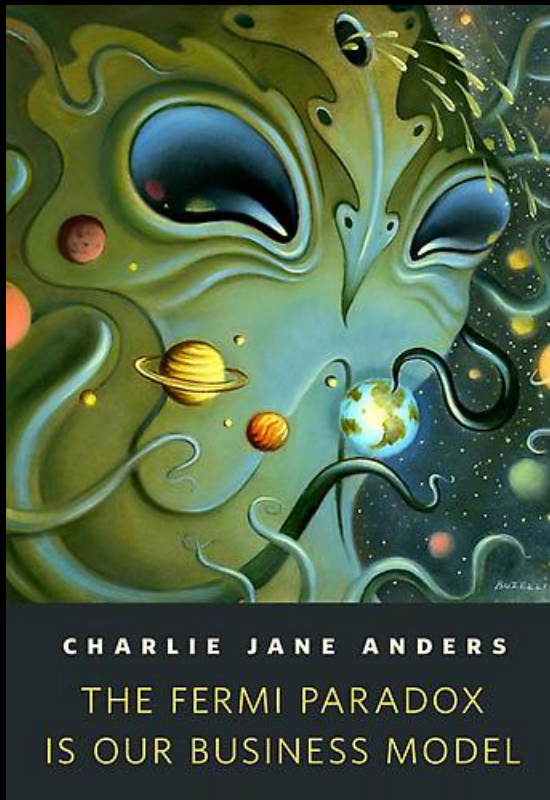


Intelligent liv i Universum – Är vi ensamma?

Föreläsning 6: Fermis paradox II



Upplägg

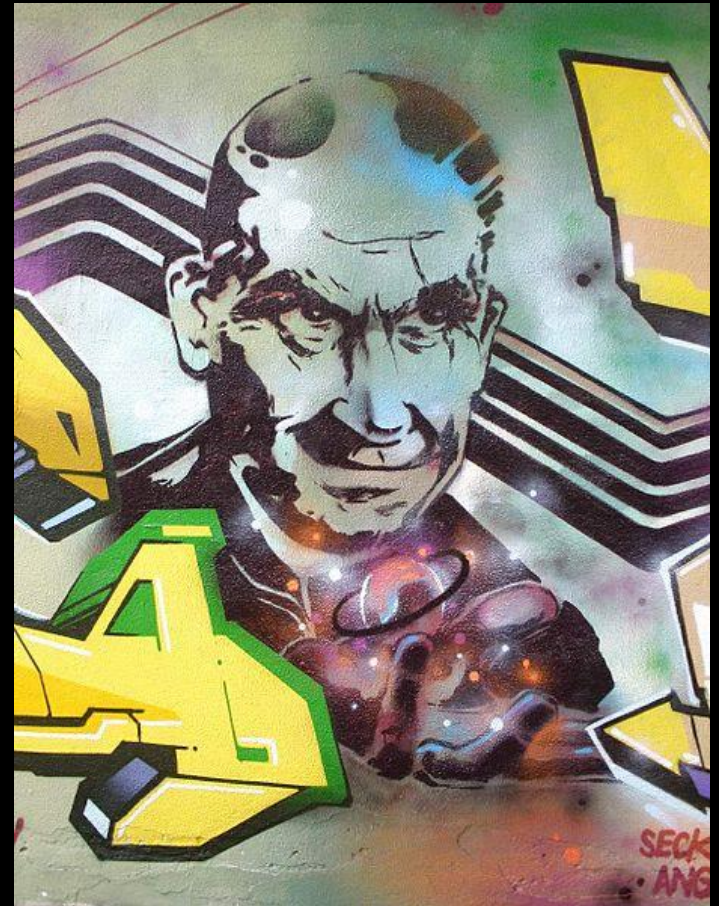
- Fermis paradox: "They do not exist"
- Antropiska resonemang
- Det kosmiska filtret ("great filter")

Webb: Kapitel 5-6

Davies: Kapitel 4 (sid 83-92)

Repetiton: Vad är Fermis paradox?

- Om utomjordiska civilisationer nu är så vanliga i Vintergatan (som antydades av tidiga uppskattningar med Drake-ekvationen), varför har vi inte redan sett bevis på deras existens?
- Inga tydliga bevis för utomjordiska rymdsonder, artefakter eller signaler →
"Var är allihop?"



Repetition: Lösningskategorier

Så, var är allihop?

- Kategori I: "Dom är här"
(kapitel 3 i Webb)
- Kategori II: "Dom
existerar men har inte
tagit kontakt med oss"
(kapitel 4 i Webb)
- Kategori III: "Dom
existerar inte"
(kapitel 5 i Webb)



Kategori III: "Dom existerar inte"

- Lösning 31: Universum är här för oss (Webb, sid 143)
- Lösning 35: Stenplaneter är sällsynta (Webb, sid 156)
- Lösning 36: Kontinuerligt beboeliga zoner är sällsynta (Webb, sid 158)
- Lösning 38: Asteroidresonanser av solsystemets typ sällsynta (Webb, sid 164)
- Lösning 39: Vintergatan är en riskfylld plats (Webb, sid 166)
- Lösning 40: Planetsystem är farliga platser (Webb, sid 172)

Kategori III: "Dom existerar inte" forts.

- Lösning 41: Jordens plattektonik är unik (Webb, sid 180)
- Lösning 42: Månen är unik (Webb, sid 184)
- Lösning 43: Livets uppkomst är osannolik (Webb, sid 189)
- Lösning 44: Övergången från prokaryoter till eukaryoter är osannolik (Webb, sid 206)

Kategori III: "Dom existerar inte" forts.

- **Lösning 46:** Teknologisk utveckling är inte oundviklig (Webb, sid 215)
- **Lösning 47:** Intelligens på vår nivå eller högre är sällsynt (Webb, sid 217)
- **Lösning 48:** Språk är sällsynt (Webb, sid 223)
- **Lösning 50:** En rad av effekter i kombination (Webb, kapitel 6)

Antropiska resonemang

- **Den antropiska principen:** De observerade egenskaperna hos det fysiska universumet måste vara kompatibla med uppkomsten av medvetet liv – annars skulle vi ju inte existera



Har bl.a. åberopats för att förklara varför universums naturkonstanter har de värden de har

- Bedrägligt resonemang:

- Vi existerar ju
- Finns $\sim 10^{22}$ andra stjärnor i det observerbara universumet
- Är det då inte självklart att det måste finnas liv någonstans därute?



Nej – vi skulle säga "vi existerar ju" även om intelligent liv är så sällsynt att det krävs en miljon universa som vårt för att skapa en enda civilisation (vår egen)

Lösning 31: "Universum är här för oss"

- Antag:
 - Sannolikheten för intelligent liv att uppstå är extremt liten (låt säga $\sim 10^{-50}$ per stjärna)
 - Det finns ett stort (kanske oändligt) antal universa
 - I ett antal av dem uppstår intelligent liv
 - Ett av dessa lyckokast har skapat oss

Detta scenario innebär att vi mest troligt
är ensamma i vårt eget universum

Lösning 35: Stenplaneter är sällsynta

- Brytbara mineraler sällsynta → Inga rymdskepp eller teleskop?
- Metaller sällsynta på beboeliga planeter eller alltför svåråtkomliga (begravda alltför djupt)?
- Kan teknologi utvecklas på annat sätt, exempelvis med biologiskt material?



Kepler-10b

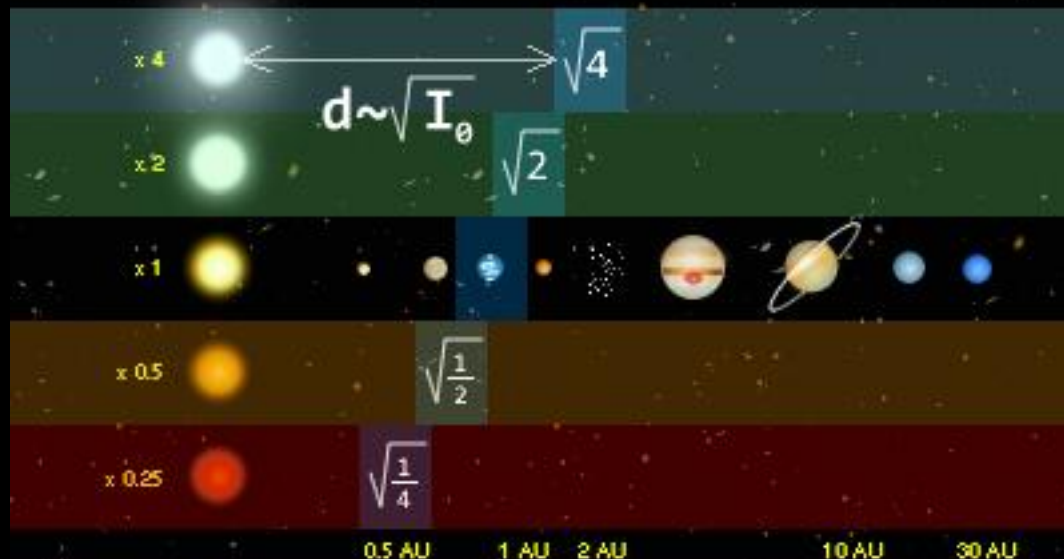
Observera: Stenplaneter har redan upptäckts!

Exempel: Kepler-10b

- Keplers mätningar med fotometriska metoden → **Storlek** och **avstånd** från moderstjärnan
- Uppföljning med Dopplermetoden → **Massa**
- Kombinera storlek och massa → **Medeldensitet**
- Radie: 1.4 ggr jordens
- Massa: $\approx 3\text{-}6$ ggr jordens
- Täthet aningen högre än jorden, och kompatibel med järnsammansättning
- **Mycket het planet (1800 K) → Flytande metall**

Lösning 36: Kontinuerligt beboeliga zoner är sällsynta

- Stjärnor ändrar temperatur, storlek och luminositet när de åldras
- Solen var $\approx 10\text{-}20\%$ ljussvagare för några miljarder år sedan
- Beboeliga zonen i ett planetsystem flyttas!
- Osannolikt att planeter ligger i den *kontinuerligt* beboeliga zonen?

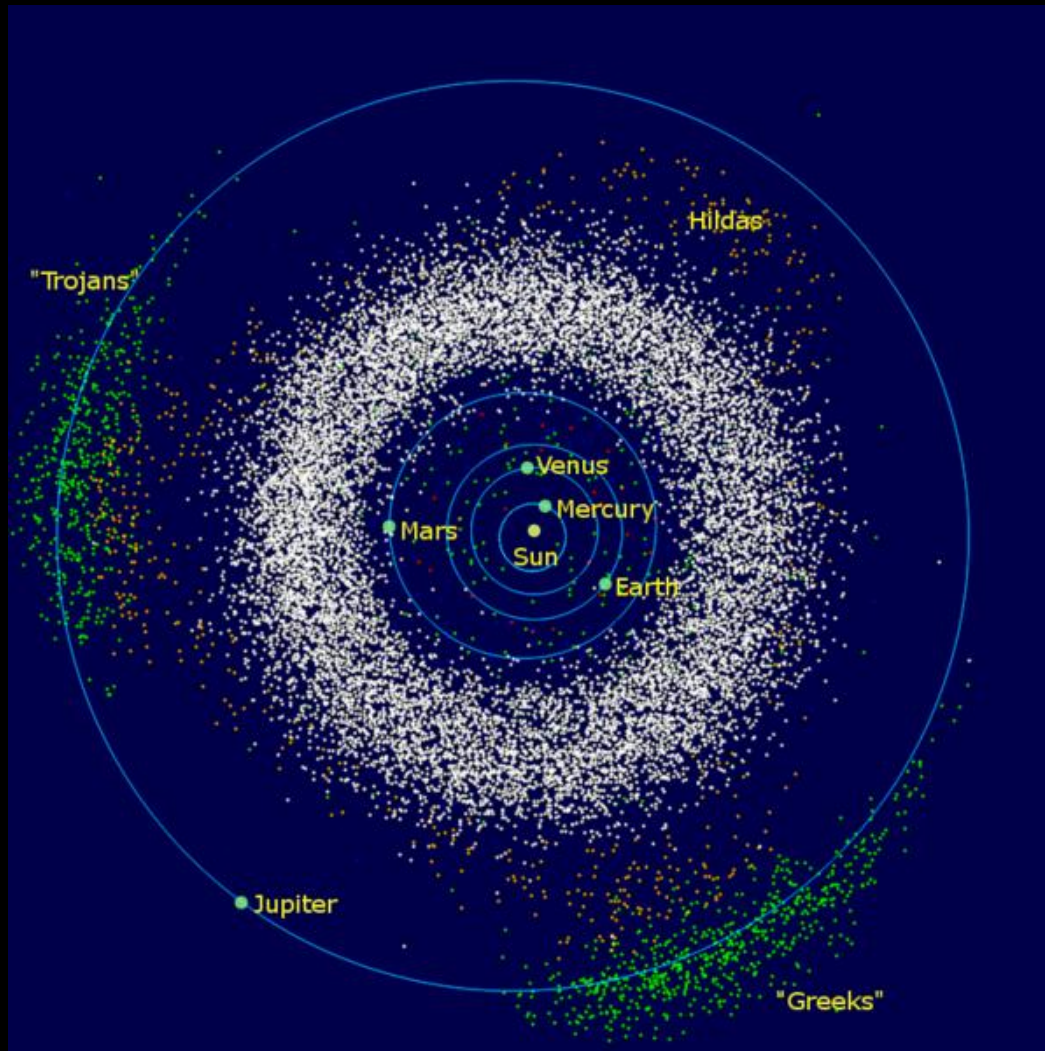


Lösning 38: Asteroidresonanser av solsystemets typ är sällsynta

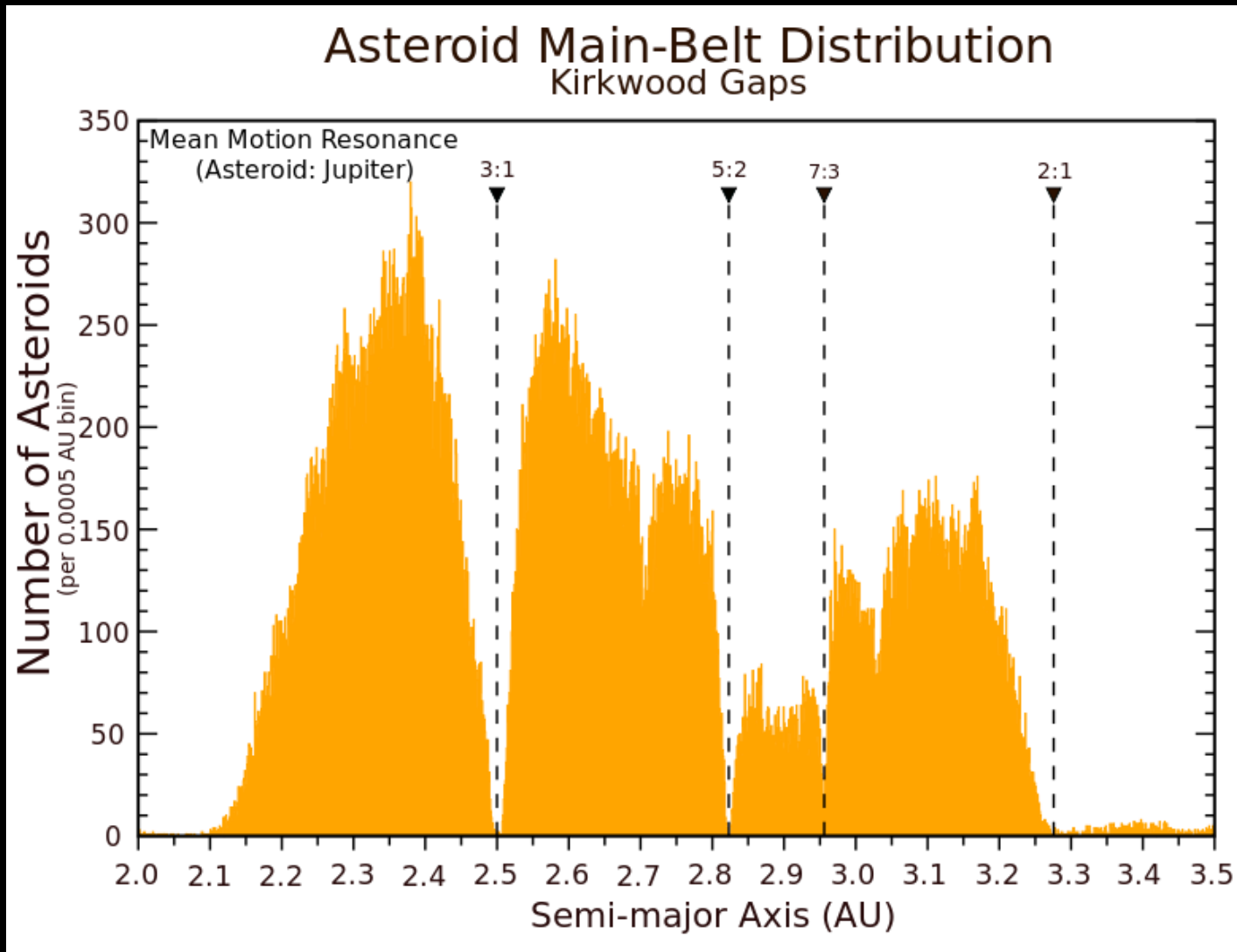
- Kriser p.g.a. bombardemang av asteroider → snabbar på evolutionen och får intelligenta civilisationer att uppstå snabbare?
- Har jorden haft en optimal "pump of evolution"?



Asteroidbältet



Kirkwoodgap



Resonanser

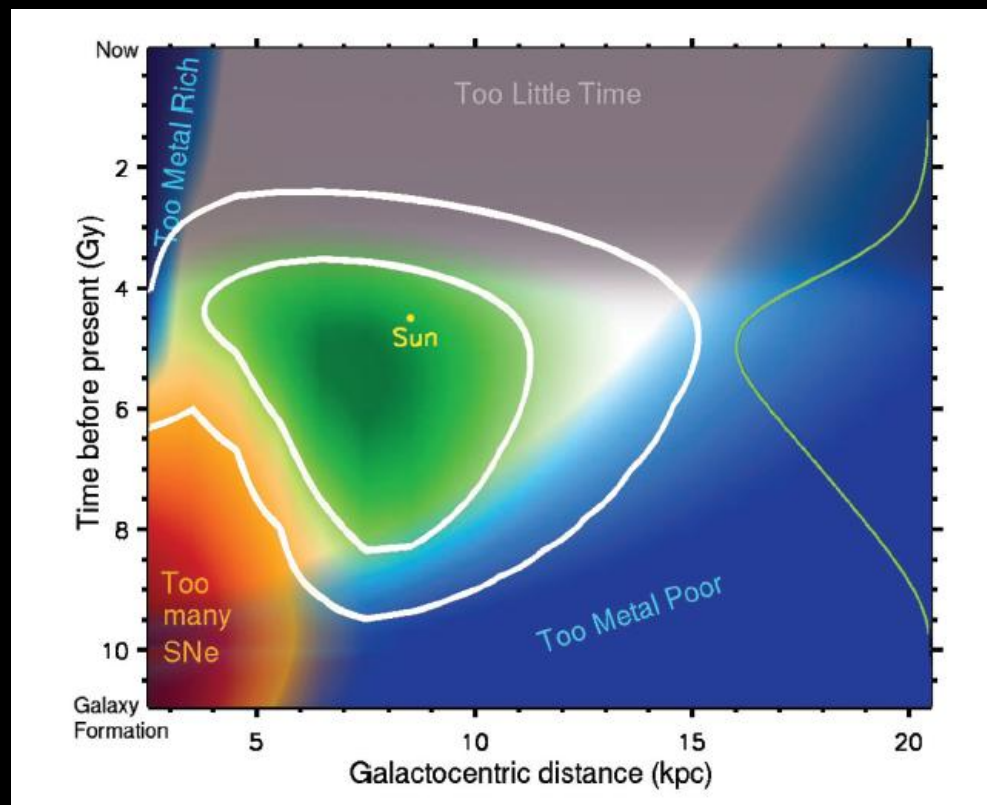
- Kirkwoodgapen beror på s.k. resonanser med Jupiters bana
- Asteroider på vissa speciella avstånd får instabila banor och skickas ut i solsystemet
- Vissa slår ned på jorden → regelbunden (och optimal?) cykel av kriser och efterföljande evolution?
- Om denna mekanism är viktig, och sällsynt → f_i låg i Drakes ekvation

Lösning 39: Vintergatan är en riskfylld plats



- Supernovor och gammablixtar slår ut livsformer på planeter $\rightarrow f_i$ och/eller L låga i Drakes ekvation
- Se föreläsning 3!

- Men: Galaktiska beboeliga zonen försöker ta hänsyn till detta
- Supernovor och gammablixtar är förmodligen inte den definitiva lösningen på Fermis paradox



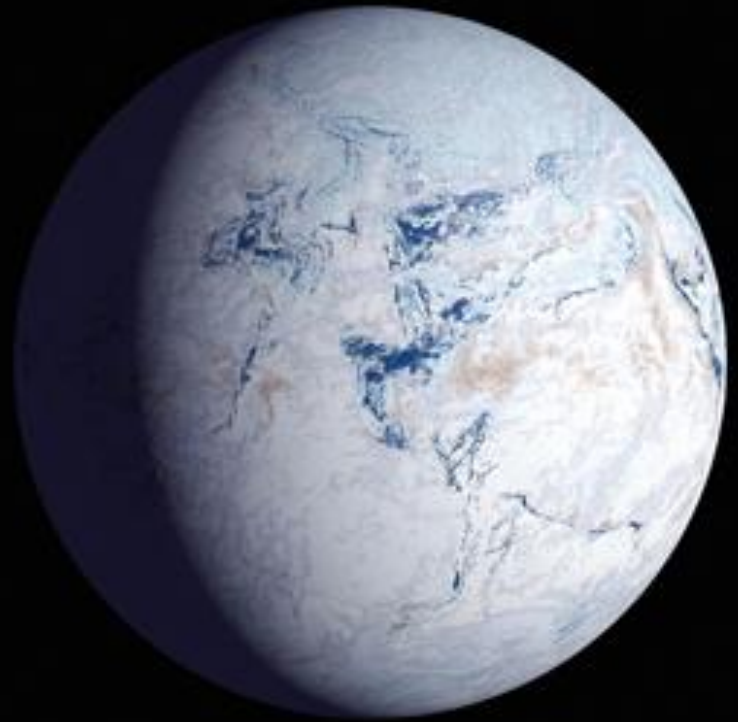
Lösning 40: Planetsystem är farliga platser

- Nedslag av asteroider och kometer
- Global nedfrysning
- Supervulkaner
- Men massutdöenden är inte nödvändigtvis av ondo (se lösning 38)



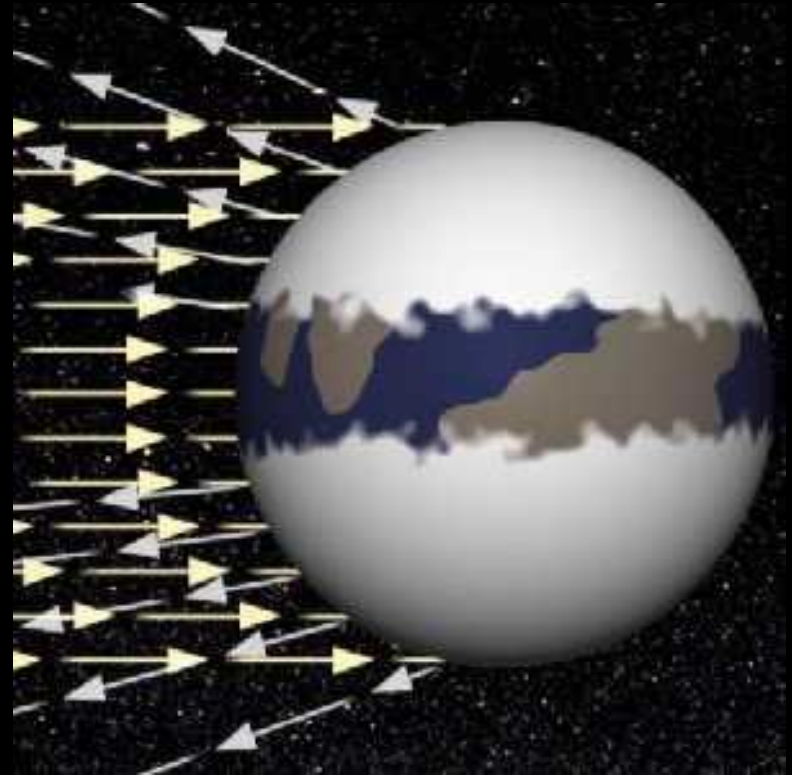
Global nedfrysning ("Snowball Earth")

- "Snöbolls-jorden": Hypotes om att jorden åtminstone en gång varit *helt* frusen för mer än 650 miljoner år sedan
- Varje sådan nedfrysning tros vara ca 10 miljoner år
- Obs! Istider är mycket milda i jämförelse, förekommer betydligt oftare och täcker inte hela jordytan



Global nedfrysning ("Snowball Earth")

- Mekanism: Istid → Jordytans albedo höjd (mer solljus reflekteras tillbaka ut i rymden) → Lägre temperatur → Mer is → Ännu högre albedo osv.
- Vulkanisk aktivitet tros kunna vända den omvända växthuseffekten
- Global nedfrysning vanlig process på exoplaneter → Låg f_i (eller L) eller hög f_i ?

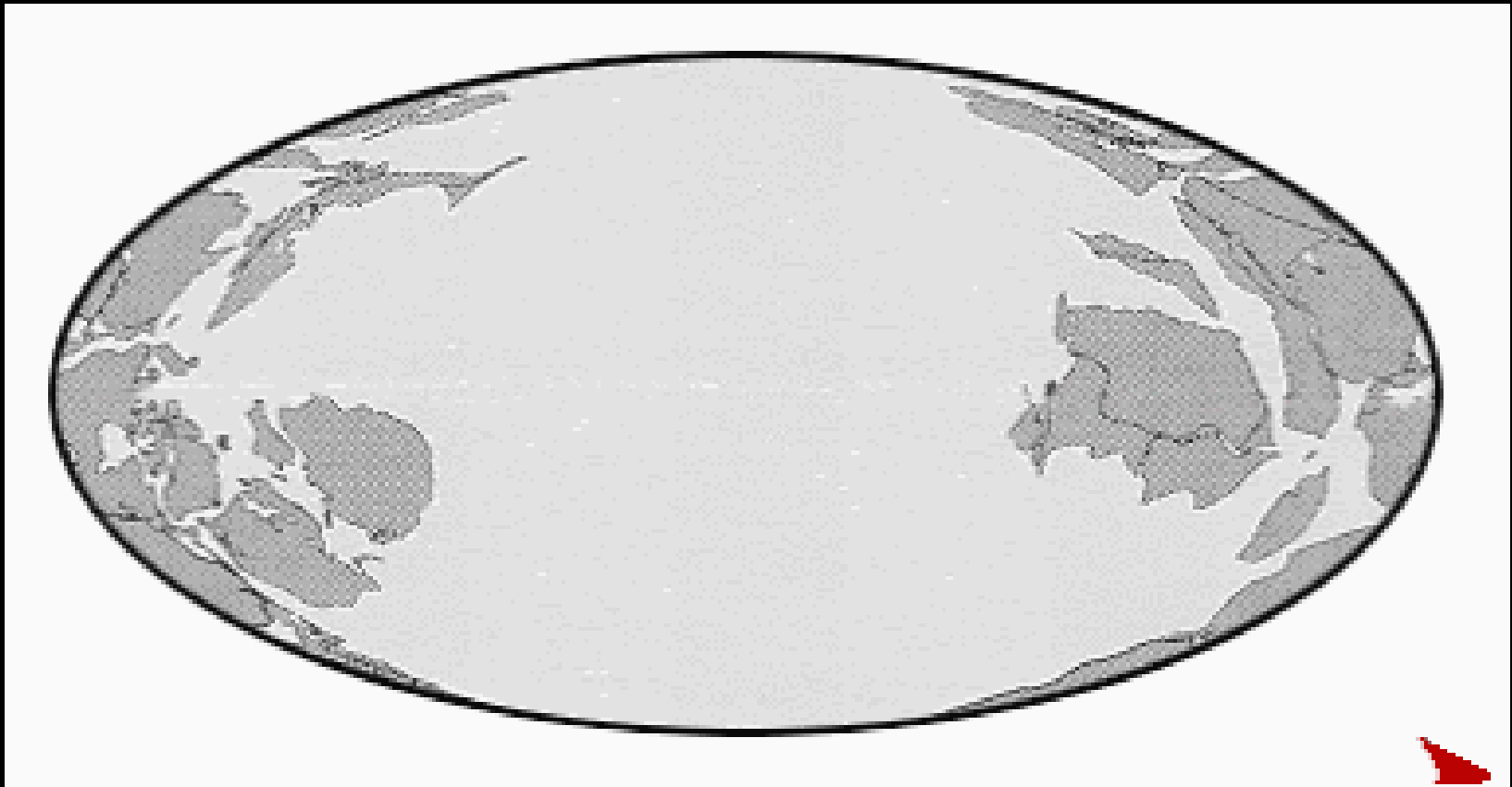


Supervulkaner

- "Supervulkan" vid Toba, Indonesien kan ha reducerat människosläktet till några få tusen individer för ca 74 000 år sedan
- Vulkanaska ökar jordens albedo → Sänkt medeltemperatur



Lösning 41: Jordens plattetektonik är sällsynt



Lösning 41: Jordens plattetektonik är sällsynt

- Värme från radioaktivt sönderfall i jordens inre transporteras uppåt genom plattetektonik
- Viktigt för:
 - Att upprätthålla jordens magnetfält (skyddar mot kosmisk strålning)
 - Kontinentaldrift, som ger biologisk mångfald, vilket ökar chansen för livets överlevnad vid massutdöenden
 - Upprätthålla jordens yttemperatur
- Bara jorden och Mars uppvisar säkra tecken på plattetektonik, men vissa månar (ex. Titan) är goda kandidater

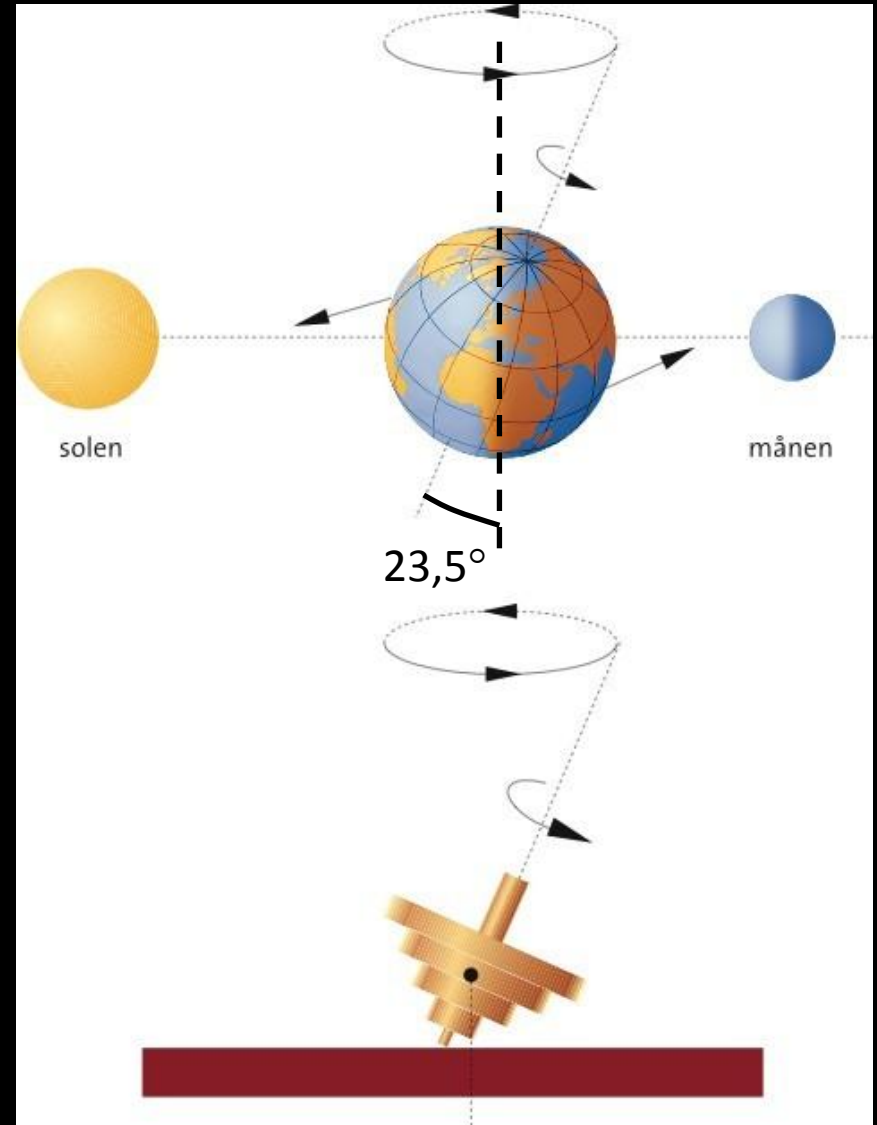
Lösning 42: Månen är unik

- I relativ storlek (storlek jämfört med sin moderplanet) är vår måne störst i solsystemet
- Skapad genom kollision med annan planet tidigt i solsystemets historia
- Den ledande hypotesen: Månen består av lösbrutna delar av den unga Jorden och den främmande himlakroppen



Månens tänkbara roll

- Kan ha ökat jordens vulkanisk aktivitet och kontinentaldrift
- Stabiliserar vinkeln mellan jordens rotationsaxel och banan runt solen
- Detta ger stabila årstider och ett stabilt klimat



Lösning 43: Livets uppkomst är osannolik

- Livet uppstod mindre än 700 miljoner år efter att jorden skapades
- Miller-Urey-experimentet (se föreläsning 2) visar att aminosyror kan uppstå spontant på den tidiga jorden
- Men: Ingen vet hur nästa steg mot livets molekyler (proteiner, DNA och RNA) egentligen gått till
- Om osannolik process $\rightarrow f_i$ i Drakes ekvation låg

- Notera: Drakes ekvation tar inte hänsyn till panspermi (eller kolonisering)
- Om livet på ett effektivt sätt kan sprida sig mellan stjärnsystem är värdet på parametern f_i inte så kritiskt



Lösning 44: Övergången från prokaryoter till eukaryoter är osannolik

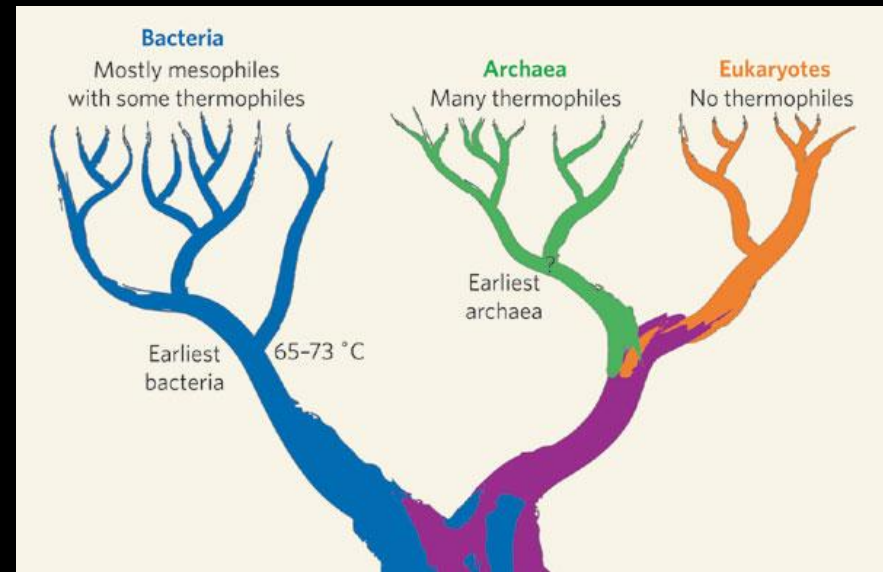
Organismers indelning på cellnivå:

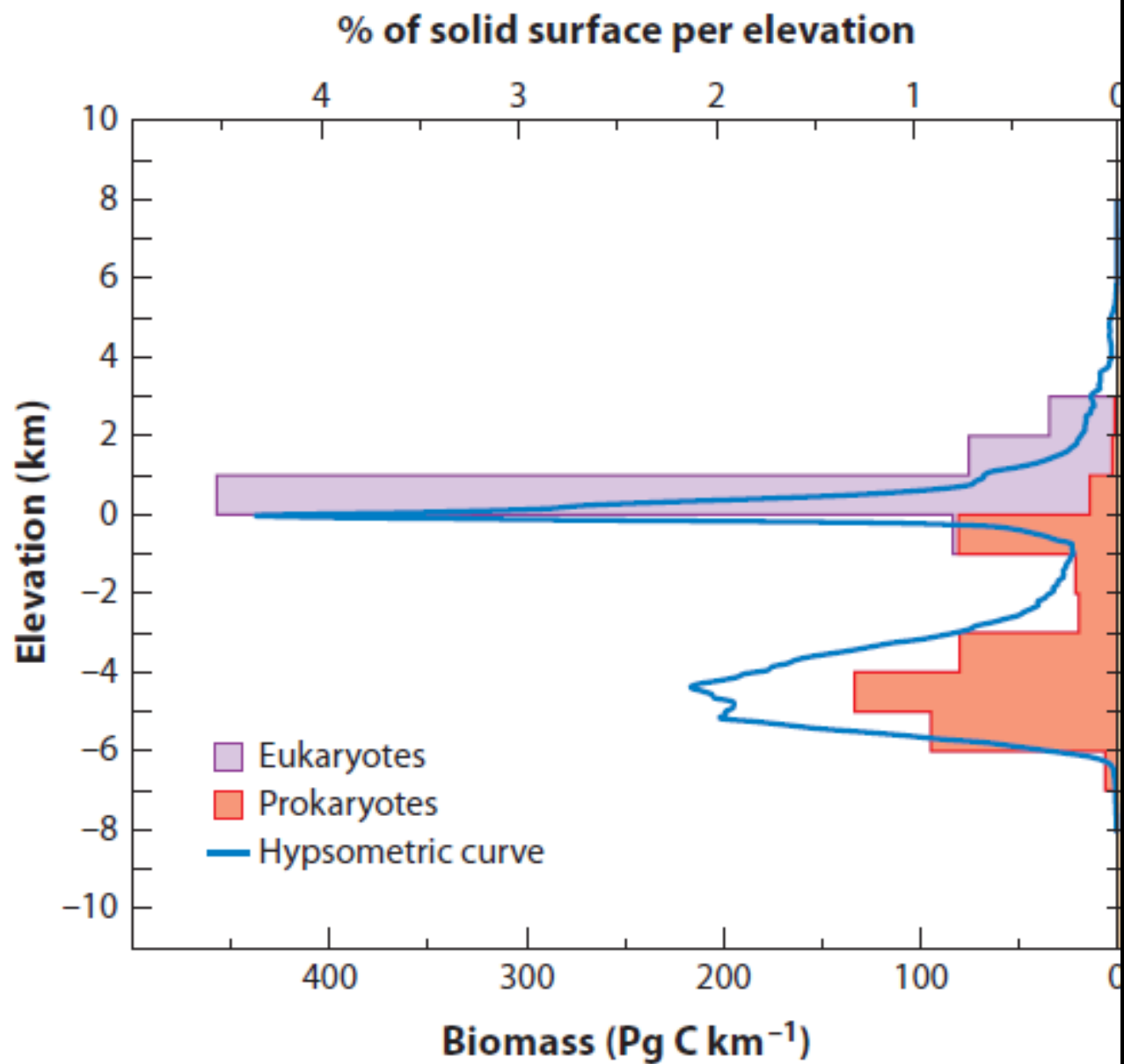
- **Prokaryoter**

- Saknar cellkärna
- Bakterier och arkéer
- De flesta encelliga
- Ca 3.5 miljarder år gamla

- **Eukaryoter**

- Har cellkärna
- Djur, växter, svampar
- Ca 2 miljarder år gamla
- Det första djurlivet uppstod för ca 1 miljard år sedan

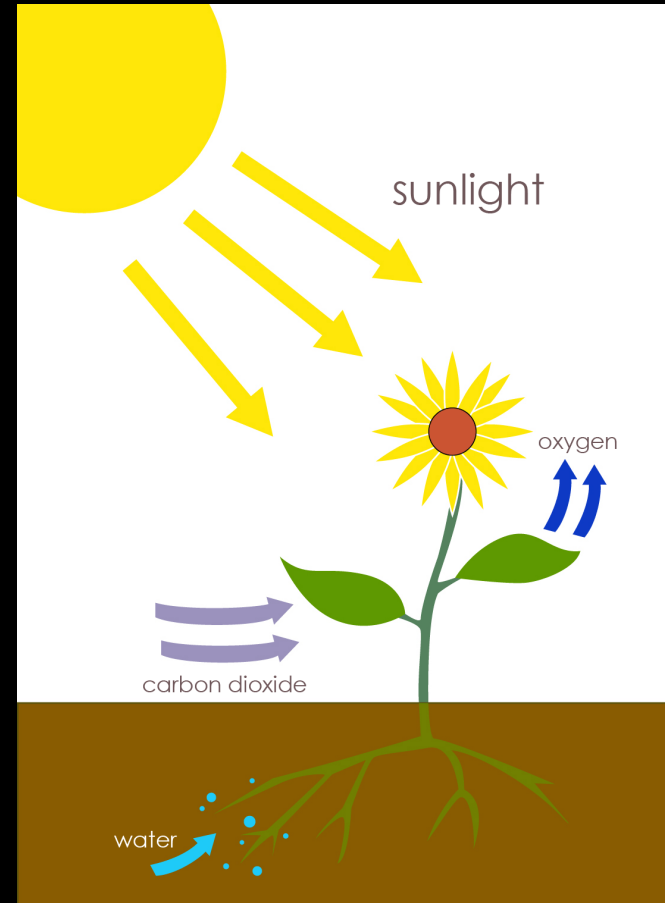




- Okänt vad som rubbade prokaryoternas dominans och beredde väg för "makroskopiskt liv" (eukaryoter)
- Osannolik process → f_i hög (kanske) men f_j låg



- **Möjlig mekanism:**
Fotosyntes hos cyanobakterier (prokaryoter) → Syrehalten i atmosfären höjs → Toxiskt för många prokaryoter ("oxygen holocaust") → Eukaryoter får övertaget



Lösning 46:

Teknologisk utveckling är inte oundviklig

- Homo neanderthalensis existerade tills för ca 30 000 år sedan
- Hyggligt intelligenta, använde stenredskap, gjorde upp eld, begravde sina döda och kunde förmodligen prata
- Men deras teknologi verkar inte ha utvecklats nämnvärt under de 200 000 år de vandrade på jorden. Vad saknas? Kreativ gnista? Avancerat språk?
- Kanske teknologisk utveckling långtifrån är något självklart?



Lösning 47: Intelligens (på mänsklig nivå eller högre) är sällsynt

- Slarvig SETI-definition:
"Förmåga att bygga ett radioteleskop"
- Evolutionen drar nytta av små, slumpmässiga mutationer som kortsiktigt lönar sig ("Evolution has no foresight"). Är intelligens verkligen en sådan?



Lösning 47: Intelligens (på mänsklig nivå eller högre) är sällsynt

Två läger:

- 1) Om en asteroid slog ut ryggradsdjuren för 400 miljoner år sedan, skulle då myror eller bläckfiskar idag vara intelligenta?

Många evolutionsbiologer skulle svara "nej".

- 2) Konvergent evolution: Vissa egenskaper/biologiska strukturer verkar likväl ha utvecklats oberoende flera gånger om (ex. vingar, blad och *möjligen* ögat).

Kanske det funkar likadant med intelligens?

Lösning 48: Språk är sällsynt

- 50 miljarder arter på jorden, men bara en med det vi kallar språk
- Viktigt för förmedlandet av abstrakt kunskap (som inte bygger på imitation) – ex. hur man bygger ett radioteleskop



- En delfin kan lära sig hur den ska få mat ur en maskin, men verkar inte på abstrakt väg kunna förmedla kunskapen till andra delfiner
- Försök att lära apor symbolspråk eller mänskligt teckenspråk har gjorts, men resultaten är omstridda (imitation snarare än förståelse, "svarar men kan inte fråga")



Djur kommunicerar helt klart, men informationsutbytet verkar ha begränsningar

Lösning 50: En rad effekter i kombination

Exempel: Antag: $\sim 10^{10}$ beboeliga planeter i Vintergatan

- Mikroskopiskt liv uppstår på 10% $\rightarrow 10^9$
- Klarar sig undan kosmiska faror: 1% $\rightarrow 10^7$
- Övergången prokaryot $\rightarrow$ eukaryot sker på 0.1% $\rightarrow 10^4$
- Livsformer som utvecklar intelligens och teknologi: 0.1% $\rightarrow 10^1$



Lösning 50: En rad effekter i kombination

Exempel (fortsättning): Vi är nu nere på 10 civilisationer...

- Andel som är intresserade av rymdkolonisering eller att sätta upp signalfyror 1% $\rightarrow 10^{-1}$

Alternativ :

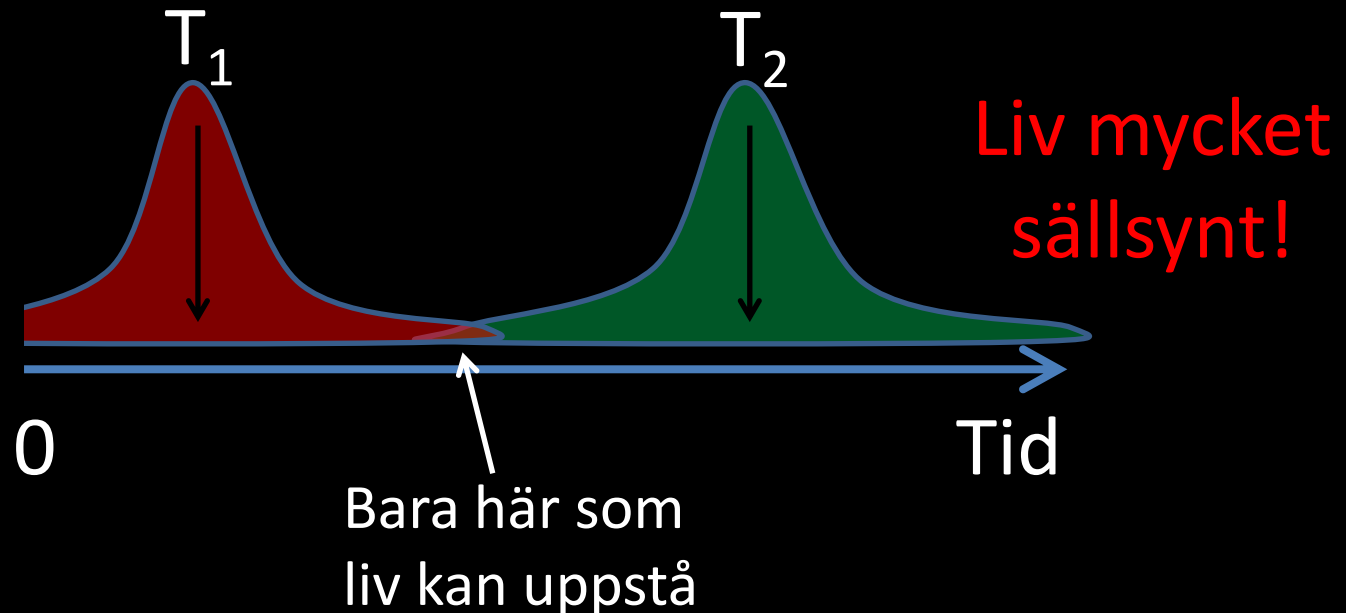
- Andel som skickar ut signaler som vi kan uppfånga 100% $\rightarrow 10^1$
- Andel som lever samtidigt som oss 0.1% $\rightarrow 10^{-2}$



Liv är antingen mycket vanligt eller extremt sällsynt I (Davies sid 83-86)

- Två tidsskalor (synbart oberoende):
 - T_1 : Maximal tid som en stjärna av solens typ kan uppehålla liv
 - T_2 : Typisk tid det tar för liv att uppstå

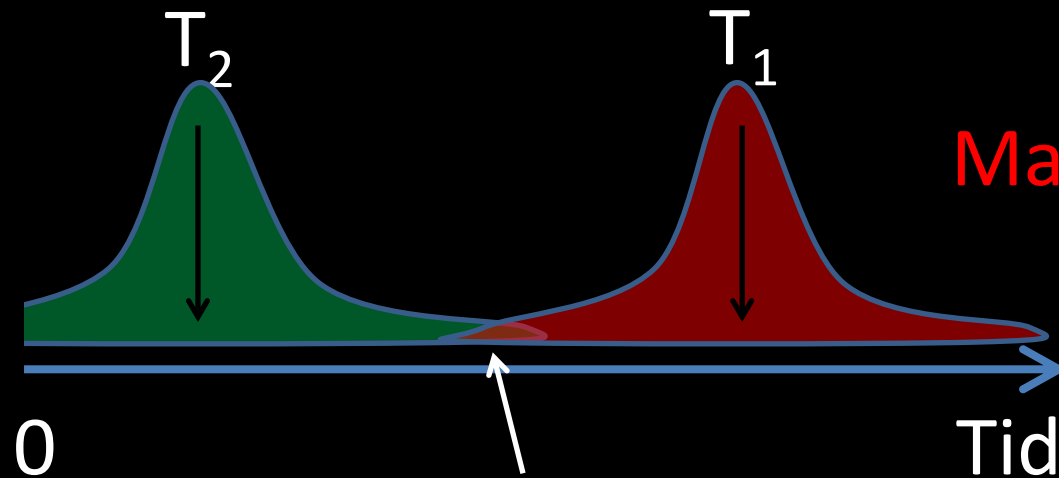
Exempel:



Liv är antingen mycket vanligt eller extremt sällsynt II (Davies sid 83-86)

- Två tidsskalor (synbart oberoende):
 - T_1 : Maximal tid som en stjärna av solens typ kan uppehålla liv
 - T_2 : Typisk tid det tar för liv att uppstå

Exempel:

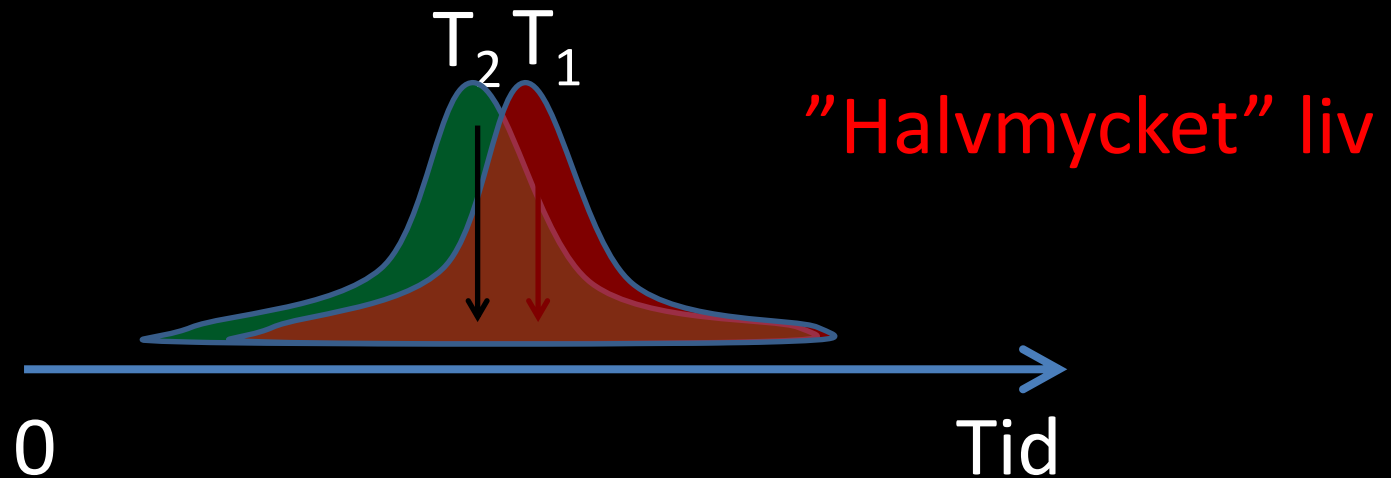


Bara här som stjärnans livstid blir ett problem för livets uppkomst

Liv är antingen mycket vanligt eller extremt sällsynt III (Davies sid 83-86)

- Två tidsskalor (synbart oberoende):
 - T_1 : Maximal tid som en stjärna av solens typ kan uppehålla liv
 - T_2 : Typisk tid det tar för liv att uppstå

Exempel:



Men: Detta är ett osannolikt scenario
om T_2 och T_1 verkligen är oberoende

Det kosmiska filtret I (Davies sid 86-92)

Exempel på potentiellt svåra utvecklingssteg på vägen till långlivat galaktiskt "imperium":

- Lämpligt stjärnsystem
- Reproducerande molekyler
- Prokaryoter (primitivt liv)
- Eukaryoter (avancerat liv)
- Intelligent livsformer
- Avancerad rymdteknologi
- Storskalig kolonisering



← Här är vi nu

Det kosmiska filtret II (Davies sid 86-92)

- Men: Inget synbart imperium → Något steg på vägen är mer osannolikt än vi tror
- "The great filter": Mekanism som tvingar ned N i Drakes ekvation till litet tal och har förhindrat uppkomsten av rymdimperium
- Exempel:
 - Uppkomsten av reproducerande molekyler extremt osannolik → Filtret i vår förflutna (vi har haft tur och redan klarat hindret)
 - Kosmisk katastrof ger civilisationer mycket kort livslängd → Filtret i vår framtid (hindret dyker snart upp)

Ledtråd inför inlämningsuppgift 2:

Är filtret i vårt förflutna eller i vår framtid?
Kan Mars hjälpa oss att lista ut detta?

