

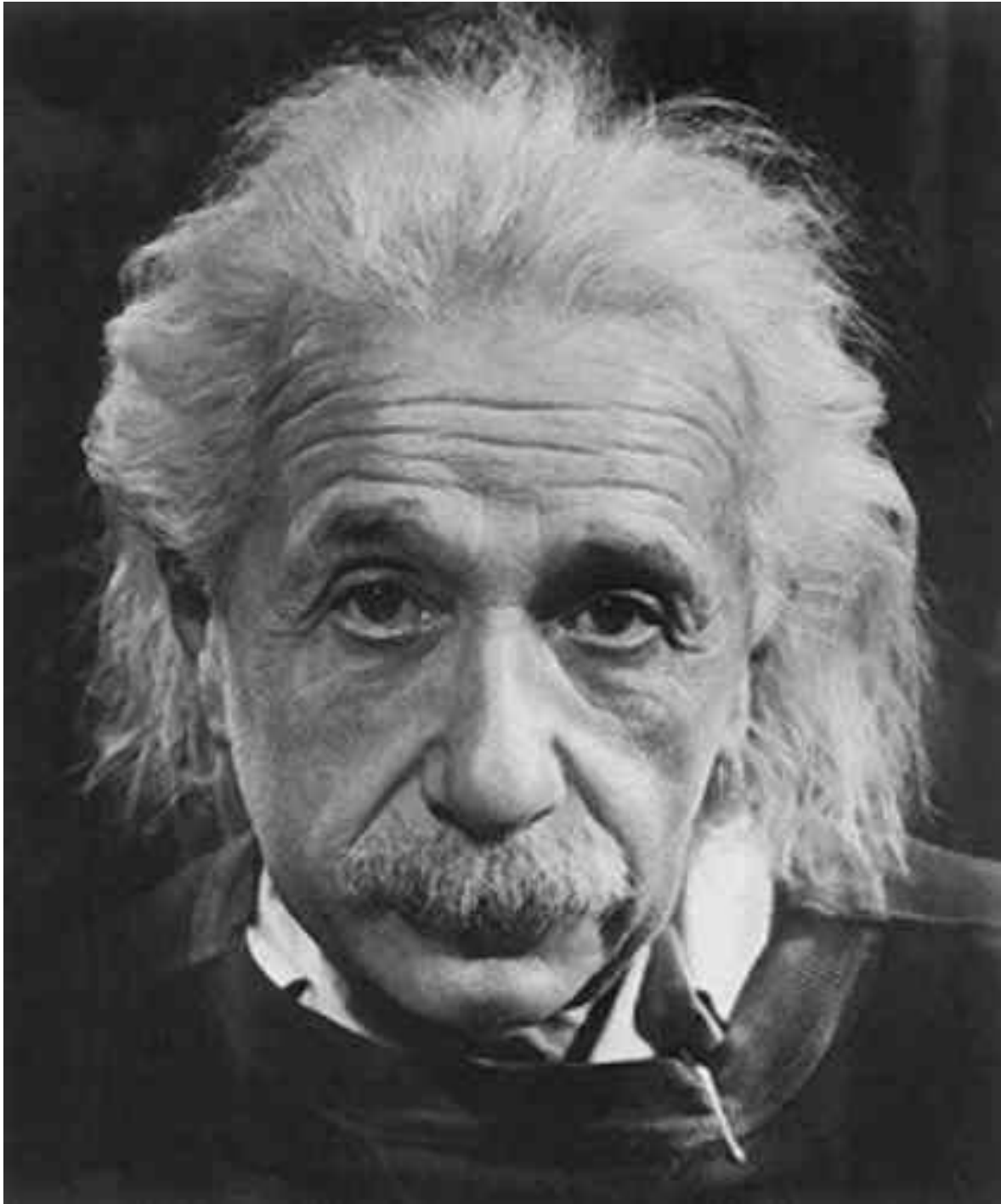
# *Relativitetsteori*

Rikard Enberg

*Institutionen för fysik och astronomi*



UPPSALA  
UNIVERSITET





# *Vad är relativitetsteori ?*

Mest känt:

- $E = mc^2$
- Inget kan färdas fortare än ljuset

*Relativitetsteorin är en teori om rum och tid  
och leder till en blandning: rumtid*

# *Vad är relativitetsteori ?*

Några viktiga konsekvenser:

*Rum och tid är inte absoluta utan relativa*

*Samtidighet är relativt*

Klockor **går olika fort** beroende på observatör

Rörliga föremål är **kortare** i rörelseriktningen

# *Två postulat*

Einstein lade fram två *postulat* eller grundprinciper för relativitetsteorin:

1. **Fysikens lagar** är samma oberoende av hur fort du färdas (relativitetsprincipen)
2. **Ljusets hastighet** är samma oberoende av hur fort du färdas

Från dem kan man härleda hela relativitetsteorin

# *Enklare uttryckt*

Det spelar ingen roll hur fort du färdas så länge du rör dig med konstant hastighet längs en rak linje

*och*

Ljusets hastighet är densamma oberoende av hur fort du färdas

*Men vad har det med tiden och rummet att göra?*

*Och hur kan ljushastigheten vara densamma för alla?*

# *Ljushastigheten är konstant*

Ljushastigheten  $c = 299\,792\,458$  m/s är densamma för alla observatörer

Vad betyder det ?

Ljushastigheten relativt vad ?

Man brukar mäta hastighet *relativt* någonting

## Till exempel:

Jag åker bil med 100 km/h och skjuter ett pistolskott med mynningshastigheten 1500 km/h i färdriktningen. En stillastående betraktare ser kulan åka iväg med 1600 km/h.

Kulans hastighet relativt bilen: **1500 km/h**  
Bilens hastighet relativt marken: **100 km/h**  
Kulans hastighet relativt marken: **1600 km/h**

## Men, för ljus:

Jag åker bil med 25 m/s och mäter hastigheten på ljuset från bilens strålkastare. Mitt mätvärde är **299 792 458 m/s**. En betraktare som står still mäter också hastigheten på ljuset från mina strålkastare. Hon får också **299 792 458 m/s**.

Ljusets hastighet relativt bilen:	<b>299 792 458 m/s</b>
Bilens hastighet relativt marken:	<b>25 m/s</b>
Ljusets hastighet relativt marken:	<b>299 792 458 m/s</b>



# *Hur är det möjligt ?*

Vi måste fundera på vad hastighet är:

$$\text{Hastighet} = \text{sträcka} / \text{tidsenhet}$$

Tid och rum kan inte vara absoluta!

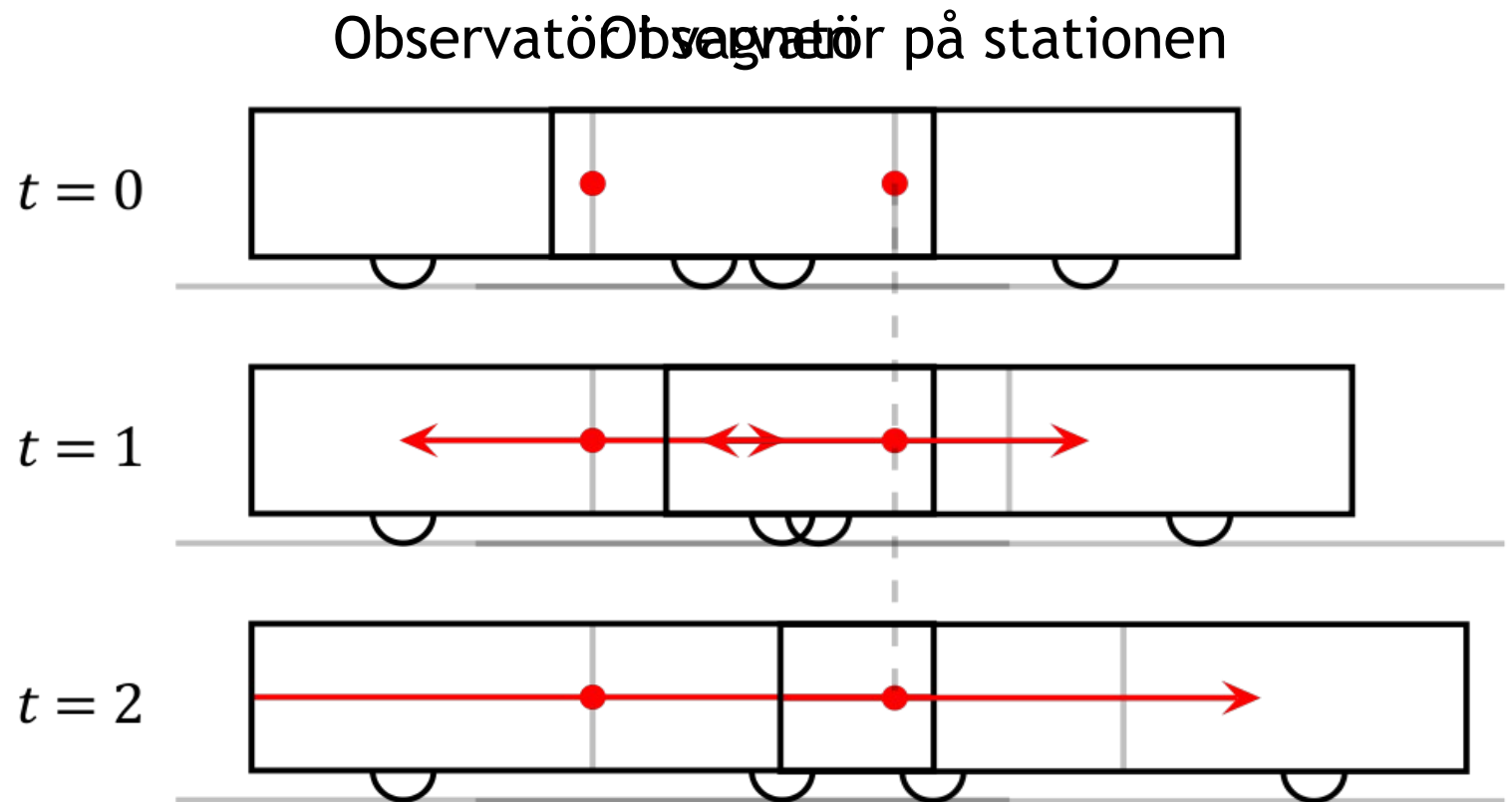
*Om tiden går olika fort, eller sträckor är olika långa beroende på hastighet, då kan c vara konstant*

**Det** var en av Einsteins stora insikter!

*“It came to me that time was suspect!” (1950)*

# Samtidighet på tåg

Titta på två händelser: ljusblixtar från mitten av tågvagn kommer till sensorer längst fram och längst bak i vagnen



Observatörerna ser olika tidsordning för de händelserna!

# *Tid och samtidighet*

Två händelser som sker *samtidigt* för en observatör i vagnen sker vid *olika tidpunkter* för en observatör på stationen!

Om tåget är 300 m långt och färdas med 30 m/s  
så är tidsskillnaden 0.1 picosekunder  
= en tiondels miljondels mikrosekund!

Det är inget som märks till vardags, vilket är en anledning att relativitetsteorin inte upptäckts tidigare

**Men med laser kan man mäta såna tider!**

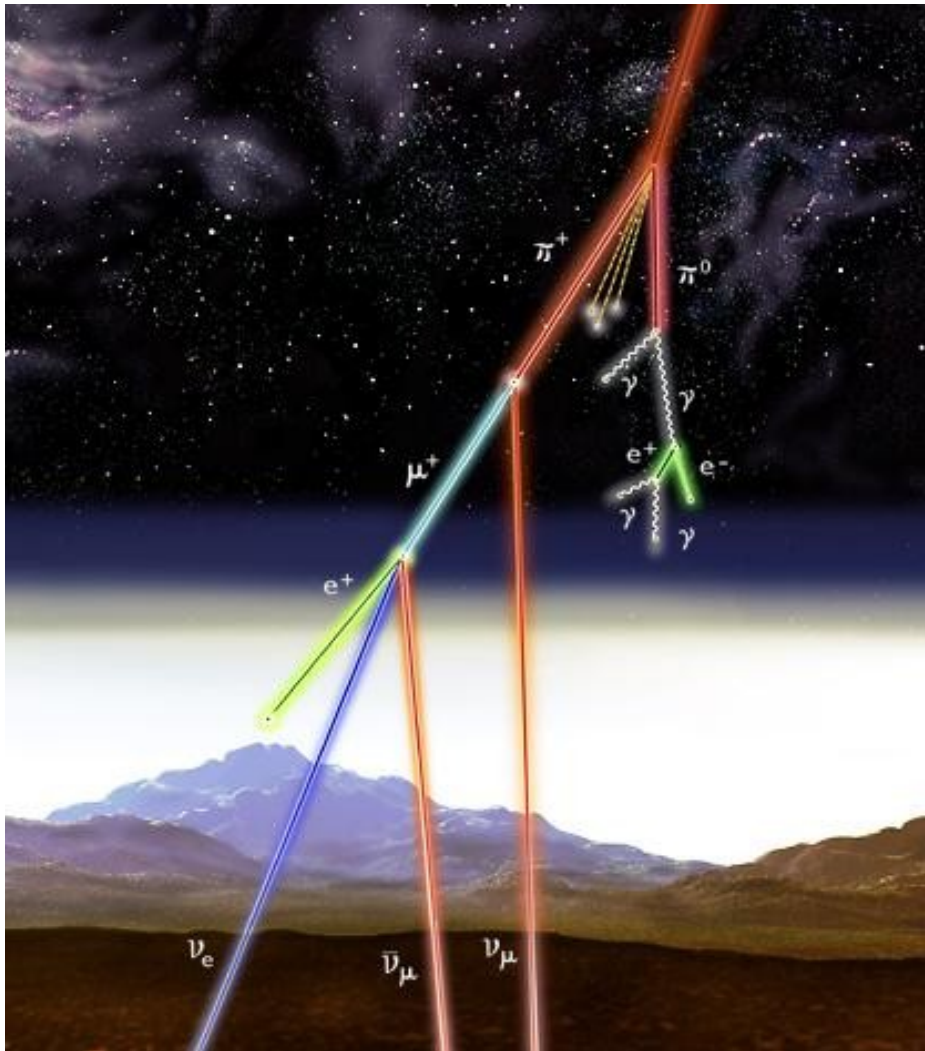
# *Tidsdilatation*

**Tidsdilatation innebär att en rörlig klocka går långsammare än en stillastående**

Det vill säga: en stillastående betraktare som observerar en klocka som rör sig med stor hastighet, ser att sekunderna tickar fram långsammare på den rörliga klockan än på sin egen, exakt likadana klocka

**→ Man mäter olika tid beroende på hur fort en klocka rör sig!!**

# Tidsdilatation i kosmisk strålning



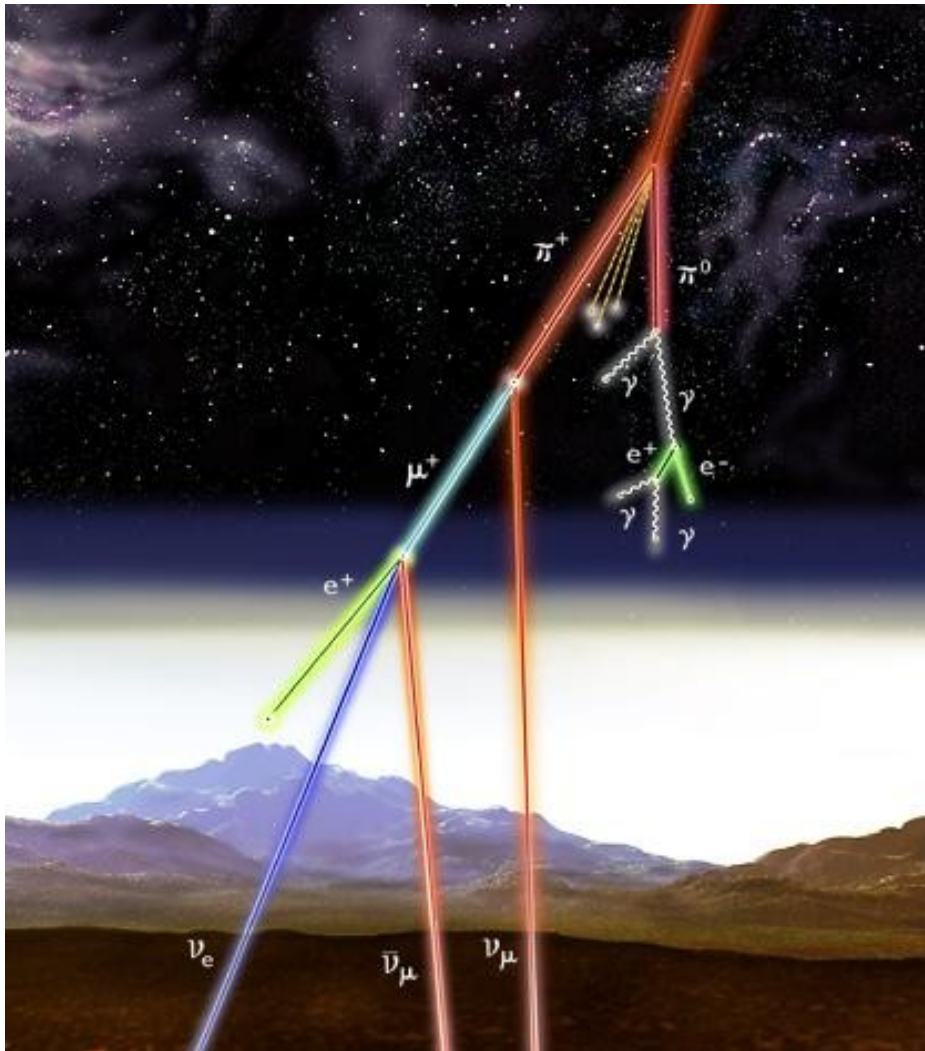
Bilden visar kosmisk strålning som kommer in och träffar jordens atmosfär

Kärnreaktioner skapar instabila elementarpartiklar

De sönderfaller, precis som radioaktiva ämnen

Efter en halveringstid har hälften av dem sönderfallit

# Tidsdilatation i kosmisk strålning



Partiklarna borde sönderfalla mycket fortare än det tar för dem att komma ner till marken

Men de rör sig fort så deras klockor går långsammare och de hinner ner till marken!

Man ser såna partiklar i experiment:

**Bevis för tidsdilatation!**

# *Längdkontraktion*

Längdkontraktion är motsvarande effekt för längd istället för tid:

**Ett rörligt objekt ser kortare ut än vad det gör i vila**

Det "trycks" ihop i rörelseriktningen

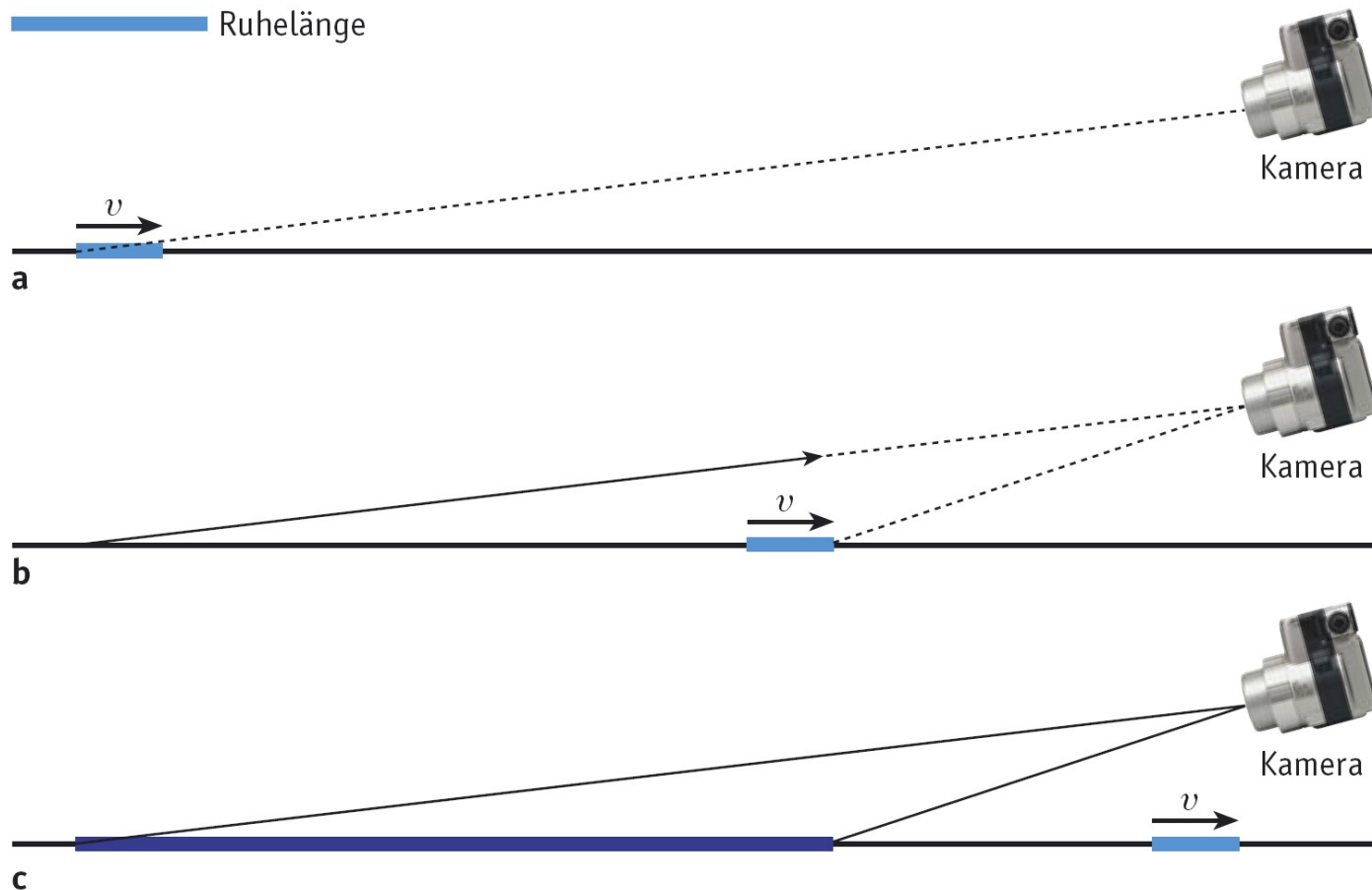
# *Men ser snabba saker kortare ut?*

En stav som färdas rakt emot dig med hög hastighet är längdkontraherad – men *ser* den kortare ut?

- Ljuset färdas i raka linjer med konstant hastighet
- En kamera tar en bild av ljusstrålar som kommer **samtidigt** till kameran
- Men det är samtidigt i *kamerans* referenssystem!
- Ljusstrålarna som fastnar på bild **sändes inte ut samtidigt** från alla punkter på staven i stavens vilosystem!

# Ser den kortare ut?

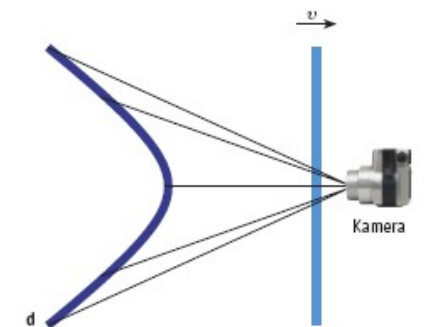
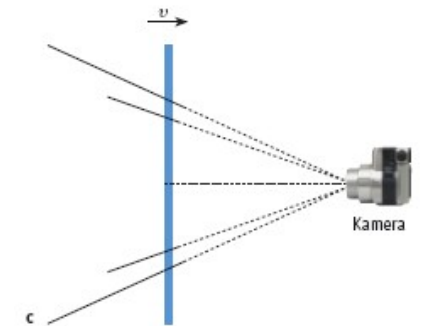
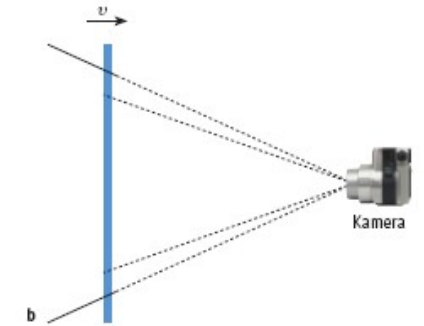
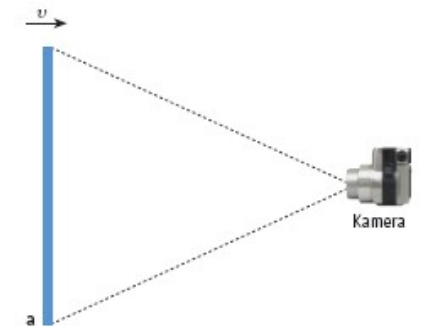
Nej – den *ser ut* att vara *längre* än i vila!





Av samma anledning ser saker *förvrängda* ut när de har hög hastighet relativt en betraktare

En vinkelrät stav ser böjd ut vid hög hastighet

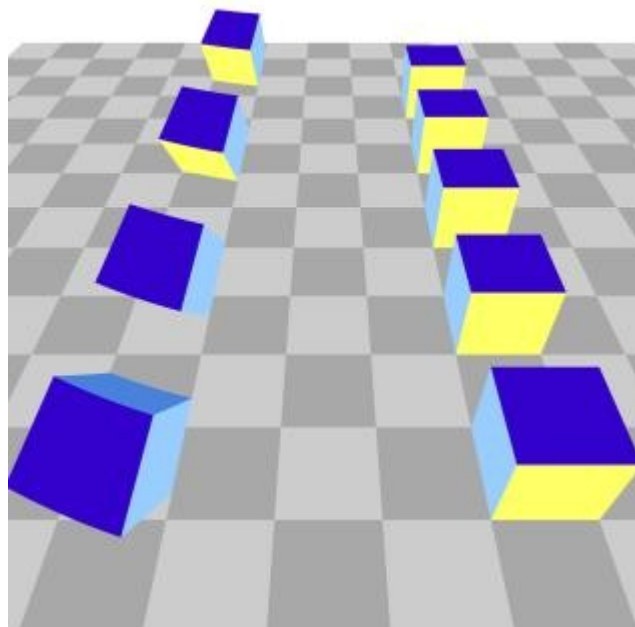
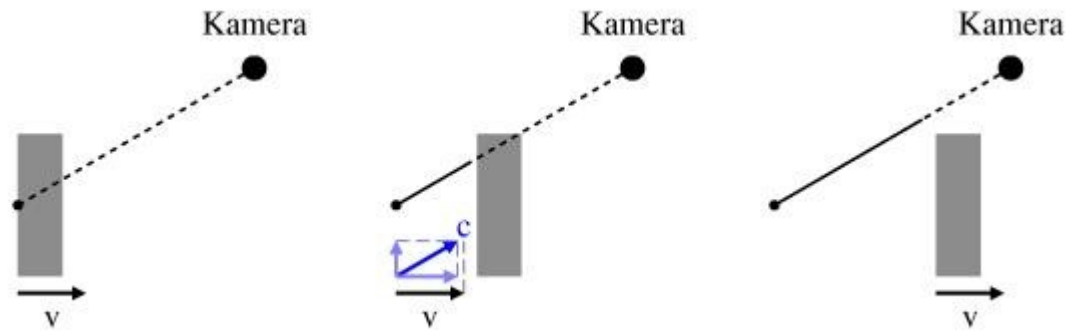






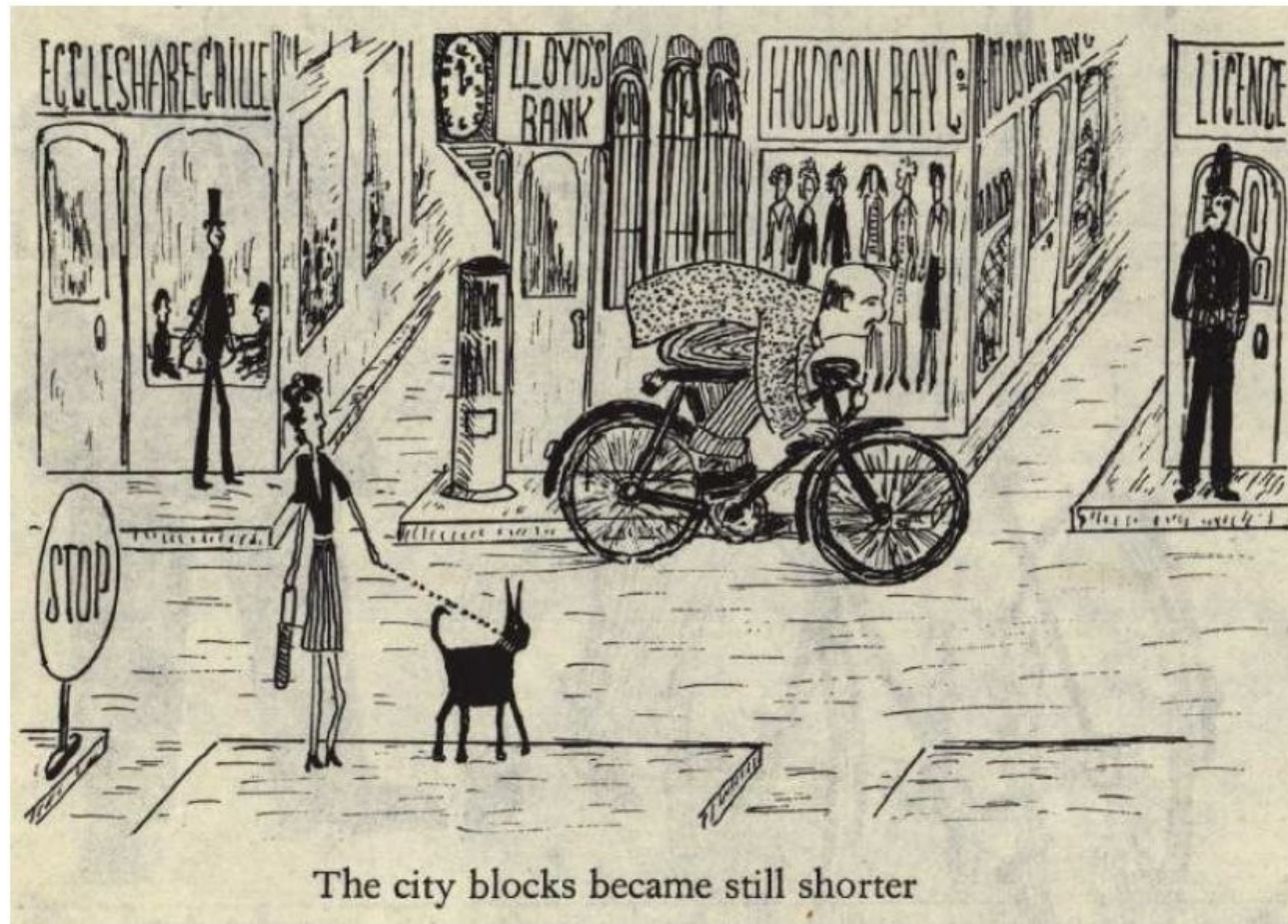


# *Snabba objekt ser roterade ut*



# Mr. Tompkins

*Mr. Tompkins* är en populärvetenskaplig bok av George Gamow som illustrerar relativitetsteori:



I hans värld var ljushastigheten 30 km/h och han såg längdkontraktion

# Men stämmer det?

I vila



0.9c enligt Mr Tompkins?



Nej!



Detta visar längd-  
kontraktionen

Detta visar vad han  
faktiskt skulle se

Man måste ta förvrängningen och rotationen  
av snabba objekt med i beräkningen!

# *Vad ser man vid olika hastigheter?*

$t = 0$



$t = 0.8c$



$t = 0.95c$



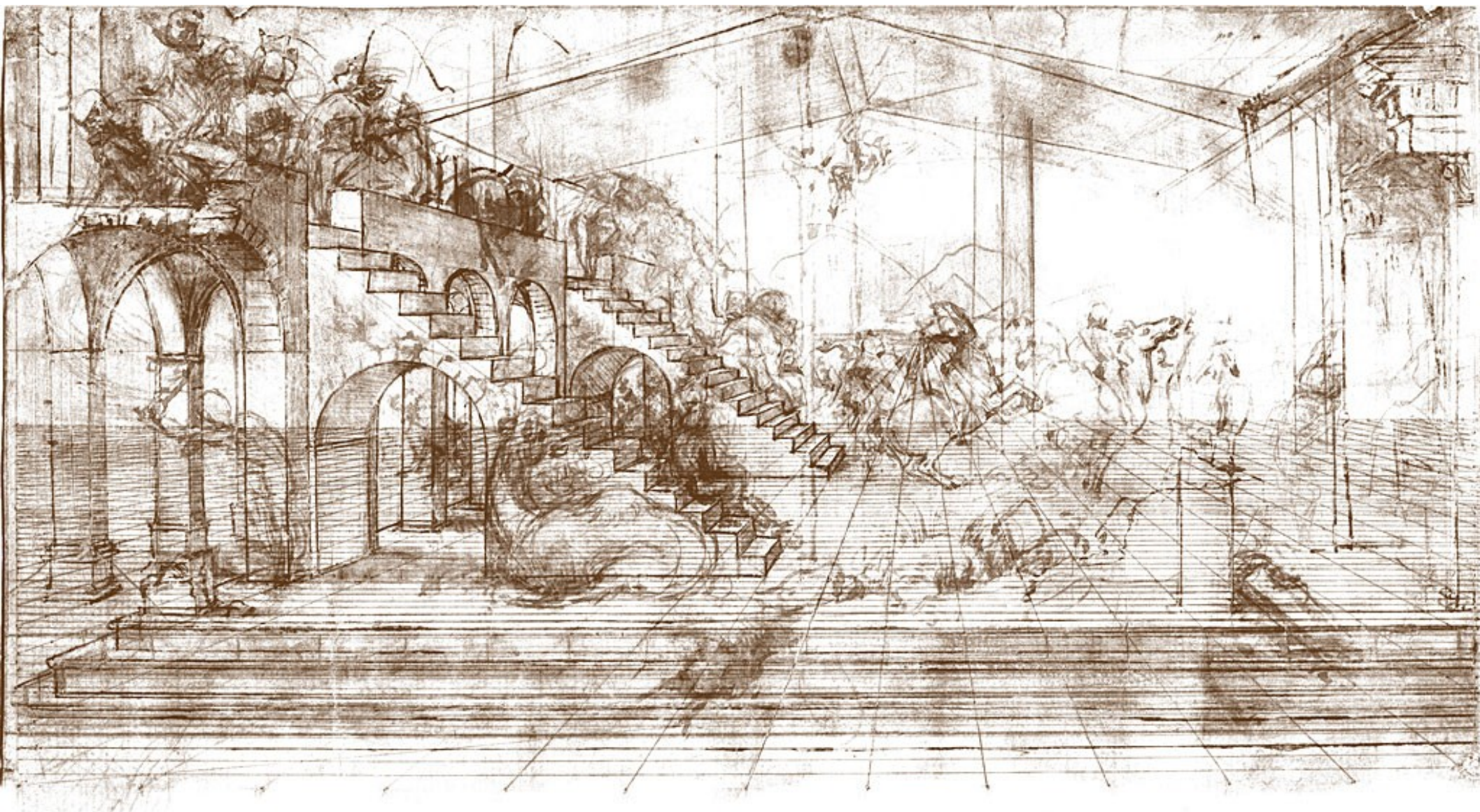
$t = 0.99c$



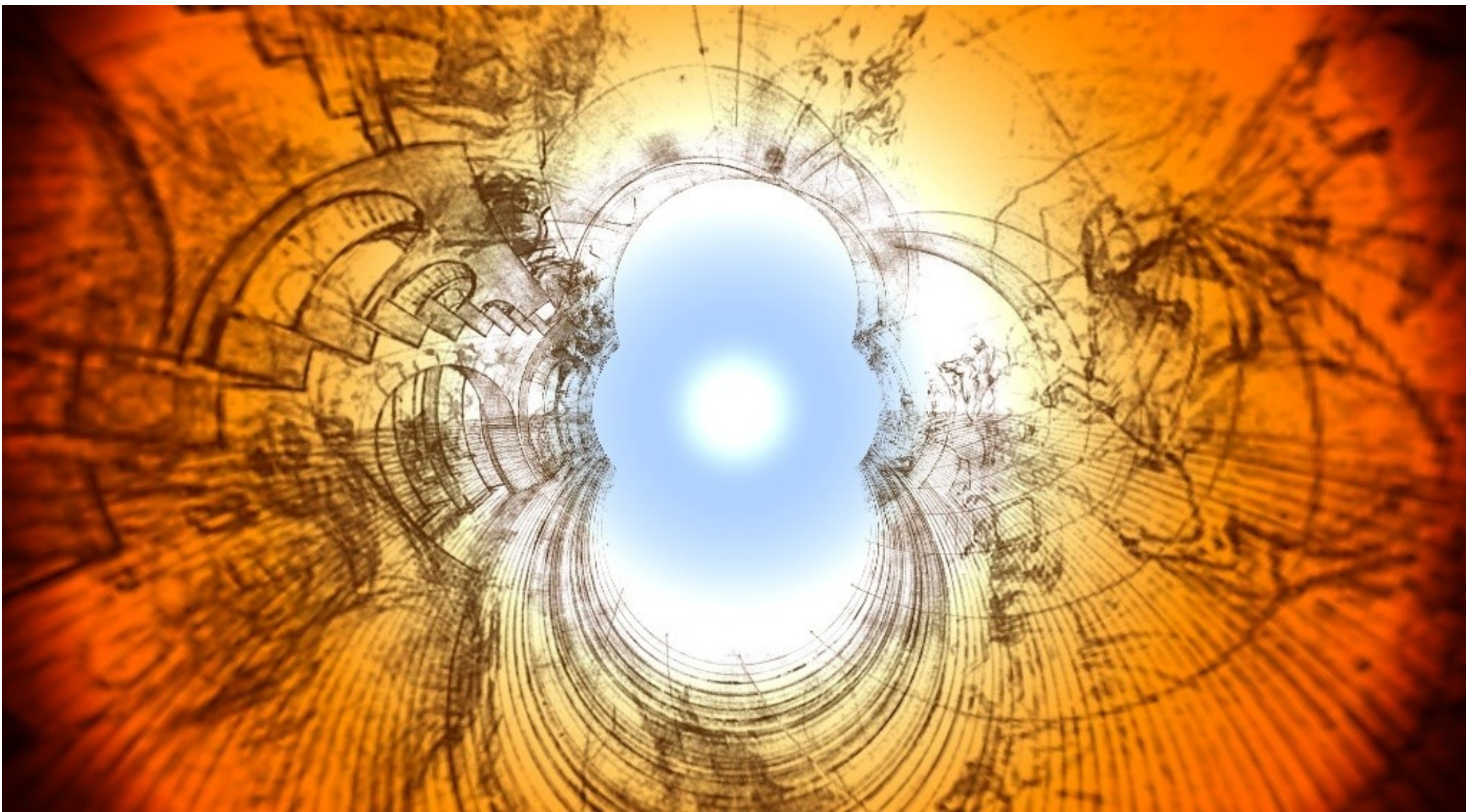
# *En färd genom Tübingen*



Filmen och bilderna innan från [www.spacetime.travel.org](http://www.spacetime.travel.org)



Leonardo da Vinci: perspektivstudie för *Konungarnas tillbedjan*, c:a 1481



Samma bild sedd vid 99,5% av ljusets hastighet [Andrew Hamilton]

$$E = mc^2$$

Formeln säger att energin hos ett objekt med massan  $m$  ges av  $mc^2$

Massa är en form av energi  
och kan omvandlas till rörelseenergi

Exempel: kärnkraftverk, kärnvapen  
(t.ex. värmeenergi är rörelseenergi)

Men rörelseenergi kan också användas  
till att skapa nya partiklar med massa!

Det är vad man gör i partikelacceleratorer!

# *Large Hadron Collider & CERN*

I partikelacceleratorer accelereras partiklar till extremt höga energier för att sen kollidera med varandra

LHC i Geneve ska accelerera protoner till en energi som motsvarar **7460 gånger  $mc^2$**  för en proton:  
Det ger en hastighet

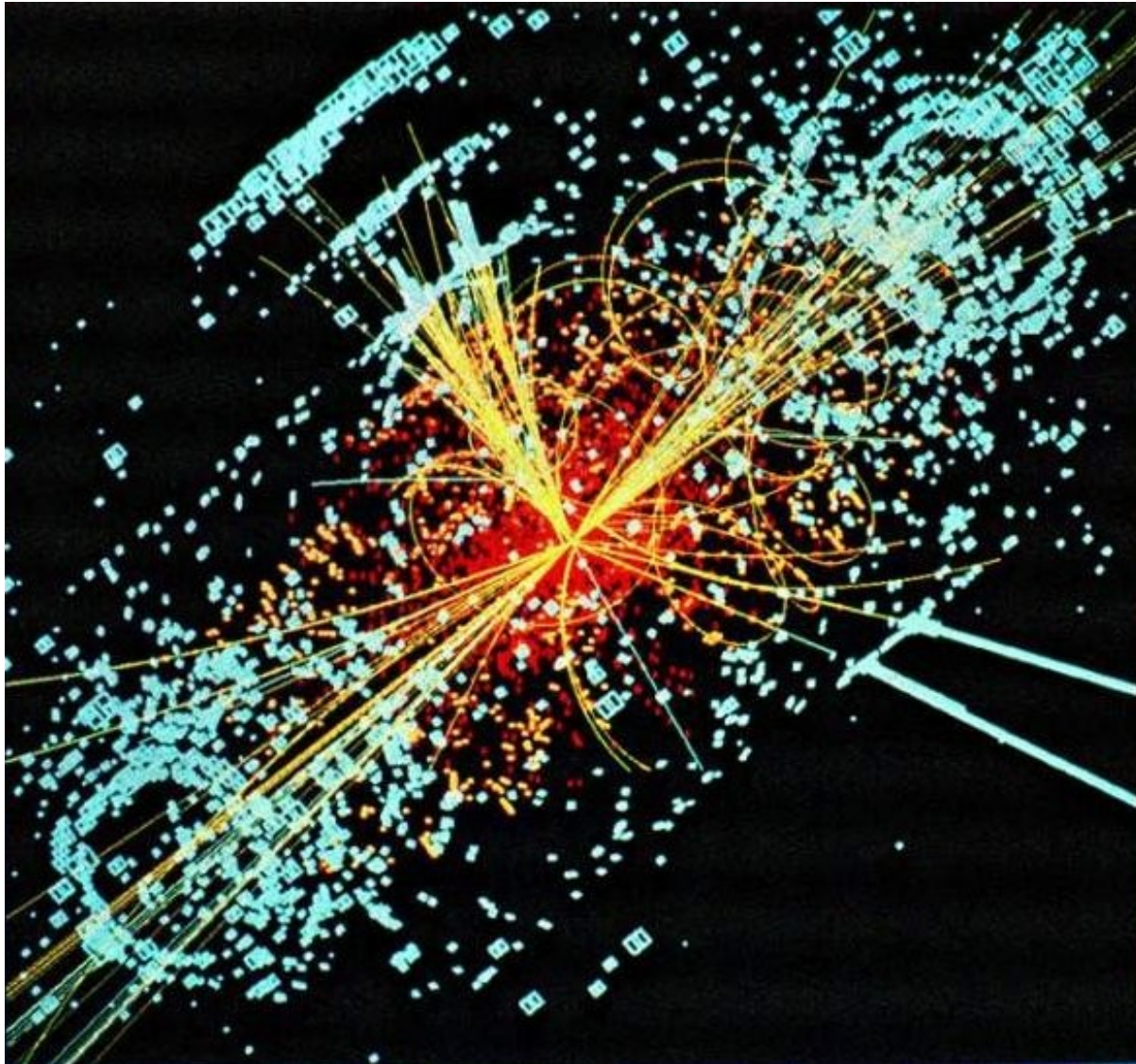
$$v = 0,999\ 999\ 991\ c$$

Tidsdilationen är en faktor 7 460 → 5 timmar till Alpha Centauri (4,4 ljusår)!!!

I kosmisk strålning har man sett en proton med

$$v = 0,999\ 999\ 999\ 999\ 999\ 999\ 999\ 995\ c$$

# *Datorsimulerad kollision: $E=mc^2$ i praktiken*



# *Om du vill lära dig mer*

- David Mermin, *"It's About Time"*
- Sören Holst, *"Rumtid"*
- Taylor & Wheeler, *"Spacetime Physics"*
- De flesta läroböcker i fysik för första året på universitetet har kapitel om relativitetsteori