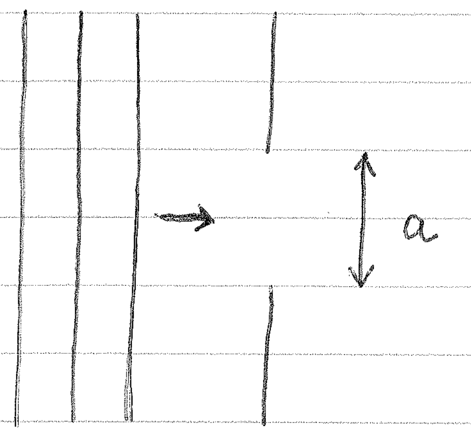
Diffraksjon fra én spalte (LHL 30.5



1 spalte, bredde a $=$ N spalter, bredde $\frac{a}{N}$ $(N \to \infty)$

Huygens' prinsipp $\Rightarrow$ sylinderbølge fra hver (∞) smale spalte

$\Rightarrow$ som diffraksjonsgitter, med $d = a/N$

$$\Rightarrow I = I_0 \left[\sin(Nkd\sin\theta/2) \,/\, \sin(kd\sin\theta/2) \right]^2$$

$kd = 2\pi a / N\lambda$

$$= I_0 \left[\sin(\pi a \sin\theta/\lambda) \,/\, \sin(\pi a \sin\theta / N\lambda) \right]^2$$

$\sin(\pi a \sin\theta / N\lambda) \approx \pi a \sin\theta / N\lambda$ når $N \to \infty$

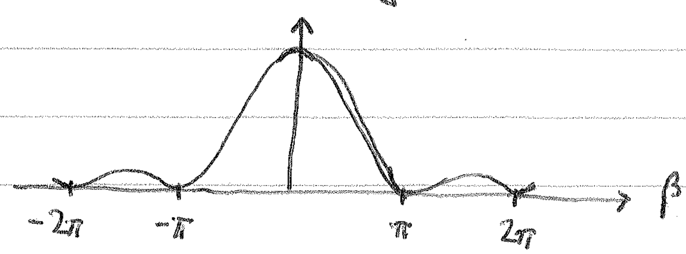
$$\Rightarrow I = I_0 N^2 \left[\sin(\pi a \sin\theta/\lambda) \,/\, (\pi a \sin\theta/\lambda) \right]^2$$

I_0 = intensitet fra 1 spalte (bredde a/N) $\longrightarrow 0$ når $N \to \infty$

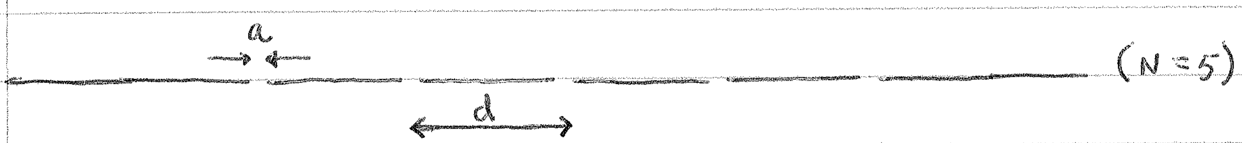
$I_0 N^2 = \hat{I}$ = intensitet ved $\theta = 0$, endelig størrelse

$$\Rightarrow \boxed{I = \hat{I} \left(\frac{\sin\beta}{\beta} \right)^2}$$

der $\beta = \pi a \sin\theta / \lambda$



Korrigerte intensitetsfordelinger for N spalter med bredde a, gitterkonstant d:

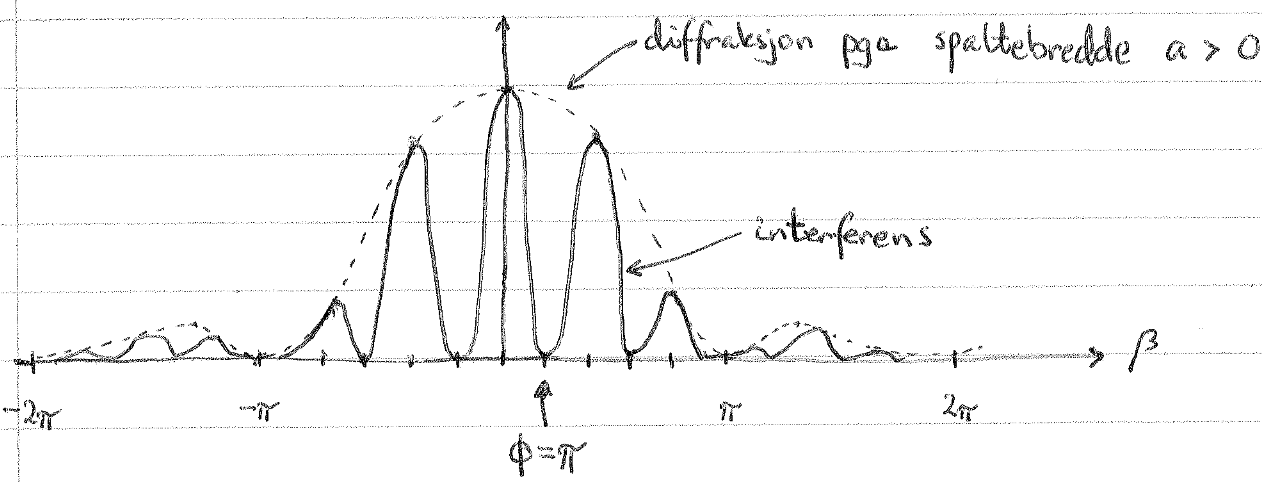


Må la $I_0 \rightarrow \hat{I}\left(\frac{\sin\beta}{\beta}\right)^2$ i utledede formler

$$\Rightarrow \boxed{I = \hat{I}\left(\frac{\sin\beta}{\beta}\right)^2 \left\{\frac{\sin(N\phi/2)}{\sin(\phi/2)}\right\}^2} \qquad \begin{array}{l} \beta = \pi a \sin\theta/\lambda \\ \phi = 2\pi d \sin\theta/\lambda \end{array}$$

For $N=2$:

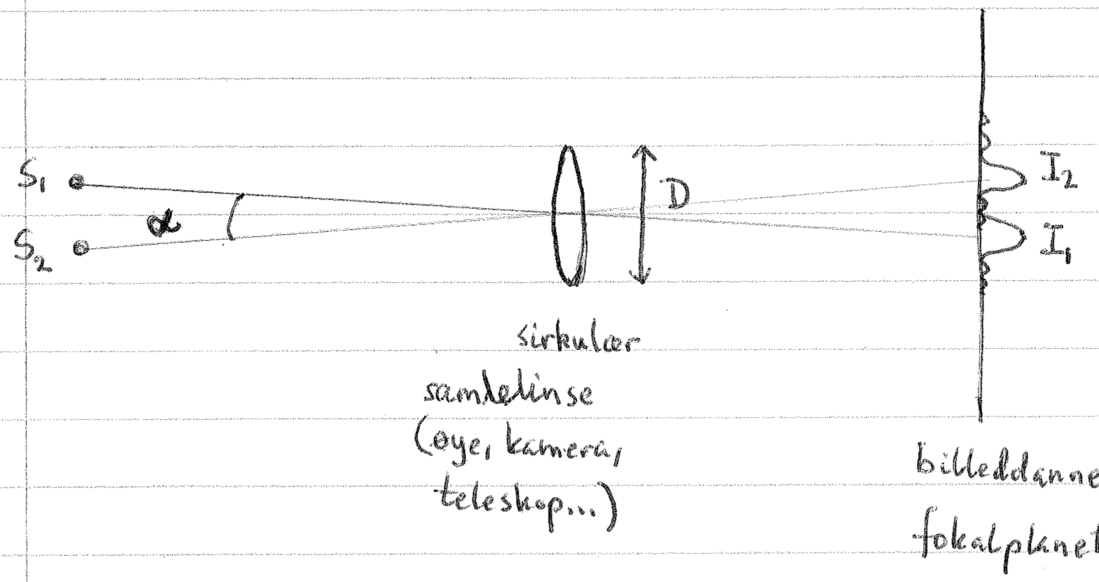
$$I = 4\hat{I}\left(\frac{\sin\beta}{\beta}\right)^2 \cos^2\frac{\phi}{2}$$



- $\beta = \pi \Rightarrow \sin\theta = \frac{\lambda}{a} \Rightarrow$ sentral diffraksjonstopp $(-\pi < \beta < \pi)$ dekker alle retninger $\left(-\frac{\pi}{2} < \theta < \frac{\pi}{2}\right)$ når $a \approx \lambda$
- $a \gg \lambda \Rightarrow$ sentral diffr. topp smal (rundt $\theta = 0$)
- $a \ll \lambda \Rightarrow$ ——— " ——— bred, men lite lys slipper gjennom...

Merknader:

- Sirkulær åpning ⇒ sirkulært diffraksjonsmønster, 1. intensitets-minimum når $\sin\theta = 1.22\,\lambda/D$ (D = åpningens diameter), dvs $\theta \approx 1.22\,\lambda/D \sim \lambda/D$ dersom $\lambda \ll D$



$\alpha < \lambda/D \Rightarrow I_1$ og I_2 vil overlappe

$\Rightarrow$ Oppløsningsevne: $\boxed{\alpha \gtrsim \lambda/D}$ (teoretisk grense pga diffraksjon!)

- Diffraksjon: spredning (rundt hjørner / kanter)

  Interferens: forsterkning / utslokning ved superposisjon av bølger med ulike faser

  Fraunhofer-diffraksjon: diffraksjon av plane bølger (som vi har sett på!)

  Fresnel-diffraksjon: "generell diffraksjon" (matematisk mer komplisert!)

Del III:

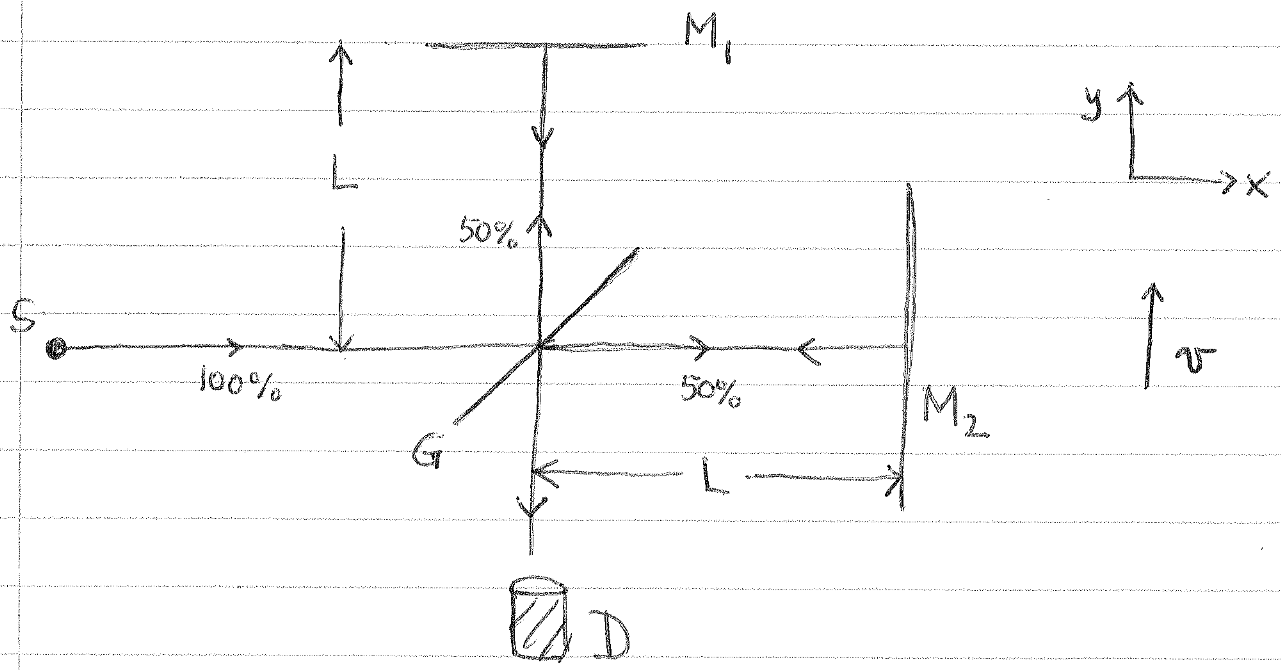
RELATIVITETSTEORI (LL 12, DJG 12

A. A. Michelson (1881) / Michelson og Morley (1887):

> Lyshastigheten i forhold til jorda er uavhengig av jordas hastighet i banen rundt sola.

Oppsiktsvekkende resultat! Essensielt for utvikling av relativitetsteorien (RT).

Eksperimentet:



M_1, M_2 : speil

S : lyskilde

G : "stråledeler" (beam splitter)

D : detektor

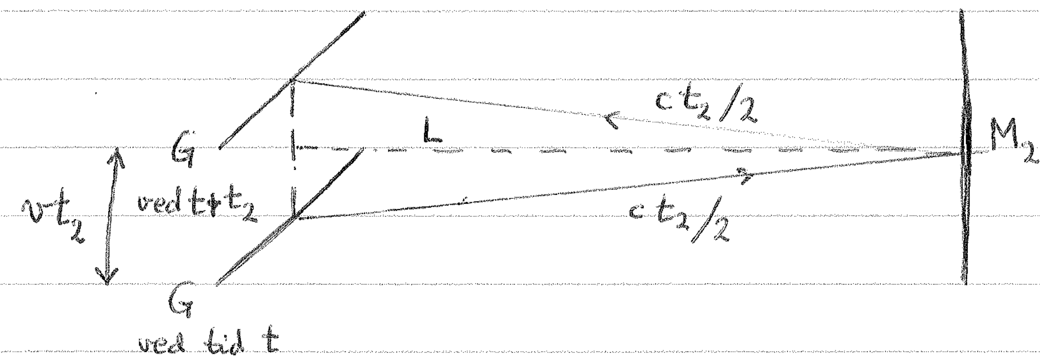
v : jordas hastighet (i forhold til et "lysbærende absolutt referansesystem", "eteren", tenkte man i 1880) ($v \ll c$)

Tid t_1 brukt av lyset fra G til M_1 til G:

$$t_1 = \frac{L}{c-v} + \frac{L}{c+v} = \frac{2Lc}{c^2-v^2} = \frac{2L}{c\left(1-v^2/c^2\right)}$$

$$\approx \frac{2L}{c}\left(1+\frac{v^2}{c^2}\right)$$

Tid t_2 brukt av lyset fra G til M_2 til G:



$$\Rightarrow \left(\frac{vt_2}{2}\right)^2 + L^2 = \left(\frac{ct_2}{2}\right)^2$$

$$\Rightarrow t_2 = \frac{2L}{\left(c^2-v^2\right)^{1/2}} = \frac{2L}{c\left(1-v^2/c^2\right)^{1/2}} \approx \frac{2L}{c}\left(1+\frac{1}{2}\frac{v^2}{c^2}\right)$$

$$\left.\begin{aligned}
&\text{Tidsforskjell: } \Delta t = t_1 - t_2 = \frac{Lv^2}{c^3} \\
&\text{Veiforskjell: } \Delta r = c\Delta t = L\frac{v^2}{c^2} \\
&\text{Faseforskjell: } k\Delta r = \frac{2\pi}{\lambda} L \frac{v^2}{c^2}
\end{aligned}\right\} \text{Exp. 1}$$

Exp. 2: snu interferometeret 90° $\Rightarrow$ motsatt tids-, vei- og faseforskjell!

$\Rightarrow$ Fasedifferanse mellom exp. 1 og exp. 2:

$$\Delta\varphi = \frac{4\pi L v^2}{\lambda c^2}$$

Michelson-Morley 1887: $L \approx 11\,m$, $\lambda \approx 500\,nm$

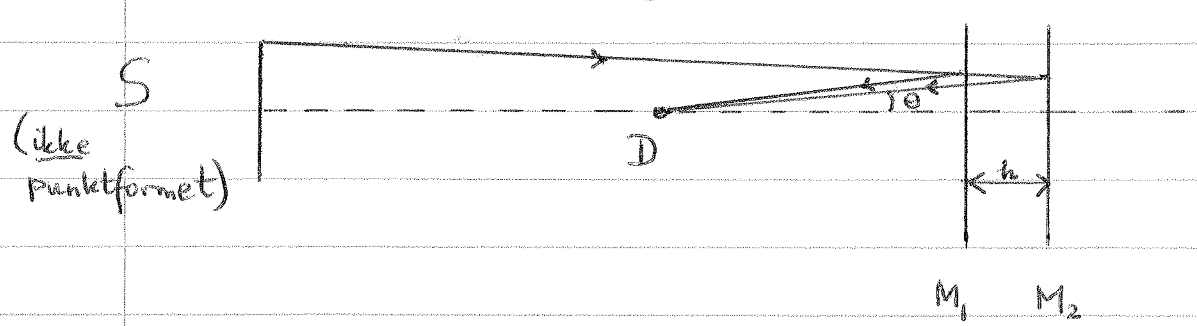
$v \approx 30\,km/s$ (for jorda i bane rundt sola)
$c = 3\cdot 10^8\,m/s$

$$\Rightarrow \Delta\varphi \approx \frac{4\pi \cdot 11 \cdot (3\cdot 10^4)^2}{5\cdot 10^{-7} \cdot (3\cdot 10^8)^2} \approx \underline{0{,}4 \cdot 2\pi}$$

= <u>forventet</u> endring i interferensmønster ved D
(etter å ha snudd apparaturen $90°$)

Eksp. resultat: $\Delta\varphi < 0.01 \cdot 2\pi$!!

Kommentar: Det observeres lyse og mørke <u>ringer</u> ved detektoren D



$\Delta r = 2h/\cos\theta$

lys ring når $\Delta r = n\cdot\lambda$, mørk ring når $\Delta r = (n+1/2)\lambda$

15.11.06

RT er fysikk, ikke "abstrakt matematikk"; i følge Einstein selv (1916):

"Lengder måles på et stivt legeme ved hjelp av en målestav."

"Et kartesisk koordinatsystem består av tre plane, ortogonale overflater festet til et stivt legeme."

"Vi unngår det vage begrepet rom og erstatter det med 'bevegelse relativt til et stivt referanselegeme'."

"Tid er en målbar størrelse definert ved identiske klokkers tikking."

Einsteins spesielle RT (LL 12, TM R, 39, YF 37, DJG 12)

[Generell RT er Einsteins relativistiske gravitasjonsteori.]

Spesiell RT bygger på Einsteins to postulater:

> 1. Relativitetsprinsippet
> Alle fysikkens lover er de samme i alle inertialsystemer.*)

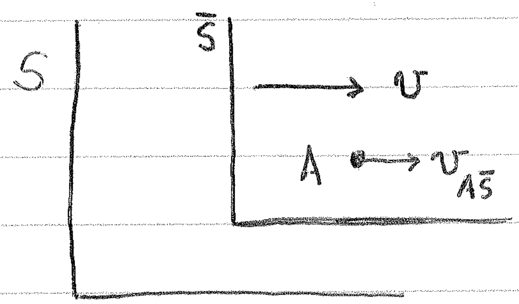
*) Referansesystem der Newtons 1. lov gjelder ($\vec{F} = 0 \Rightarrow \vec{v} = \text{konstant}$)

> 2. Lyshastigheten har samme verdi i alle inertialsystemer.

Nr 1: Kjent/Antatt for klassisk mekanikk (Galileo, Newton), nå utvidet til alle fysikkens lover. Fjerner ideen om et spesielt referansesystem i "absolutt ro".

Nr 2: Forklarer M&M-eksperimentet. (Men usikkert om M&M-eksp. var kjent for Einstein!) Slår fast at måling av lyshastigheten gir samme resultat i alle inertialsystemer.

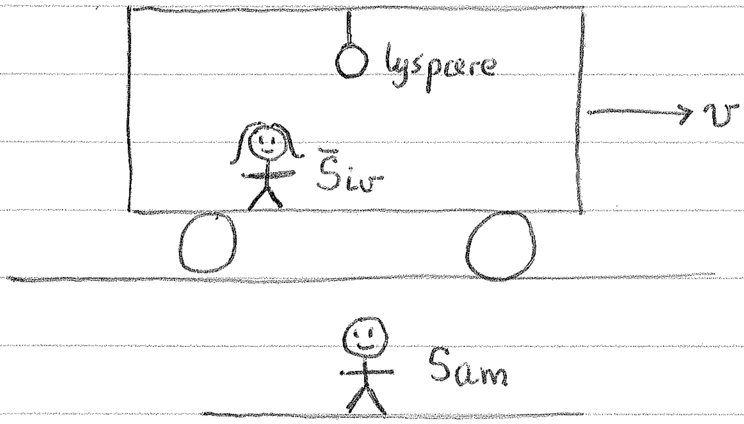
Konsekvenser av 1 og 2:



$\left(= v_{\bar{S}S} = \right.$ hastigheten til $\bar{S}$ i forhold til S)

- samtidighet er relativt: samtidige hendelser i S er ikke samtidige i $\bar{S}$
- tidsdilatasjon: klokker i bevegelse går saktere enn klokker i ro
- lengdekontraksjon: objekter i bevegelse er kortere enn objekter i ro
- ny regel for relative hastigheter: $v_{AS} \neq v_{A\bar{S}} + v_{\bar{S}S}$
- nye regler for $\underbrace{\text{transformasjon}}_{}$ mellom S og $\bar{S}$, av hendelse gitt ved (x, y, z, t) i S og ved $(\bar{x}, \bar{y}, \bar{z}, \bar{t})$ i $\bar{S}$
- nye uttrykk for impuls $\vec{p}$ og energi E for å få prinsippene om impuls- og energibevarelse i samsvar med relativitetsprinsippet

Samtidighet



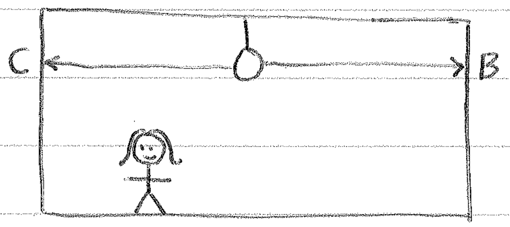
Hendelser:

A lyset slås på

B lyset når frontveggen

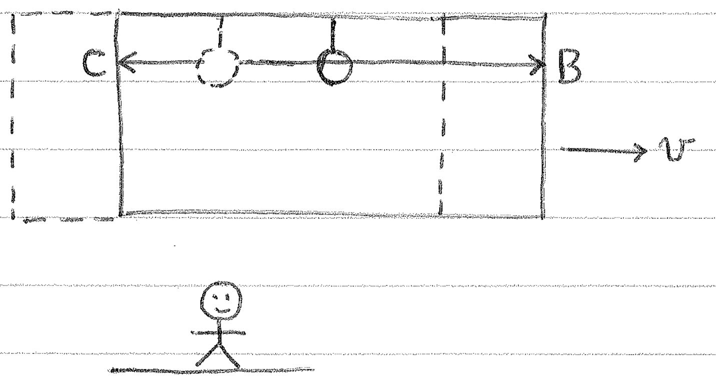
C lyset når bakveggen

Siv:



⇒ B og C samtidige

Sam:



Kortere vei for lyset til bakvegg enn til frontvegg

⇒ C før B

$$\boxed{\text{To hendelser som er samtidige i ett inertialsystem er generelt ikke samtidige i et annet.}}$$

Merk: S̄iv og Sam er <u>flinke</u> observatører som forstår at det de <u>ser</u> kanskje må <u>korrigeres</u> for å bestemme hva de <u>måler</u>. (F.eks. ulik tid brukt av lyset fra C til Sams øyne i forhold til fra B til Sams øyne.)

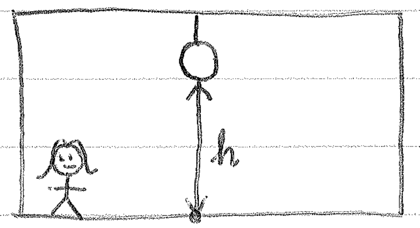
<u>Tidsdilatasjon</u>

Hendelser:

A lyset slås på

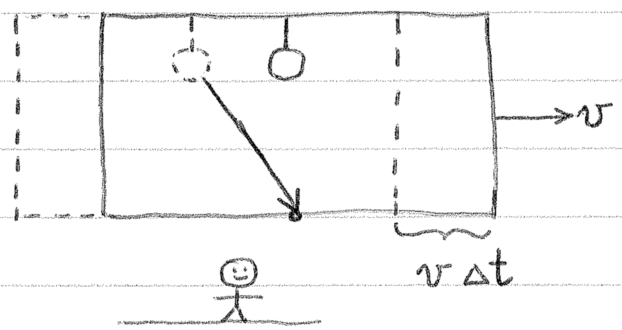
B lyset når gulvet midt i vogna

S̄iv:



$$\Rightarrow \Delta\bar{t} = \frac{h}{c}$$

Sam:



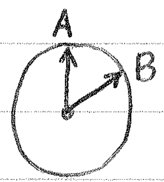
$$\Rightarrow \Delta t = \frac{\sqrt{h^2 + (v\Delta t)^2}}{c} \Rightarrow (\Delta t)^2\left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right) = \frac{h^2}{c^2}$$

$$\Rightarrow \quad \Delta t = \frac{h/c}{\sqrt{1-v^2/c^2}} = \frac{\Delta \bar{t}}{\sqrt{1-v^2/c^2}}$$

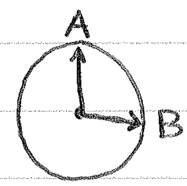
Kortest tid mellom to hendelser måles i det inertialsystemet hvor hendelsene finner sted i faste posisjoner.

eller:

Klokker i bevegelse går saktere enn klokker i ro



Siws klokke



Sams klokke