

Relativitet i tid och rum

Fysiken delas ibland upp i två tidsepoker: den klassiska och den moderna fysiken. I den moderna fysiken omprövas och kompletteras den klassiska lagarna samtidigt som kunskaperna ökar markant kring både materiens minsta beståndsdelar och universum i stort.



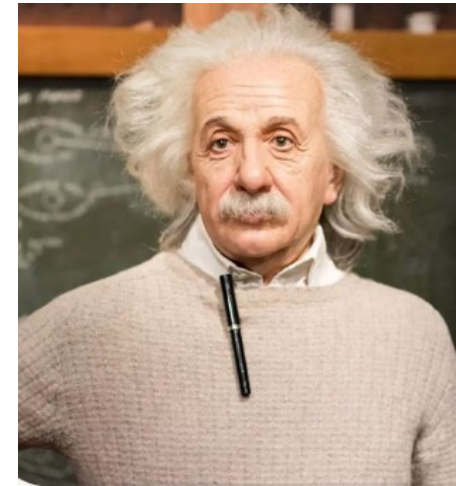
Albert Einstein

Albert Einstein har som ingen annan fysiker kommit att förknippas med den moderna fysiken. Efter att ha presenterat den speciella relativitetsteorin 1905 och därefter den allmänna relativitetsteorin 1915 fick Einstein så småningom närmast idolstatus även bland allmänheten långt utanför forskarkretsar.

Med relativitetsteorin visade han att Newtons etablerade lagar hade sina begränsningar och inte räckte till då vi börjar närma oss ljushastigheten.

Det kanske mest kända sambandet $E = mc^2$ var så enkelt, genialt och revolutionerande att många av hans samtida fysikerkollegor var skeptiska. Han erhöll heller aldrig Nobelpriset för relativitetsteorin men väl för den fotoelektriska effekten.

Einsteins relativitetsteorier har dock senare under 1900-talet kunnat bevisas med hjälp av partikelacceleratorer och haft stor betydelse för den fortsatta teknikutvecklingen.



Albert Einstein (1879-1955)

Relativitet

All hastighet kan betraktas som relativ. Om vi exempelvis åker i en glashiss med hastigheten 2 m/s och kastar upp en boll inuti hissen med hastigheten 5 m/s upplever en yttre betraktare hastigheten som 7 m/s. Man kan alltså addera och subtrahera hastigheter vektoriellt till varandra.



Men som Einstein visade är detta är en betraktelse som bara gäller så länge hastigheten är betydligt lägre än ljusets.

Einsteins 1:a postulat

1. Fysikens lagar har samma form i alla referenssystem som rör sig med konstant hastighet relativt varandra.

Jag heter Fritte och åker med
hastigheten 30 m/s.
Jag ser att du Sudden står
still.

Vad slött!

Jag heter Sudden och åker med
hastigheten 30 m/s.
Men det är ju du Berra som står
still.

Det ser ja ju!



Einsteins 2:a postulat

2. Ljusets hastighet i vakuum upplevs som konstant oberoende av betraktarens egen hastighet.

Jag heter Fritte och åker med halva ljushastigheten ($0.5c$). Jag ser att du Berra åker med ljushastigheten c .

Vad coolt!



Jag heter Berra och åker med ljushastigheten c . Jag är alltså snabbast i universum!



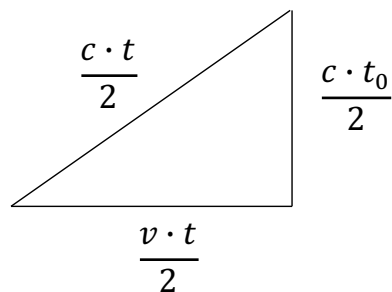
Jag heter Sudden och åker med 90 procent av ljushastigheten ($0.9c$). Jag ser att du Berra åker med ljushastigheten c .

Superfräckt ju!



Tidsdilatationen och längdkontraktionen

En tågagn passerar en observatör med hastigheten v . Inuti vagnen befinner sig en resenär som låter en ljuspuls studsas mot en spegel i taket. Om vi betraktar ljushastigheten c som konstant oberoende av referenssystem kan vi ställa upp följande samband mellan de upplevda sträckorna.



Pythagoras sats ger: $(\frac{c \cdot t}{2})^2 = (\frac{c \cdot t_0}{2})^2 + (\frac{v \cdot t}{2})^2$

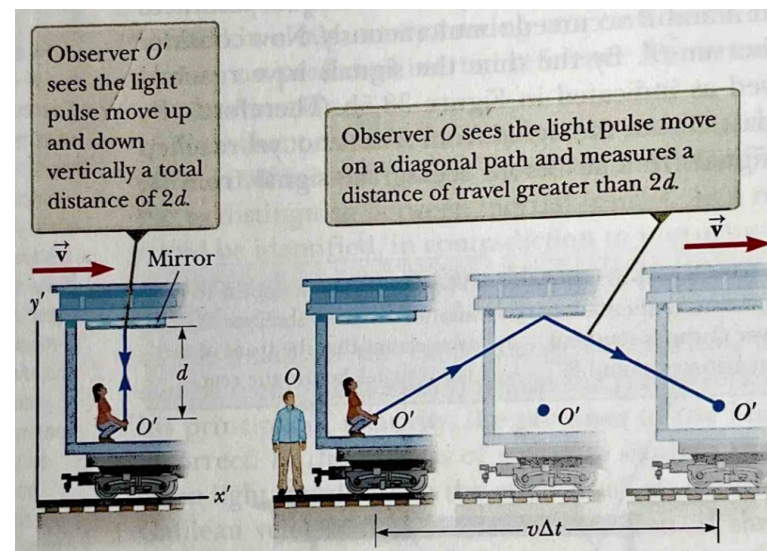
$$c^2 t^2 = c^2 t_0^2 + v^2 t^2$$

$$c^2 t^2 = c^2 t_0^2 + v^2 t^2$$

$$t^2 (c^2 - v^2) = c^2 t_0^2$$

$$t = \frac{c t_0}{\sqrt{c^2 - v^2}} = \frac{1}{\sqrt{1 - (\frac{v}{c})^2}} \cdot t_0$$

$$\gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - (\frac{v}{c})^2}} \Rightarrow t = \gamma \cdot t_0$$



t = observatörens upplevda tid

t_0 = resenärens upplevda tid

l_0 = observatörens upplevda längd

l = resenärens upplevda längd

$$c \text{ är konstant} \Rightarrow \frac{l_0}{t} = \frac{l}{t_0} \Rightarrow l = \frac{1}{\gamma} \cdot l_0$$

*) Notera att benämningarna observatör/resenär är något oegentliga men införda av pedagogiska skäl.

Tvillingparadoxen

Vi har visat den upplevda tiden och längden skiljer sig åt mellan en observatör och en resenär enligt sambanden:

$$\gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2}} \Rightarrow \boxed{t = \gamma \cdot t_0} \quad \boxed{l = \frac{1}{\gamma} \cdot l_0}$$

t = observatörens upplevda tid

t_0 = resenärens upplevda tid

l_0 = observatörens upplevda längd

l = resenärens upplevda längd



Vi tänker oss två tvillingar där den ena reser ut i rymden med en hastighet nära ljushastigheten. Då kommer tiden för tvillingen som stannar kvar på jorden att upplevas längre, dvs tvillingen på jorden åldras snabbare än sin resande bror. På motsvarande sätt upplever tvillingen på jorden resan som längre än sin resande bror.

Om den resande tvillingen far iväg med hastigheten $0.87c$ kommer hans bror som stannat kvar på jorden vara dubbelt så gammal när hans resande bror kommer tillbaka.

Einstein visade alltså att både tid och rum är relativa fenomen!

*) Notera att benämningarna observatör/resenär är något oegentliga men införda av pedagogiska skäl.

Total energi = Kinetisk energi + Viloenergi

Einstein kom fram till att även energin hos en massa i rörelse kan beskrivas med faktorn γ , d v s

$$\text{Totala energin } E = \gamma \cdot mc^2 = \frac{1}{\sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2}} \cdot mc^2$$

Vid stillastående fås viloenergin $E_0 = mc^2$

Rörelseenergin kan då definieras som $E_k = (\gamma - 1) \cdot mc^2$

Man kan visa matematiskt att för hastigheter $v \ll c$ så konvergerar rörelseenergin mot $E_k = \frac{1}{2}mv^2$ och sammanfaller alltså med Newtons klassiska fysik.

- *) Formeln $E_0 = mc^2$ innebär i princip att energi och massa är samma sak!
- *) Då hastigheten närmar sig ljushastigheten går energin mot oändligheten.

Tankeexperiment – Energin hos en människa

Låt säga att en människa väger 80 kg. Dess viloenenergi kan då bestämmas till:

$$E_0 = mc^2 = 80 \cdot (3 \cdot 10^8)^2 = 7.2 \cdot 10^{18} \text{ Ws} = 2000 \text{ TWh}$$

Detta motsvarar ca 15 gånger hela Sveriges årliga elförbrukning som ligger runt 135 TWh.

Tyvärr kan vi dock inte få ut all denna energi till arbete. För det skulle krävas att hela människan omvandlades till strålning via kärnreaktioner.

Även om vi skulle elda upp människan finns i stort sett hela energin kvar i fast form som aska samt i gasform som koldioxid, vattenånga mm.

