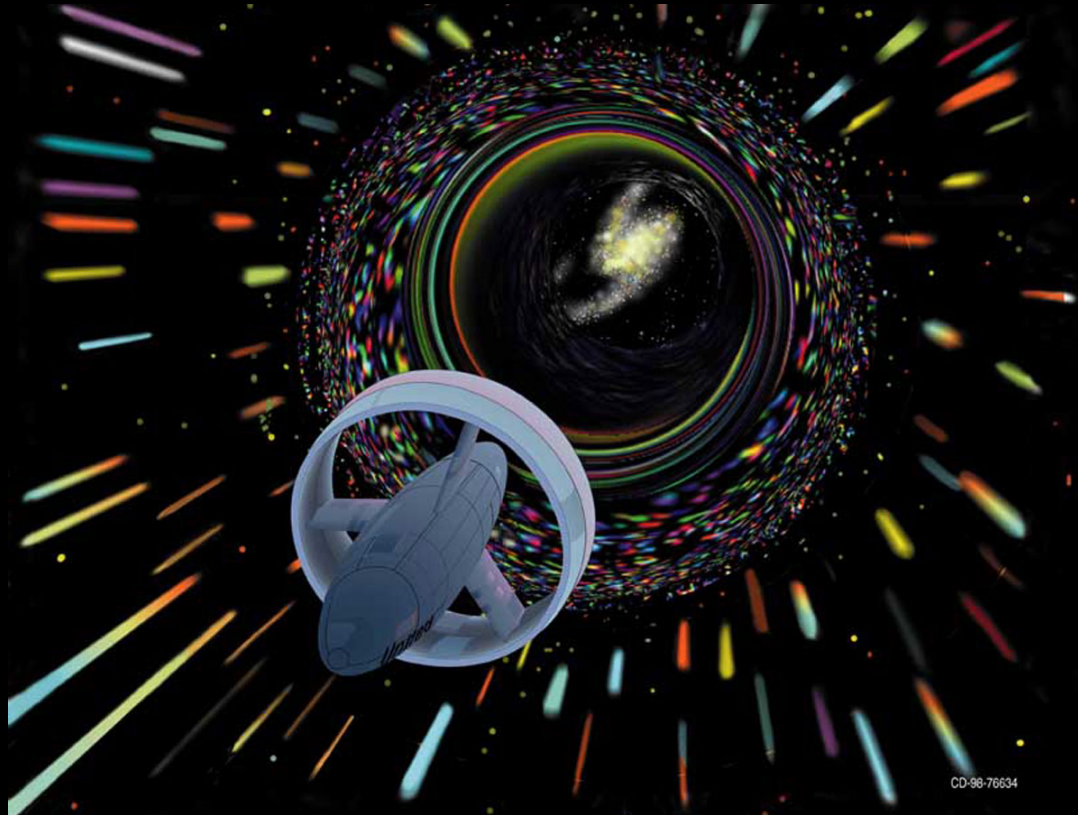


# Sökandet efter intelligent liv i rymden

## Föreläsning 8: Interstellära resor och tidsresor



# Upplägg

- Hur lång tid tar en interstellär resa?
- Relativistiska effekter
- Tänkbar teknologi
- Tidsresor

Davies: kapitel 6  
Webb: sid 78-89

Tas dock inte upp särskilt grundligt i kursböckerna

# Övergripande problem

Interstellära rymdfärder är:

- Tidskrävande
- Bränslekrävande
- Farliga

Motivationsproblem:

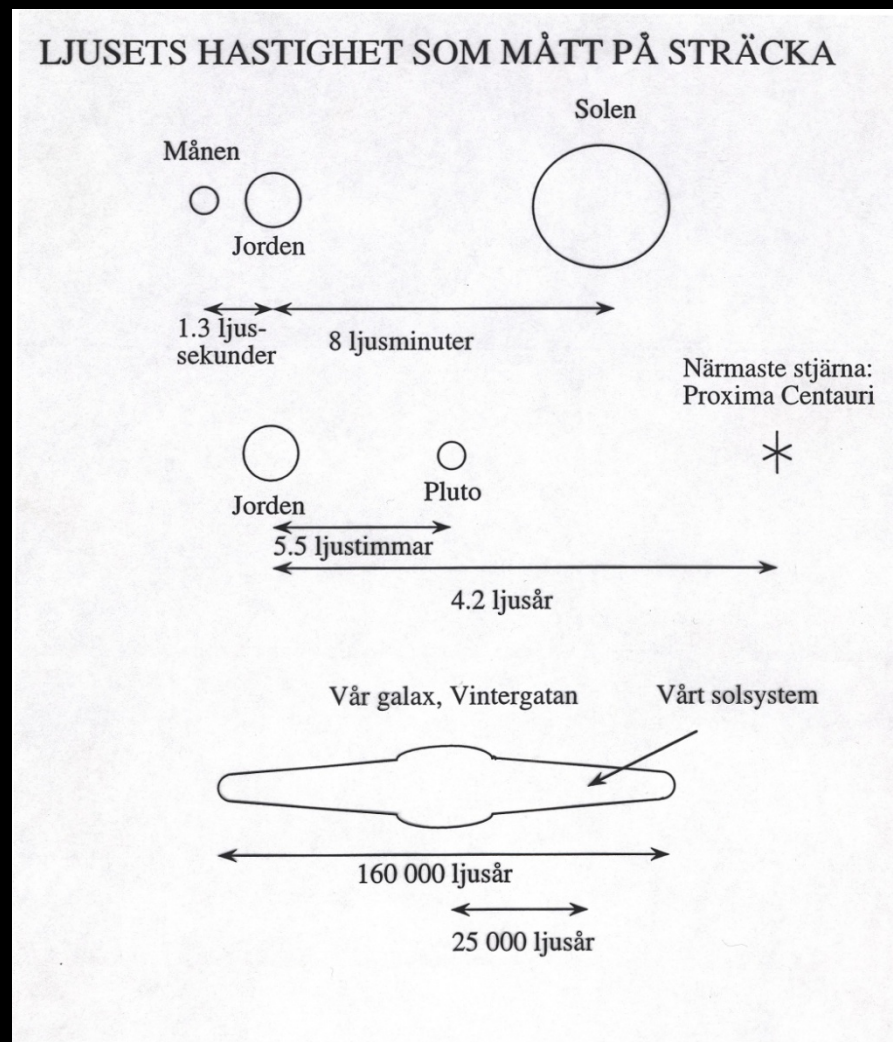
Resenärer som ger sig av tidigt riskerar att bli omkörda av dem som ger sig av senare, p.g.a. teknikutvecklingen →

Ingen vill starta?



# Astronomisk enhet (AU) och ljushastighet (c)

- Astronomisk enhet (eng. astronomical unit, AU)  $\approx$  medelavståndet mellan Solen och Jorden
- $1 \text{ AU} \approx 1,49 \times 10^{11} \text{ m}$  eller ca 8,3 ljusminuter
- Ljushastigheten ( $3 \times 10^8 \text{ m/s}$ ) betecknas ofta  $c$
- 10% av ljushastigheten skrivs då:  $0.1c$





# Hur lång tid tar det?

- Voyager 1 och 2 (uppskjutna 1977) är de rymdsonder som nått längst från jorden
- Voyager 1 har nått mer än 19,5 ljus timmar bort (140 astronomiska enheter)
- Voyager 1:s hastighet är ca 62 000 km/h (0.00006c)
- Med denna hastighet skulle det ta ca 74000 år att nå ett avstånd som motsvarar vår närmaste grannstjärna (Proxima Centauri, 4.24 ljusår)



Om restiden mellan stjärnorna ska bli mer rimlig måste man färdas *mycket* snabbt!

# Hur lång tid tar det?

## Exempel på resmål:

Alpha Centauri: 4.4 ljusår bort

Vintergatans centrum: 26 000 ljusår bort

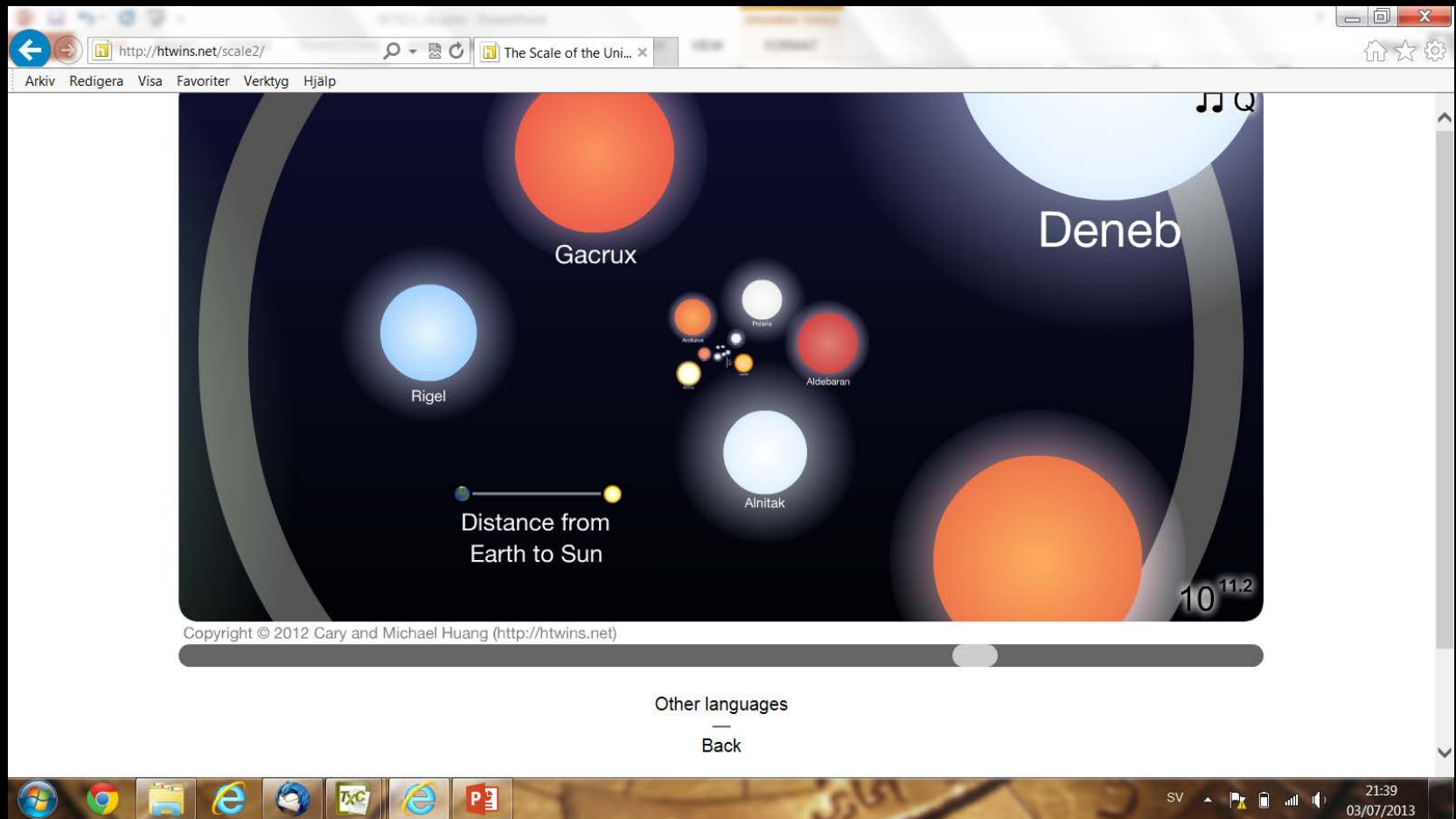
## Tid mätt på jorden:

- Hastighet  $\sim 0.001c \rightarrow$   
4400 år till Alpha Centauri  
26 miljoner år till Vintergatans mitt
- Hastighet  $\sim 0.1c \rightarrow$   
44 år till Alpha Centauri  
260 000 år till Vintergatans mitt
- Hastighet  $\sim c \rightarrow$   
4.4 år till Alpha Centauri  
26 000 år till Vintergatans mitt



Hastigheter om minst  $\sim 0.1c$  verkar krävas!

# Rymden är stor!



<http://htwins.net/scale2/>

# Relativistiska effekter I:

## Tiden går inte i samma takt för alla

- Einsteins speciella relativitetsteori säger:  
Hög hastighet →  
Tiden ombord går långsammare än för observatör på jorden
- Rymdskepp med konstant hastighet  $0.999c$ :  
När Vega (25 ljusår bort) på ca 25 år enligt observatör på jorden, men besättningen ombord upplever bara ca 1 år!



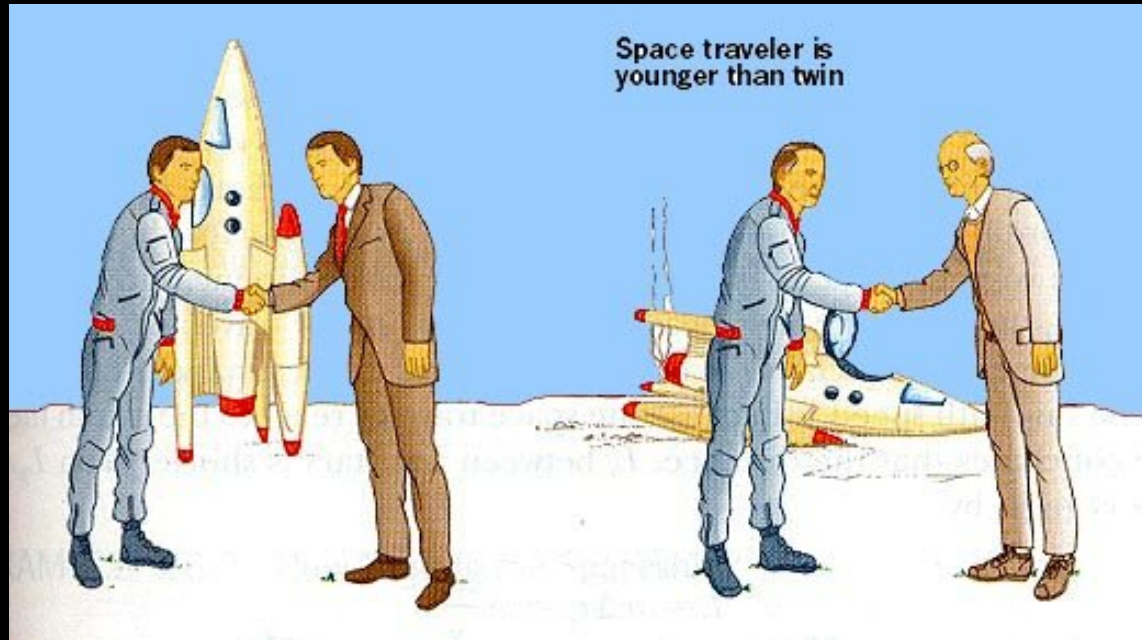


# Relativistiska effekter II: Energiåtgång

- Enorma energier krävs för att närma sig ljushastigheten!
- En 100 tons rymdskyttel kräver energi motsv. hela världens energikonsumtion under:  
ca 10 år för att nå  $0.9c$   
ca 40 år för att nå  $0.99c$

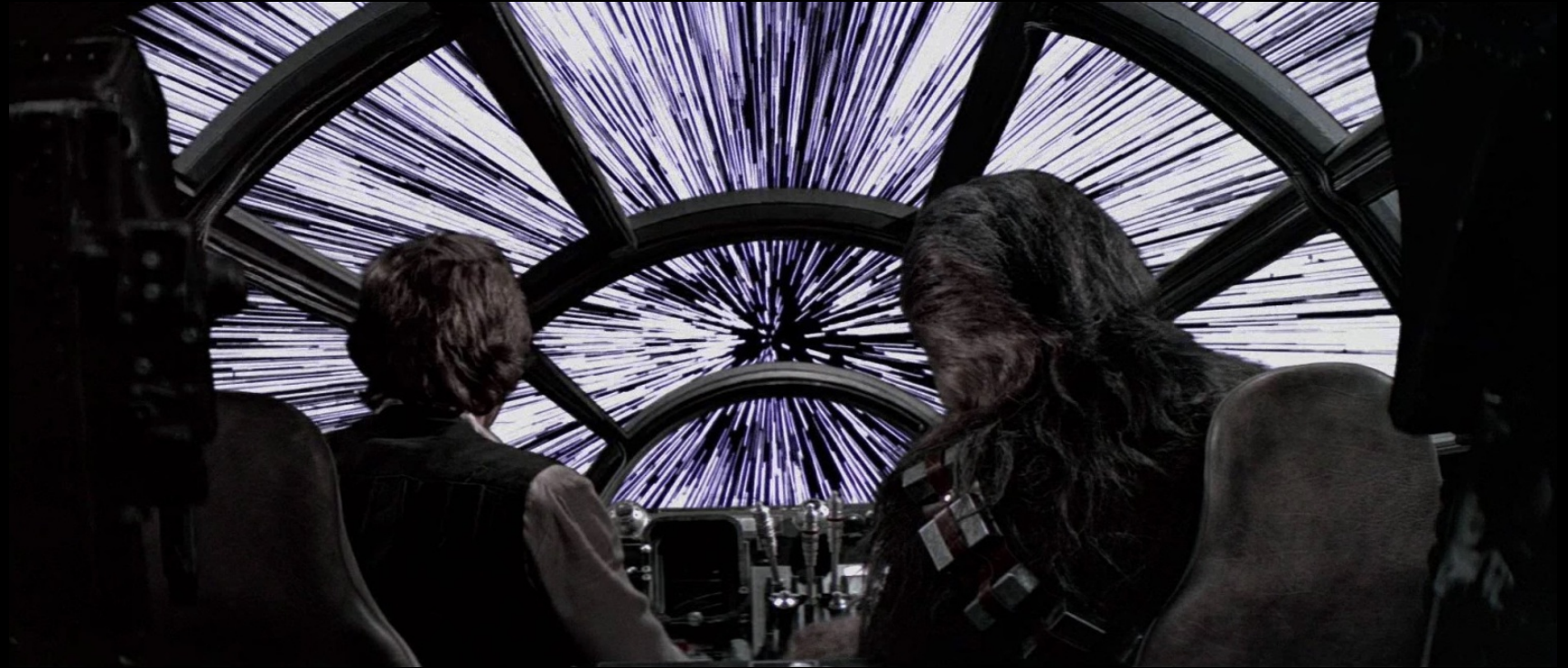


# Relativistiska effekter III: Tvillingparadoxen

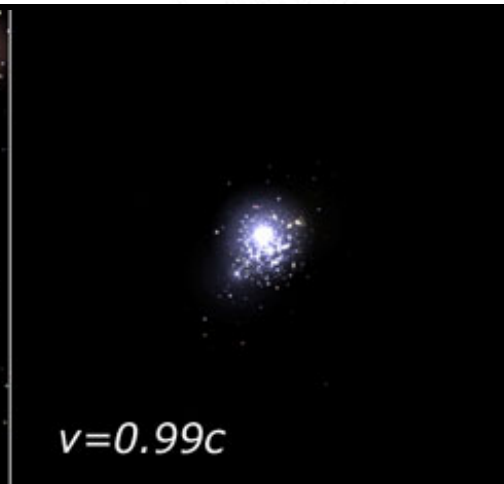
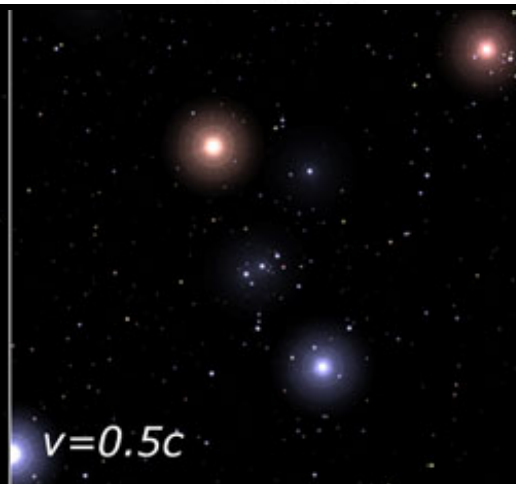
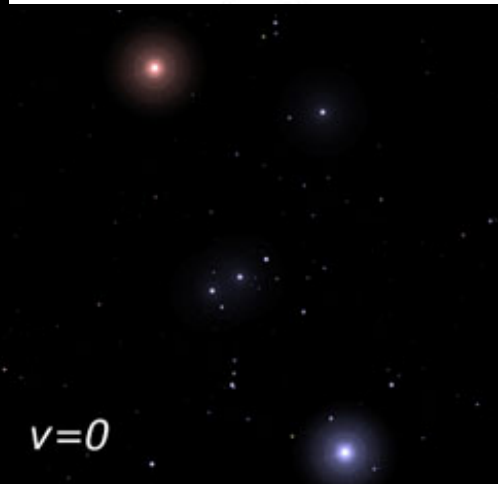
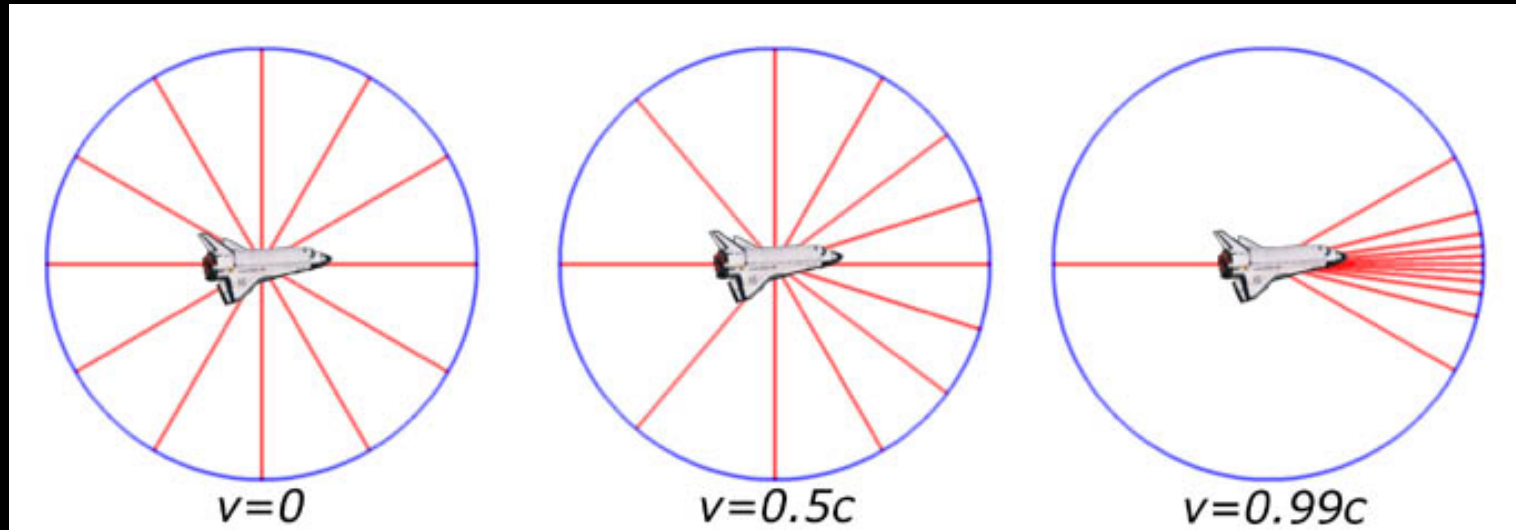


- En tvilling åker ut i rymden och en stannar hemma
- Rymdfärd med hastighet nära ljusets  $\rightarrow$  Vid hemkomsten är rymdsvillingen yngre än jordtvillingen
- Rymdsvillingen upplever sig ha rest framåt i tiden

# Relativistiska effekter IV: Vad ser man från rymdskeppet?



# Relativistiska effekter V: Relativistisk aberration

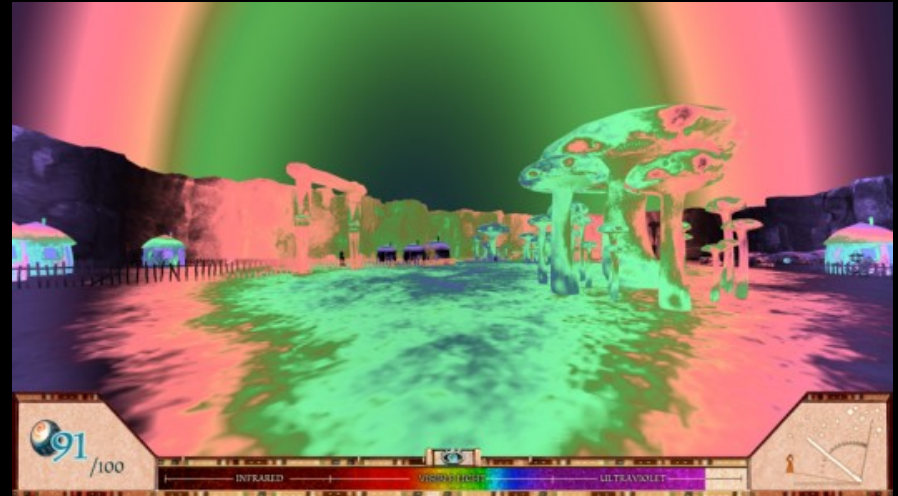




Velocity  $v = 0.00c$



# Tips: A Slower Speed of Light



<http://gamelab.mit.edu/games/a-slower-speed-of-light/>

Gratisspel till Windows, Mac & Linux som illustrerar vad som händer om ljushastigheten sänks (så att normal gånghastighet börjar närma sig ljusets)

# Faror vid resor nära ljushastigheten

- Atomkärnor i interstellära mediet
- Kosmisk strålning
- Stjärnstoft
- Mikrometeoriter



Potentiellt förödande för besättning och skepp vid relativistiska hastigheter – gigantiska skyddssköldar behövs!

# Teknologi för interstellära resor

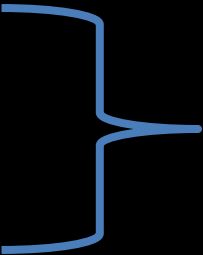
- Artificiell gravitation
- Gravitationsassistans
- Jondrift
- Solsegel
- Antimateriadrift
- Uppsamlingskopa
- Generationsskepp
- Maskhål
- Teleportering
- Warp drive



Välkänd fysik &  
existerande teknologi  
(i stort sett)

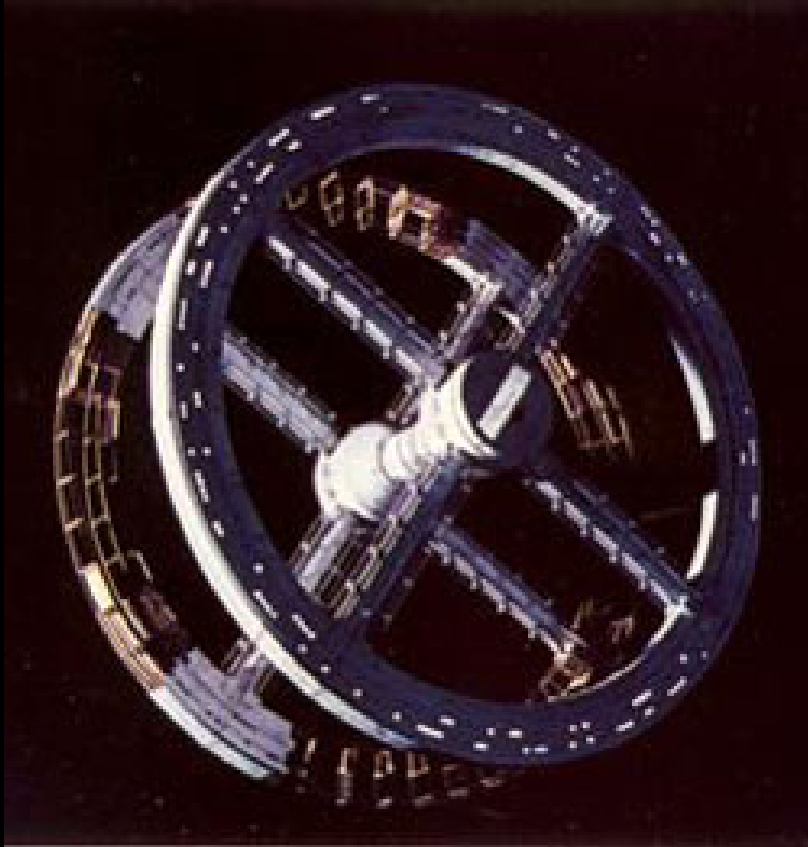


Välkänd fysik, men  
icke-existerande teknologi



Utforskad fysik och  
icke-existerande teknologi

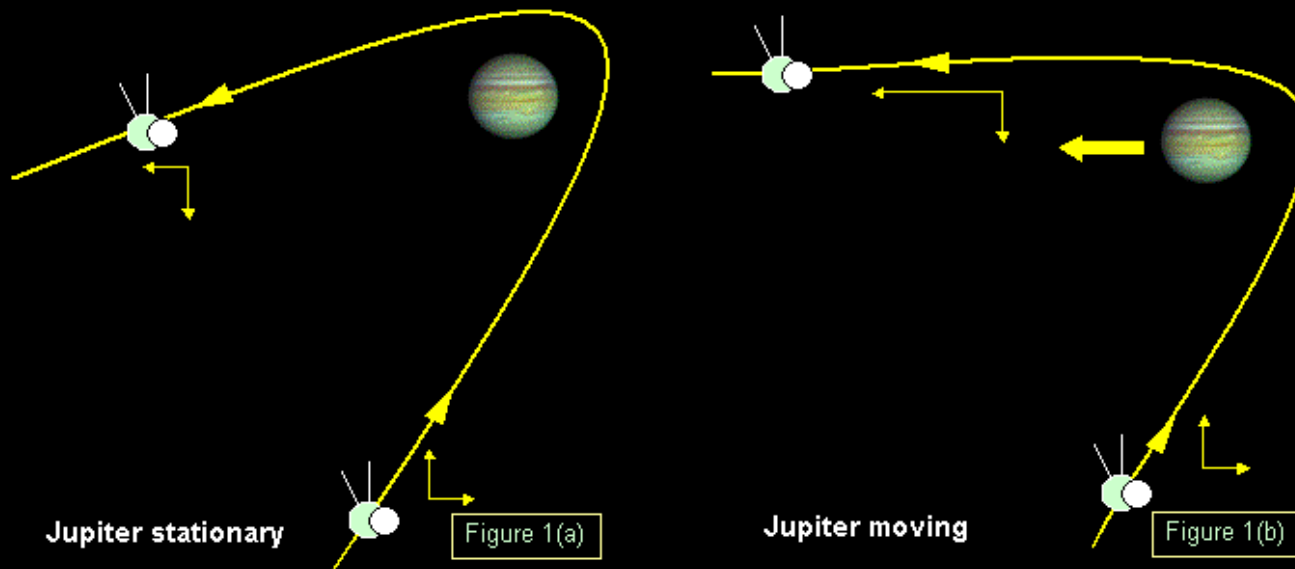
# Artificiell gravitation



- Människan skapad för liv i starkt gravitationsfält
- Rymdens svaga gravitation → Benskörhet, förtvinade muskler, ögonskador
- Lösning: Roterande rymdskepp → centrifugalkraft som artificiell gravitation

# Gravitationsassistans (eng. gravity assist/slingshot)

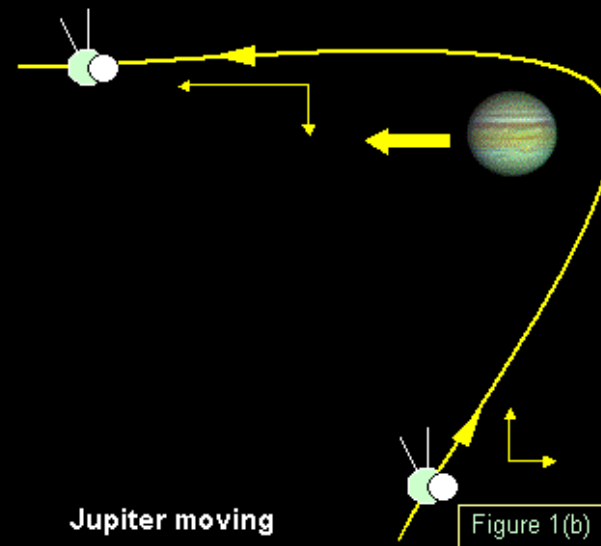
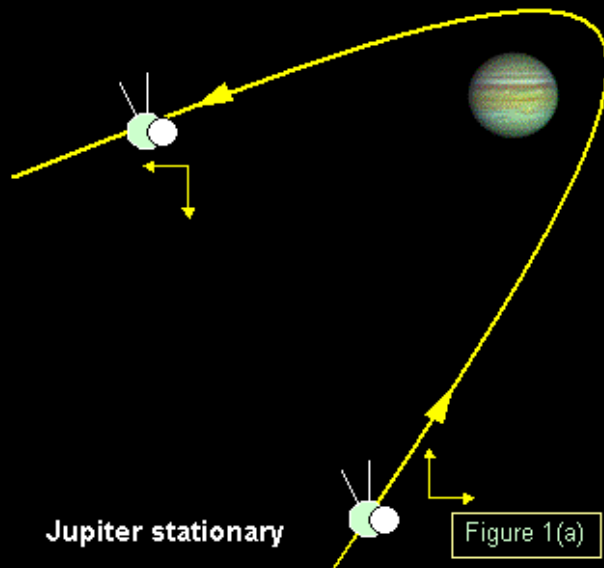
- Rymdsonder på särskilda banor kan dra nytta av planeters/månars gravitation och rörelse för att accelereras till  $\sim 100\,000\text{ km/h}$  ( $\sim 0.0001c$ )
- Snabbaste människobyggda rymdsonden:
  - Juno (2016):  $265\,000\text{ km/h}$
  - Skulle ta  $\approx 20\,000$  år till Alpha Centauri





# Kan man använda Solen för graviationsassistans (gravity assist / slingshot)?

- Nej - för resor som startar inifrån solsystemet
- Ja – för interstellära resor som startar utanför solsystemet (ex. Arthur C. Clarkes *Möte med Rama*, 1972)

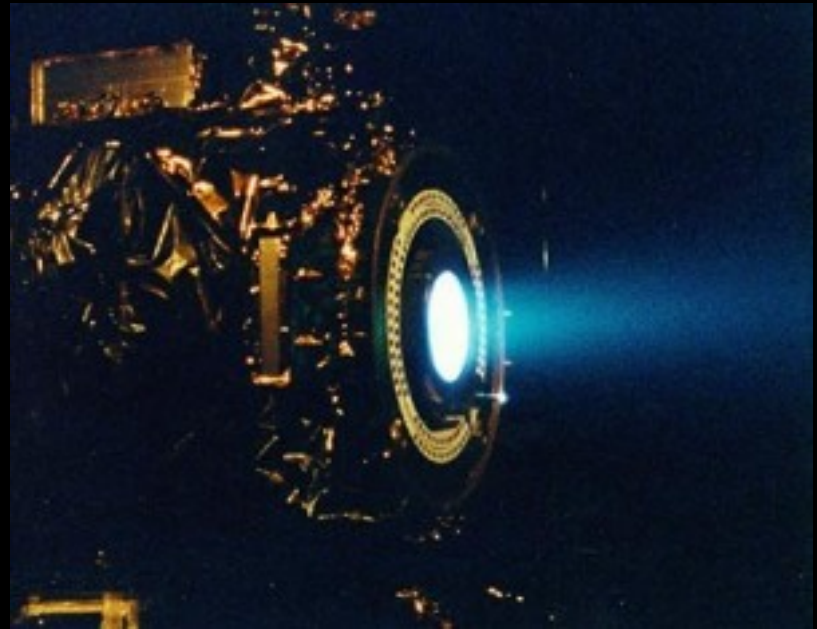


# Kan man använda Solen för graviationsassistans (gravity assist / slingshot)?

- Det finns dock en relaterad manöver (*powered flyby* eller *Oberth maneuver*) då man avfyrar sin raket när man rör sig som snabbast och är så nära som möjligt den himlakropp man manövrerar kring → maximal hastighetsökning
- I fallet solen krävs dock hög motståndskraft mot hettan för att utföra Oberth-manövern effektivt

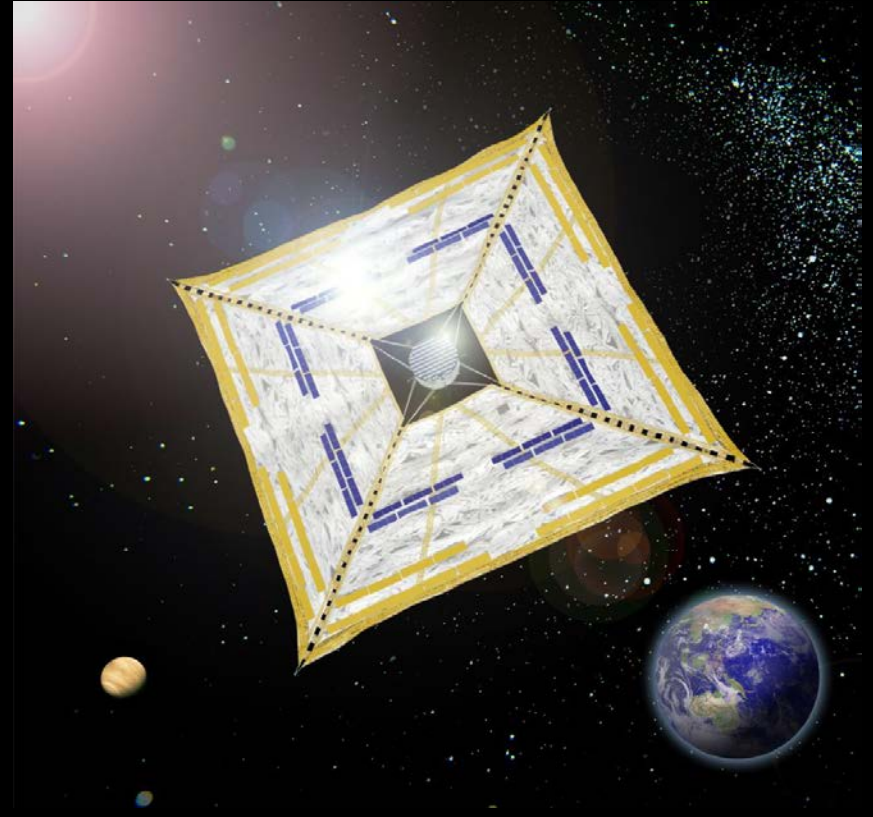
# Jondrift

- "Klassisk" (kemisk) raket:  
Utblåset drivs av kemisk reaktion  
när ex. flytande syre/väte antänds
- Jondrift:  
Lättjoniserad gas som xenon blåses  
ut av elektriskt fält
- Effektivare än kemisk raket  
( $\approx 90\%$  i stället för  $\approx 35\%$ )
- Kan nå  $\sim 100\,000\text{ km/h}$  ( $\sim 0.0001c$ )
- Nackdel: Långsam acceleration  $\rightarrow$   
kan inte användas för uppskjutning  
från jordytan



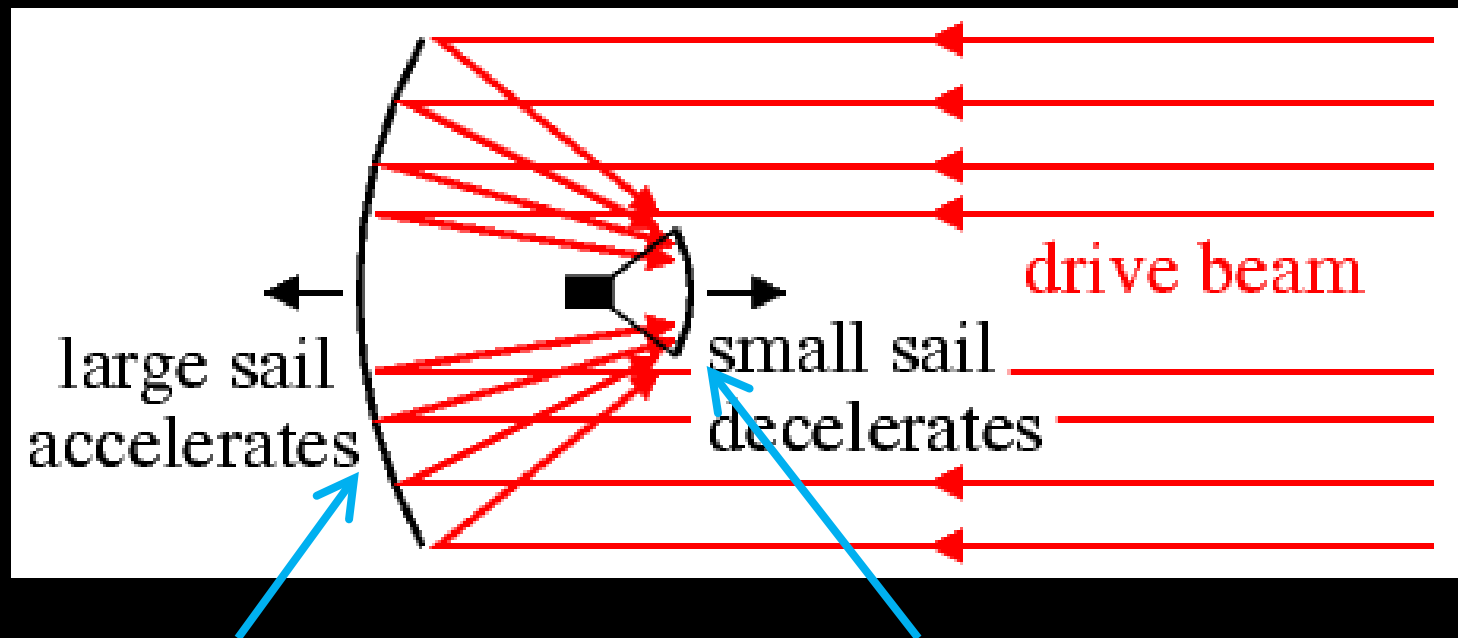
# Solsegel I

- Rörelsemängd från fotoner driver reflekterande segel framåt
- Fotonkälla: Solen eller laser som riktas mot sol/ljusseglet
- Solseglet IKAROS (200 m<sup>2</sup>), uppskickat 2010 av Japan demonstrerade att principen fungerade



IKAROS (2010)

# Solsegel II: Inbromsning

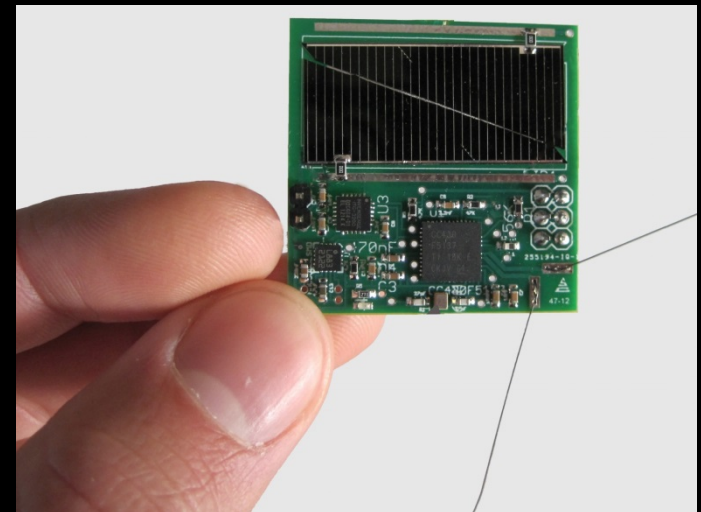


Seglet som drev  
en framåt kopplas loss

Mindre segel används  
som broms

# Breakthrough starshot: Mot Alpha Centauri!

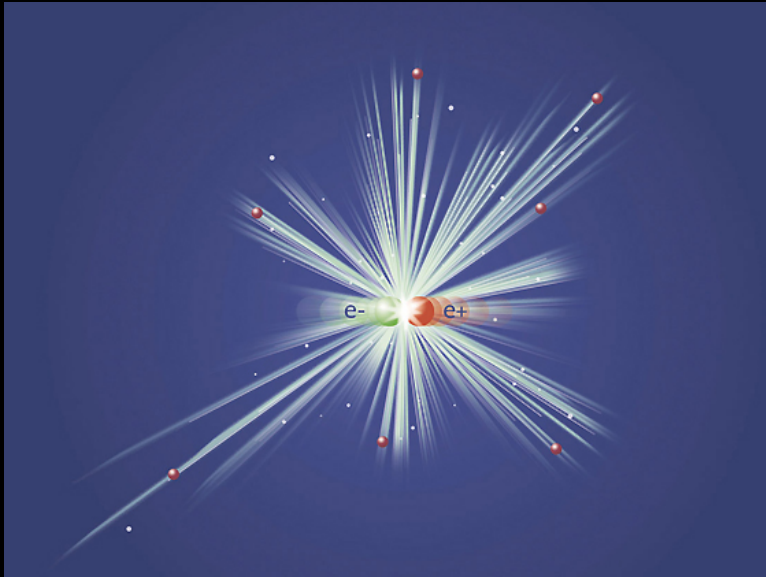
- Gigantisk array med lasersändare (totalt 100 GW) driver flotta med  $\sim 1000$  ljussegel (vardera ca 4 m, vikt segel+sond  $\sim 1$  g)
- Stort antal segel nödvändigt för att säkra överlevnaden hos ett fåtal
- Kan nå  $\approx 0.2$  c, komma fram på 20 år och ta bild av planeten Alpha Centauri b från  $\approx 1$  AUs avstånd



<https://breakthroughinitiatives.org/Concept/3>



# Antimateriadrift

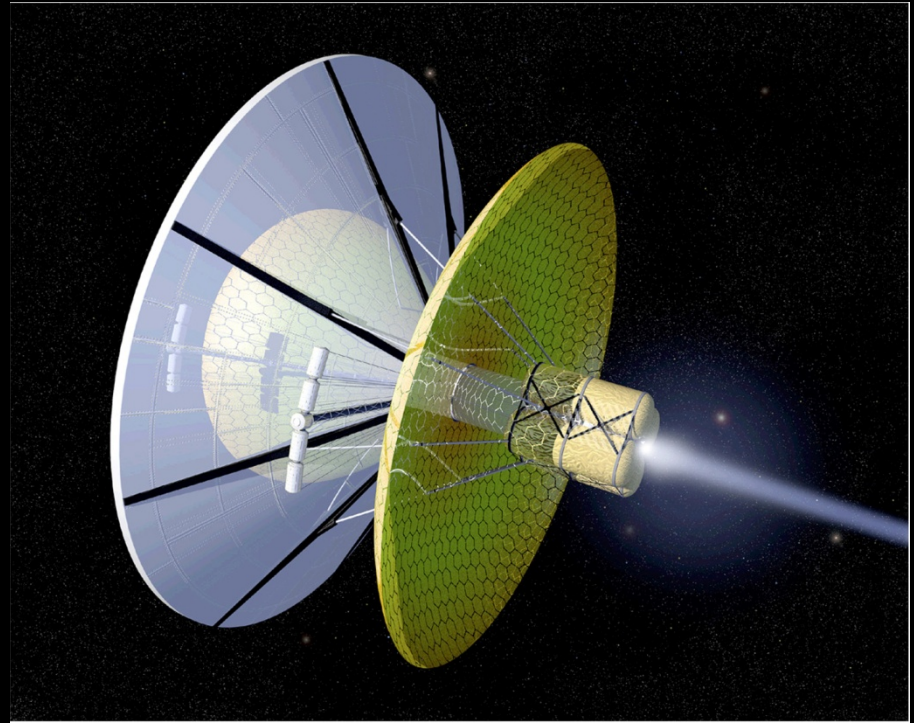


- Exempel: anti-protoner, positroner
- När materia och antimateria möts frigörs stora energimängder och, kan till viss del, utnyttjas för att driva ett rymdskepp framåt
- ~1 gram tar oss till Mars på 30 dagar
- I nuläget skulle bemannade rymdfärder till Mars ta minst ett halvår, och kräva ~100 ton bränsle
- **Problem med antimateria:**  
Framställning och förvaring
  - I nuläget är vi en faktor  $\sim 10^{23}$  från att skapa 1 gram av antimateria...

# Uppsamlingskopa I

## Bussard ramjet:

- Bär inget bränsle med sig, utan använder elektromagnetiskt fält för att samla in joniserat väte längs vägen
- Vätet pressas samman tills fusion uppnås, vilket driver skeppet framåt
- Teoretisk maxhastighet  $\approx 0.1 c$



# Uppsamlingsskopa II

## Problem:

Stor skopa krävs – volym motsvarande jordens krävs för att få ihop 1 kg väte.

## Möjlig lösning:

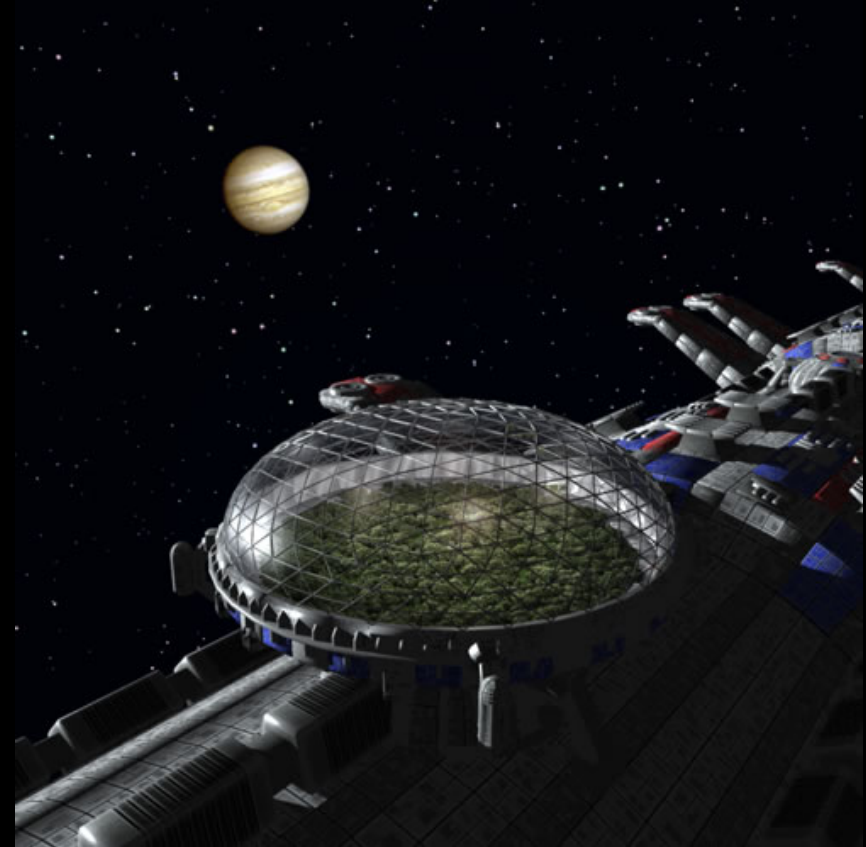
- Kan skjuta ut bränsledepåer längs skeppets tänkta bana
  - Uppenbar nackdel 1: Kan inte avvika från banan
  - Uppenbar nackdel 2: Återresa kräver att bränsledepåer skjuts ut från resmålet

# Generationsskepp I

Skepp där flera generationer  
avlöser varandra innan  
destinationen nås

## Problem:

- Bristande motivation hos generationer som döms att födas och dö i rymden
- Inavel
- Självförsörjande ekosystem



# Generationsskepp II

## Alternativa lösningar:

- Besättning nedfrost/i dvala
- Frysta embryon

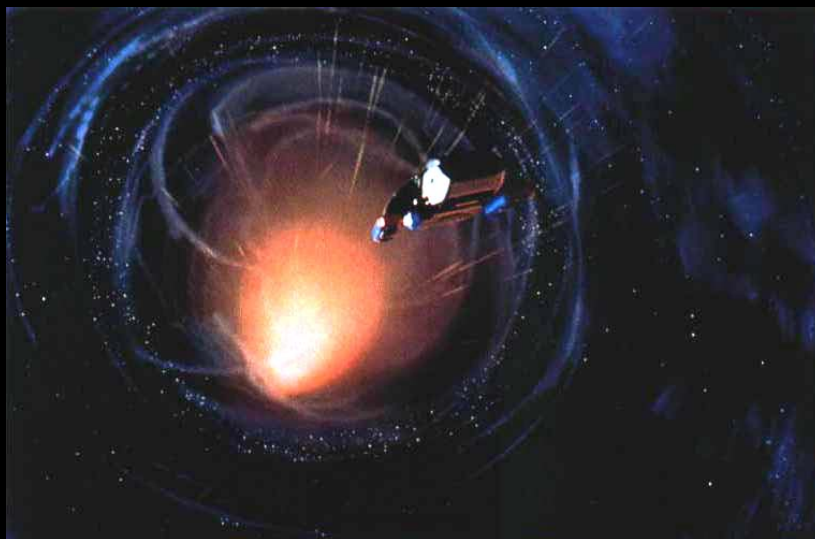
## Problem med förlängd livslängd i dvala:

- Små mängder radioaktiva ämnen i våra kroppar ger strålskador över långa tidsrymder när celler inte byts ut i normal takt



# Maskhål I

- Maskhål (även känd som Einstein-Rosen-brygga): Hypotetisk tunnel genom rum och/eller tid som verkar tillåtas av Einsteins allmänna relativitetsteori. Många teorier om maskhål kräver att de stabiliseras med hjälp av lika hypotetisk, exotisk materia med *negativ massa*



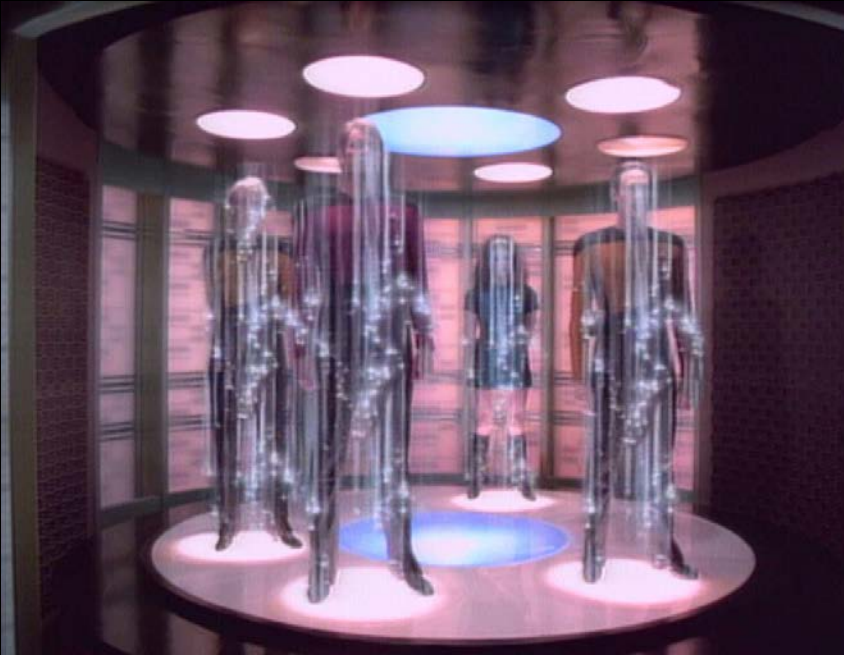


# Maskhål II

Listig placering av maskhållets öppningar kan leda till:

- Resor ”snabbare än ljuset”:
  - Låghastighetsresa genom maskhålet kan leda till avlägsen plats i rymden på kortare tid än vad det skulle ta att resa dit med ljusets hastighet på vanligt sätt (utanför maskhålet)
- Tidsresor: framåt och bakåt
  - Kan resa framåt i tiden
  - Kan resa bakåt i tiden, men inte till en tid innan maskhålet öppnades

# Teleportering

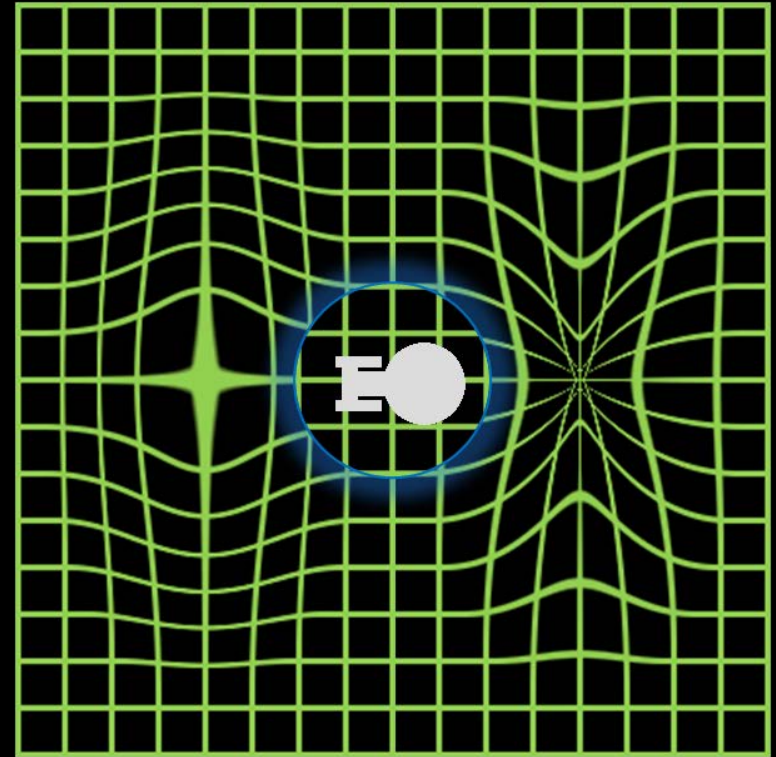


- Om ett medvetande skulle kunna brytas ned i informationsdelar skulle det kunna skickas *med ljusets hastighet* till annan plats i universum
- Måste dock finnas en maskin i mottagaränden som tar emot informationen

# Warp drive

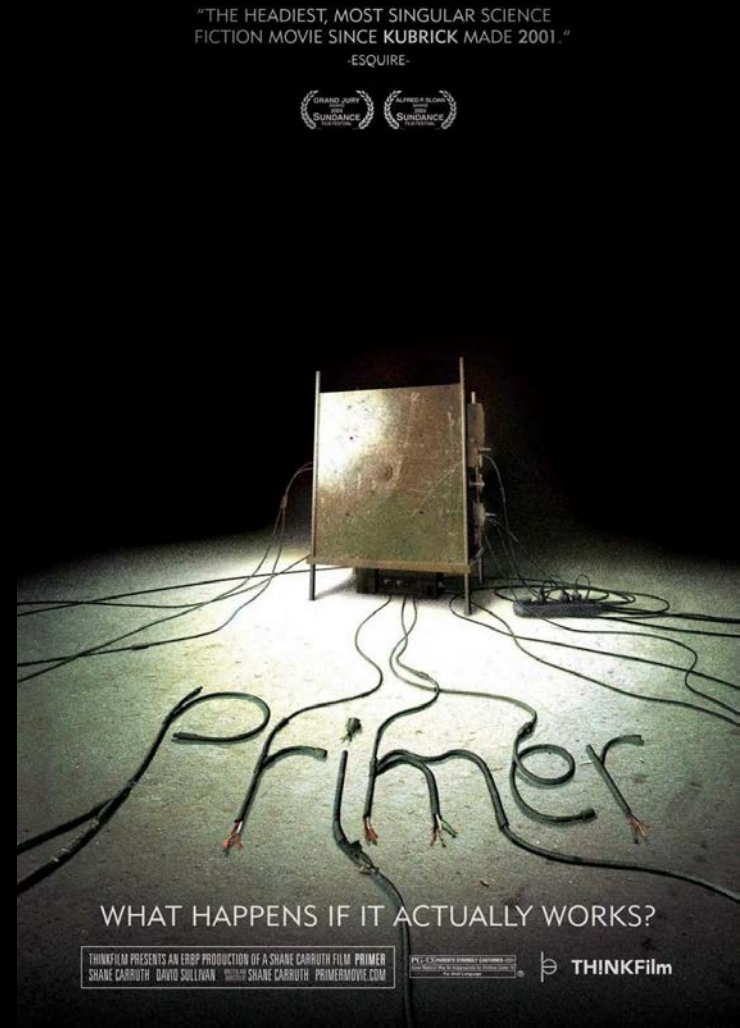
## Alcubierre drive (1994):

- Materia med negativ massa kan i teorin skapa en "bubbla" (eng. warp bubble) med kontraherande rum i fören och expanderande rum i aktern
- Även om ett rymdskepp i inte rör sig snabbare än ljuset inuti bubblan kan hela konstruktionen röra sig snabbare än ljuset
- Mekanismer för att bryta sig ur bubblan när man nått destinationen saknas dock ännu



# Tidsresor: Allmänt

- Resor framåt i tiden:  
Vetenskapligt OK!  
Maskhål eller resor med  
hastighet nära ljusets
- Resor bakåt i tiden:  
Verkar tillåtas av  
teoretisk fysik, men kan  
vara praktiskt omöjligt,  
och leder till märkliga  
paradoxer



# Tidsresor bakåt i tiden

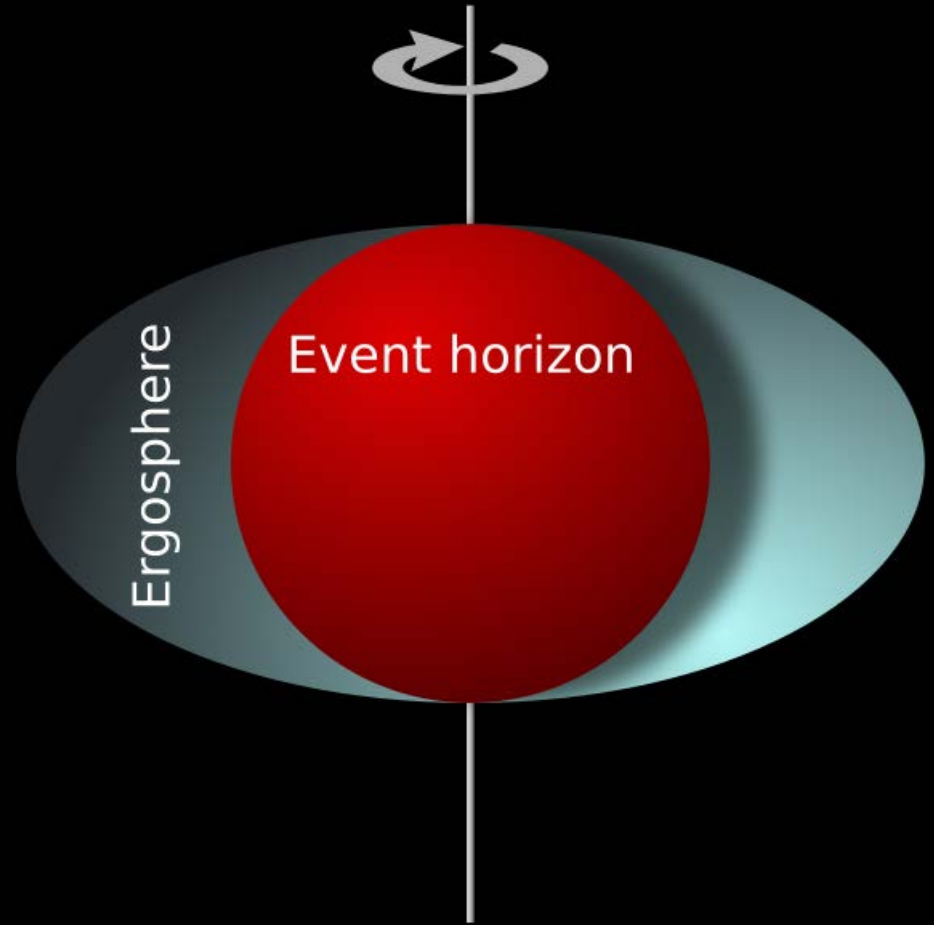
Några föreslagna metoder för resor bakåt i tiden:

- Maskhål
- Roterande svart hål
- Tipler-cylinder



# Tidsresor bakåt: Roterande svart hål

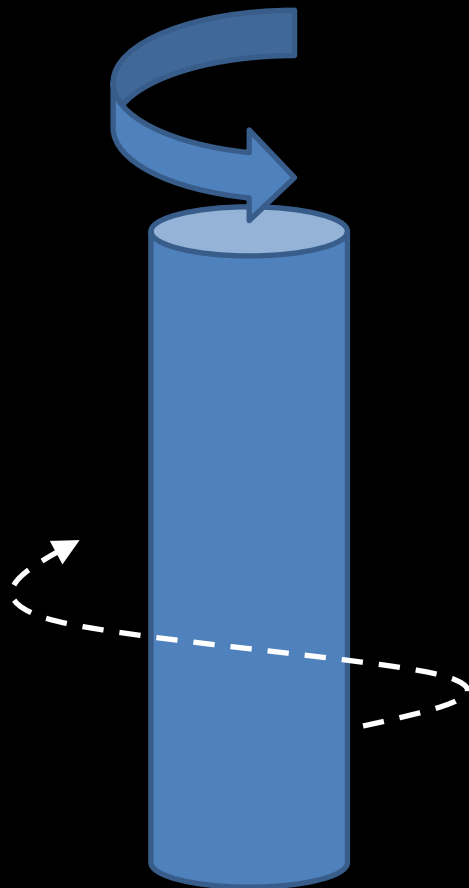
- Ett roterande svart hål (Kerr black hole) verkar tillåta banor som i princip skulle kunna föra en resenär bakåt i tiden





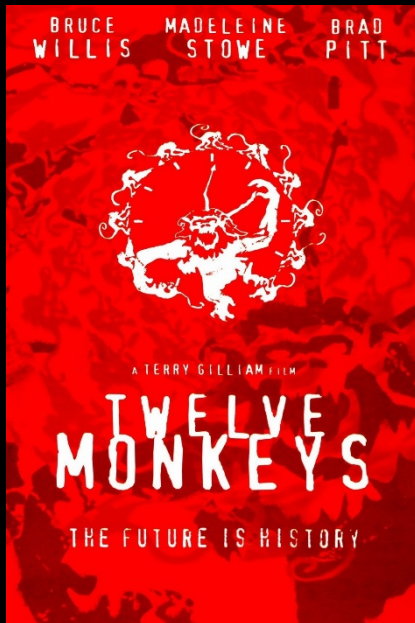
# Tidsresor bakåt: Tipler-cylinder

- Skepp i spiralbana kring massiv, roterande, oändligt lång cylinder → Rörelse bakåt i tiden
- Föreslagna modifieringar: cylindern ersatt av rad av neutronstjärnor, eller en kosmisk sträng



# Exempel på paradoxer och kuriösa möjligheter vid resor bakåt i tiden

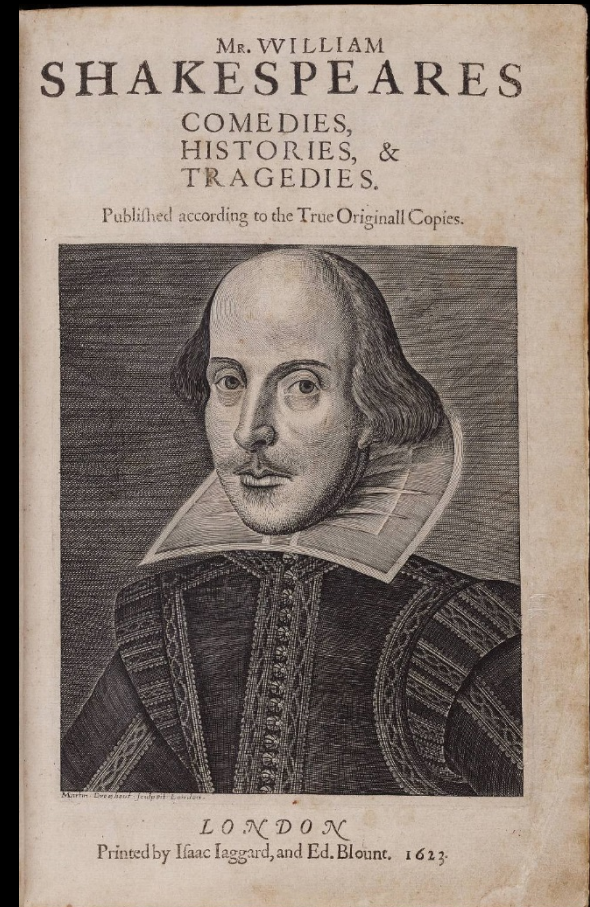
- Closed causal loops
- Grandfather paradox
- "Get rich quick!"



# Closed Causal Loop

(även bootstrap paradox eller ontological paradox)

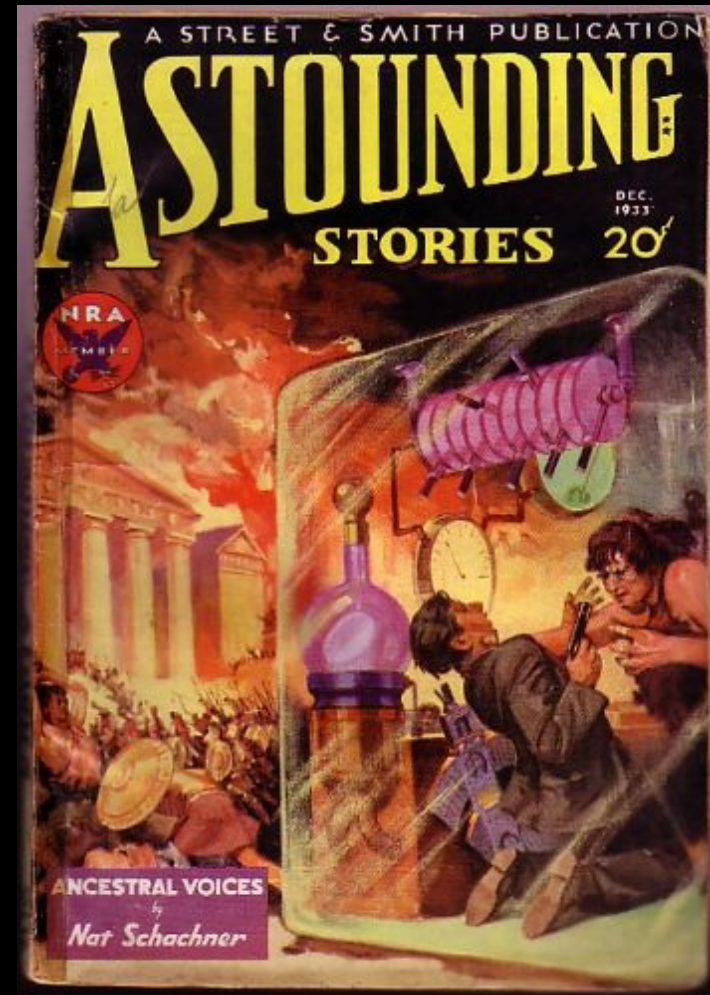
1. En tidsresenär tar med sig Shakespeares samlade verk och reser tillbaka till Stratford-upon-Avon ca 1580
2. Tidsresenären överlämnar verken till den unge Shakespeare och övertalar honom att publicera dem som sina egna
3. Shakespeare går med på bedrägeriet och blir känd som en av världslitteraturens största dramatiker



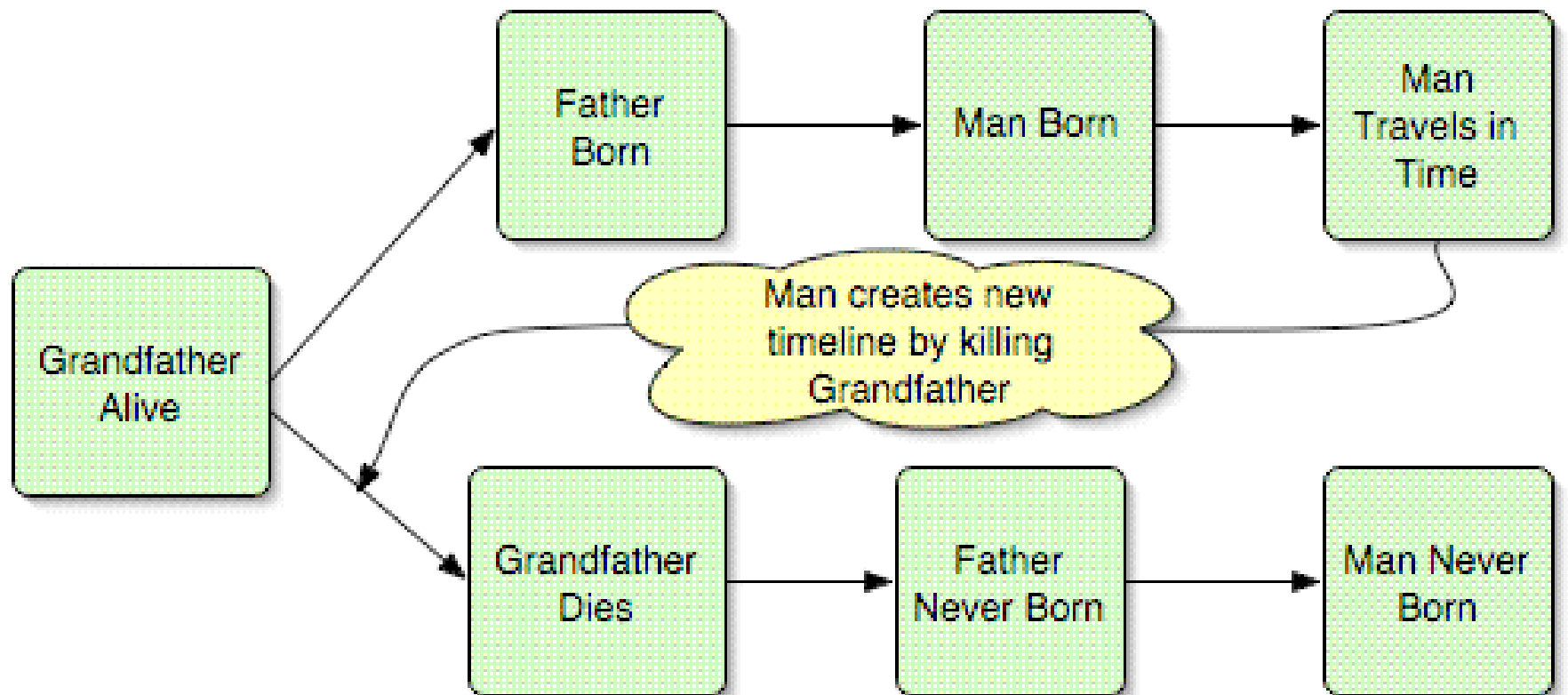
Problem: Hur ska Shakespeares samlade verk nu anses ha uppstått? Vem har skapat dem?

# Grandfather paradox

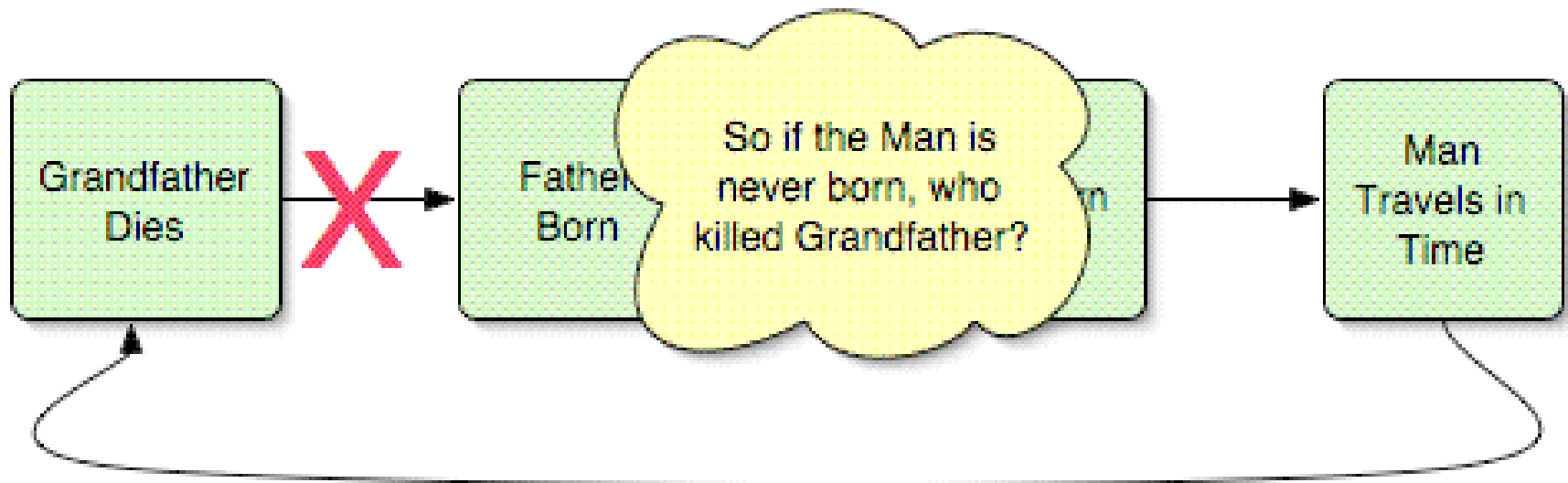
- Paradoxen har fått sitt namn efter Nathaniel Schachners novell *Ancestral voices* (1933)
- Tidsresenär åker tillbaka i tiden och mördar sin farfar/morfar innan denne träffat farmor/mormor



# Grandfather paradox



# Grandfather paradox





# Grandfather paradox

## Några föreslagna lösningar I:

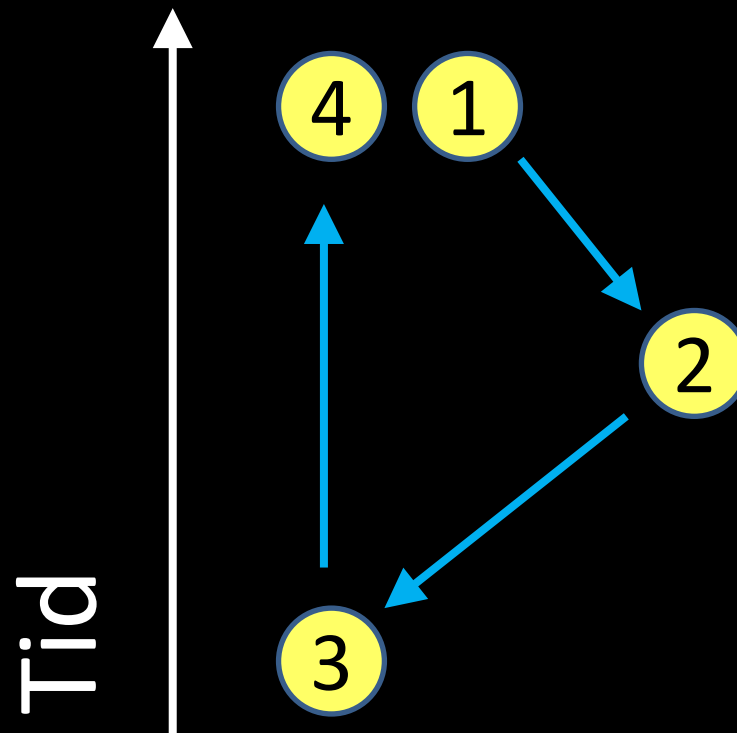
- Tidsresor bakåt i tiden inte möjliga
- Universum fastnar i ändlös loop → kollaps?
- Resa bakåt i tiden ger motsvarande förflyttning i rummet: 10 år bakåt ger 10 ljusårs förflyttning  
→ kan inte påverka något som rubbar det "nu"  
där man startade

# Grandfather paradox

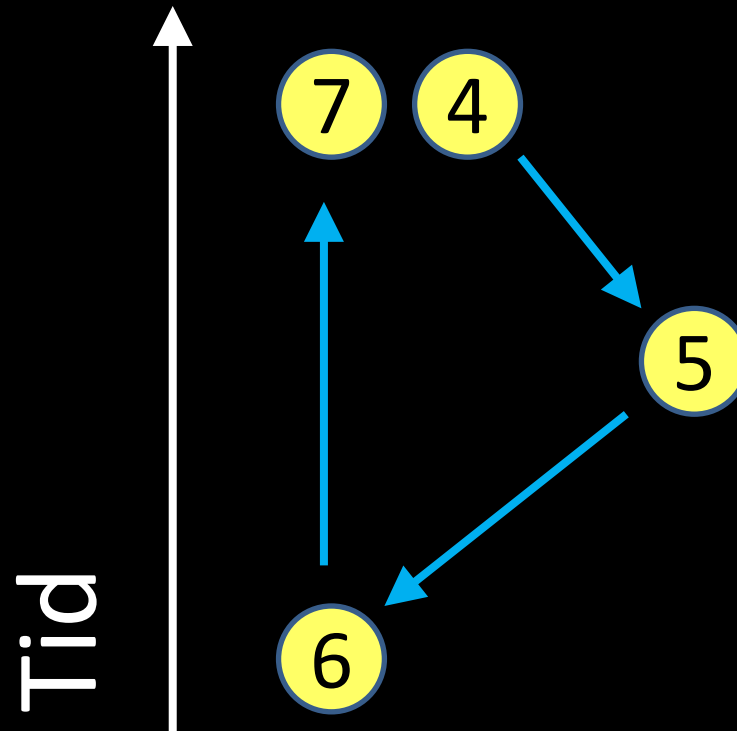
## Några föreslagna lösningar II:

- Förändringar som hindrar tidsresan från att äga rum motarbetas ("Universe favoriserar osannolika händelser för att förhindra en omöjlig händelse")
- Förändringen spjälkar av parallellt universum: ett där farfar inte mördades och därför existerar i framtiden, och ett där farfar mördades och därför inte existerar i framtiden

# "Get Rich Quick!"

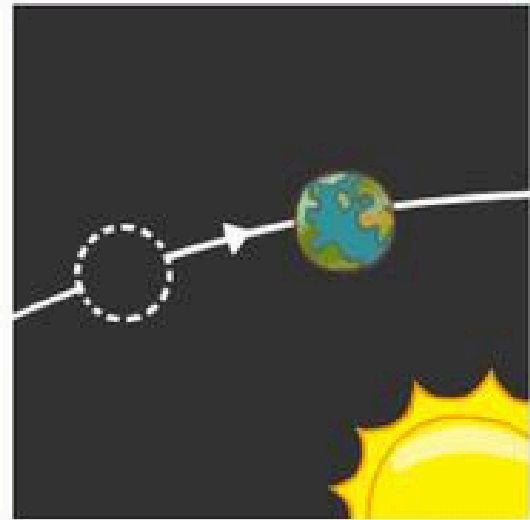
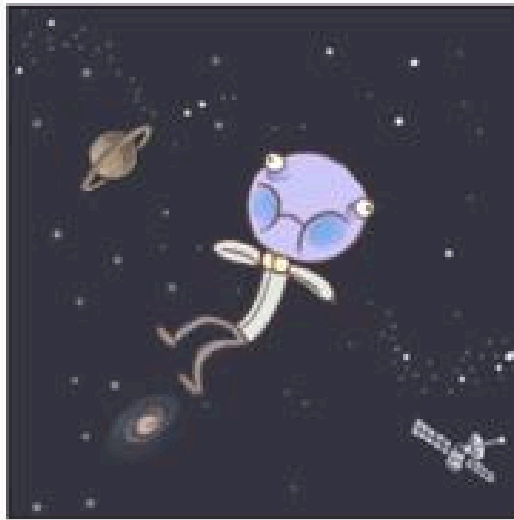
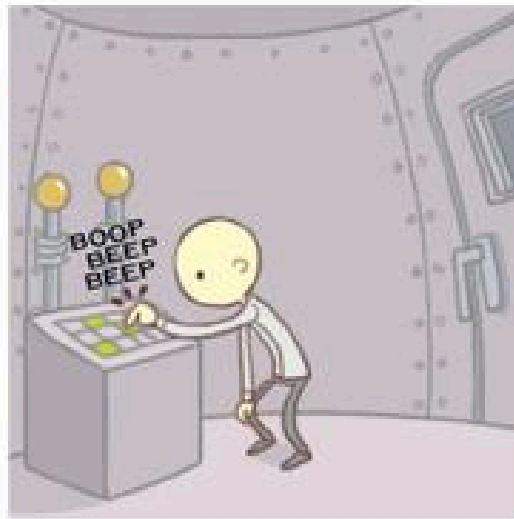


1. Du skaffar en diamant
2. Du reser tillbaka i tiden med diamanten
3. Du ger diamanten till dig själv i det förflutna
4. Du har två diamanter



4. Du har två diamanter
5. Du reser tillbaka i tiden med diamanterna
6. Du ger de två diamanterna till dig själv i det förflutna
7. Du har fyra diamanter

Upprepa om och om igen för ökad förmögenhet!  
Men försök inte sälja diamanterna...



Shared by *I fucking love science* (facebook)

# Tidsresa som metod för att färdas till avlägsna stjärnor



Solens position vid tidsresans start

Tidsresenär



Solens position vid tidsresans slut

- Solen färdas runt Vintergatan med en hastighet av 220 km/s
- Ett varv tar ca 225 miljoner år
- Om det gick att bygga en tidsmaskin som enbart förflyttar en genom tiden och inte rummet skulle man kanske kunna hamna i annan del av galaxen
- Metoden nämns i SF-sammanhang, men saknar vetenskapligt stöd



# Var är tidsturisterna?

- Om tidsresor vore möjliga, förvärras Fermiparadoxen ytterligare
- Varför inga utomjordiska besökare från andra epoker av Vintergatans historia, eller jordiska besökare från framtiden?
- Inga tidsturister → Tidsresor omöjliga, alltför kostsamma eller alltför farliga?



# Nästa gång: Supercivilisationer & superteknologi



Dysonsfärer, Kardashev-skalan, Matrioshka-hjärnor m.m.