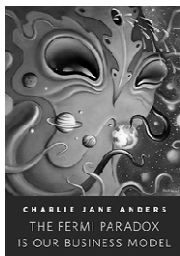


Intelligent liv i Universum – Är vi ensamma?

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)

Repetition: 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 plattetektonik 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)

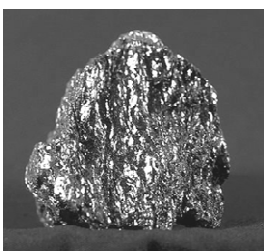
Lösning 31: "Universum är här för oss"

- 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

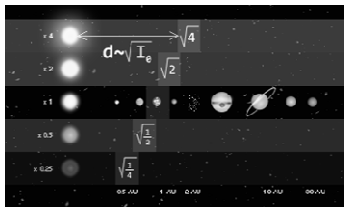
Observera: Stenplaneter har redan upptäckts!

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: $\approx 3-6$ 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?

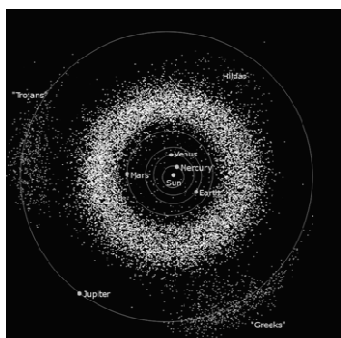


Lösning 38: Asteroidresonanser av solsystemets typ är sällsynta

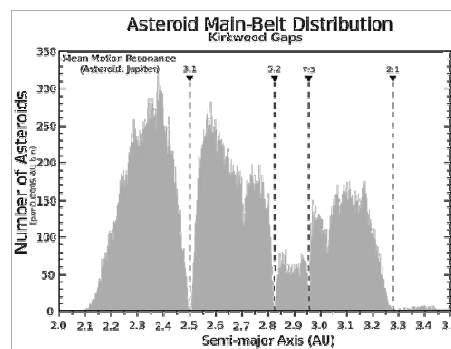
- Kriser p.g.a. bombardemang av asteroider $\rightarrow$ snabbar på evolutionen och får intelligenta civilisationer att uppstå snabbare?
- Har jorden haft en optimal "pump of evolution"?



Asteroidbältet



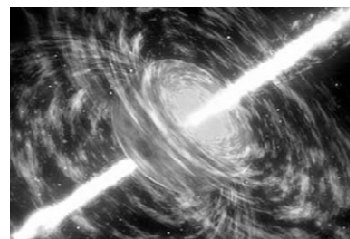
Kirkwoodgap



Resonanser

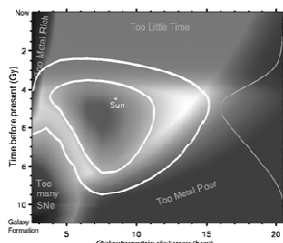
- Kirkwoodgapen beror på s.k. resonanser med Jupiters bana
- Asteroider på vissa speciella avstånd får instabila banor och skickas ut i solsystemet
- Vissa slår ned på jorden $\rightarrow$ regelbunden (och optimal?) cykel av kriser och efterföljande evolution?
- Om denna mekanism är viktig, och sällsynt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



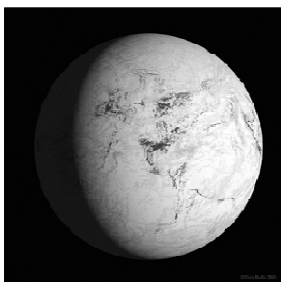
Lösning 40: Planetsystem är farliga platser

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



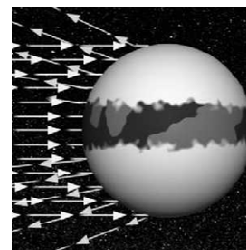
Global nedfrysning ("Snowball Earth")

- "Snöbollsjorden": 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



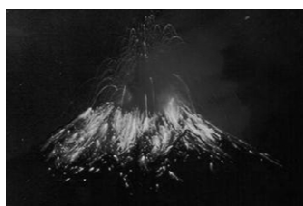
Global nedfrysning ("Snowball Earth")

- 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 ?

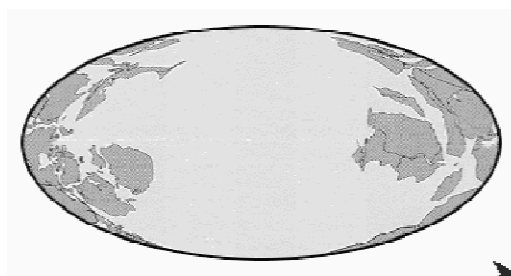


Supervulkaner

- "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 ytemperatur
- Bara jorden och Mars uppvisar säkra tecken på plattetektonik, men vissa månar (ex. Titan) är goda kandidater

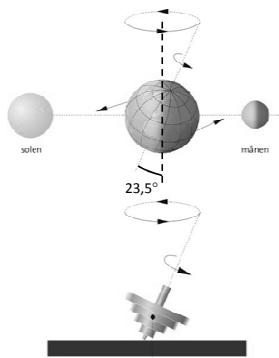
Lösning 42: Månen är unik

- 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 $\rightarrow f_1$ i Drakes ekvation låg

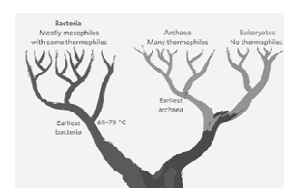
- Notera: Drakes ekvation tar inte hänsyn till panspermi (eller kolonisering)
- Om livet på ett effektivt sätt kan sprida sig mellan stjärnsystem är värdet på parametern f_1 inte så kritiskt

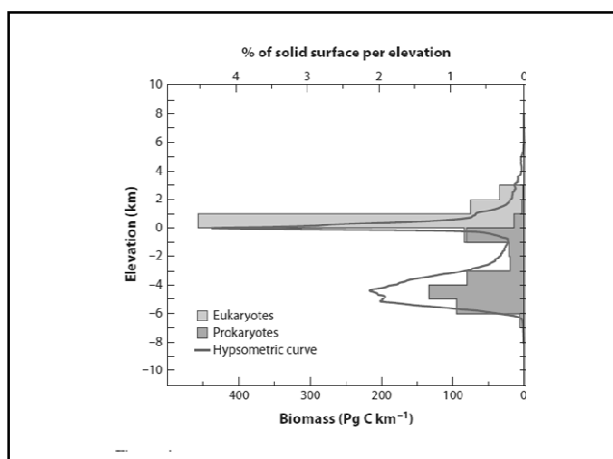


Lösning 44: Övergången från prokaryoter till eukaryoter är osannolik

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

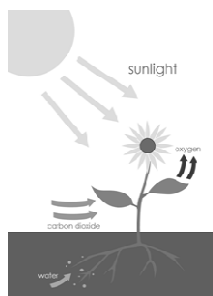




- Okänt vad som rubbade prokaryoternas dominans och beredde väg för "makroskopiskt liv" (eukaryoter)
- Osannolik process → f_i hög (kanske) men f_i låg



- 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

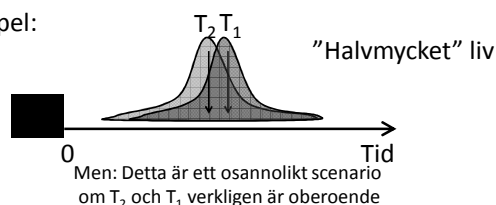
Två läger:

- 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?

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:



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?

