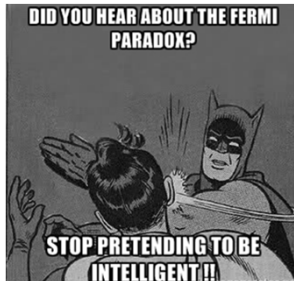


Sökandet efter intelligent liv i rymden

Föreläsning 6: Fermis paradox II



Alla dessa förkortningar...

- SETI: Searching for ExtraTerrestrial Intelligence
- SETA: Searching for ExtraTerrestrial Artefacts
- SETV: Searching for ExtraTerrestrial Visitation (mindre vanlig förkortning)
- METI (även känt som aktiv SETI): Messaging to ExtraTerrestrial Intelligence

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: Lösungskategorier

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 51: Universum är här för oss (Webb, sid 214)
- Lösning 55: Stenplaneter är sällsynta (Webb, sid 229)
- Lösning 57: Kontinuerligt beboeliga zoner är sällsynta (Webb, sid 235)
- Lösning 59: Asteroidresonanser av solsystemets typ sällsynta (Webb, sid 240)
- Lösning 60: Vintergatan är en riskfylld plats (Webb, sid 242)
- Lösning 61: Planetsystem är farliga platser (Webb, sid 249)

Kategori III: "Dom existerar inte" forts.

- Lösning 62: Jordens plattetektonik är unik (Webb, sid 256)
- Lösning 63: Månen är unik (Webb, sid 260)
- Lösning 64-65: Livets uppkomst är osannolik (Webb, sid 266-289)
- Lösning 67: Övergången från prokaryoter till eukaryoter är osannolik (Webb, sid 291)

Kategori III: "Dom existerar inte" forts.

- Lösning 69: Teknologisk utveckling är inte oundviklig (Webb, sid 301)
- Lösning 70: Intelligens på vår nivå eller högre är sällsynt (Webb, sid 306)
- Lösning 71: Språk är sällsynt (Webb, sid 312)
- Lösning 75: En rad av effekter i kombination (Webb, kapitel 6)

Antropiska resonemang

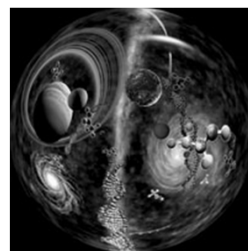
- Den antropiska principen: De observerade egenskaperna hos det fysiska universumet måste vara kompatibla med uppkomsten av medvetet liv – annars skulle vi ju inte existera



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)

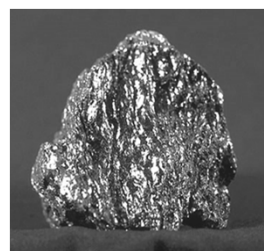
Lösning 51: "Universum är här för oss"

- 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 55: 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

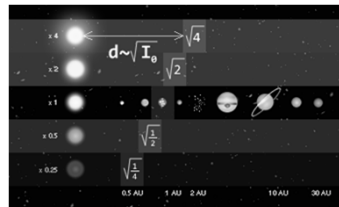
Observera: Stenplaneter har redan upptäckts!

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: ≈ 3 ggr jordens
- Täthet aningen högre än jorden, och kompatibel med järnsammansättning
- Mycket het planet (1800 K) → Flytande metall

Lösning 57: Kontinuerligt beboeliga zoner är sällsynta

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

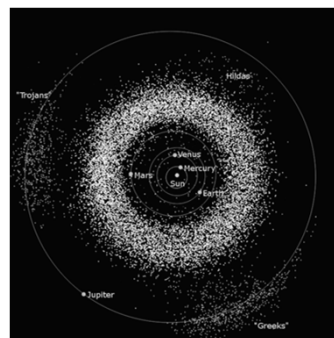


Lösning 59: Asteroidresonanser av solsystemets typ är sällsynta

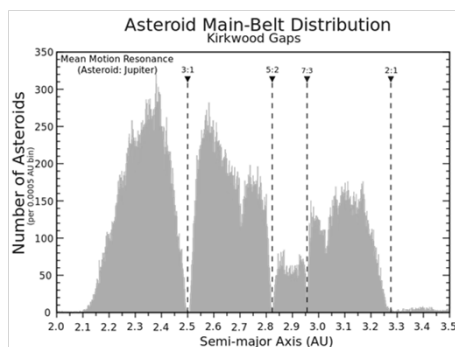
- Kriser p.g.a. bombardemang av asteroider → snabbar på evolutionen och får intelligenta civilisationer att uppstå snabbare?
- Har jorden haft en optimal "pump of evolution"?



Asteroidbältet



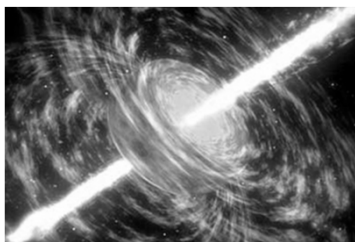
Kirkwoodgap



Resonanser

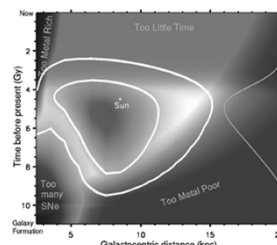
- Kirkwoodgapen beror på s.k. resonanser med Jupiters bana
- Asteroider på vissa speciella avstånd får instabila banor och skickas ut i solsystemet
- Vissa slår ned på jorden → regelbunden (och optimal?) cykel av kriser och efterföljande evolution?
- Om denna mekanism är viktig, och sällsynt → f_i låg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

Lösning 60: Vintergatan är en riskfylld plats



- Supernovor och gammablixtar slår ut livsformer på planeter → 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



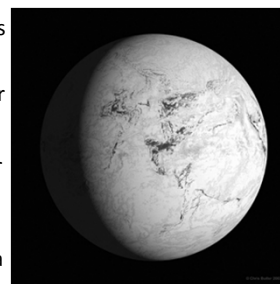
Lösning 61: Planetsystem är farliga platser

- Nedslag av asteroider och kometer
- Global nedfrysning
- Supervulkaner
- Men massutdöenden är inte nödvändigtvis av ondo (se lösning 59)



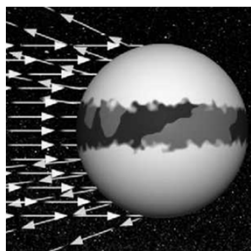
Global nedfrysning ("Snowball Earth")

- "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.
- Koldioxid från vulkanisk aktivitet tros kunna bryta den omvända växthuseffekten
- Global nedfrysning vanlig process på exoplaneter → Låg f_i (eller L) eller hög f_i ?

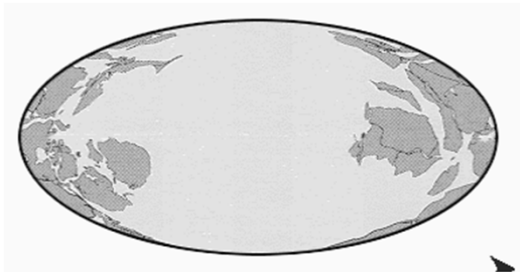


Supervulkaner

- "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 62: Jordens plattetektonik är sällsynt



Lösning 62: 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

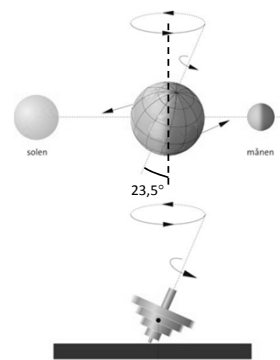
Lösning 63: Månen är unik

- 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 64-65: 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

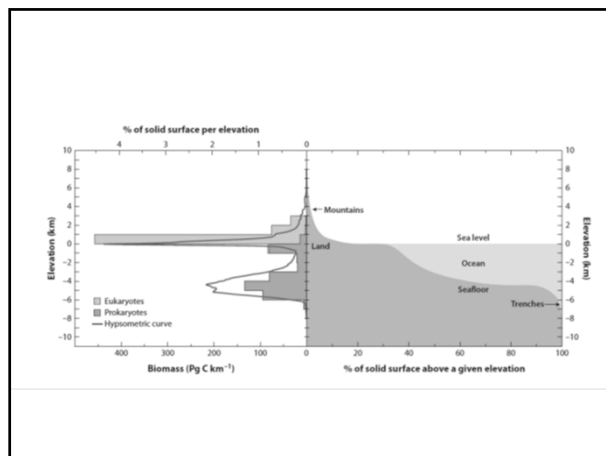
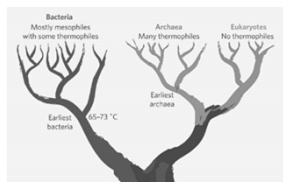
- Notera: Drakes ekvation tar inte hänsyn till panspermi (eller kolonisering)
- Om livet på ett effektivt sätt kan sprida sig mellan stjärnsystem är värdet på parametern f_1 inte så kritiskt



Lösning 67: Övergången från prokaryoter till eukaryoter är osannolik

Organismers indelning på cellnivå:

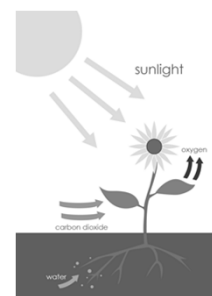
- Prokaryoter
 - Saknar cellkärna
 - Bakterier och arkéer
 - De flesta encelliga
 - Ca 3.5 miljarder år gamla
- Eukaryoter
 - Har cellkärna
 - Djur, växter, svampar
 - Ca 2 miljarder år gamla
 - Det första djurlivet uppstod för ca 1 miljard år sedan



- 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 69: 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 70: Intelligens (på mänsklig nivå eller högre) är sällsynt

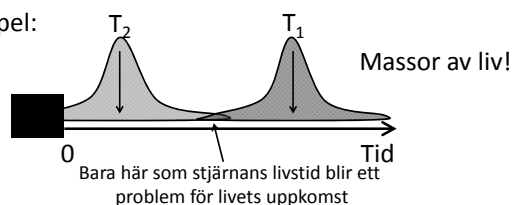
- Slarvig SETI-definition: "Förmåga att bygga ett radioteleskop"
- Evolutionen drar nytta av små, slumpmässiga mutationer som kortsiktigt lönar sig ("Evolution has no foresight"). Är intelligens verkligen en sådan?



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

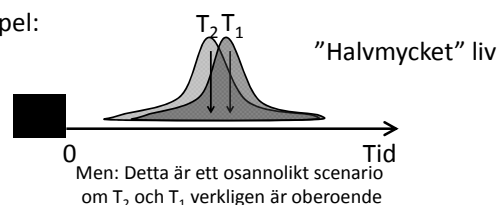
Exempel:



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?

