.

Geologisk aktivitet

- En annan energikälla är **radioaktivt sönderfall**.
- Också **tidvattenkrafter** kan orsaka aktivitet inuti en planet eller måne. Ett exempel på detta är Jupiters måne **Io**.

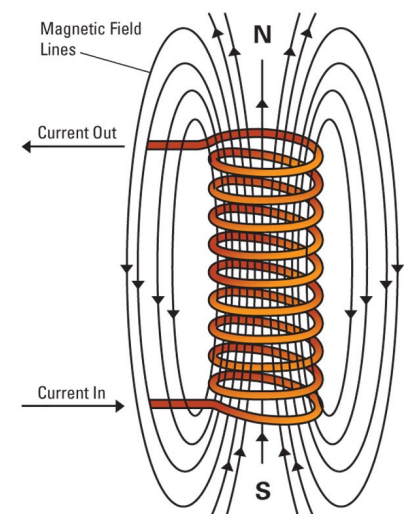
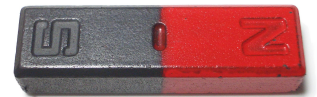


Magnetfält

- Ett **magnetfält** skapas då många elektroner rör sig på ett ordnat sätt. Detta kan ske genom att

1) **Bundna elektroner** rör sig runt sin atomkärnan i *samma plan*. Detta är vad som sker i tex en ferromagnet.

2) **Fria elektroner** rör sig i *samma riktning*, dvs vi har en **elektrisk ström**.



Planeternas magnetfält

- De flesta är idag överrens om att planeternas magnetfält produceras genom den andra mekanismen: **elektriska strömmar**.
- Detta betyder att alla planeter som har ett magnetfält måste vara delvis metalliska inuti.
- Detta stämmer väl med teorin för planetbildning där de tunga metallerna som järn och nickel sjunker ner mot planetens centrum när den är ung och smält.

Planeternas magnetfält

- Hur exakt går det strömmar i dessa metallkärnor?
- Det visar sig vara ganska komplicerat att åstadkomma strömmar som håller i sig över flera årmiljarder. Det krävs
 - Att det finns **flytande metall** inuti kroppen
 - Att det förekommer **konvektion** i denna metallvätska.
- Den fysikaliska modellen man använder kallas **dynamo**.

Planeternas magnetfält

- De små planeterna har vanlig flytande metall av **järn och nickel** inuti sig.
- Jupiter och Saturnus har en (för oss) ovanlig metall som utgörs av tätt packade väteatomer; **metalliskt flytande väte**.
- Uranus och Neptunus är för små för att ha metalliskt flytande väte. Här är det istället joner i stora mängder vatten som orsakar magnetfältet.

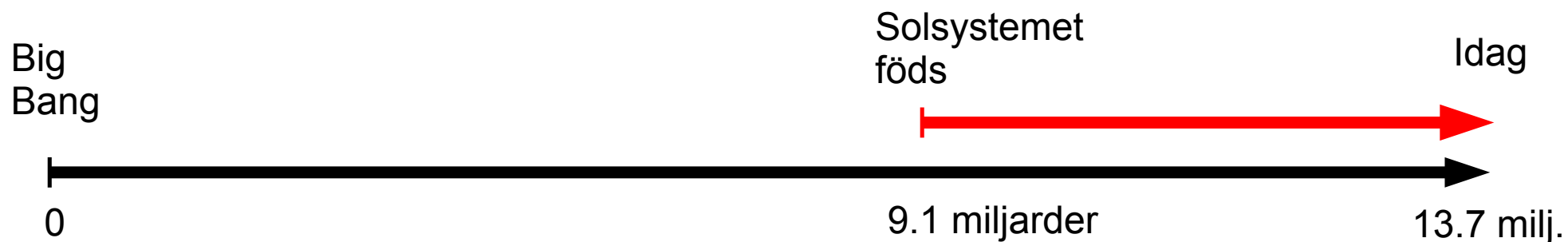
Datering av solsystemet

- **Datering** görs genom att jämföra mängden av ett radioaktivt ämne med dess sönderfallsprodukt.
- Tex har ^{87}Rb (rubidium) \rightarrow ^{87}Sr (strontium) en halveringstid på 47 miljarder år och kan användas till att datera mycket gamla stenar.

Jordens ålder

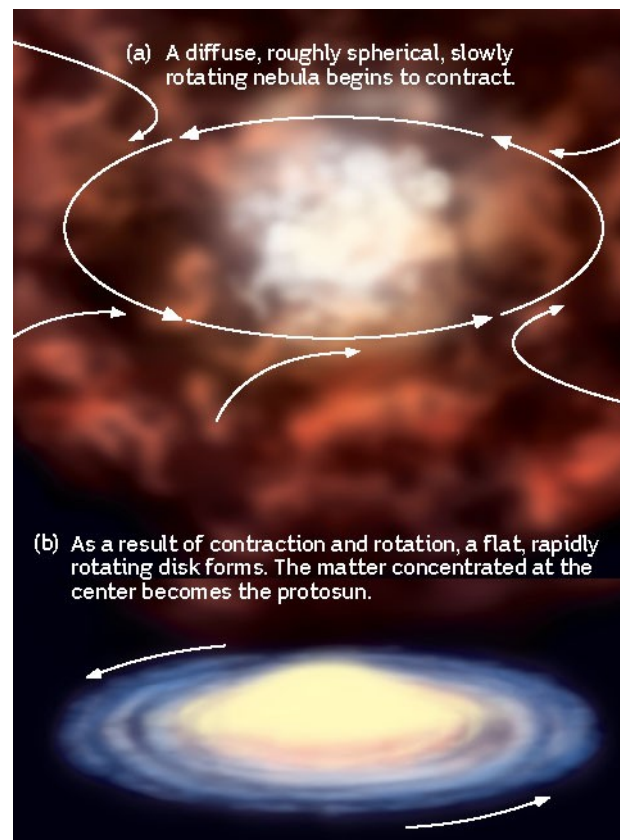
- De äldsta jordstenar som hittats är 4 miljarder år gamla. Detta är därför jordens minimi-ålder.
- Stenar från månen är 4.5 miljarder år.
- Meteoriter som slagit ned på jorden har daterats till 4.5 miljarder år.

Man tror idag att solsystemet är **4.6 miljarder år** gammalt, vilket är ganska exakt $1/3$ av universums ålder.



Nebulosteorin

- Den väl accepterade teorin för solsystemets uppkomst är att solen och planeterna bildades tillsammans ur en enda roterande nebulosa.



Nebulosteorin

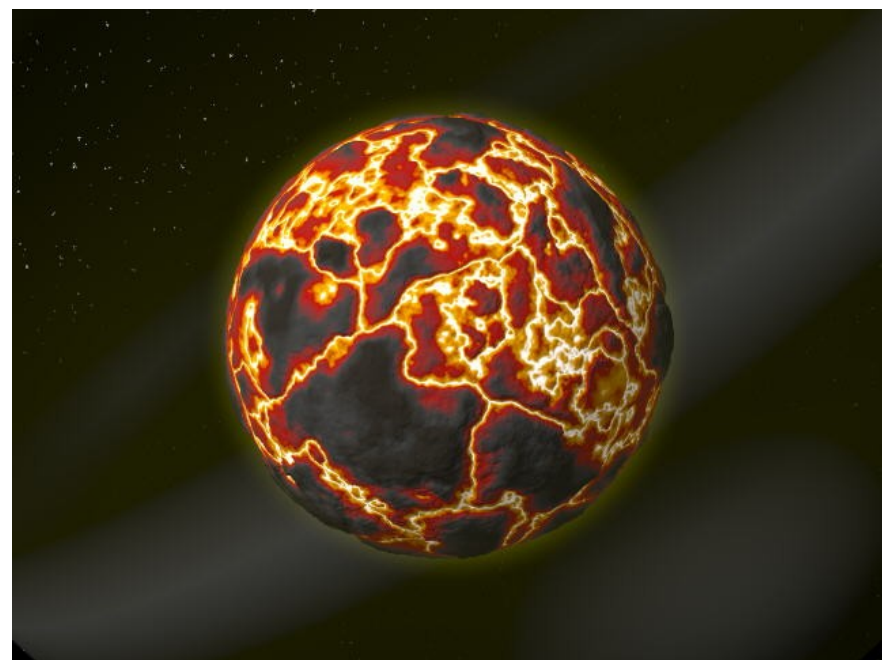
- Temperaturen var initialt låg (solen ej igång!) → allt var i **fast form** från början, förutom väte och helium som i princip alltid är i gasform.
- Upphettning i de inre delarna → vatten, metan och ammoniak förgasas.
- De yttre delarna fortfarande tillräckligt kalla för att dessa ämnen skulle förbli i fast form (dvs **is**).
 $T < 100\text{-}300\text{ K}$.

De inre planeterna

- De fasta ämnena börjar klumpa ihop sig → **protoplaneter** av järn, nickel, kisel, magnesium och deras oxider (syreföreningar).
- Eftersom dessa ämnen är ganska ovanliga (H och He utgör 98% av massan i universum och i den ursprungliga nebulosan) blir de inre protoplaneterna ganska **små**.
- Små planeter + höga temperaturer → *de små planeterna har för svag ytgravitation för att binda väte och heliumgasen på sina ytor.*

Kemisk differentiering

- Med tiden sker kraftigare kollisioner → ytterligare upphettning. Även dessa ämnen smälter och protoplaneten blir **flytande**.
- Detta tillåter att de tunga ämnen sjunker mot mitten. Planeterna får därför kärnor av de tyngsta ämnena som är järn och nickel.



Yttre planeterna

- Två teorier konkurrerar fortfarande om hur de yttre planeterna bildades
 - Core accretion-teorin.
 - Disk instability-teorin.

Core accretion teorin

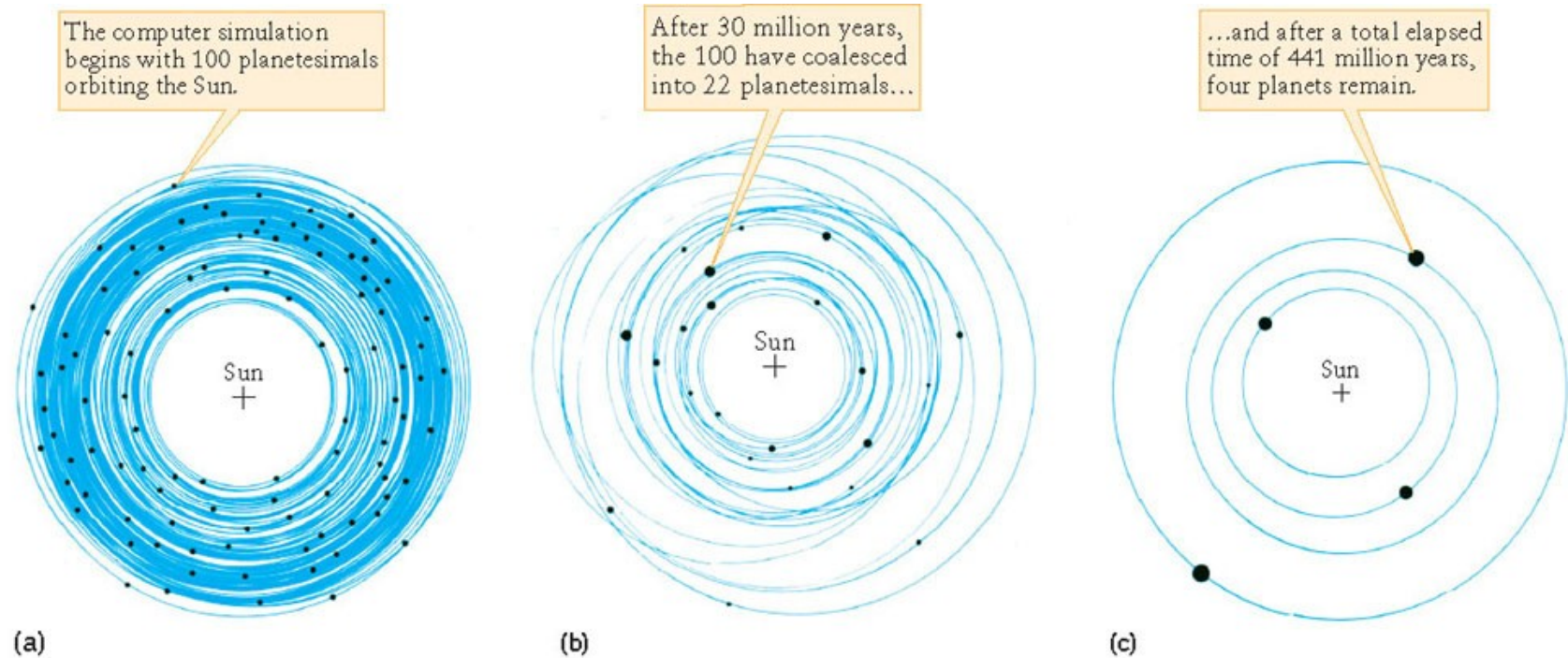
- Kallt längre ut → Även is bidrar till det fasta materialet. Is är mycket vanligare än sten och metall → mycket **större** protoplaneter.
- Större planeter + låg temperatur → de yttre planeterna *kan* binda väte och heliumgasen till sina ytor.
 - + Förklarar varför planeterna längre ut är större.
 - Kräver att Uranus och Neptunus bildades längre in och har sen dess flyttat på sig.

Disk instability teorin

- I denna modellen bildas gasjättarna direkt ur gasdisken utan att först ha en kärna av sten och is.
 - + Uranus och Neptunus kan formas där de är idag.
 - Svårare att förklara varför planeterna är större längre ut.

Simuleringar

- Simuleringar har framgångsrikt lyckats återskapa planetsystem liknande vårt.
- De visar att processen typiskt tar ca 100 miljoner år.



Proplyder

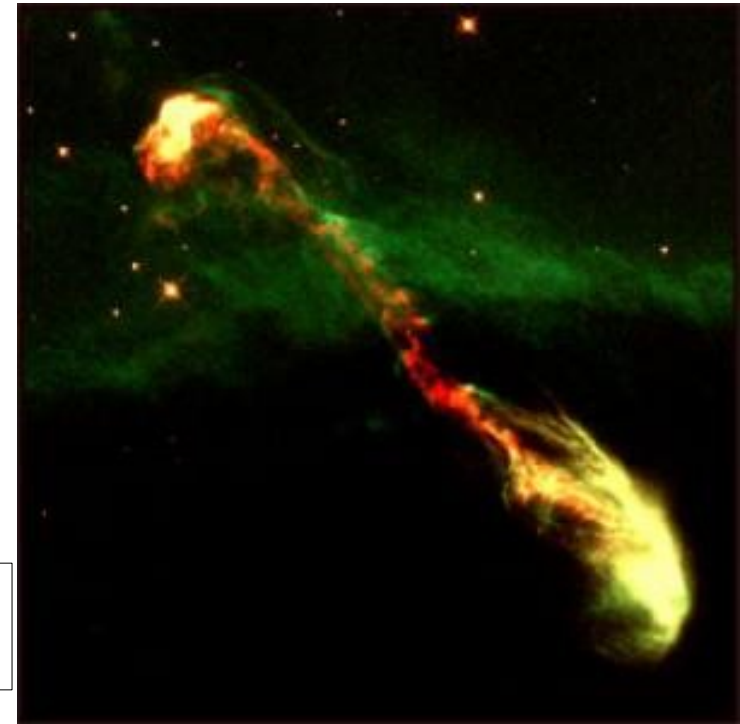
- Den protoplanetära disk eller **proplyd** som ett solsystem föds ur har observerats, tex dessa i Orion.



Den unga stjärnan

- Beräkningar och observationer tyder på att den unga stjärnan driver starka **jets** och **vindar**, dvs material som skjuts ut med hög hastighet.
- Dessa jets och vinder sveper rent → planetformationen upphör.

*Den unga stjärnan HH47
och dess jet.*

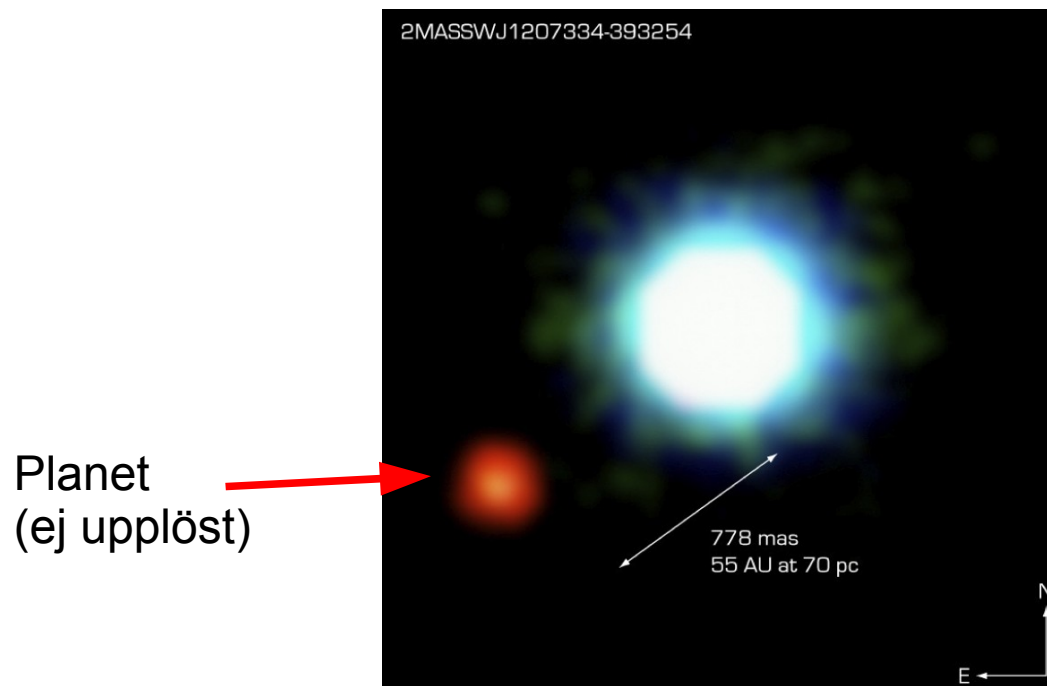


Extrasolära planeter

- 1995 upptäcktes den första planeten kring en annan stjärna: **51 Pegasi**.
- Idag känner man till ett par hundra extrasolära planeter, och detta är ett nytt och spännande område inom astronomin.

Detektionsmetoder

- En planet är så svag jämför med sin stjärna att den är mycket svår att se direkt på bild. Här är en av få faktiska avbildningar, gjord i infrarött ljus:



- Vanligtvis letar man istället efter små rörelser som dess moderstjärna gör pga att planeten är där.

Detektionsmetoder

- Astrometri

- Transversell wobbling. Inga fall ännu.

- Doppler (de flesta hittills)

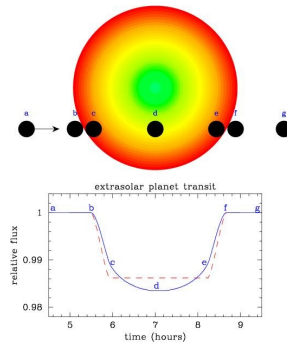
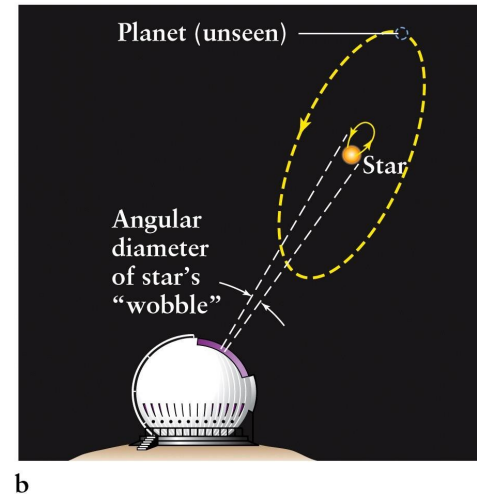
- Radiell wobbling → Dopplerförskjutning av spektrallinjer.

- Transits

- Planeten passerar framför eller bakom stjärnan → ljusförändring. Tillåter bestämning av massa, storlek, temperatur och atmosfär!

- Mikrolinsning

- Planeten utför gravitationell linsning → tillfällig förstöringsglaseffekt.



Exoplaneter - resultat

- De flesta hittills upptäckta är stora, som Jupiter eller ännu större.
 - Många av dessa jättar ligger förvånansvärt nära stjärnan; 0 – 1 AU !
 - Stora eccentriciteter.
 - 5% totalt men 10-20% av de solliknande stjärnorna wobblar
- *ungefär 1 av 10 stjärnor verkar ha planeter.*
- Inom några månader/år väntas den första jordliknande planeten upptäckas.