Spesiell relativitetsteori

13.05.2015

Spesiell relativitetsteori

Einsteins mirakelår 1905

26 år gammel patentbehandler ved
det sveitsiske patentbyrået i Bern

i 1905 publiserte han fire artikler:

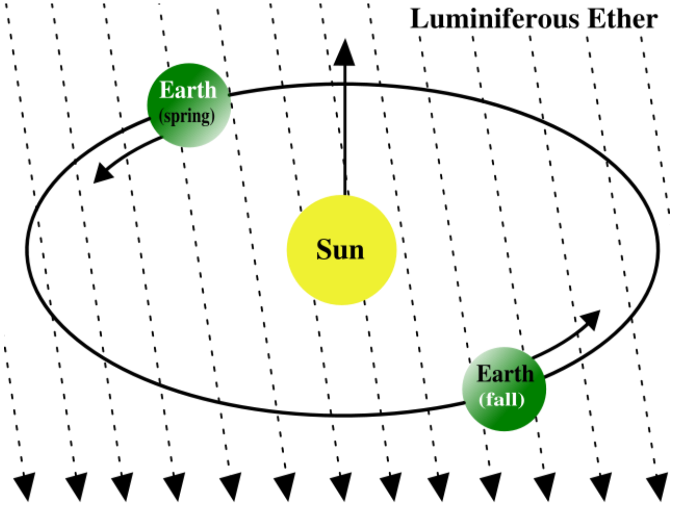
- forklaring av Brownske bevegelser
- forklaring av den fotoelektriske effekten
- spesiell relativitetsteori
- forklarte forhold mellom masse og energi

Albert Einstein (1879 – 1955)

Oppfatninger ved slutten av 1800 tallet:

bølger trenger et medium for å forplante seg

verdensrommet må være fylt av ”eter”
slik at lysbølger kan forplante seg



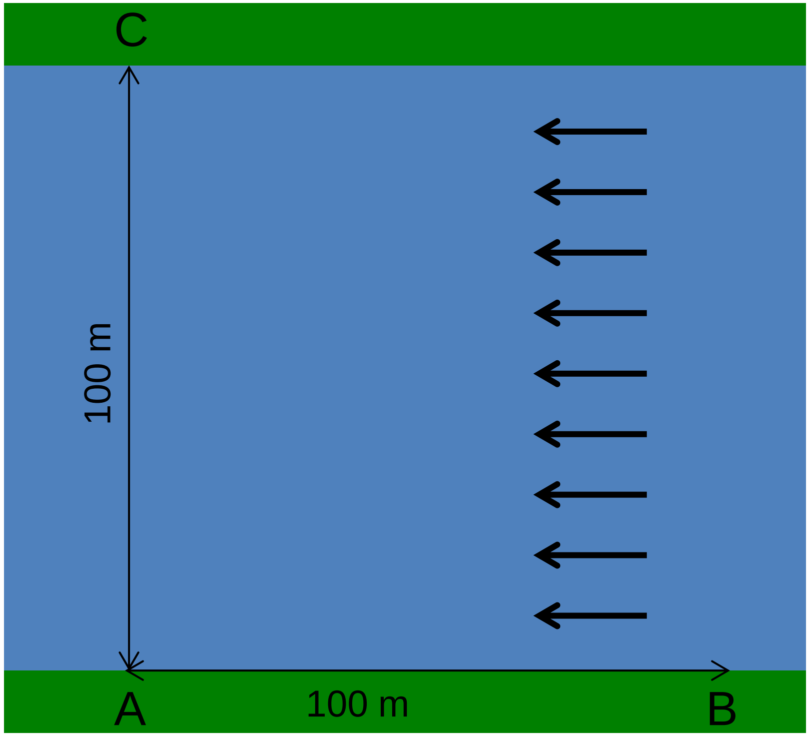
- må være overalt: vi ser stjerne
- planetene går gjennom uten motstand

konsekvens: jorden beveger seg relativ til eteren

lysets hastighet på jorden er avhengig
av retning relativ til eteren

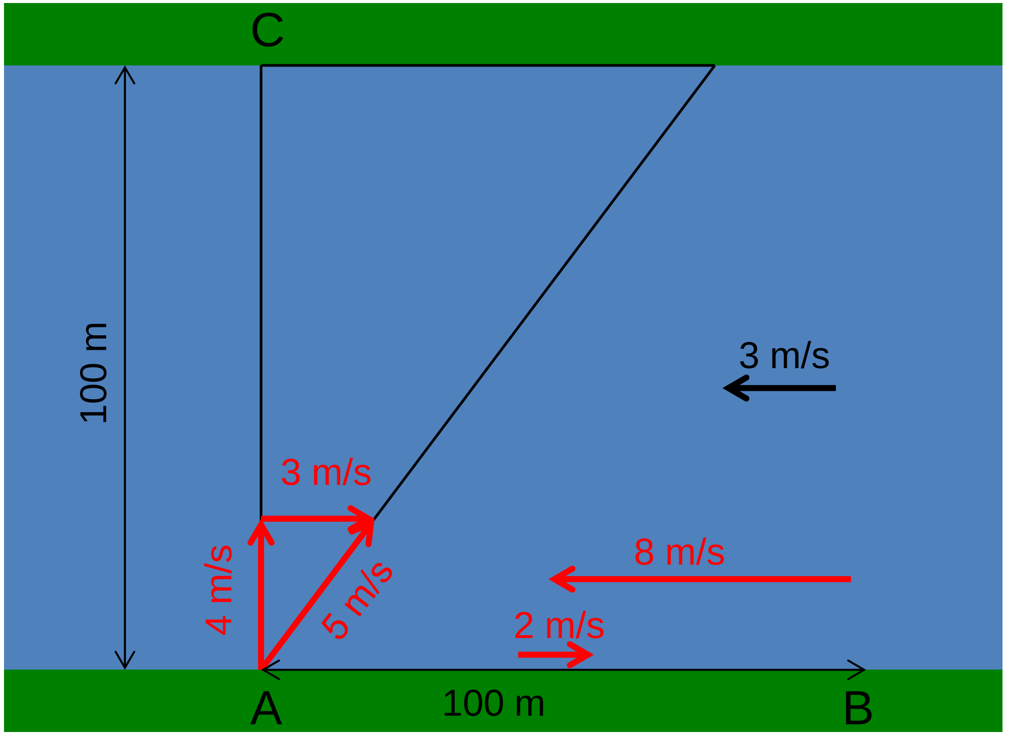
http://pingo.upb.de/ access number: 8178

To personer kan svømme akkurat like rask. Bent svømmer 100 m langs elvebredden fra A til B og tilbake, først mot og så med strømningen. Carl svømmer 100 m fra A til C og tilbake i rett vinkel til strømningen. Hvem kommer tilbake først?



1. Bent.
2. Carl.
3. Begge kommer samtidig.

Bevegelse relativ til et medium



strømningshastighet: $u = 3\ \mathrm{m/s}$

hastighet til svømmer
relativ til vannet: $v = 5\ \mathrm{m/s}$

tid for å svømme fra A til C

$$t_{AC} = \frac{d}{v_\perp} = \frac{100\ \mathrm{m}}{4\ \mathrm{m/s}} = 25\ \mathrm{s}$$

tid for å svømme fra C til A

$$t_{CA} = \frac{d}{v_\perp} = \frac{100\ \mathrm{m}}{4\ \mathrm{m/s}} = 25\ \mathrm{s}$$

tid for å svømme fra A til B

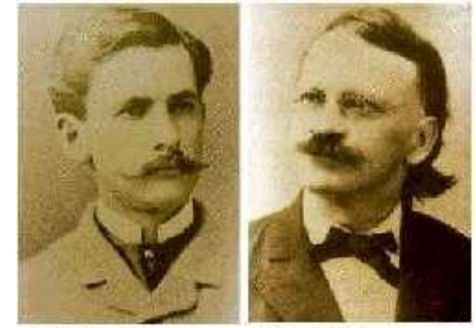
$$t_{AB} = \frac{d}{v-u} = \frac{100\ \mathrm{m}}{2\ \mathrm{m/s}} = 50\ \mathrm{s}$$

tid for å svømme fra B til A

$$t_{BA} = \frac{d}{v+u} = \frac{100\ \mathrm{m}}{8\ \mathrm{m/s}} = 12.5\ \mathrm{s}$$

$$t_{ACA} < t_{ABA}$$

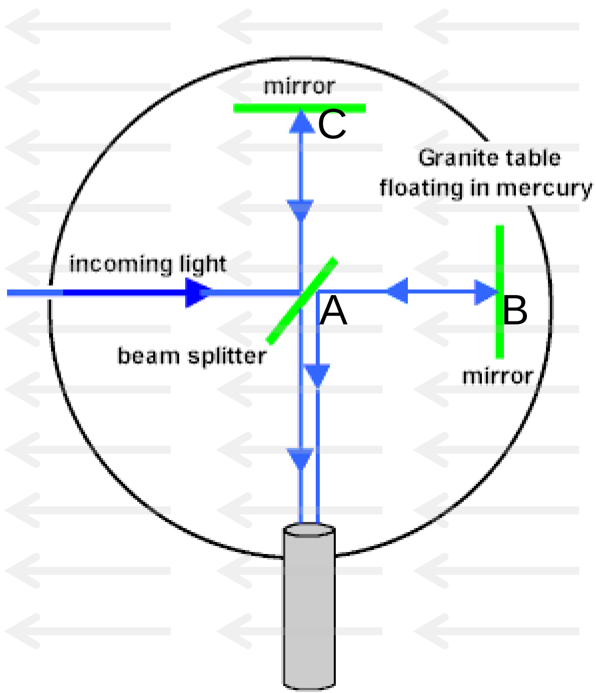
Michelson – Morley eksperiment 1887



A.A. Michelson
1852 - 1931

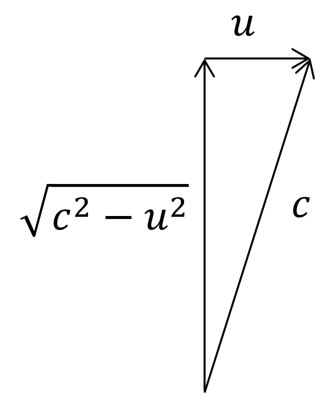
E.W. Morley
1838 - 1923

påvise effekten av jordens bevegelse gjennom eteren

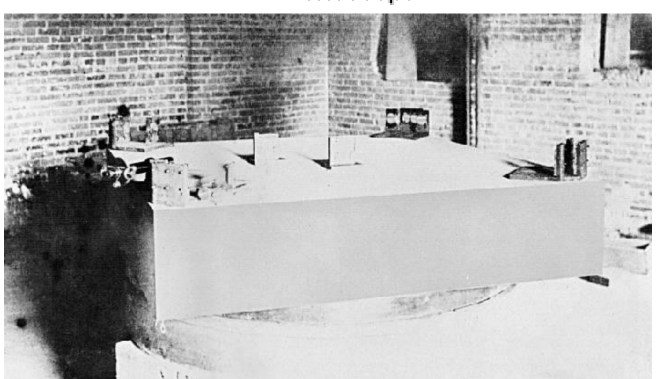


$$t_{ABA} = \frac{d}{c-u} + \frac{d}{c+u} = \frac{2dc}{c^2-u^2}$$

$$t_{ACA} = \frac{2d}{\sqrt{c^2-u^2}} < t_{ABA}$$



forventet å
se interferens



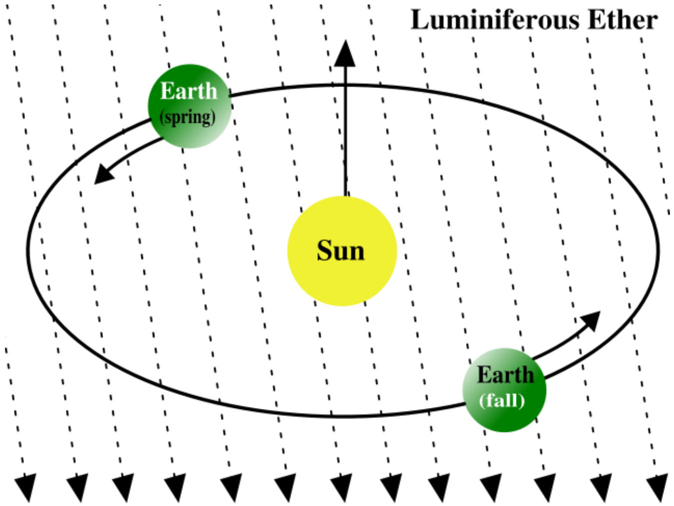
http://galileoandeinstein.physics.virginia.edu/more_stuff/flashlets/mmexpt6.htm

fant ingen effekt:
lyshastigheten er den samme
uansett hvilken retning den måles

nå kommer Albert Einstein:

Newtons lover er de samme i alle inertialsystemer

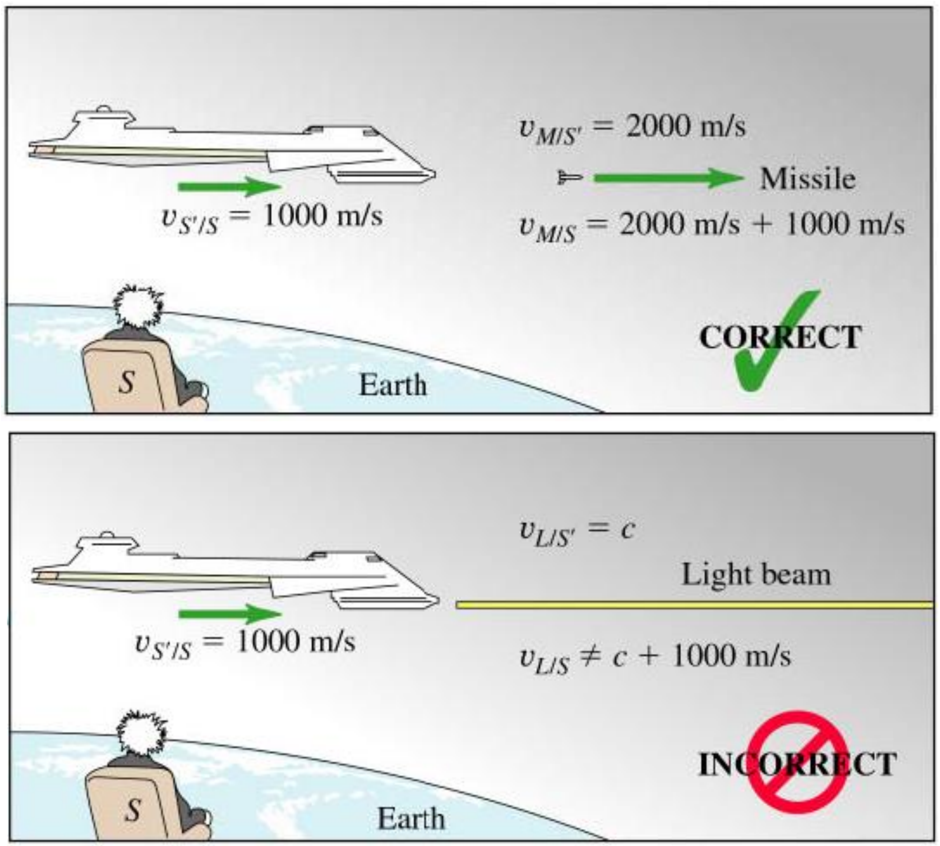
Hvorfor krever lysbølger et
spesielt referansesystem tilknyttet ti eteren?



Einsteins postulatene

1. Fysikkens lover er de samme i alle inertialsystemer.

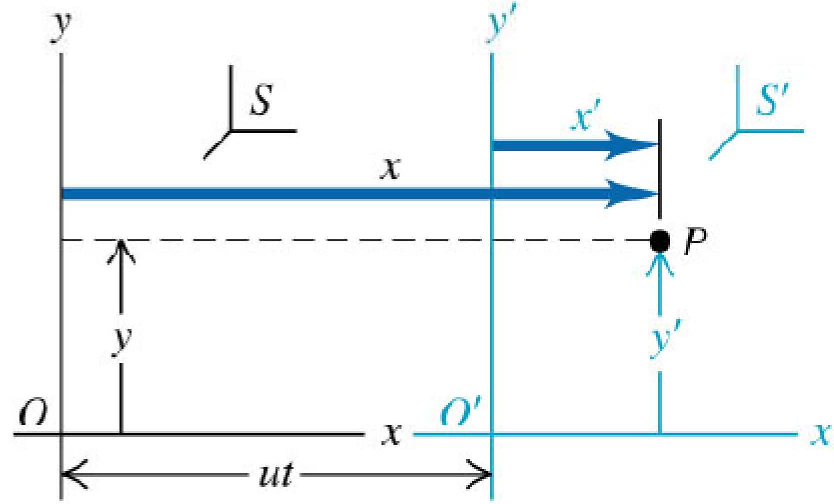
2. Lyshastigheten er den samme i alle inertialsystemer, og er uavhengig av observatørens bevegelse.



Newtons mekanikk

er ikke lenger gyldig får å beskrive hvordan lys oppfører seg.

Galileo transformasjon



to koordinatsystemer:
S (f.eks. jorden)
S' (f.eks. romskip)

S' beveger seg relativ til S
med hastighet u langs x aksen,
hvor x og x' aksene er parallelle

O og O' er på samme sted ved tid t=0

vi beskriver posisjonen til et partikkel P

i system S: $\vec{r} = (x, y, z)$

i system S': $\vec{r}' = (x', y', z')$

Galileo transformasjon:

$$x = x' + ut \qquad v_x = v'_x + u$$

$$y = y' \qquad v_y = v'_y$$

$$z = z' \qquad v_z = v'_z$$

hva hvis partikkelen er et foton som beveger seg med lyshastighet?

$$c = c' + u$$

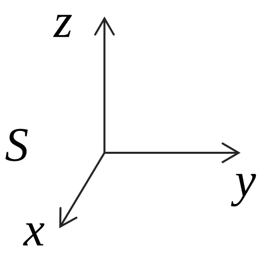
Einsteins 2. postulat: $c = c'$

hvis Einsteins 2. postulat er riktig, så må vi modifisere Galileo transformasjonen

er tiden den samme i S og S' ?

Definisjon av hendelse

En hendelse er en begivenhet (noe) som kan lokaliseres i rom og tid dvs. gis koordinater (x,y,z,t).



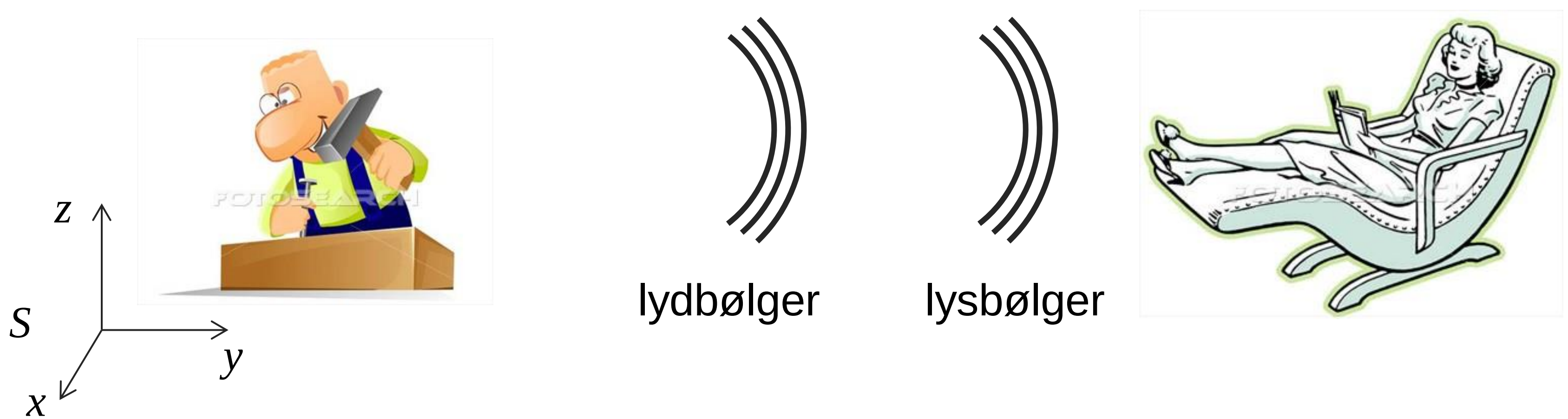
Definisjon av samtidighet

To hendelser er samtidige dersom de inntreffer ved samme tid i ett og samme system S.

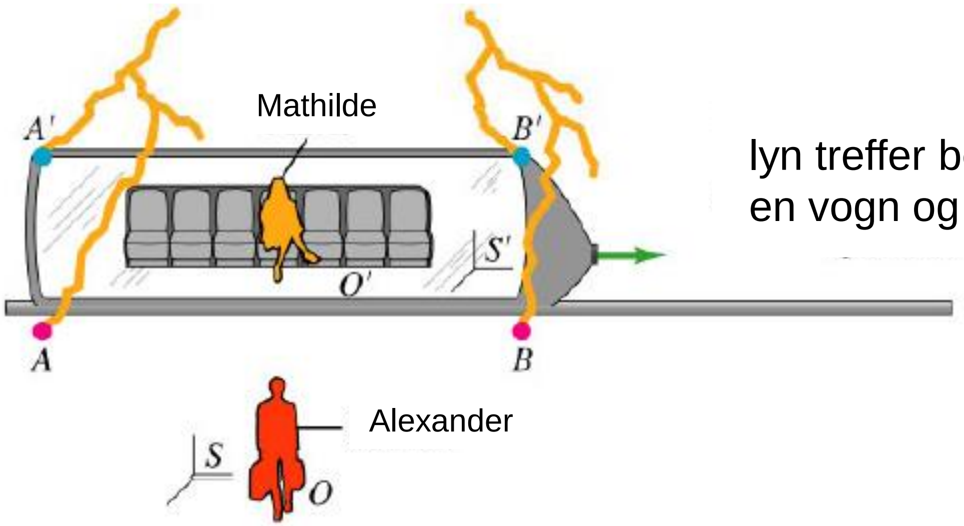
http://pingo.upb.de/ access number: 8178

En nabo snekker i hagen. Du merker at det er en liten forsinkelse mellom når du ser at han slår på en spiker og når du hører lyden. Når inntreffer hendelsen ”hammeren treffer spikeren”?

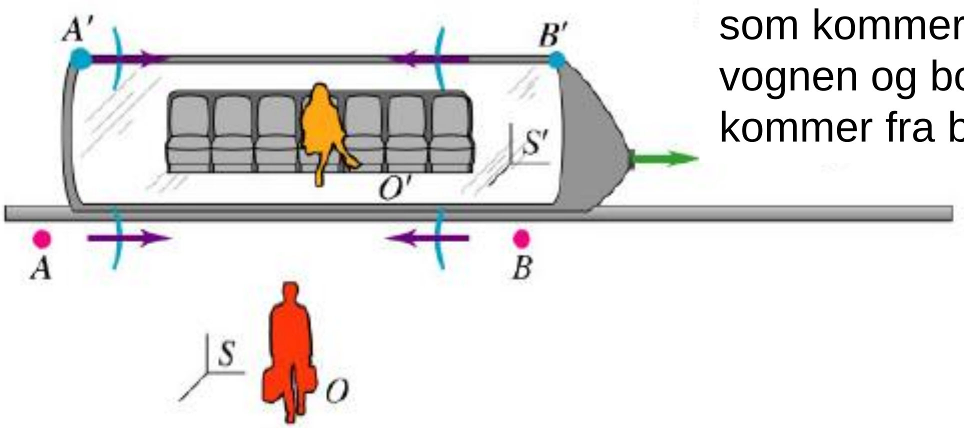
1. idet du hører hammeren treffe spikeren.
2. idet du ser hammeren treffe spikeren.
3. ingen av de to



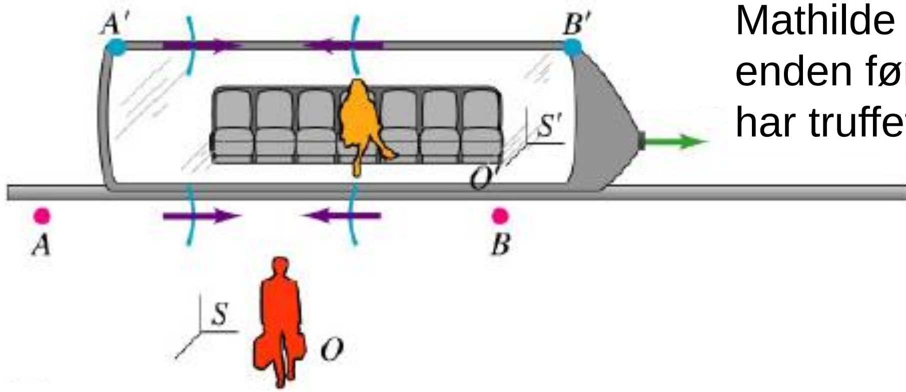
Samtidighet



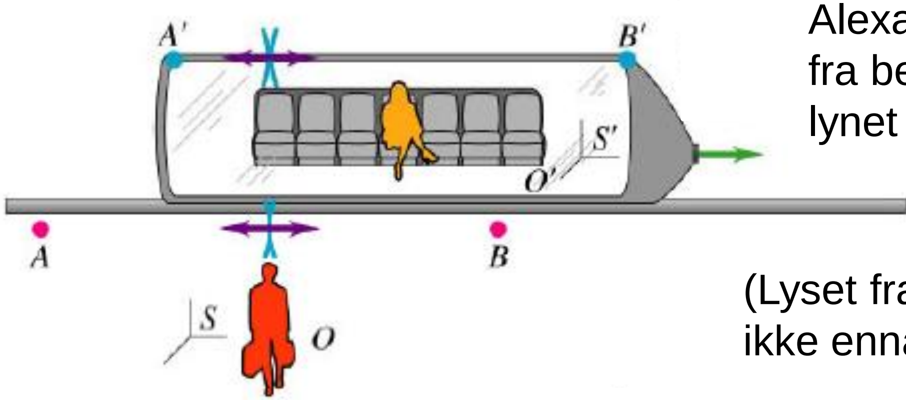
lyn treffer begge endene av
en vogn og bakken ved siden



Mathilde beveger seg mot lysbølgen som kommer fra fremre enden av vognen og bort fra lysbølgen som kommer fra bakre enden.



Mathilde ser lyset fra den fremre enden først; hun konkluderer at lynet har truffet den fremre enden først.



Alexander ser lyset kommer samtidlig fra begge endene; han konkluderer at lynet har truffet begge endene samtidlig.

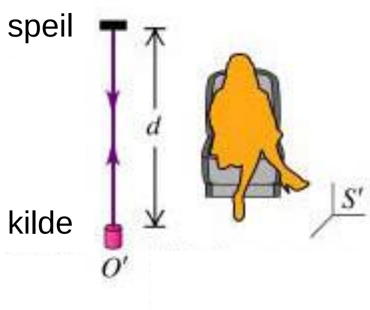
(Lyset fra den bakre enden har ikke ennå kommet til Mathilde.)

to hendelser:
lyn treffer fremre enden
lyn treffer bakre enden

Hendelsene er samtidig i system S (Alexander), men ikke samtidig i system S' (Mathilde)

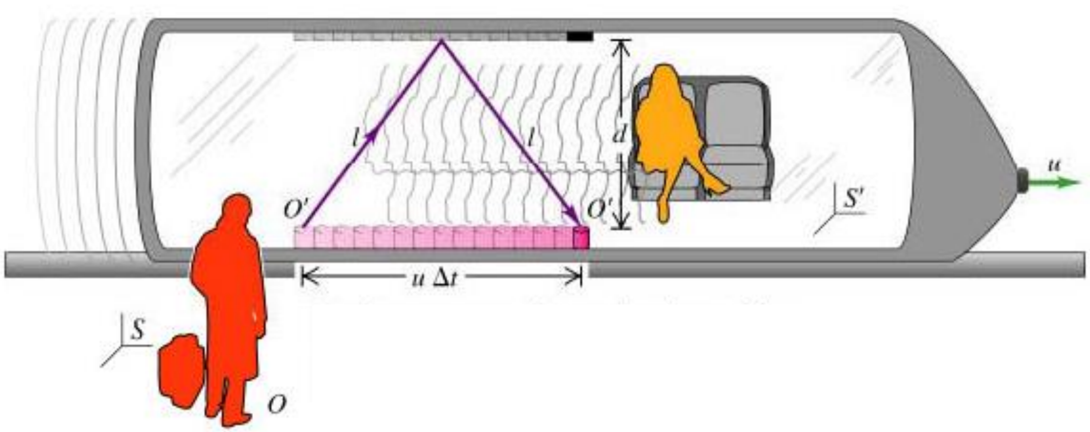
Tidsintervaller

Mathilde befinner seg i toget (system S')
og maler tidsintervall mellom to hendelser:



1. et lysglimt er sendt ut fra en kilde i O'
2. lyset er påvist i en detektor på samme sted etter refleksjon av et speil i avstand d

Hun måler: $\Delta t' = \dfrac{2d}{c}$



Alexander står på plattformen.
I system S inntreffer de to hendelser på forskjellige steder.

Lyset beveger seg med samme hastighet, men distansen er lenger.

$$\Delta t = \frac{2l}{c} = \frac{2}{c}\sqrt{d^2 + \left(\frac{u\Delta t}{2}\right)^2} = \sqrt{(\Delta t')^2 + \left(\frac{u\Delta t}{c}\right)^2}$$

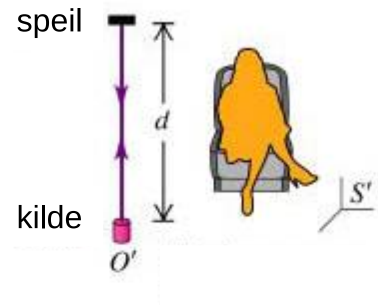
vi definerer: $\gamma = \dfrac{1}{\sqrt{1-\dfrac{u^2}{c^2}}}$

$$\Delta t' = \Delta t\sqrt{1-\frac{u^2}{c^2}} \qquad \Delta t = \gamma \Delta t'$$

det kreves at $u < c$

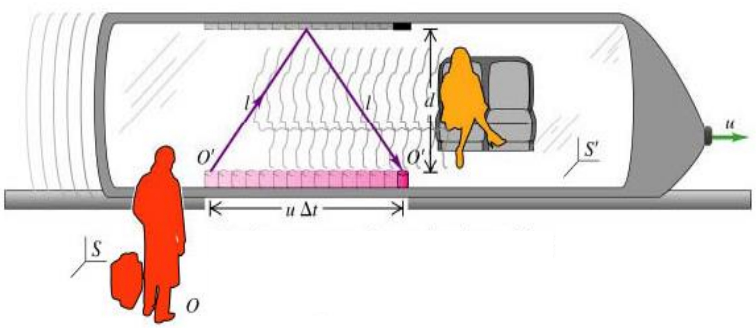
Tidsdilatasjon

Et tidsintervall som er målt mellom to hendelser i et referansesystem der posisjonen er identisk for begge hendelser, kalles en ***egentid*.**



En observatør som er i ro i samme system måler et tidsintervall Δt_0.

En observatør som beveger seg med konstant fart u relativ til den første måler et tidsintervall:



$$\Delta t = \gamma\, \Delta t_0 = \frac{\Delta t_0}{\sqrt{1 - \frac{u^2}{c^2}}}$$

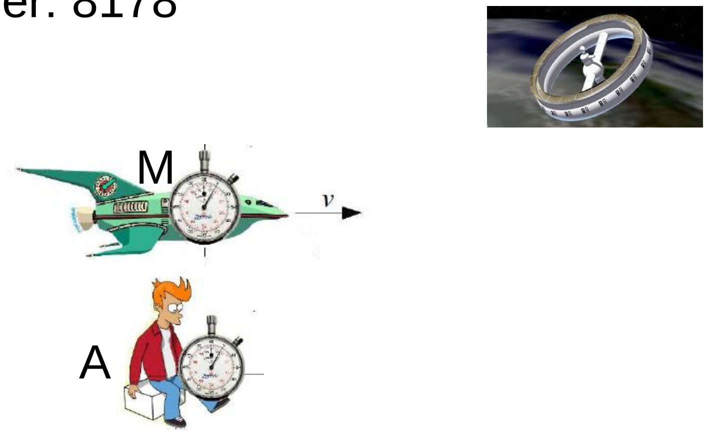
$$\gamma \geq 1 \quad \Rightarrow \quad \Delta t > \Delta t_0$$ **tidsdilatsjon**

Tidsdilatasjonen er **ikke** relatert til tiden lyset trenger for å komme til observatøren.

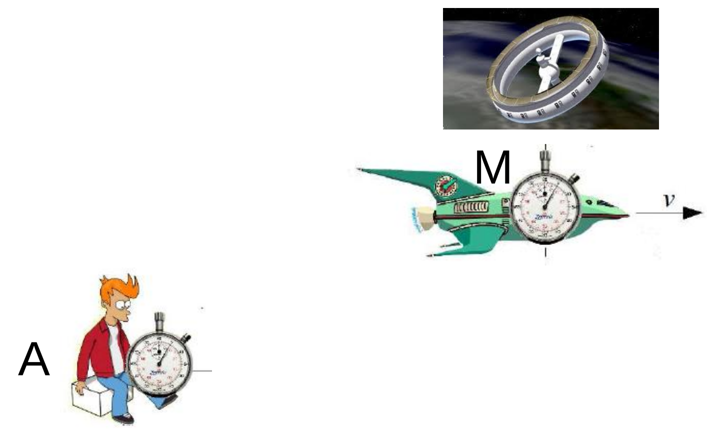
I systemet som beveger seg inntreffer de to hendelser på forskjellige steder.

http://pingo.upb.de/ access number: 8178

Mathilde flyr i et romskip med $v = 0.6\ c$.
I øyeblikket hun flyr forbi Alexander på jorden starter begge to sin klokke. Litt senere flyr Mathilde forbi en romstasjon.
Hennes klokke viser $t = 1.0$ s. Hva viser klokken til Alexander?



A. 0.8 s
B. 1.0 s
C. 1.25 s



1. hendelse: Mathilde flyr forbi Alexander
(Alexander flyr forbi Mathilde)

2. hendelse: Mathilde flyr forbi romstasjonen
(Romstasjonen flyr forbi Mathilde)

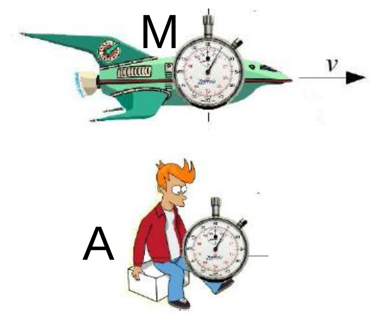
I system romskip inntreffer begge hendelser på samme sted og Mathilde måler egentiden $\Delta t_0 = 1.0$ s.

Alexander beveger seg med fart $v = 0.6\ c$ relativ til Mathilde og han maler tidsintervallet:

$$\Delta t = \gamma \Delta t_0 = \frac{1.0\,\text{s}}{\sqrt{1-0.6^2}} = 1.25\,\text{s}$$

http://pingo.upb.de/ access number: 8178

Når Mathilde flyr forbi Alexander med $v = 0.6\ c$ vinker han til henne. Mathilde måler at Alexander vinker i ett sekund. Hvor lenge har han vinket?



A. 0.8 s
B. 1.0 s
C. 1.25 s

1. hendelse: Alexander begynner å vinke
2. hendelse: Alexander slutter å vinke

I system jorden inntreffer begge hendelser på samme sted og Alexander måler egentiden Δt_0.

Mathilde beveger seg med fart $v = 0.6\ c$ relativ til Alexander og hun maler tidsintervallet:

$$\Delta t = \gamma \Delta t_0 = 1.0\,\mathrm{s}$$

Alexander måler tidsintervallet: $$\Delta t_0 = \frac{1}{\gamma}\Delta t = \sqrt{1-\tfrac{v^2}{c^2}}\,\Delta t = 0.8\,\mathrm{s}$$