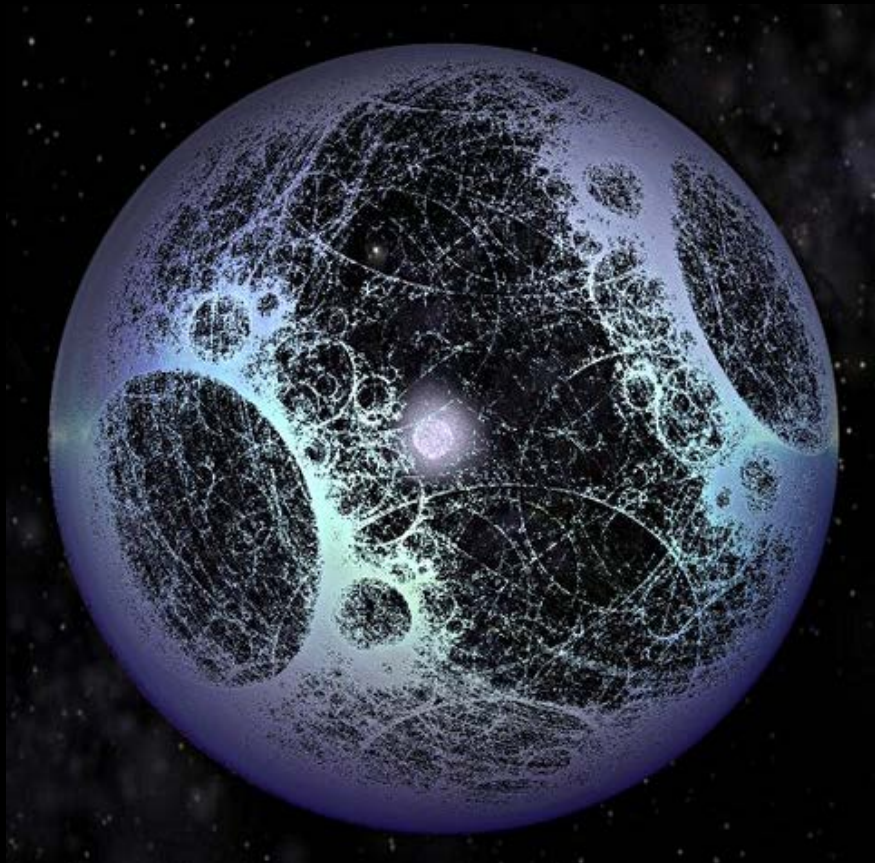


Sökandet efter intelligent liv i rymden

Föreläsning 9:

Supercivilisationer och superteknologi



Upplägg

- Kardashev-skalan
- Post-biologisk och artificiell intelligens
- Teknologisk singularitet
- Superteknologi
- Metoder för att söka efter supercivilisationer
- Kursvärdering

Davies: kapitel 7-8

Kardashev-skalan

- Mäter en civilisations nivå av teknologisk utveckling
- Baserad på den mängd energi civilisationen förfogar över
- Kardashev (1964):
Typ I, II & III



Nicolai Kardashev (1932-)

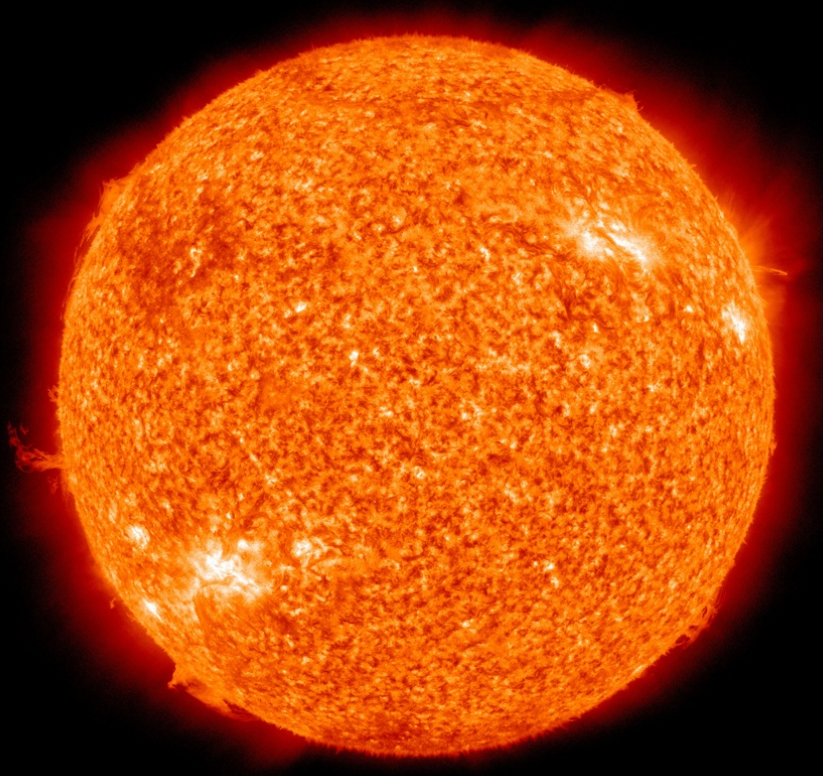
Kardashev typ I



Olika definitioner förekommer:

- **Kardashev** : Civilisation med energiförbrukning motsvarande mänskligheten (ca 4×10^{12} W år 1964)
- **Davies**: Använder alla energitillgångar på sin hemplanet
- **Vanligast (tror jag)**: Utnyttjar energi av samma storleksordning som solinstrålningen (insolationen) till hemplaneten ($\approx 1.7 \times 10^{17}$ W i jordens fall)

Kardashev typ II



- Civilisation som utnyttjar den totala strålningsenergin från sin moderstjärna
- Ca 4×10^{26} W i solens fall
- Observera att det finns stjärnor som kan alstra $\sim 10^6$ mer än vår sol (under miljontals år) → Moderstjärnan kanske inte bästa energikällan

Kardashev typ III



- Civilisation som förfogar över den energi som utstrålas från sin hemgalax
- Ca 4×10^{37} W i Vintergatans fall

Carl Sagens version

$$K = \frac{\log_{10} MW}{10}$$

K: Civilisationens Kardashev-grad

MW: Civilisationens energiförbrukning i megawatt

För mänskligheten: 1.5×10^7 megawatt $\rightarrow K \approx 0.7$

Enligt denna definition är vi alltså
en Kardashev typ 0.7-civilisation

Utvidgad Kardashev-skala

Olika definitioner av Kardashev typ IV:

- Utnyttjar ljusenergin hos hela det observerbara universumet
- Utnyttjar ljusenergin hos den lokala superhopen av galaxer (största gravitationellt bundna strukturen i Universum idag)
- Utnyttjar energi utanför hemgalaxen, ex. mörk energi

Alternativa skalor

Inte uppenbart att totala energiförbrukningen är det bästa måttet. Alternativa skalor baseras på:

- Den informationsmängden civilisationen förfogar över (Carl Sagans skala A-Z)
- Hur utspridd civilisationen är (Zubrins skala)
 - Typ I: Spridd över hemplaneten
 - Typ II: Koloniserat sitt solsystem
 - Typ III: Koloniserat hemgalaxen
- Hur små föremål civilisationen kan manipulera (Barrows skala)



Utomjordingar avbildas ofta som humanoider med stora huvuden (hjärnor), men är det verkligen dit utvecklingen leder?

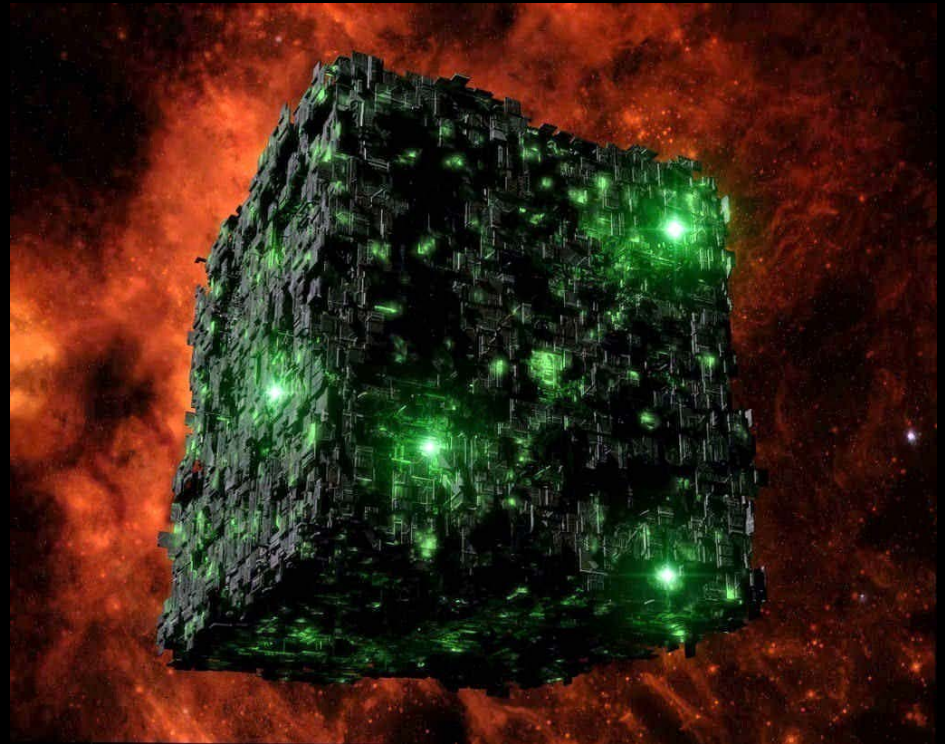
Postbiologisk intelligens

- Utveckling inom bioteknologi, nanoteknologi och informationsteknologi → Undviker (nuvarande) biologiska systems begränsningar
 - Högre intelligens?
 - Längre livstid?
 - Inga sjukdomar?
- Biologiska fasen i civilisationers utveckling kortvarig?



Trolig form

- Den postbiologiska formen behöver naturligtvis inte efterlikna den ursprungliga, biologiska livsformen
- Kan dock inledningsvis kännas lättare att interagera med en "mänsklig" robot än en med helt främmande utseende
- Notera: Om robotar är *alltför* människolika, men ändå uppenbart inte människor, så upplever vi dem som kusliga ("uncanny valley")



Borg (Star Trek)

Uncanny valley I



Harmlos...

Uncanny Valley II

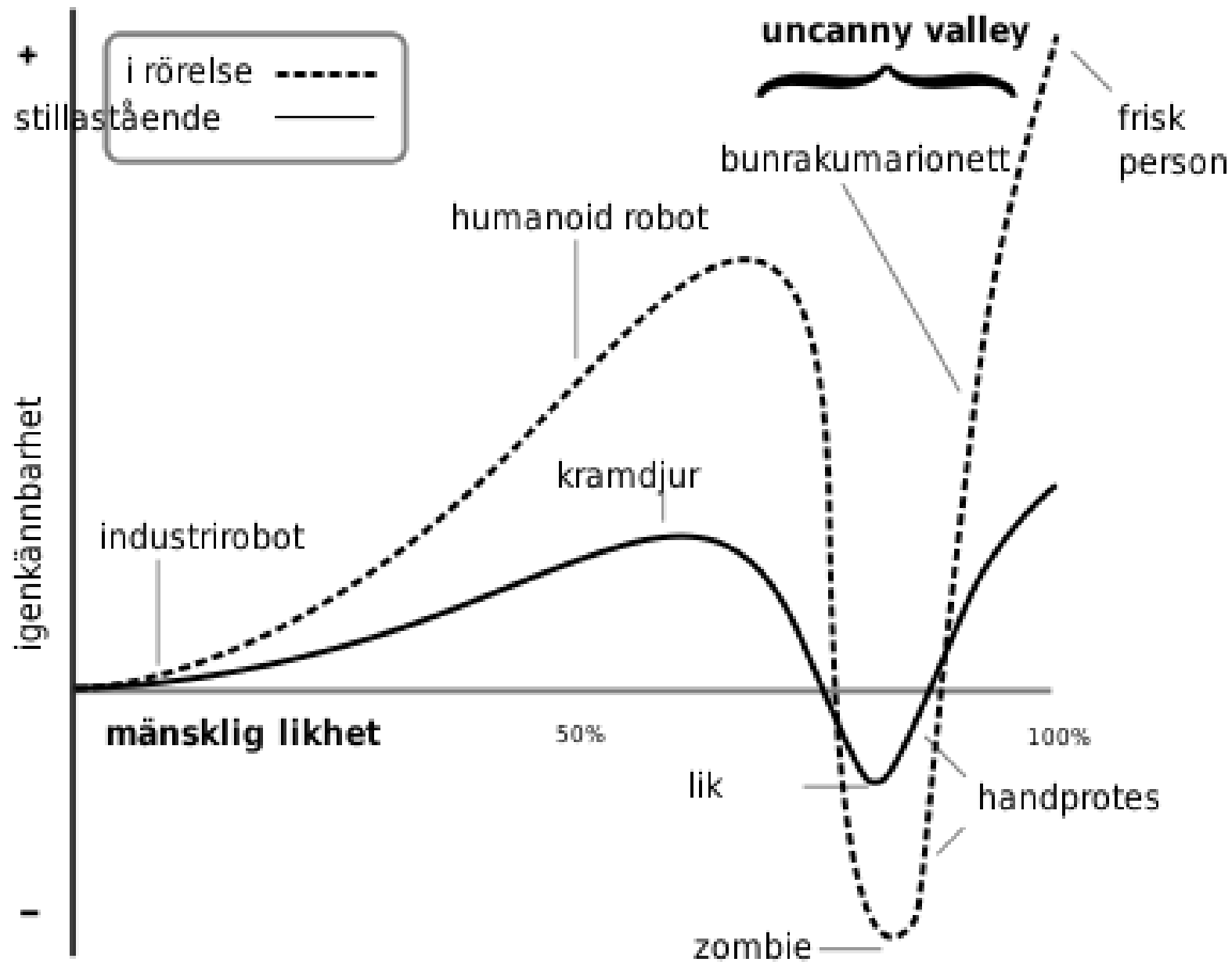


Söt...

Uncanny Valley III

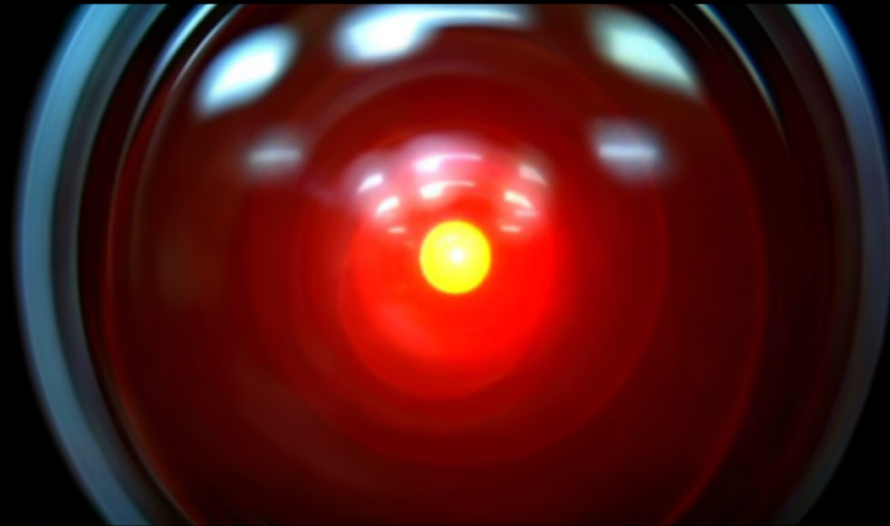


Läskig!



Artificiell intelligens

- Mänskliga hjärnan:
 $\sim 10^{14}$ - 10^{20} operationer/s
(omtvistat)
- Världens snabbaste dator
2013-2015: Tianhe-2,
 3.4×10^{16} operationer/s
2016- : Sunway TaihuLight
 9.3×10^{16} operationer/s
- Moore's lag:
Datorkapaciteten fördubblas
vartannat år → Datorer når
hjärnans beräkningskapacitet
inom ca 20 år



HAL från 2001 – Ett rymdäventyr

Obs! Beräkningskapacitet $\neq$ Intelligens eller medvetande
Inte säkert att vi kommer att kunna skapa en AI med
mänsklig intelligens under överskådlig tid...



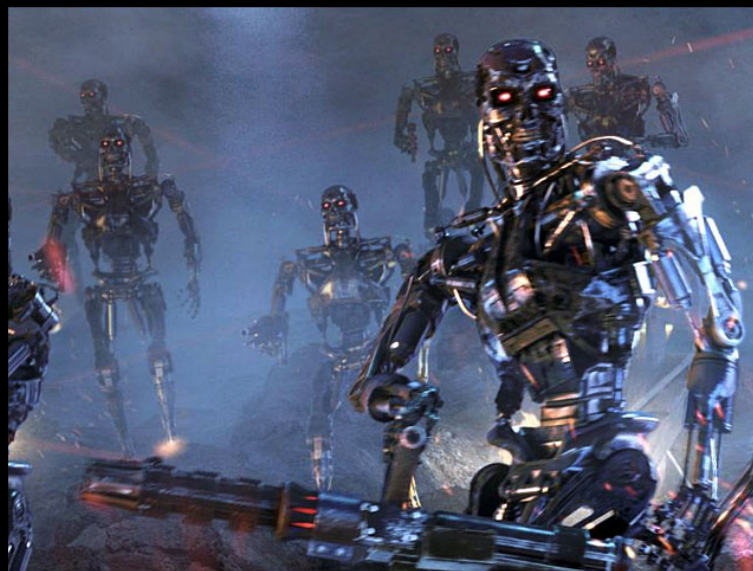
Tianhe-2



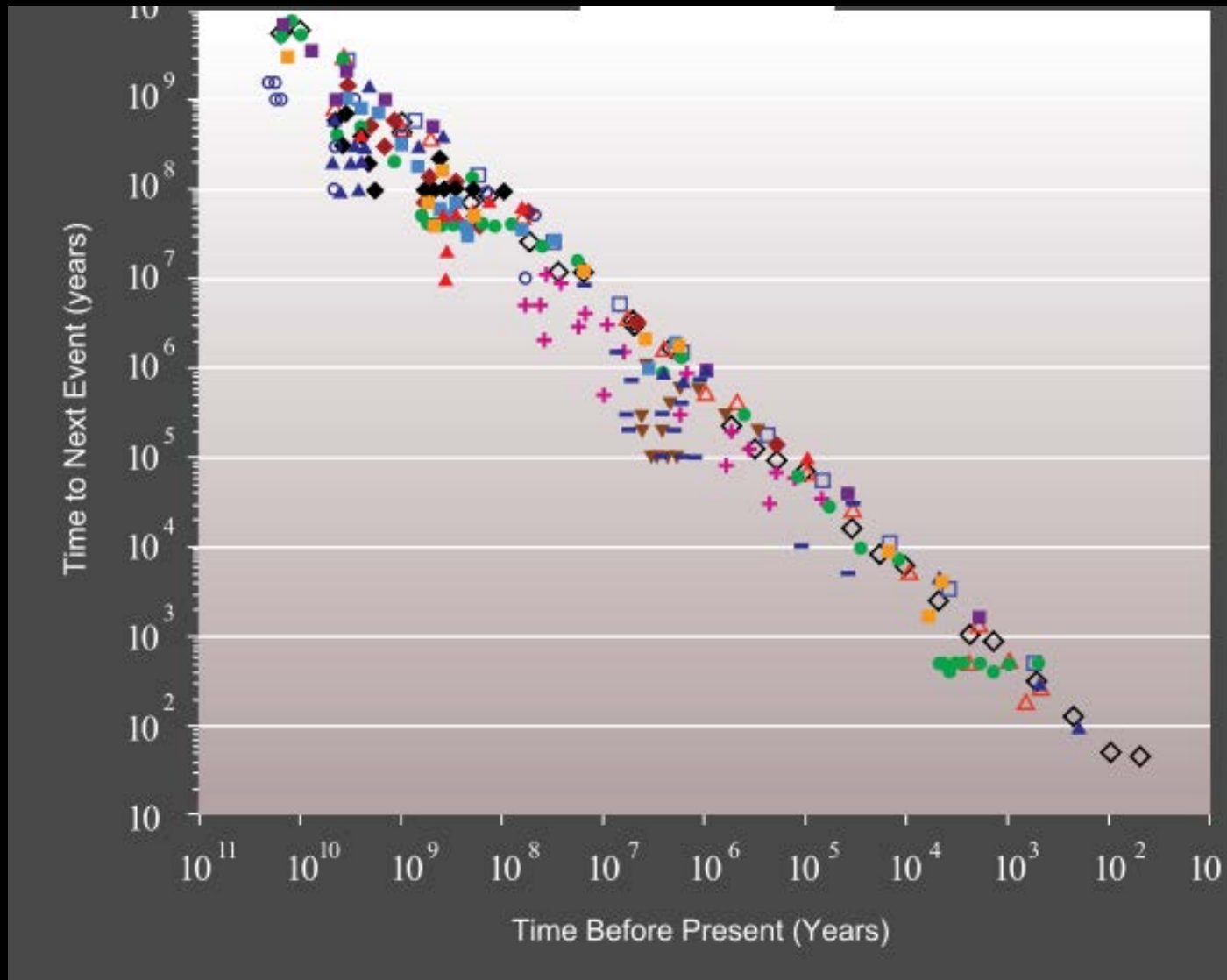
Sunway TaihuLight

Den teknologiska singulariteten

- Framtida tidpunkt då utvecklingen plötsligt börjar gå extremt snabbt ("mot oändligheten") till följd av exempelvis skapandet av en AI med förmåga att göra sig själv smartare
- Anses ofta omöjligt att förutspå vad som händer efter singulariteten (om vi alls överlever den)



Den teknologiska singulariteten



Transcendens?

- Har föreslagits att avancerade civilisationer kan vilja driva sin teknologi mot "inre rymden" istället för den yttre
- Ökad miniaturisering och täthet tills tillstånd som liknar neutronstjärna eller svart hål uppnås
- Transcendens: Lämnar "yttre rymden" och kryper in i sitt svarta hål (och möjligen ut i ett nytt universum)



Barrow-skalan

Skala som beskriver civilisations förmåga att manipulera småskaliga föremål:

- **Typ I minus:** Manipulering på ungefär samma längdskala som varelserna själva
- **Typ II minus:** Manipulering av gener
- **Typ III minus:** Manipulering av molekyler
- **Typ IV minus:** Manipulering av atomer
- **Typ V minus:** Manipulering av atomkärnor
- **Typ VI minus:** Manipulering av kvarkar och leptoner
- **Typ Omega minus:** Manipulera rum- och tidsstruktur

Allt högre teknologitäthet →

Svart hål och transcendens till annat universum?

Superteknologi

- Von Neumann-sonder
- Dysonsfärer
- Matrioshka/Jupiter brains

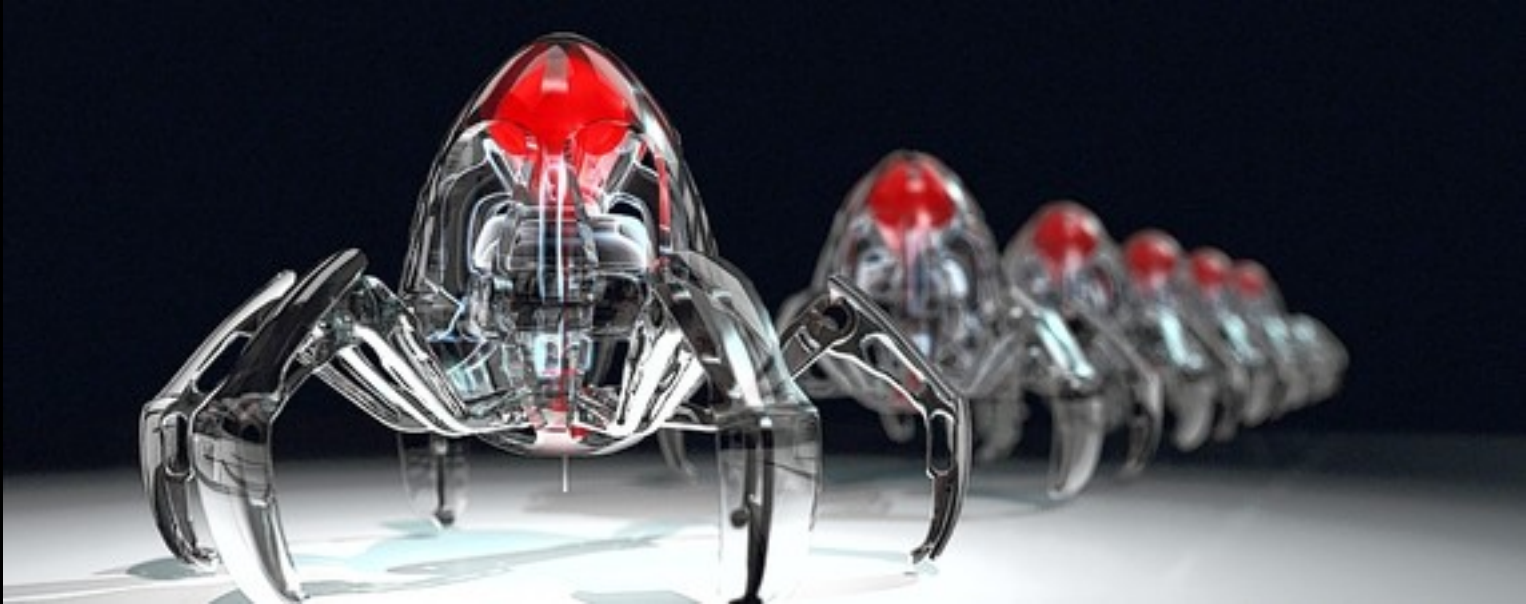
Von Neumann-sonder

- Självreplikerande robotsonder som skickas ut för att utforska/kolonisera rymden
- Tar material de hittar längs vägen och bygger nya sonder
- En Bracewell-sond (se föreläsning 7) kan även vara en von Neumann-sond



John von Neumann (1903-1957)

Små sonder



- Lättare att accelerera ett föremål med låg massa till hastigheter nära ljusets
- Strategi: Skicka ut i stora svärmar av mikro- eller nanorobotar för att säkra överlevnad för ett fåtal

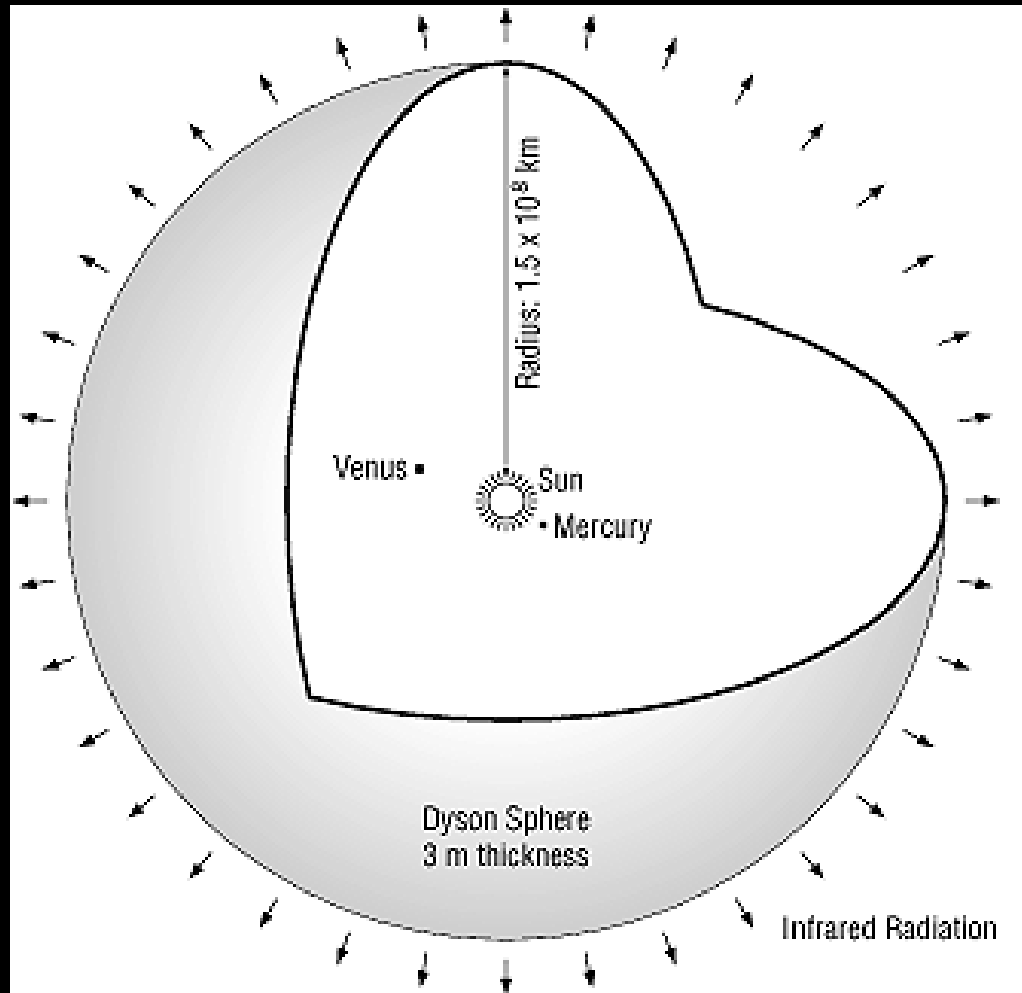
Dyson-sfär I

- Hypotetisk, artificiell struktur av satelliter kring stjärna som fångar upp andel av stjärnans utstrålade energi
- Värmeenergi måste strålas bort för att inte smälta sfären → Sfären kan inte långsiktigt göra stjärnan helt osynlig, bara ändra dess spektrum
- Sfär med temperatur av några hundra grader (eller lägre) → infraröd glöd



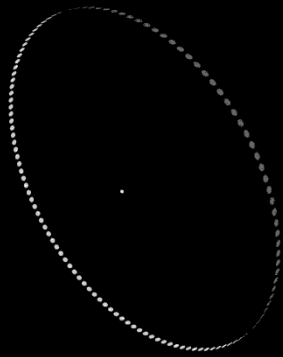
Freeman Dyson, 1923-

Dyson-sfär II

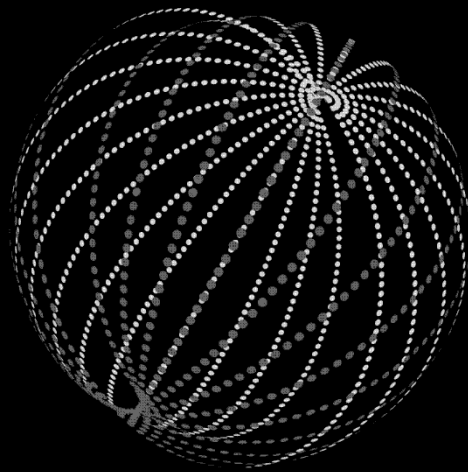


Tät Dyson-sfär av material från nedmonterade planeter

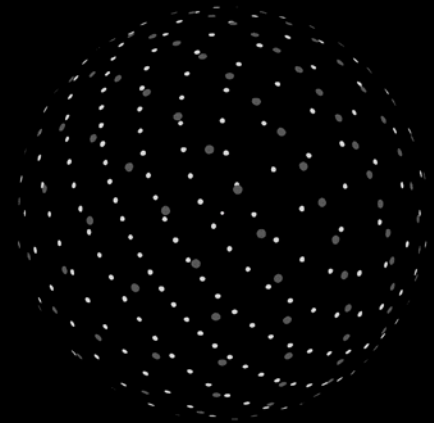
Dyson-sfär III: Varianter på temat



Dyson-ring



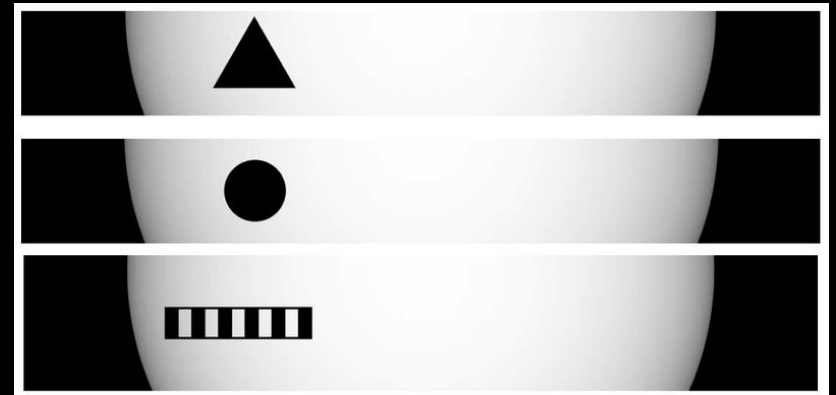
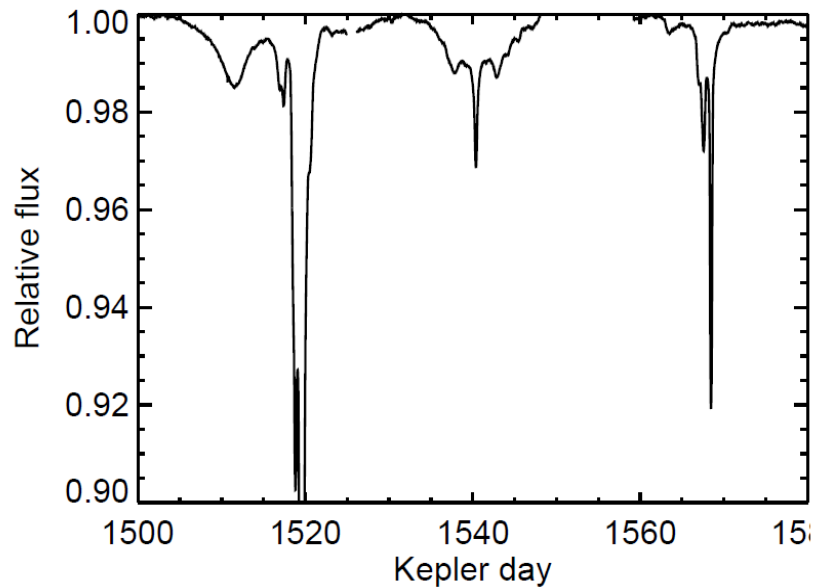
Dyson-svärm



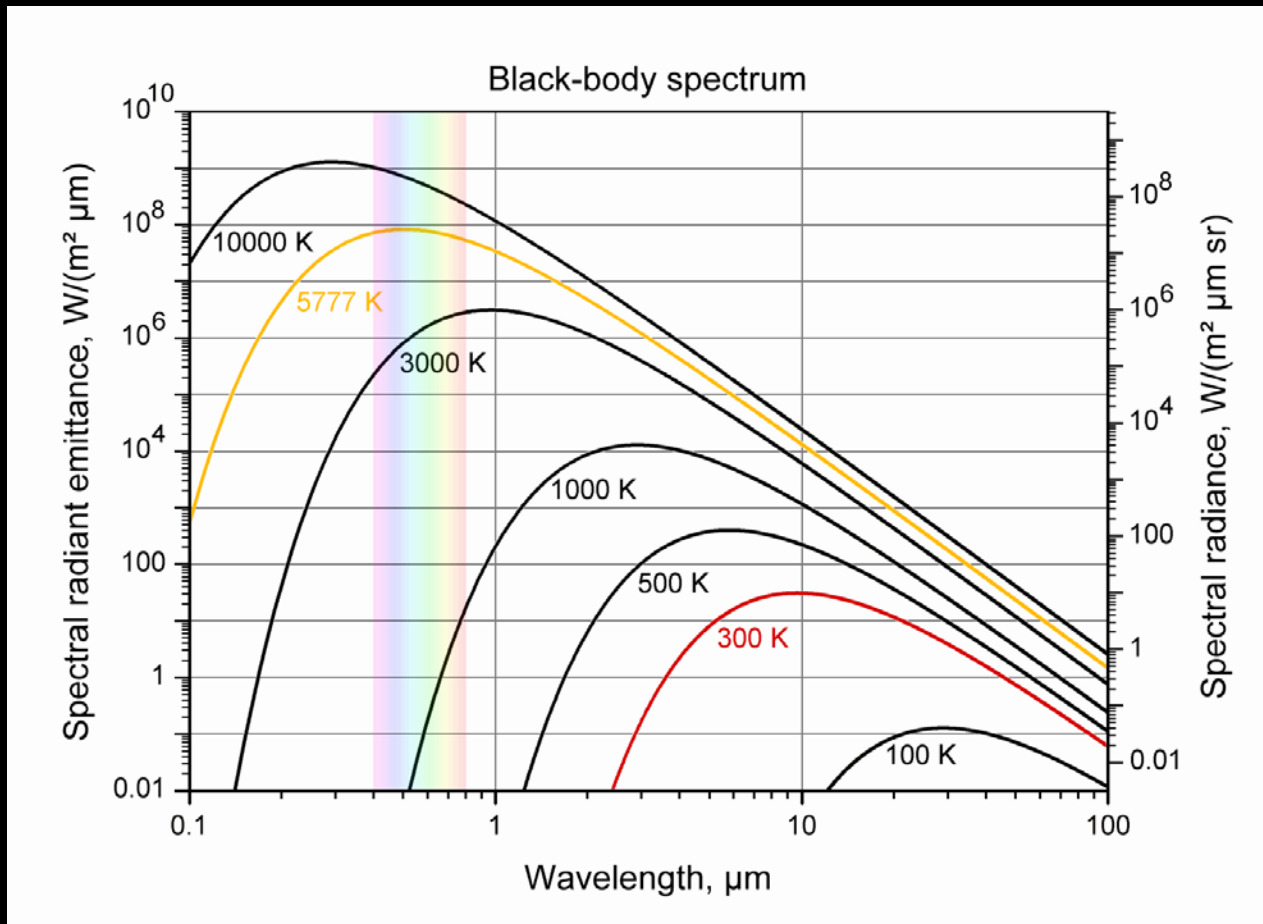
Dyson-bubbla

Tänkbara signaturer från Kardashev typ I-II

Fotometriska metoden för exoplanetstudier ger konstig
ljuskurva för stjärnan KIC 8462852 ("Tabbys stjärna").
Kometfragment? Stoft efter planetkollision? Partiell Dyson-sfär?

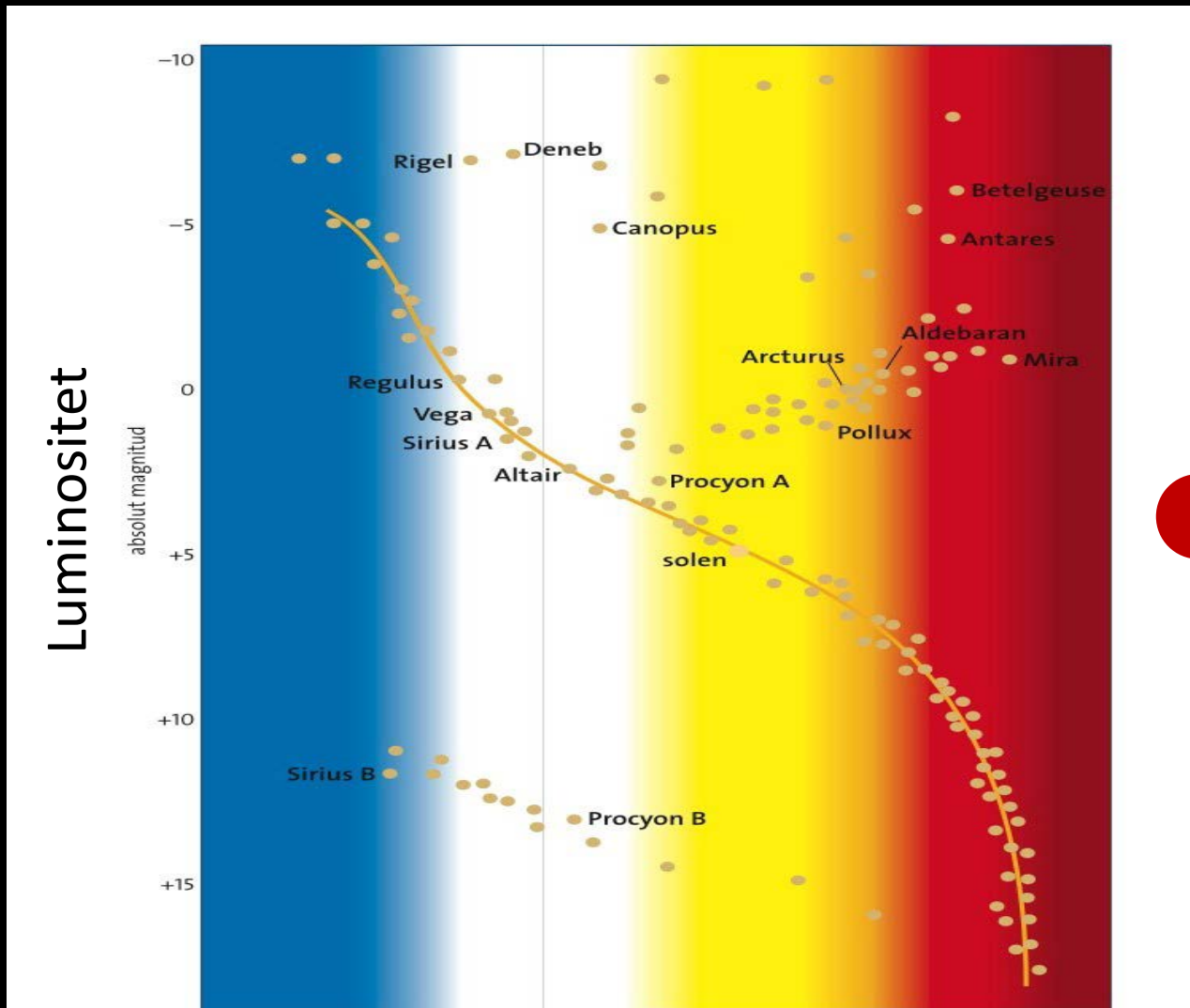


Tänkbara signaturer från Kardashev typ II

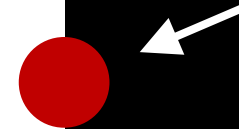


Stjärna där bara andel av strålningen fångas in uppvisar troligen ett spektrum som är en blandning av en vanlig stjärnas och ett dominerat av infraröd strålning

Hertzprung-Russell-diagrammet



Stjärna helt omsluten
av Dyson-sfär
förväntas dyka
upp ungefär här
(hög luminositet,
men extremt låg
temperatur)



Hög yttemperatur

Låg yttemperatur

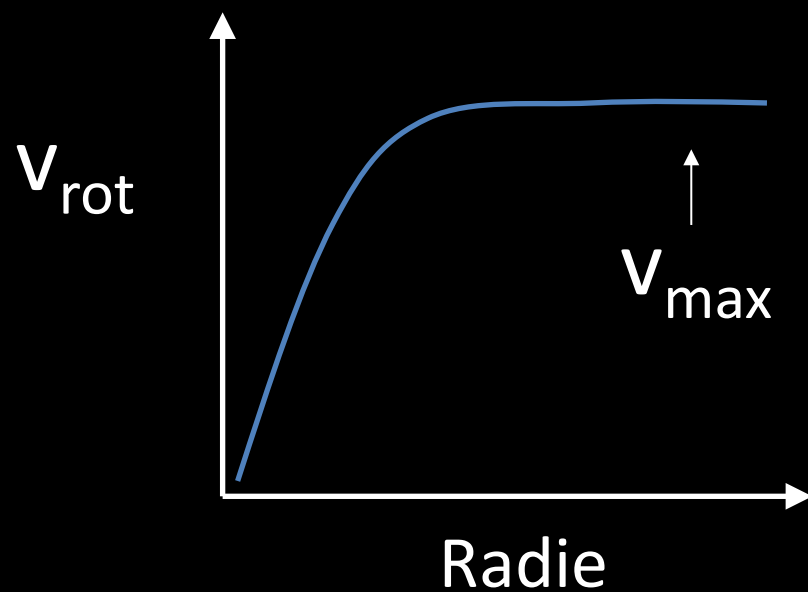
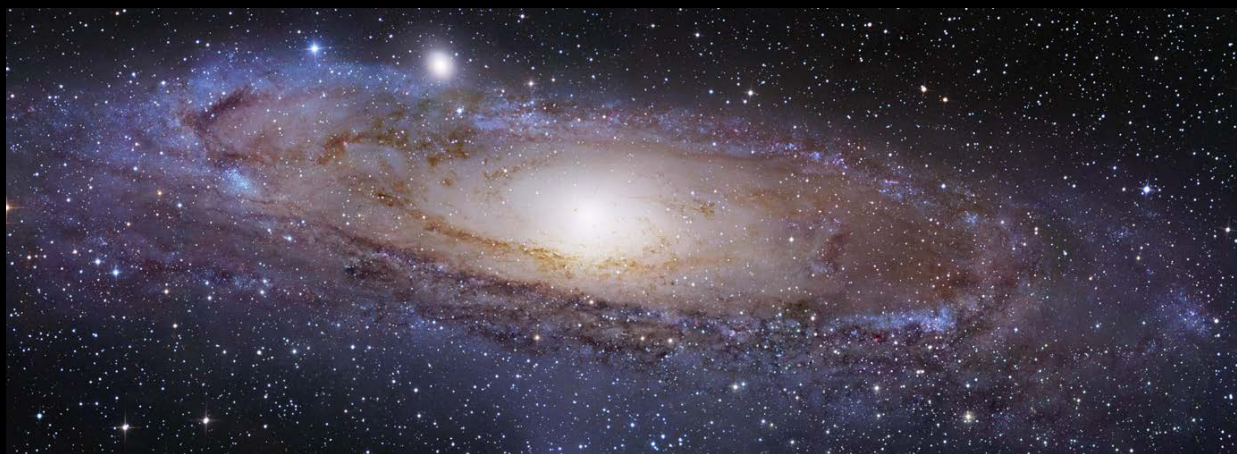
Dyson-sfärer och Kardashev typ II-III

- Civilisation som kapslar in stjärnor i sin närhet i Dyson-sfärer → "Bubblor" av låg UV/optisk ljusstyrka jämfört med omgivningen
- Bubblorna kan dock ha högre infraröd ljusstyrka än omgivningen

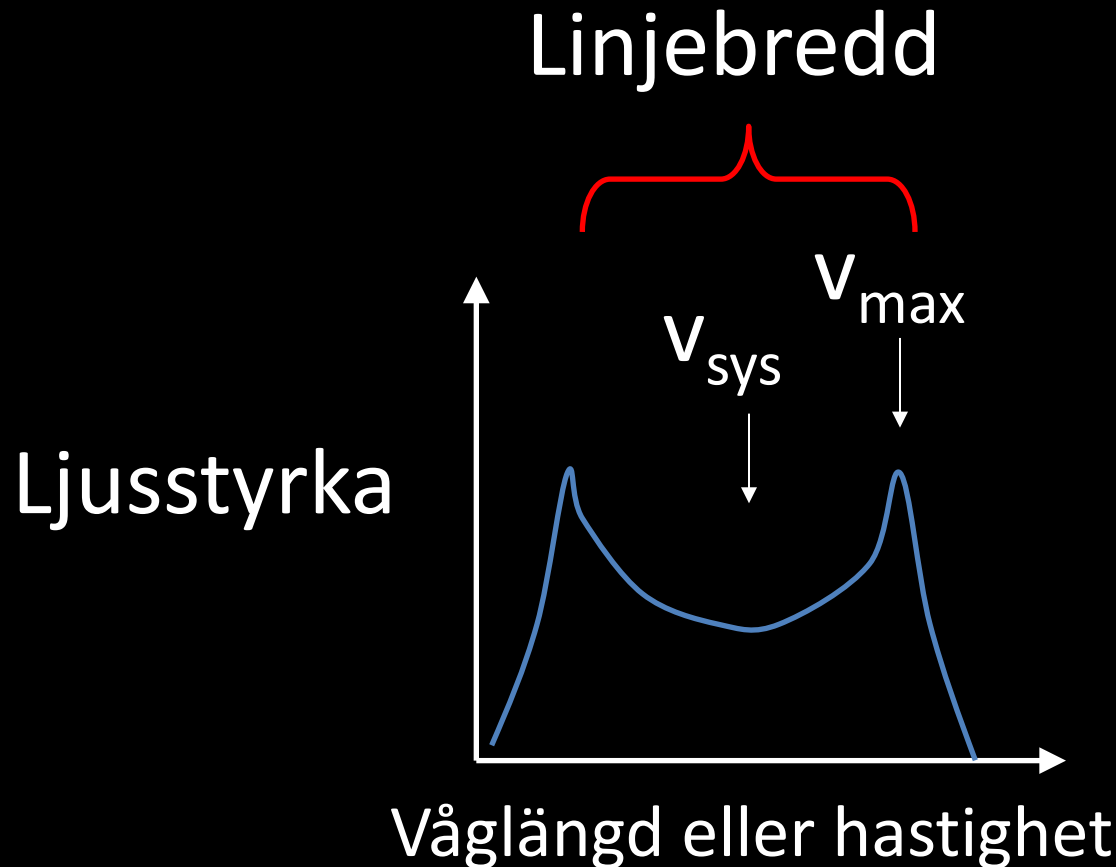


Dyson-signaturer

Rotationskurvor hos skivgalaxer



Vätets emissionslinjeprofil



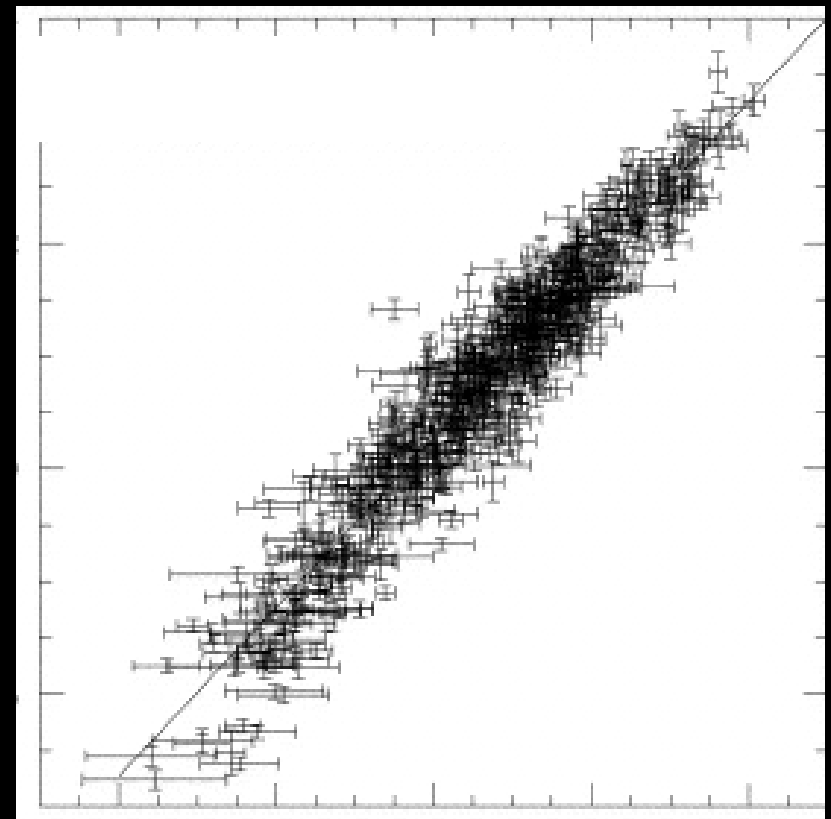
Halva linjebredden ger mått på maxhastigheten, vilket också säger något om galaxens totalmassa

Dyson-sfärer och Kardashev typ III

- Tully-Fisher-relationen:
Empirisk relation mellan skivgalaxers luminositet och väteets linjebredd (mätt på massan)
- Relationen har mycket låg spridning

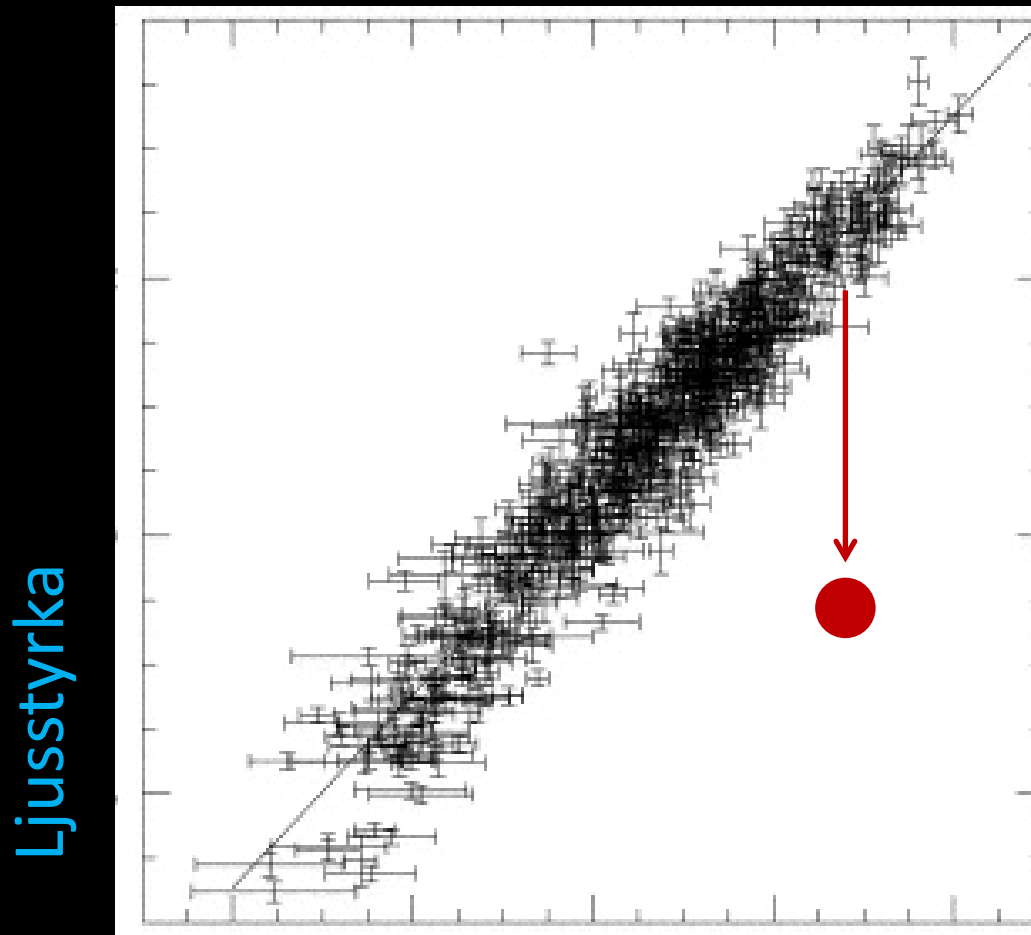
Stort antal skivgalaxer

Ljusstyrka



Linjebredd (massa)

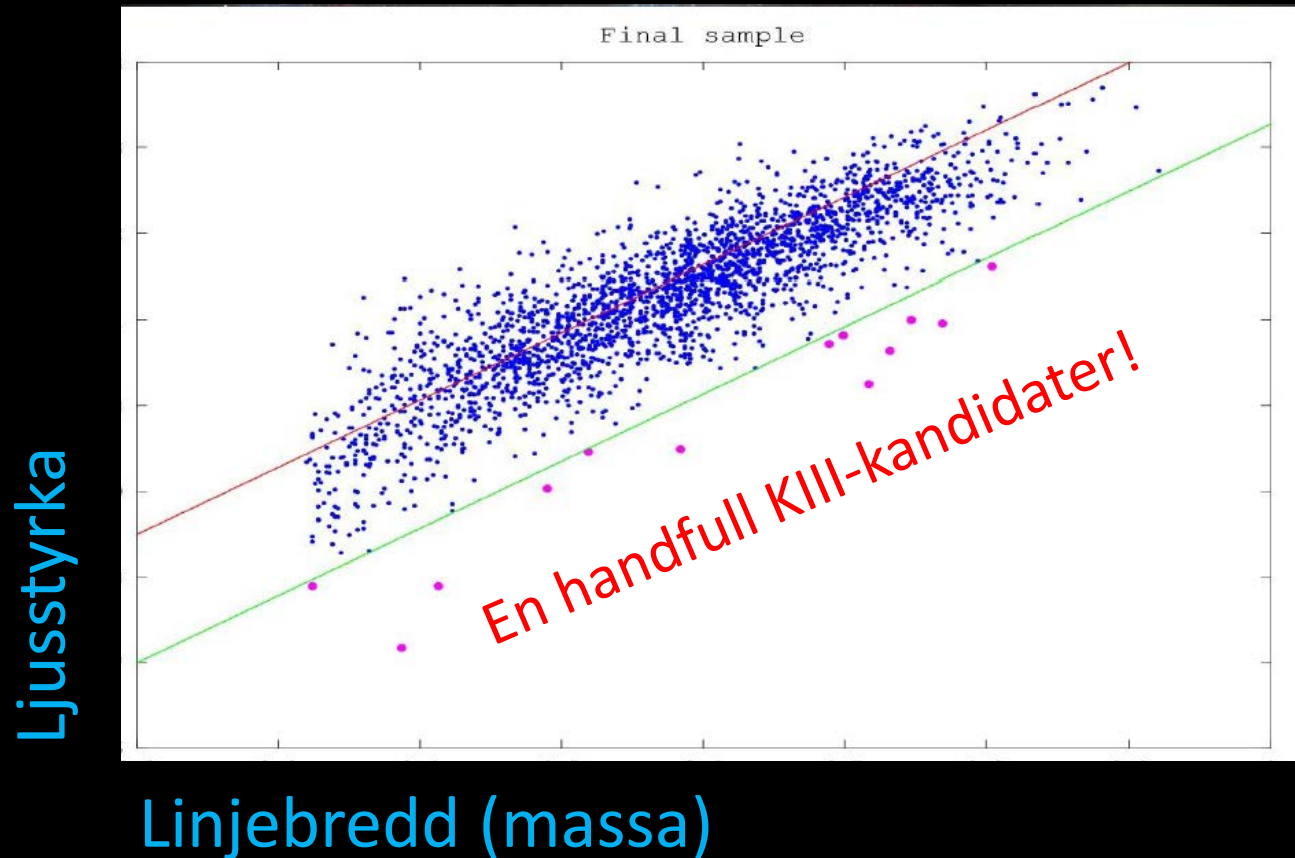
Dyson-sfärer och Kardashev typ III



Galax med Kardashev typ III-civilisation som klär in stjärnor i Dyson-sfärer → Oförändrad massa men sänkt UV/optisk luminositet

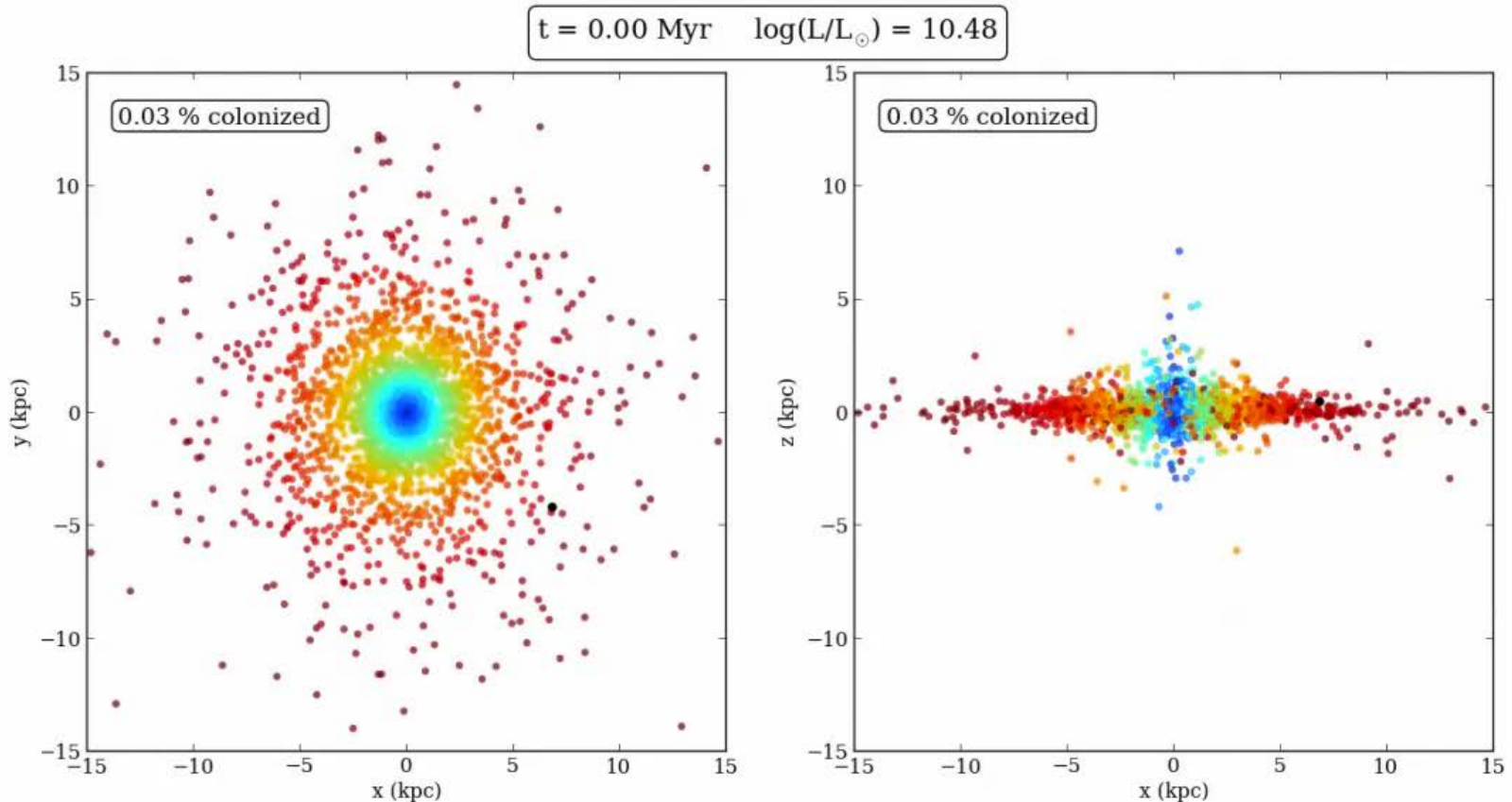
Ytterst få skivgalaxer avviker kraftigt från Tully-Fisher → Kardashev typ III måste vara mycket sällsynta (förutsatt att de använder Dyson-sfärer)

Första svenska SETI-projektet: Sökning efter Kardashev typ III- civilisationer bland ca 1400 skivgalaxer



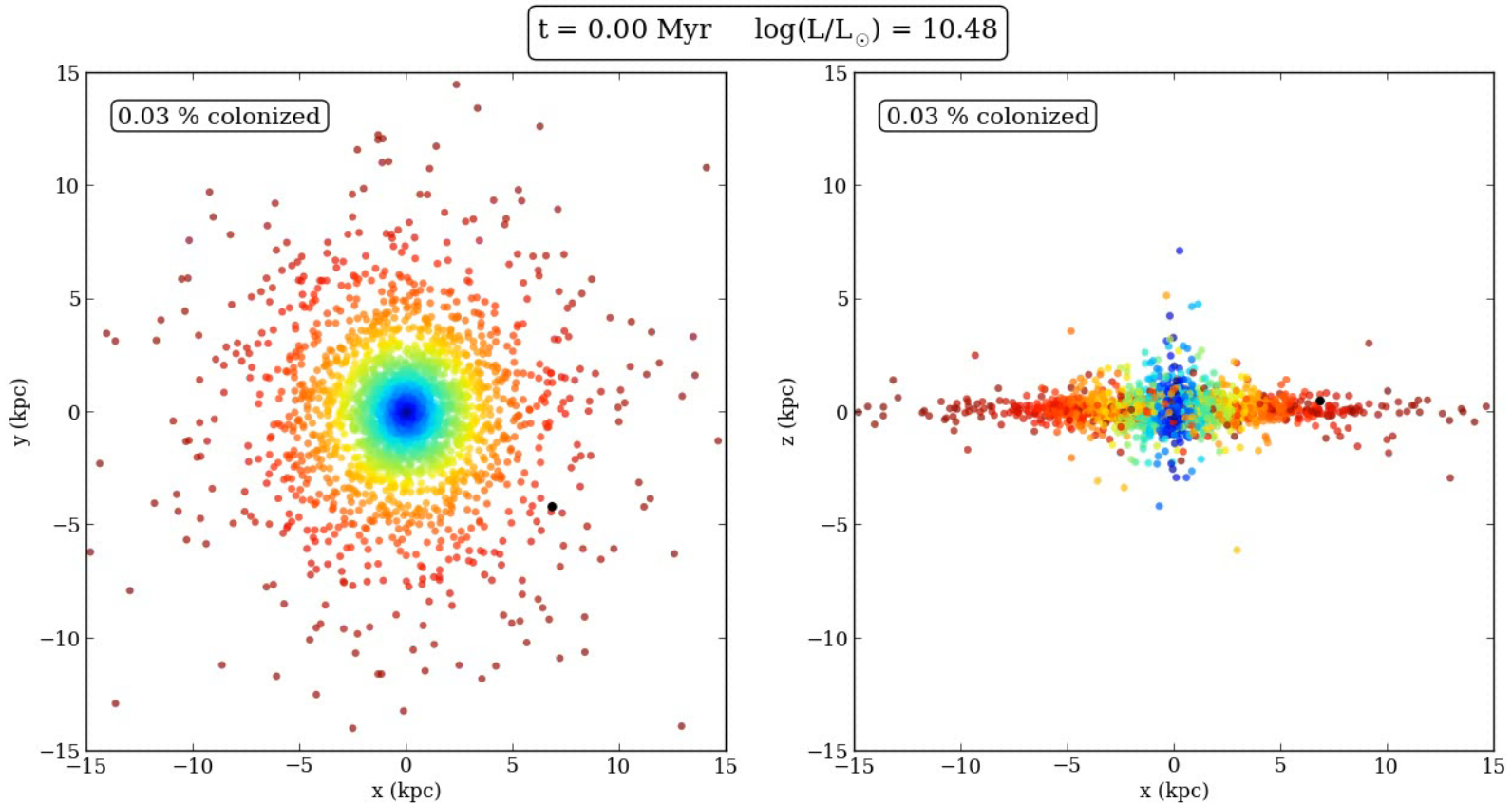
Kandidatuppsats av Per Calissendorff vid SU, våren 2013

Simulering av hur skivgalax kolonisereras med Dyson-sfärer



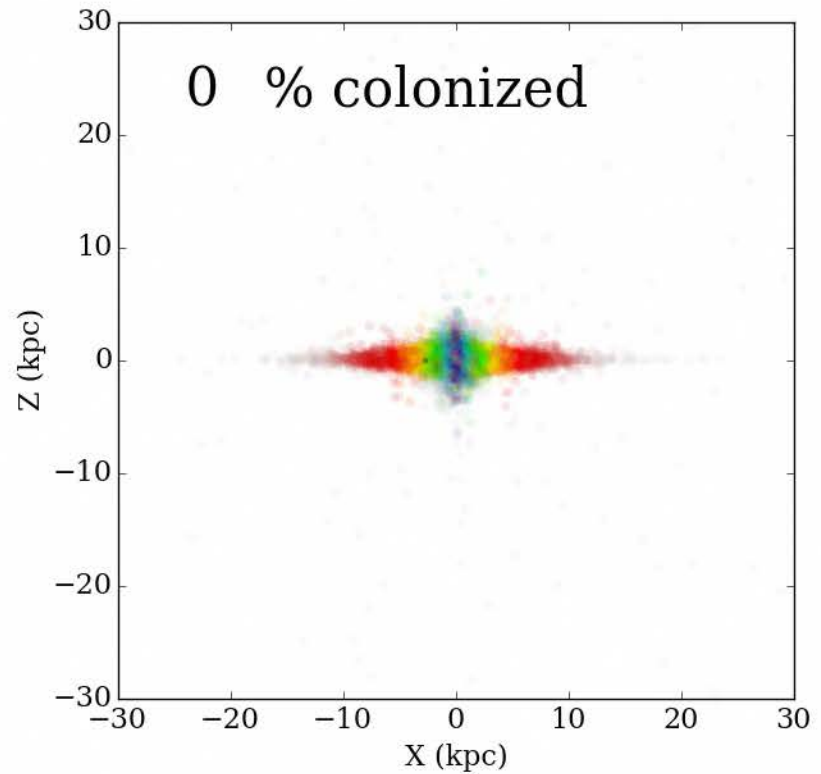
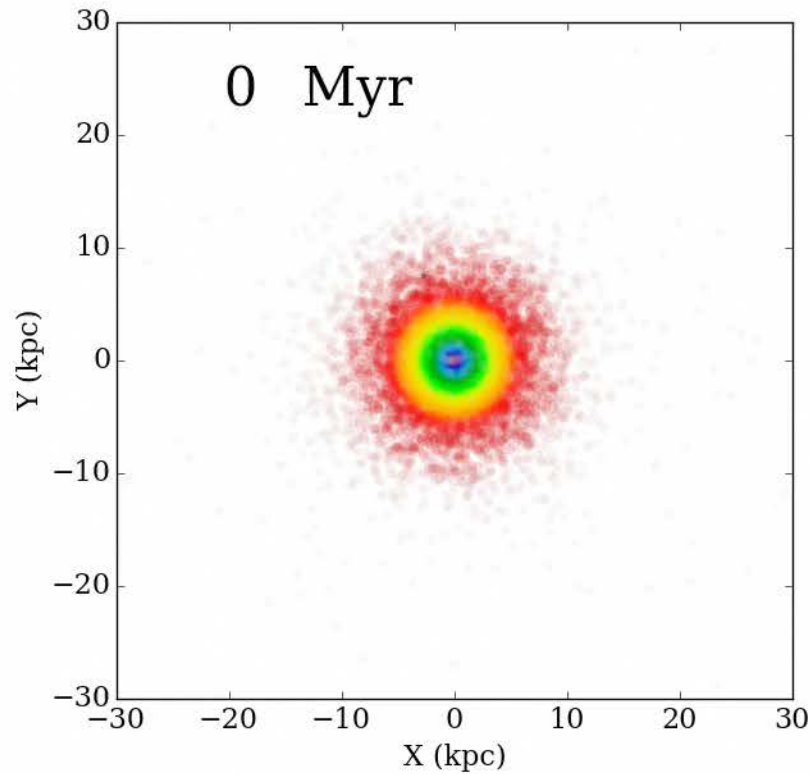
Sondernas hastighet: 10% av ljushastigheten
Koloniseringsstrategi: Riktad

Simulering av hur skivgalax koloniseras med Dyson-sfärer



Sondernas hastighet: 30 km/s (som dagens rymdsonder)
Koloniseringsstrategi: Sfärisk våg

Probe Velocity: 0.01% of light speed

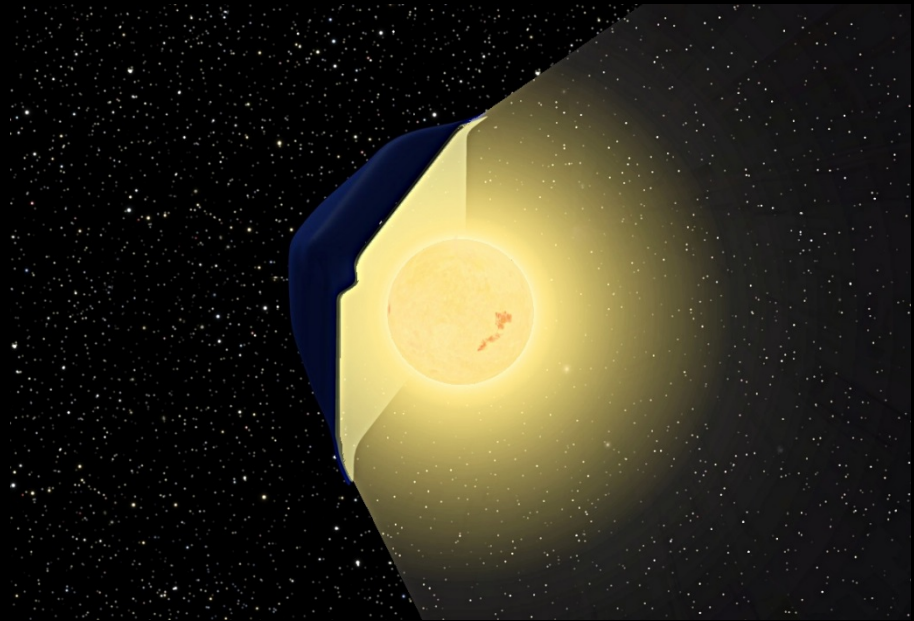


Sondernas hastighet: 30 km/s

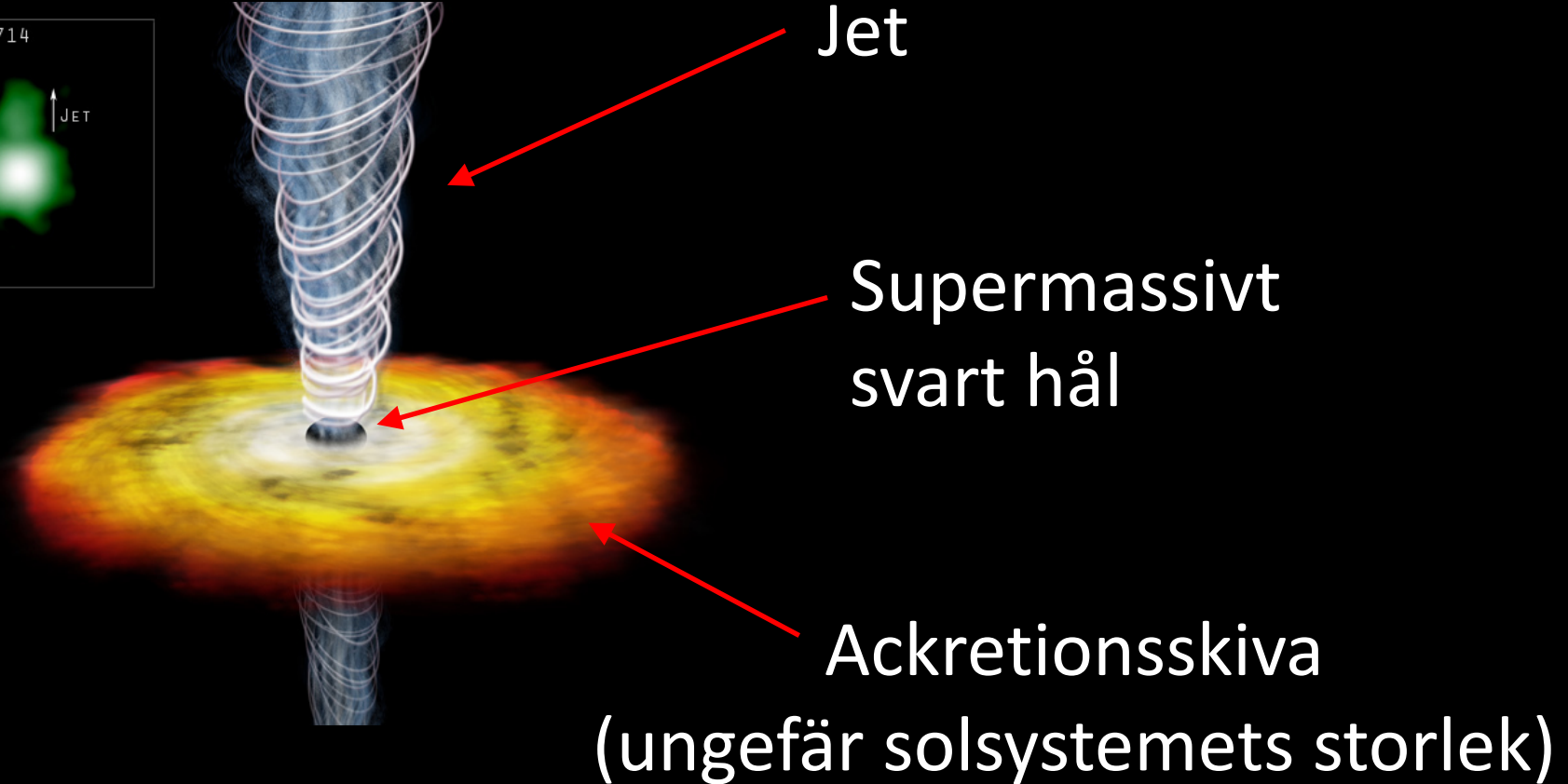
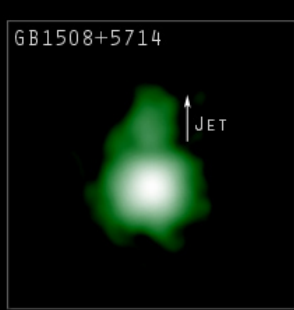
Koloniseringsstrategi: Sfärisk våg (avbryter vid 75% kolonisering)

Shkadov thruster

- Mekanism för att förflytta en hel stjärna (och tillhörande planetsystem)
- Gigantiskt solsegel hålls i jämvikt av gravitation mot stjärnan och strålningstryck bort från stjärnan
- Seglet bryter isotropin i stjärnans strålningstryck och driver stjärnan i riktning mot seglet
- Långsam förflyttning – tar ~ 1 miljon år att komma upp i 20 m/s och ~ 1 miljard år att flytta stjärnan en betydande del av Vintergatans radie

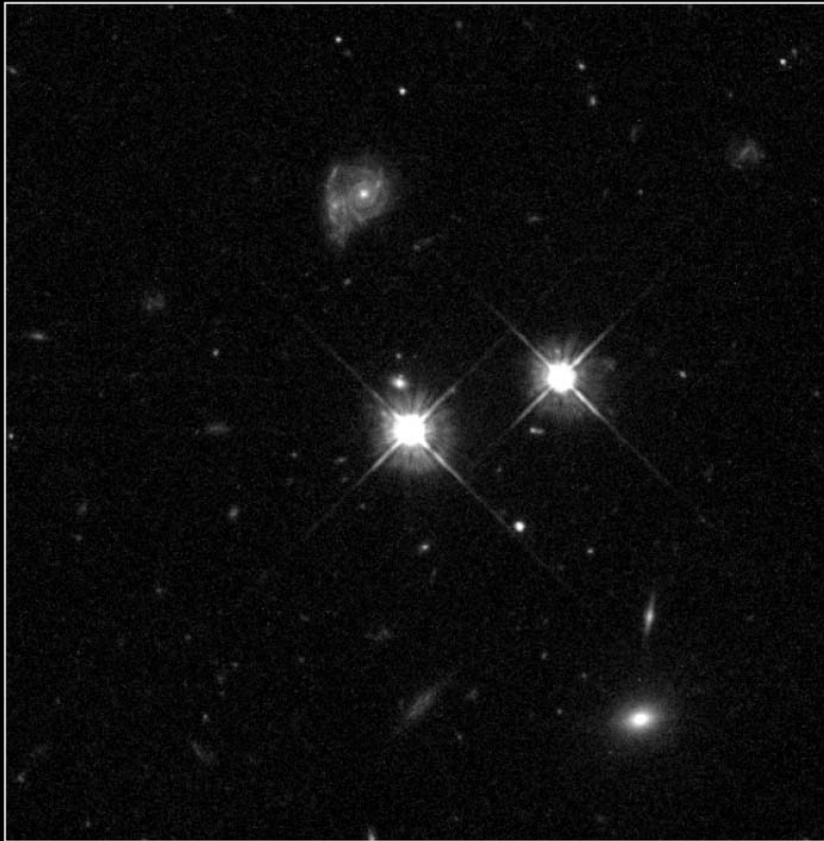


Aktiva galaxkärnor som energikälla



Galaxer med aktiv kärna producerar extremt hög ljusstyrka i liten region i centrum → Bättre att kapsla in den aktiva kärnan istället för stjärnor?

Exempel på aktiva galaxkärnor



HST's 100,000th Observation HST • WFPC2
PRC96-25 • ST ScI OPO • July 10, 1996 • C. Steidel (CalTech), NASA

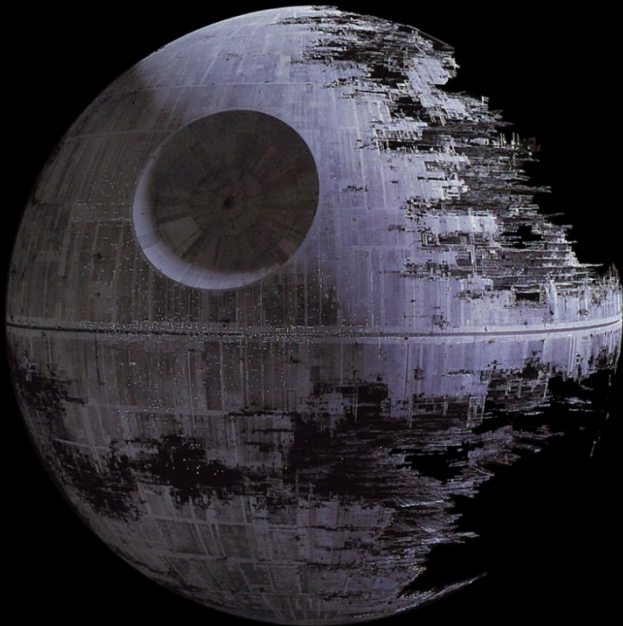


Kvasarer

Seyfert-galax

Den nya skolans SETI

- Davies: Sök efter de effekter som en utomjordisk civilisations teknologi har på den omgivande rymden!



Svarta hål som energikälla

- I princip möjligt att utvinna stora mängder energi från roterande svarta hål
- Davies: Hissmekanism där avfall dumpas i det svarta hålet och containern återvänder i hög hastighet
- Inga sökningar ännu baserade på detta p.g.a. oklar signatur och svårigheten med att lokalisera svarta hål

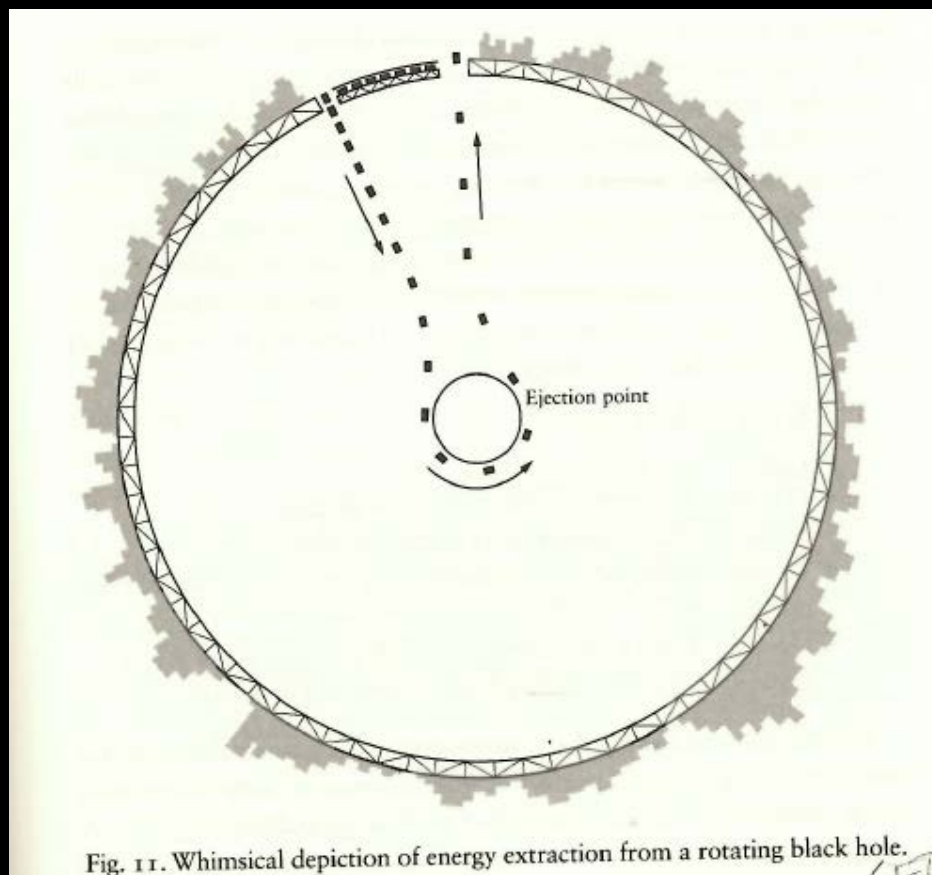
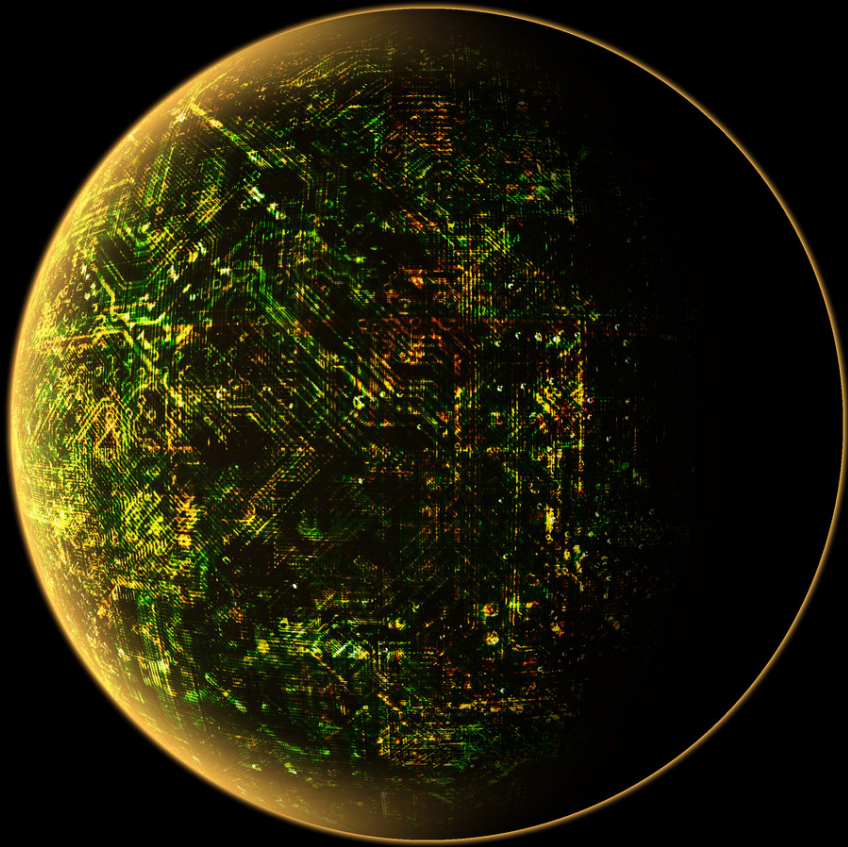


Fig 11 (sid 143) i Davies

Matrioshka-hjärna



- Hypotetisk dator (ev. AI) som drivs av koncentrisk Dyson-skal kring stjärna
- Olika skal verkar vid olika temperaturer
- Skulle kunna driva trovärdig simulering av vår "verklighet"?

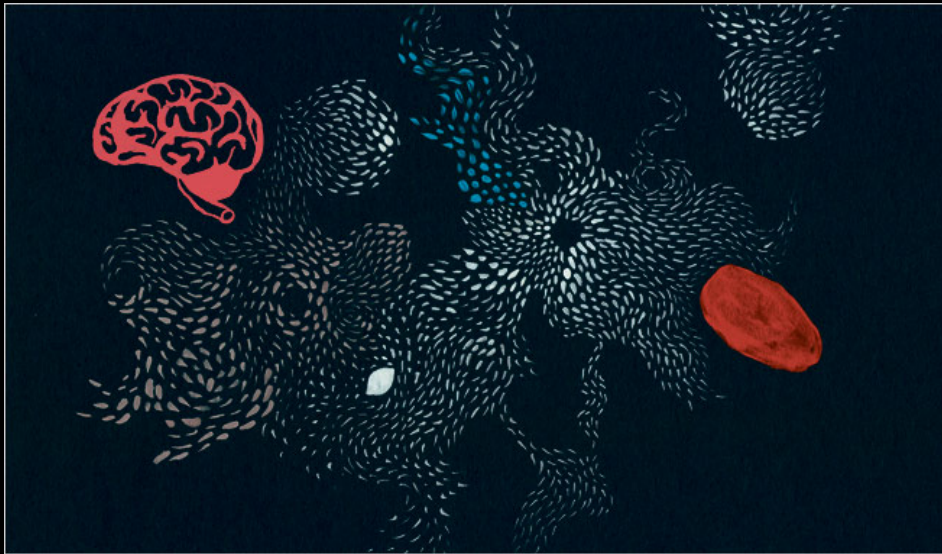


Jupiter-hjärna



- Hypotetisk dator av planets storlek
- Lägre beräkningskapacitet än Matrioshka-hjärna, men snabbare förmedling av signaler mellan datorns delar

Boltzmann-hjärna



- Hypotetisk, självmedveten "hjärna" som uppstår spontant mitt ute i rymden p.g.a. slumpmässiga partikelsammansättningar
- Mycket osannolik sammansättning – men rymden är stor, kanske oändlig...

Boltzmann brain paradox

- I vissa kosmologiska modeller blir Boltzmann brains mer sannolika än hjärnor av vår typ
- Problem: Är jag verkligen en människa i ett kollektiv bland sju miljarder andra, eller bara en ensam Boltzmann-hjärna i tomma rymden som inbillar mig?
- Fiktiva minnen av mångårigt liv, trots faktisk livstid på några få sekunder

Nästa föreläsning: Budskap till utomjordingarna & Vad händer om vi får kontakt?



Inlämningsuppgift 2 återlämnas!

Tentamensanmälan

- Viktigt: Anmälan till tentamen sker i Studentportalen
- Deadline är: 30 oktober
- Kontakta kurskansliet om du missat deadlinen men ändå vill anmäla dig:
kurskansli@physics.uu.se