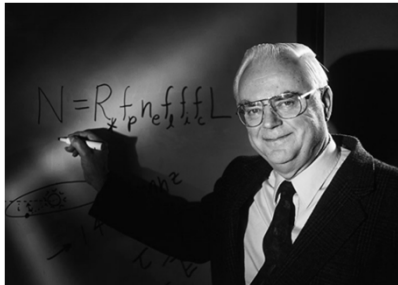


Sökandet efter intelligent liv i rymden

Föreläsning 4: Drakes ekvation



Upplägg

- Introduktion till inlämningsuppgifterna
- Drakes ekvation och dess betydelse
- Ekvationens parametrar
- Några räkneexempel
- Kända brister

Davies: Kapitel 4 (sid 66-86)

Namn: _____ Personnummer: _____

Sökandet efter intelligent liv i rymden

Frivillig inlämningsuppgift 1

Korrekta lösningar ger bonuspoäng på sluttentan i november 2017 (samt senare omtentatillfällen). Bonuspoängen kan hjälpa en att nå betyg 3 (dvs. godkänd nivå) om ens tentaresultat i sig inte räcker till för detta, men kan inte användas för att nå högre betyg. Den maximala bonuspoängen för inlämningsuppgift 1 motsvarar 20% av sluttentans maxpoäng.

Deadline: 3:e oktober 2017

Deluppgifter:

1. Förklara kortfattat vad som menas med:
 - a) Den circumstellära beboeliga zonen (2 poäng)
 - b) Skuggbiosfär (2 poäng)
 - c) Panspermihypotesen (2 poäng)

2. Det finns människor som säger sig ha blivit bortförda av rymdvarelser, blivit utsatta för medicinska experiment ombord på rymdskepp och till och med fått utomjordisk teknologi inopererad i kroppen. Förklara varför naturvetenskapen inte godtar något av detta som bevis för existensen av utomjordiskt liv (2 poäng).

3. Ge tre exempel på lösningar av Fermis paradox (4 poäng per exempel). Obs! Ingående beskrivningar krävs (minst ca 100 ord per exempel) – fortsätt på separat papper!



Detta tas upp i föreläsning 5 och 6, men observera att föreläsning 6 är samma dag som inlämningsdeadline. Detta är avsiktligt, för att uppmuntra till läsning av de relevanta kapitlen i kursboken inför varje föreläsning!

Sökandet efter intelligent liv i rymden

Frivillig inlämningsuppgift 2

Korrekta lösningar ger bonuspoäng på sluttentan i november 2017 (samt senare omtentatillfällen). Bonuspoängen kan hjälpa en att nå betyg 3 (dvs. godkänd nivå) om ens tentaresultat i sig inte räcker till för detta, men kan inte användas för att nå högre betyg. Den maximala bonuspoängen för inlämningsuppgift 1 motsvarar 20% av sluttentans maxpoäng.

Deadline: 12:e oktober 2017

Deluppgifter:

1. Förklara kortfattat vad som menas med:
 - a) Optisk SETI (2 poäng)
 - b) SETI@home (2 poäng)
 - c) Grandfather paradox (2 poäng)
 - d) Bracewell-sond (2 poäng)
 - e) Maskhål (2 poäng)

2. Vissa menar, att om man en dag finner obestridliga bevis för att liv aldrig existerat på Mars (inte ens mikroskopiskt), så kan detta tolkas som något positivt för mänsklighetens framtid. Hur resonerar man då? (5 poäng)
Obs! Ingående svar krävs – fortsätt på separat papper!
3. Davies kallar sökandet med radioteleskop efter signaler medvetet utsända till oss för "den gamla skolans" SETI. Vad är det egentligen för fel med denna strategi (enligt honom)? Och vad är det "nya SETI" som han förordar? (5 poäng)
Obs! Ingående svar krävs – fortsätt på separat papper!

Obs!

Sluttentan kommer att ha ett upplägg som liknar dessa inlämningsuppgifter.
Alltså: Först ett antal begrepp att förklara kortfattat, sedan några essäfrågor

Om man får bra poäng på inlämningsuppgifterna kan man klara tentan utan att ens försöka sig på essäfrågorna!
Och notera att man får ha både kursböcker och föreläsningssanteckningar med sig på tentan...

Hur påverkar inlämningsuppgifterna betyget?

- Betyg: Avgörs av andelen rätt på tentan

5:	$\geq 90\%$	} Godkänd
4:	75-89.9 %	
3:	50-74.9 %	
U:	< 50%	Underkänd

Hur påverkar inlämningsuppgifterna betyget?

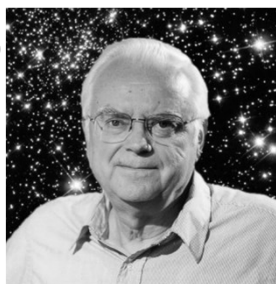
- Inlämningsuppgift I och II kan vardera ge 20% bonus på tentan, men inte höja betyget högre än 3
- Exempel
 - Studenten Eva har fått full poäng på båda inlämningsuppgifterna och har därför 40% bonus med sig till tentan
 - Om hon får blackout på tentan och bara skriver 15% rätt (dvs. underkänt, betyg U), får hon p.g.a bonusen ändå $40\% + 15\% = 55\%$ (godkänt, betyg 3)
 - Om Eva skriver ex. 30% $\rightarrow$ 3
 - Om Eva skriver ex. 55% $\rightarrow$ 3
 - Om Eva skriver ex. 84% $\rightarrow$ 4

Alltså:

Inlämningsuppgifterna är en utmärkt "garanti" för att klara kursen, men hjälper en inte att få toppbetyg

Frank Drake

- Pionjär inom SETI
- Genomdrev det första moderna SETI-projektet 1960 (Projekt Ozma) med ett radioteleskop i West Virginia
- Presenterade Drake-ekvationen 1961, som diskussionsunderlag vid den första SETI-konferensen
- En av skaparna bakom det berömda Arecibo-meddelandet, som skickades till stjärnhopen M13 i november 1974

**Drakes ekvation I**

$$N = R f_p n_e f_l f_i f_c L$$

N = Uppskattning av antalet intelligenta, kommuniserande civilisationer i Vintergatan just nu

Värdet på N beror på sju parametrar i högerledet
Obs! Det finns flera alternativa versioner av ekvationen

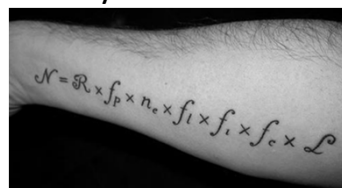
Drakes ekvation II

$$N = R f_p n_e f_i f_c L$$

Varje parameter i högerledet (R, f_p, n_e, f_i, f_c, L) motsvarar ett tal. Genom att ersätta parametrarna med lämpliga tal och multiplicera dem med varandra får man uppskattningen N

Detta är den enda ekvation man behöver lära sig i denna kurs!

Betydelse för SETI



Uppskattningar med Drakes ekvation från 1960-70:

$N \sim 10\,000$ ("The Galactic Club")

Wow! SETI har en bra chans att lyckas!

Let's do it!

Betydelse för SETI



Idag: Inga detektioner trots 50 år av sökande....

"The eerie silence"

N mycket lågt?

Kanske $N \leq 1$ (männkligheten ensam i Vintergatan)?

Parametrarna I

- R : Antalet sollika stjärnor i Vintergatan som bildas per år
- f_p : Andel av dessa stjärnor som har planeter
- n_e : Medelantal jordlika planeter i varje sådant planetsystem

Se sidan 77 i Eerie Silence

Parametrarna II

- f_i : Andel av dessa planeter på vilka liv uppstått
- f_i : Andel av dessa livbärande planeter intelligens uppstått
- f_c : Andel av de intelligensbärande planeterna där en kommunicerande civilisation uppstår
- L : Medellivslängd hos en kommunicerande civilisation

Se sidan 77 i Eerie Silence

Parametrarna III

- R : Antalet sollika stjärnor i Vintergatan som bildas per år
- f_p : Andel av dessa stjärnor som har planeter
- n_e : Medelantal jordlika planeter i varje sådant planetsystem
- f_i : Andel av dessa planeter på vilka liv uppstått
- f_i : Andel av dessa livbärande planeter intelligens uppstått
- f_c : Andel av de intelligensbärande planeterna där en kommunicerande civilisation uppstår
- L : Medellivslängd hos en kommunicerande civilisation

Modern astronomi kan uppskatta dessa

?

Hmmm....

Vanlig förvirring:
Varför blir det ett antal av detta?

$$N = R \underbrace{f_p n_e f_1 f_i f_c}_{\text{Antal kommunicerande civilisationer som uppstår per tidsenhet}} L$$

Vanlig förvirring:
Varför blir det ett antal av detta?

$$N = R f_p n_e f_l f_i f_c L$$

Notera:

- Man antar här att stjärnbildningshastigheten R (stjärnor per år) är konstant
- L kan ses som den längsta tid bakåt i tiden som måste beaktas i beräkningen, eftersom civilisationer som uppstod längre än tiden L bakåt i tiden inte längre existerar
- Antalet som bildas per tidsenhet $\times$ medellivslängden = Medelantal vid en given tidpunkt

Räkneexempel

Antag:

- Två kommunicerande civilisationer bildas per årtusende
- Medellivslängden för en sådan civilisation är tre årtusenden
- Medelantal: $2 \text{ per årtusende} \times 3 \text{ årtusenden} = 6$
- Låt oss testa detta genom att stega igenom några årtusenden och se....

Räkneexempel forts.

- År 0: Inga civilisationer
- År 1000: 2 nyfödda civilisationer bildas
→ Totalt 2 civilisationer existerar
- År 2000: 2 nyfödda civilisationer bildas +
2 tusenåriga civilisationer finns redan
→ Totalt 4 civilisationer existerar
- År 3000: 2 nyfödda civilisationer bildas +
2 tusenåriga civilisationer finns redan +
2 tvåtusenåriga civilisationer finns redan
→ Totalt 6 civilisationer existerar

Räkneexempel forts.

- År 4000: 2 nyfödda civilisationer bildas +
2 tusenåriga civilisationer finns redan +
2 tvåtusenåriga civilisationer finns redan
(och 2 tretusenåriga civilisationer gick just under)
- Totalt 6 civilisationer existerar

Och så vidare.... Så snart jämviktsläget nåtts (efter 3000 år i detta fall) kommer beräkningen att se identisk ut under alla efterföljande årtusenden, med resultatet *6 civilisationer*

Drake equation calculators

Det finns många Drake-kalkylatorer på internet!
Ett par exempel:

www.pbs.org/lifebeyondearth/listening/drake.html

www.as.utexas.edu/astronomy/education/drake/drake.html

Parameter I: Sollika stjärnor

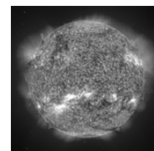
Definitionen är flytande, men här är några vanliga kriterier:

- Stjärnor med en stabil beboelig zon
- Huvudseriestjärnor (bränner väte)
- Stjärnor med temperatur 5000-6000 K
- Icke-variabla stjärnor
- Metallhalt som är 50%-200% av solens

Ca ~10% av alla stjärnor

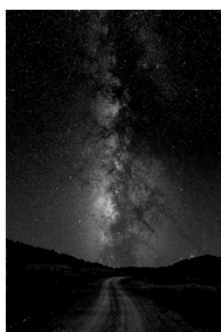
Parameter I: Sollika stjärnor

- Totalt ~ 100 miljarder stjärnor i Vintergatan
- Vintergatan har en ålder på ca 13 miljarder år
→ ~10 stjärnor per år i genomsnitt
- ~ 10% sollika stjärnor och ~ 10 stjärnor totalt per år → ~1 sollik stjärna per år



Parameter I: Sollika stjärnor

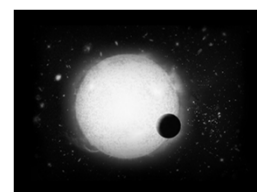
- Stjärnorna bildades i något högre takt tidigare i Vintergatans historia än idag, men det har ingen dramatisk effekt på uppskattningen



Parameter II: Andel sollika stjärnor med planeter

Hur uppskattas detta?

- Direkt detektion
 - Astrometriska metoden
 - Dopplermetoden
 - Fotometriska metoden
 - Gravitationslinseffekter
- Se föreläsning 3!

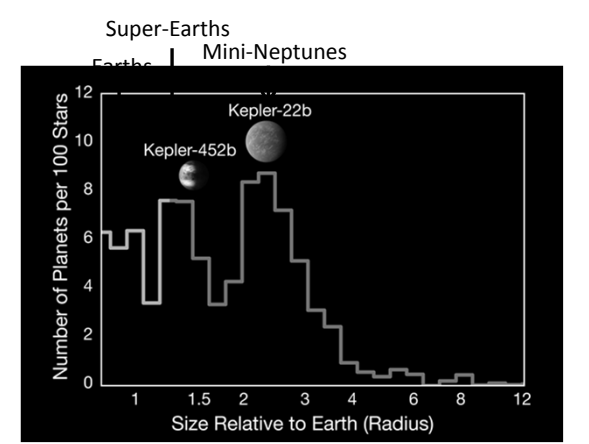


Slutsats: $f_p > 0.5$

Undre gräns eftersom det fortfarande finns tekniska problem med att hitta lågmassiva planeter (av jordens massa och lägre). Observera att f_p mycket väl kan vara $f_p \approx 1.0$.

Repetition från förra föreläsningen:
Den vanligaste typen exoplaneten verkar vara en...

- A) Gasjätt
- B) Super-Jord (eng. Super Earth)
- C) Mini-Neptunus (eng. Mini-Neptune)
- D) Planet av jordens storlek



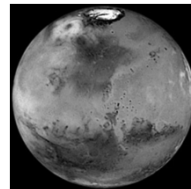
Parameter III: Medelantal jordlika planeter i sådana system

- Rymdteleskopet Kepler har sökt av ca 150 000 stjärnor med fotometrisk metod i jakt på exoplaneter
- Slutsats: $n_e \approx 0.4$ (Om man slår samman Earths och Super-Earths)



Parameter IV: Andel av sådana planeter på vilka liv uppstår

- Drake själv gissade $f_l = 1.0$
- Argument för f_l nära 1.0: Livet på jorden uppstod så snart förutsättningarna var lämpliga
- Argument för $f_l \ll 1.0$: Livet på jorden verkar bara ha uppstått en gång
- Om vi skulle upptäcka liv på Mars och kunde visa att det uppstått oberoende av livet på jorden skulle det antyda att f_l inte är försumbart liten
- Samma sak gäller för upptäckten av en skuggbiosfär på jorden
- Men i nuläget: Ingen riktig möjlighet att uppskatta f_l

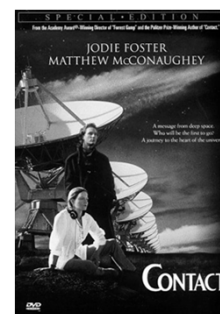


Parameter V: Andel planeter med liv på vilka intelligent liv uppstår

- Drake själv gissade $f_i = 0.01$
- Argument för lågt f_i : "En miljard arter har existerat på jorden och bara en har utvecklat intelligens"
- Argument för $f_i \sim 1$: "Livets ökande komplexitet kanske i slutändan alltid leder till intelligens" (Obs! Bevis saknas...)

Parameter VI: Andel planeter med intelligent liv som kommunicerar över interstellära avstånd

- Drake själv gissade $f_c = 0.1$
- Notera: avsiktlig kommunikation inte nödvändig
- Mänskligheten har "oavsiktligt" skyltat med sin närvaro genom radiosändningar i ca 100 år



Vilka stjärnor kan ha nåtts av våra sändningar?

<http://interconnected.org/home/more/lightcone/>

<http://www.atlasoftheuniverse.com/50lys.html>

Parameter VII: Typisk livtid för sådan civilisation

- 100 år? 1000 år? 10000 år? En miljon år? Mer?
- Central fråga: Förintar civilisationer i allmänhet sig själva, förintar de varandra eller utplånas de av andra kosmiska faror?



Hur länge tror *du* att en teknologiskt avancerad civilisation i genomsnitt klarar sig?

- A) 100 år
- B) 1000 år
- C) 10 000 år
- D) 100 000 år
- E) 1000 000 år (en miljon år)
- F) 1000 000 000 år (en miljard år)

Räkneexempel I: Den optimistiska approachen

$$N = R f_p n_e f_i f_c L$$

Liknar Frank Drakes ursprungliga uppskattning på 1960-talet...

- R : 1 sollik stjärna per år i Vintergatan
- f_p : 1.0 (→ 100% chans för planeter)
- n_e : 1 (1 jordlik planet per system)
- f_i : 1.0 (→ 100% chans för liv)
- f_c : 1.0 (→ 100% chans för intelligent liv)
- f_c : 0.1 (→ 10% kommunicerande civilisationer)
- L : 100 000 (Civilisationer lever 100 000 år)

Multipluera → $N = 10000$ civilisationer i Vintergatan som vi skulle kunna kommunicera med!

Räkneexempel II: Den pessimistiska approachen

$$N = R f_p n_e f_i f_c L$$

- R : 1 sollik stjärna per år i Vintergatan
- f_p : 0.5 (→ 50% chans för planeter)
- n_e : 0.4 (0.4 jordlika planeter per system)
- f_i : 0.001 (→ 0.1 % chans för liv)
- f_i : 0.001 (→ 0.1 % chans för intelligent liv)
- f_c : 0.1 (→ 10% kommunicerande civilisationer)
- L : 1000 (Civilisationer lever 1000 år)

Multipluera → $N = 0.000\ 02$ civilisationer

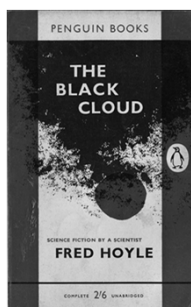
N lägre än 1 → Vi är troligen ensamma i Vintergatan

Kända brister I:

"An expression that can mean anything means nothing" (Michael Crichton)

- **Kritik:** Eftersom flera av parametervärdena måste förbli gissningar tills en utomjordisk civilisation verkligen upptäckts, kan N ligga mellan noll och många miljarder
- **Vanligt mothugg:** "Ekvationen" enbart tänkt att stimulera diskussion kring möjligheten att upptäcka andra civilisationer, inte för vetenskapliga uppskattningar

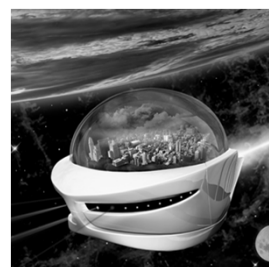
Kända brister II: "life as we know it"



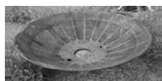
- Drakes ekvation är avsedd för liv som liknar vårt, och en civilisation som är en enkel extrapolering av vår egen
- Med andra ord: Inga interstellära, intelligenta gasmoln eller högre dimensionella varelser...

Kända brister III: Kolonisering

- Denna form av Drakes ekvation antar att civilisationer lever och dör på sin egen hemplanet
- Snabb uppdelning i fristående kolonier, som i sin tur delar upp sig → Vintergatan kan vara full av intelligent liv trots att Drakes ekvation antyder $N < 1$



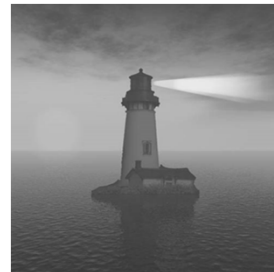
Kända brister IV: Livstiden kan vara lång, men den kommunicerande fasen kort



- Människoslåktets äldsta radiosignalerna har nu nått ca 100 ljusår bort
- ~10000 stjärnor inom denna radie, men de flesta signalerna är alldeles för svaga
- Kraftigast idag: militär radar, TV
- Men radioutsändningar är redan på tillbakagång (alltmer sänds via kabel)
- Radiofasen i en civilisations historia kanske mycket kort?

Kända brister V: Livstiden kan vara kort, men den kommunicerande fasen lång

- "Fyren kan lysa även om fyrvaktaren är död"
- Avancerade civilisationer som hotas av utrotning kanske vill föra sitt kosmiska arv vidare genom långlivade, automatiska fyrrar



Kända brister VI: "Statistics of one"

- Ofta försöker man använda livets utveckling på jorden som utgångspunkt för värden på parametrarna f_i och f_i
- Problem: Eftersom vi bara har en jord och en livsform att göra statistik på har vi egentligen ingen aning om processen här varit typisk eller extremt osannolik



Kända brister VI: "Statistics of one" forts.

- Vanligt mothugg: "Men om vi nu är så extremt osannolika, är det då inte konstigt att vi trots allt står här?"
- Nej – för vi kan bara observera det utfall där det gick vägen (oavsett hur många sterila tärningskast som krävdes av universum)
- Detta är ett exempel på ett *antropiskt resonemang* (se kommande föreläsningar)



Sannoliken för att liv ska uppstå är hög därför att liv uppstod snabbt på jorden?

- Observation: Så snart den tidiga jorden kylts av verkar liv ha uppstått inom några hundra miljoner år. Detta är en kort period, jämfört med Jordens nuvarande ålder (4,5 miljarder år)
- Vanlig slutsats: Sannolikheten för att liv uppstår är hög (åtminstone så snart förutsättningarna är gynnsamma)
- Men: En noggrann sannolikhetsanalys antyder att man *inte* kan dra denna slutsats: Spiegel & Turner 2012, PNAS, 109, 395 <http://arxiv.org/abs/1107.3835> (se även lösning 65 i Webbs bok)

Exempel

Antag:

- ϕ : Sannolikhet per årmiljon att liv ska uppstå
- ϕ kan variera kraftigt mellan jordlika planeter

Sannolikhet att liv ska uppstå under tidsintervallet Δt
 $P_{\text{life}, \Delta t} = 1 - (1 - \phi)^{\Delta t}$, där Δt antalet årmiljoner



$$\phi = 10^{-9}$$



$$\phi = 10^{-8}$$



$$\phi = 10^{-2}$$

Exempel forts.

Sannolikhet att liv ska uppstå under tidsintervallet Δt
 $P_{\text{life}, \Delta t} = 1 - (1 - \phi)^{\Delta t}$, där Δt är antalet årmiljoner



$$\phi = 10^{-9}$$



$$\phi = 10^{-8}$$



$$\phi = 10^{-2}$$

Sannolikhet att liv ska
uppstå inom 100 miljoner år:

$$10^{-7}$$

$$10^{-6}$$

$$63\%$$

Sannolikhet att liv ska
uppstå inom 5 miljarder år:

$$5 \times 10^{-6}$$

$$5 \times 10^{-5}$$

$$99,99\ldots\%$$



Troligast att liv uppstår här (och snabbt!), men vad kan en
invånare på en sådan planet säga om det typiska ϕ ? Inte så mycket!