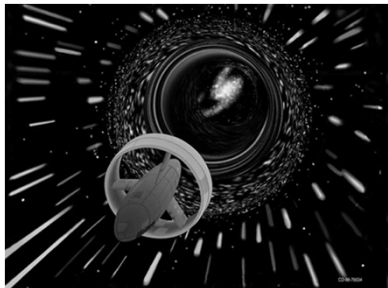


## Intelligent liv i Universum – Är vi ensamma?

### Föreläsning 8: Interstellära resor



## Upplägg

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

Davies: kapitel 6  
Webb: sid 62-74

Tas dock inte upp särskilt grundligt i kursböckerna

## Övergripande problem

Interstellära rymdfärder är:

- Tidskrävande
- Bränslekrävande
- Farliga

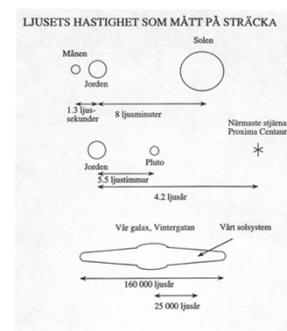
Motivationsproblem:

Resenärer som ger sig av tidigt riskerar att bli omkörda av de som ger sig av senare, p.g.a. teknikutvecklingen → Ingen vill starta?



## Astronomisk enhet

- 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



## 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 17 ljusstimmar bort (123 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 (4.24 ljusår)



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

## Hur lång tid tar det?

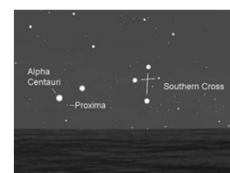
Exempel på resmål:

Alpha Centauri: 4.4 ljusår bort

Vintergatans centrum: 26 000 ljusår bort

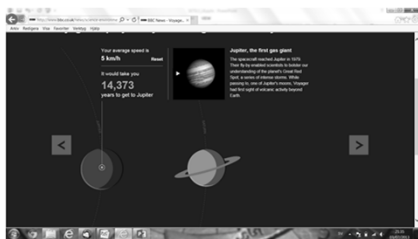
Tid mätt på jorden:

- 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!

### Alldagliga hastigheter jämfört med dagens rymdsonders



Rask gånghastighet  $\approx 5$  km/h  
 Jetplan  $\approx 1000$  km/h  
 Flykthastighet (från jorden)  $\approx 40000$  km/h  
<http://www.bbc.co.uk/news/science-environment-21937524>

### Rymden är stor!



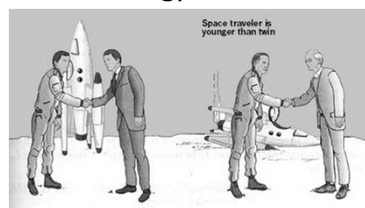
<http://htwins.net/scale2/>

### Relativistiska effekter I: Tiden går inte i samma takt för alla

- Einsteins speciella relativitetsteori säger:  
 Hög hastighet  $\rightarrow$   
 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: Tvillingparadoxen

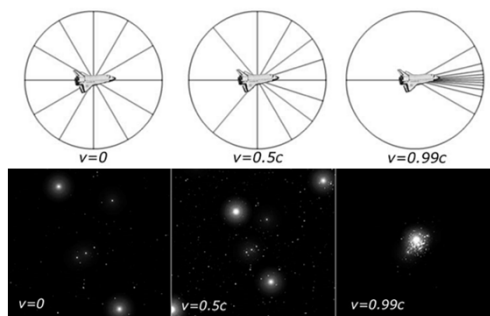


- En tvilling åker ut i rymden och en stannar hemma
- Rymdfärd med hastighet nära ljusets  $\rightarrow$  Vid hemkomsten är rymdsvillingen yngre än jordtvillingen
- Rymdsvillingen upplever sig ha rest framåt i tiden

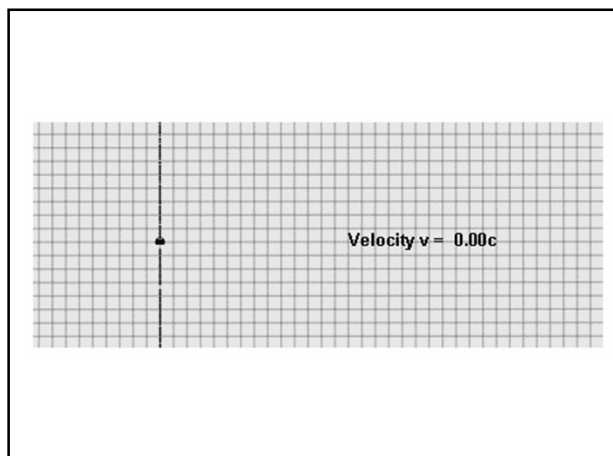
### Relativistiska effekter III: Vad ser man från rymdskeppet?



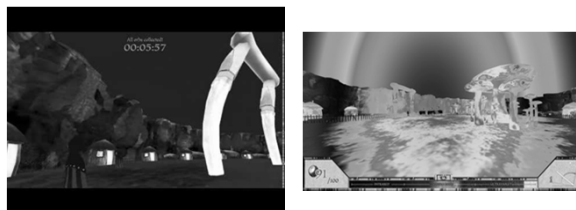
### Relativistiska effekter IV: Relativistisk aberration



Figurer skapade av Alexis Brandeker



## Tips: A Slower Speed of Light

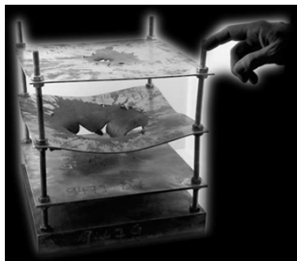


<http://gamelab.mit.edu/games/a-slower-speed-of-light/>

Gratis spel 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 fördödande för besättning och skepp vid relativistiska hastigheter – gigantiska skyddssköldar behövs!

## Teknologi för interstellära resor

- |  |  |   |
|--|--|---|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• Artificiell gravitation</li> <li>• Gravitationsassistans</li> <li>• Jondrift</li> <li>• Solsegel</li> </ul> |  | <p>Välkänd fysik &amp; existerande teknologi (i stort sett)</p> |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• Antimateriadrift</li> <li>• Uppsamlingskopa</li> <li>• Generationsskepp</li> <li>• Maskhål</li> </ul>       |  | <p>Välkänd fysik, men icke-existerande teknologi</p>            |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• Teleportering</li> <li>• Warp drive</li> </ul>  |  | <p>Utforskad fysik och icke-existerande teknologi</p>           |

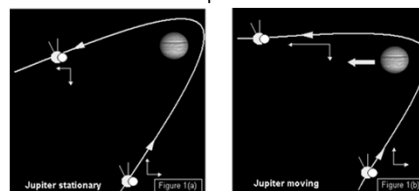
## Artificiell gravitation



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

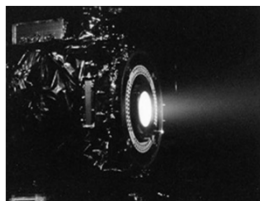
## Gravitationsassistans (eng. gravity assist/slingshot)

- Rymdsonder på särskilda banor kan dra nytta av planeters/månars gravitation och rörelse för att accelereras till  $\sim 100\,000$  km/h ( $\sim 0.0001c$ )
- Snabbaste människobyggda rymdsonden:
- Helios-2 (1976): 240 000 km/h
- Skulle ta  $\approx 20000$  år till Alpha Centauri



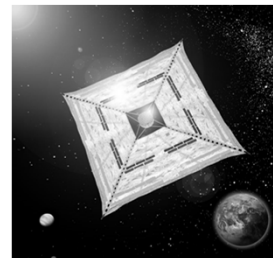
## Jondrift

- "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  $\sim 100\,000$  km/h ( $\sim 0.0001c$ )
- Nackdel: Långsam acceleration  $\rightarrow$  kan inte användas för uppskjutning från jordytan



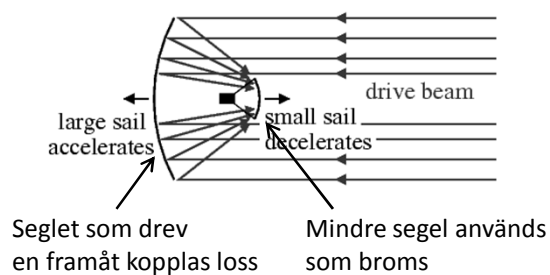
## Solsegel I

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



IKAROS (2010)

## Solsegel II: Inbromsning



## Antimateriadrift

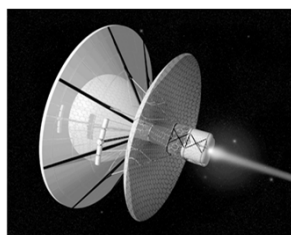
- Exempel: anti-protoner, positroner
- När materia och antimateria möts frigörs stora energimängder och, kan till viss del, utnyttjas för att driva ett rymdskepp framåt
- $\sim 1$  gram tar oss till Mars på 30 dagar
- I nuläget skulle bemannade rymdfärder till Mars ta minst ett halvår, och kräva  $\sim 100$  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  $\approx 0.1 c$



## Uppsamlingskopa II

Problem:

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

Möjlig lösning:

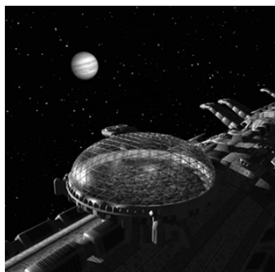
- Kan skjuta ut bränsledepåer längs skeppets tänkta bana
  - Uppenbar nackdel 1: Kan inte avvika från banan
  - Uppenbar nackdel 2: Återresa kräver att bränsledepåer skjuts ut från resmålet

## Generations skepp 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



## Generations skepp II

Alternativa lösningar:

- Besättning nedfryst/i dvala
- Frysta embryon

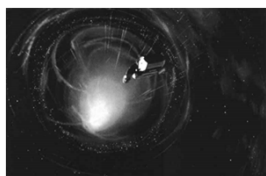
Problem med förlängd livslängd i dvala:

- 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 maskhållet 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 maskhållet)
- Tidsresor: framåt och bakåt
  - Kan resa framåt i tiden
  - Kan resa bakåt i tiden, men inte till en tid innan maskhållet öppnades

## Teleportering

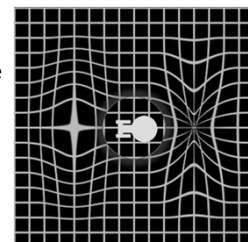


- Om ett medvetande skulle kunna brytas ned i informationsdelar skulle det kunna skickas *med ljusets hastighet* till annan plats i universum
- Måste dock finnas en maskin i mottagaränden som tar emot informationen

## Warp drive

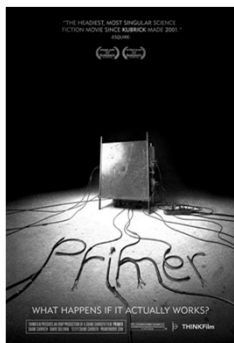
Alcubierre drive (1994):

- 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



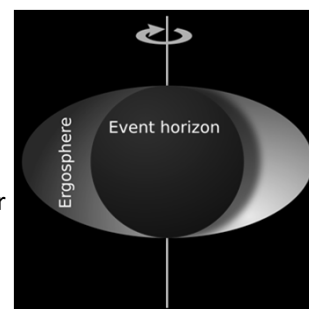
## Tidsresor I: Allmänt

- 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

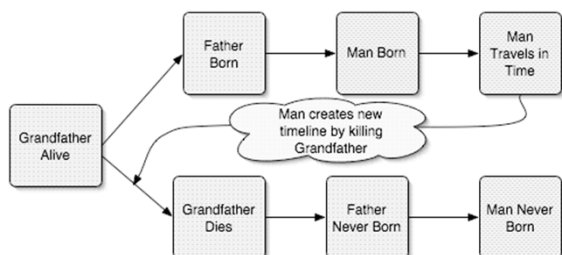


## Tidsresor II: Bakåt

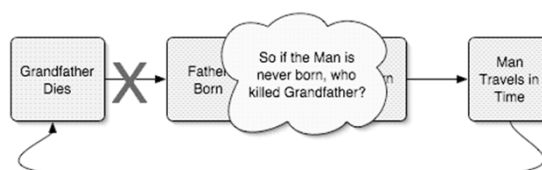
- Ett roterande svart hål (Kerr black hole) verkar tillåta banor som i princip skulle kunna föra en resenär bakåt i tiden



## Tidsresor IV: Grandfather paradox



## Tidsresor IV: Grandfather paradox



## Tidsresor IV: Grandfather paradox

Några föreslagna lösningar I:

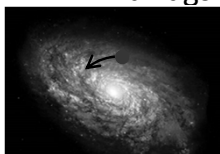
- Tidsresor bakåt i tiden inte möjliga
- Universum fastnar i ändlös loop → kollaps?
- Resa bakåt i tiden ger motsvarande förflyttning i rummet: 10 år bakåt ger 10 ljusårs förflyttning → kan inte påverka något som rubbar det "nu" där man startade

## Tidsresor IV: Grandfather paradox

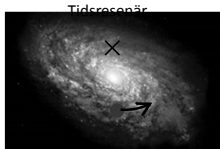
Några föreslagna lösningar II:

- Förändringar som hindrar tidsresan från att äga rum motarbetas ("Universum 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

## Tidsresa som metod för att färdas till avlägsna stjärnor

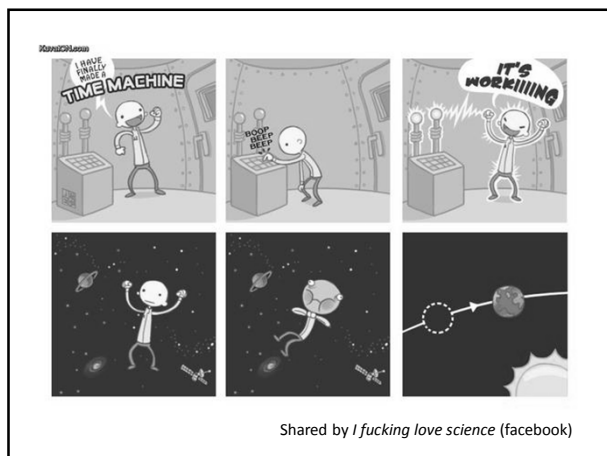


Solens position vid tidsresans start



Solens position vid tidsresans slut

- Solen färdas runt Vintergatans 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



Shared by *I fucking love science* (facebook)

## 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?

