

## Kapittel 2: Krumlinjet bevegelse

### Vannrett kast

$$v_x = v_0 \quad v_y = -gt$$

$$x = v_0 t \quad y = -\frac{1}{2}gt^2$$

### Skrått kast

$$v_x = v_{0x} \quad v_y = v_{0y} - gt$$

$$x = v_{0x} t \quad y = v_{0y} t - \frac{1}{2}gt^2$$

### Sving uten dossering

$$\vec{U} + \vec{G} = m\vec{a}$$

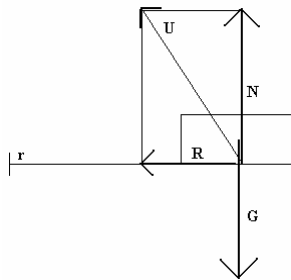
$$N = G$$

$$R = m \frac{v^2}{r}$$

$$R = \mu N = \mu mg$$

$$\mu mg = m \frac{v^2}{r}$$

$$v = \sqrt{\mu rg}$$



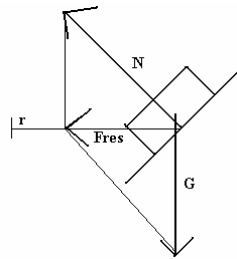
Ved denne farten mister bilen veigrepet, fordi det er bare friksjonen som holder bilen på veien.

### Sving med dossering

$$\vec{F}_{res} = \vec{G} + \vec{N} = m\vec{a}$$

$$\tan \alpha = \frac{F_{res}}{G} = \frac{m \frac{v^2}{r}}{mg} = \frac{v^2}{rg}$$

$$v = \sqrt{rg \tan \alpha}$$



Hvis føreren avpasser farten slik at  $v = \sqrt{rg \tan \alpha}$  er det dosseringen alene som holder bilen på veien.

## Kapittel 3: Bevegelsesmengde

Bevegelsesmengde er produktet av masse og fart. Impuls er av produktet av kraft og tid. Impuls er forandring i bevegelsesmengde.

Når resultanten av de ytre kreftene på et sammenstat system er lik null, er den samlede bevegelsesmengden konstant for systemet.

Et støt er en kortvarig kraftvirkning mellom to gjenstander. Når to gjenstander støter sammen er den samlede bevegelsesmengden bevart.

Et støt er *rett* når alle fartsvektorene er parallelle med samme rette linje.

Et støt er *uelastisk* når den kinetiske energien i systemet er mindre etter støtet enn før støtet.

Et støt er *fullstendig uelastisk* når gjenstandene henger sammen etter støtet.

Et støt er *elastisk* når den kinetiske energien er like stor etter støtet som før støtet.

$$P_{\text{før}} = P_{\text{etter}}$$

$$m_1 u_1 + m_2 u_2 = m_1 v_1 + m_2 v_2$$

For rette elastiske støt kan vi bruke:

$$v_1 + u_1 = v_2 + u_2$$

## Kapittel 4: Gravitasjon

### Verdensbilder

Ptolemaios' geosentriske verdensbilde dominerte gjennom hele middelalderen. Flere astronomer, filosofer og forskere jobbet med det heliosentriske verdensbildet fra 1400-tallet av. Johann Kepler kom frem til løsningen og presenterte sine tre lover.

Keplers første lov: Planetene beveger seg i ellipser som har Solen i det ene brennpunktet.

Keplers andre lov: Den rette linjen fra Solen til en planet sveiper over like store flater i like lange tider.

Keplers tredje lov: Forholdet mellom andre potens av rundetiden  $T$  og tredjepotens av gjennomsnittsavstanden  $r$  fra Solen er like stort for alle planeter.

### Gravitasjonsfeltstyrke

$$\vec{g} = \frac{\vec{G}}{m}$$

### Newtons gravitasjonslov

Newton selv anså gravitasjonsloven som høydepunktet av sin fysikk: To gjenstander tiltrekker hverandre med gravitasjonskrefter som er proporsjonale med massene og omvendt proporsjonale med kvadratet av avstanden mellom dem.

### Satelitter

Ved hjelp av Newtons gravitasjonslov kan vi beregne banene til satelitter og romsonder vi sender opp.

#### Fart og kinetisk energi for satelitt i sirkelbane

$$v = \sqrt{\frac{\gamma M}{r}}$$

$$E_k = \frac{1}{2} \frac{\gamma M m}{r}$$

En satelitt har mindre kinetisk energi jo lengre vekk fra Jorden den sirkler.

#### Potensiell energi

$$E_p = -\frac{\gamma M m}{r}$$

$$E_p \rightarrow 0 \text{ når } r \rightarrow \infty$$

Nullpunktet ligger uendelig langt borte fra Jorden. Det er for at formelen skal bli enklest mulig.

#### Mekanisk energi for satelitt i sirkelbane

$$E = -\frac{1}{2} \frac{\gamma M m}{r}$$

## Mekanisk energi for satellitt i alle typer baner

$$E = \frac{1}{2}mv^2 - \frac{\gamma Mm}{r}$$

Unnslippingsfarten for en gjenstand som er i et gravitasjonsfelt, er den minste farten vi må gi gjenstanden for å få den ut av gravitasjonsfeltet. Unnslippingsfarten for et romskip som kretser rundt Jorden, er lik sirklingsfarten multiplisert med roten av 2.

En geostasjonær satellitt holder seg hele tiden over det samme punktet på ekvator. Den har altså en rundetid som er lik Jordens rotasjonstid.

## Kapittel 5: Elektrisk felt

### Coulombs lov

De elektriske kreftene mellom to ladninger virker på lignende måte som gravitasjonskreftene mellom to masser:  $F = k \frac{Q_1 Q_2}{r^2}$  Kraftene virker langs den rette linjen mellom ladningene.

Elektrisk overskuddsladning som er i ro i en leder, sitter på den utvendige overflaten av lederen.

### Elektrisk feltstyrke

$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q}$  Feltstyrken blir en vektor som er parallell med kraften  $F$ . Når  $q$  er positiv har  $E$  samme retning som  $F$ . Når  $q$  er negativ, har  $E$  motsatt retning av  $F$ .

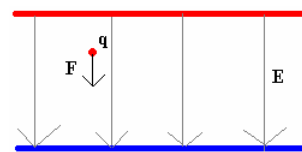
### Prøveladning

En prøveladning er en liten gjenstand med en så liten elektrisk ladning  $q$  at den nesten ikke påvirker ladningsfordelingen på en gjenstand i nærheten.

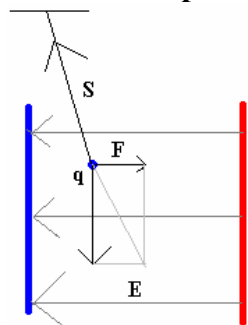
### Homogent felt

Feltstyrken  $E$  har alltid retning fra den positive til den negative platen. Feltstyrken i et homogent felt er

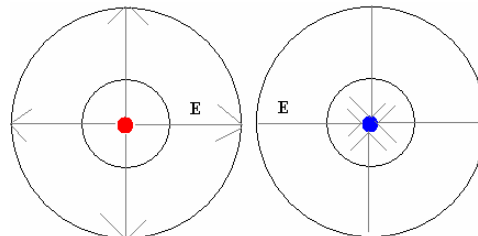
$$E = \frac{U}{d}$$



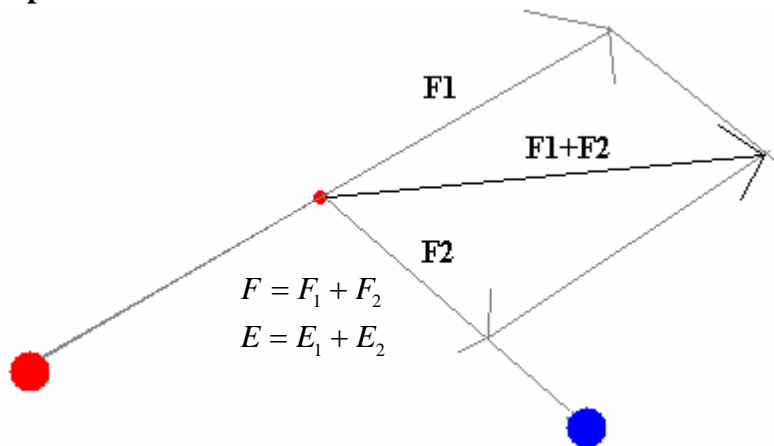
### En elektrisk pendel



### Radielle felt



## Dipolfelt



## Potensiell energi

Den potensielle energien i et homogent felt er  $E_p = qEs$ . Den potensielle energien øker når ladningen flytter seg mot den elektriske kraften, og minker når ladningen flytter seg med den elektriske kraften. Den

potensielle energien i et radielt felt er  $E_p = \frac{kQq}{r}$ .

## Totalenergi

Hvis en partikkel med ladning  $q$  og masse  $m$  beveger seg i et elektrisk felt. Hvis partikkelen bare er påvirket av den elektriske kraften sier vi at partikkelen beveger seg fritt. Da har partikkelen konstant totalenergi. Den totale energien er den kinetiske energien pluss den potensielle energien.

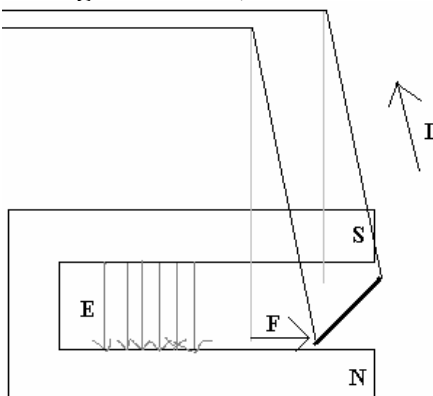
## Kapittel 6: Magnetisk felt

### Magnetisk felt

Feltretningen på et sted i et magnetfelt er den retningen som nordpolen på en kompassnål peker i. Feltlinjene går ut fra nordpolen og inn mot sørpolen på magneten. Feltlinjene ligger tettest der magnetfeltet er sterkest.

### Magnetisk kraft på strømleder

En strømførende leder som står vinkelrett på et homogent magnetfelt, blir påvirket av en magnetisk kraft som er proporsjonal med strømmen i lederen og med lengden av lederen.  $F = I l B$  Hvis vi lurer på hvilke retninger disse har, kan vi bruke høyrehandsregelen. F=tommel, B=bøyde fingre, I=pekefinger



### Ladde partikler i magnetfelt

En ladd partikkel som beveger seg i et magnetfelt, blir påvirket av en magnetisk kraft. Når farten til ladningen står vinkelrett på de magnetiske feltlinjene er kraften  $F = qvB$ . Også her finnes det en høyreregel: F=tommel, B=bøydefingre,  $qv$ =pekefinger. Hvis farten til ladningene ikke står vinkelrett på de magnetiske

feltlinjene er kraften  $F = qvB \sin \alpha$ . Vi ser at den magnetiske kraften er null når farten er parallell med flukstettheten.

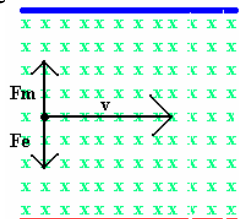
### Kryssete felt

Vi har et homogent magnetfelt med flukstetthet  $B$ , og et elektrisk felt med feltstyrke  $E$  som står vinkelrett på hverandre. Hvis den magnetiske kraften  $F_m$  og den elektriske kraften  $F_e$  er like store vil partikkelen gå rettlinjet gjennom:

$$F_e = F_m$$

$$qE = qvB$$

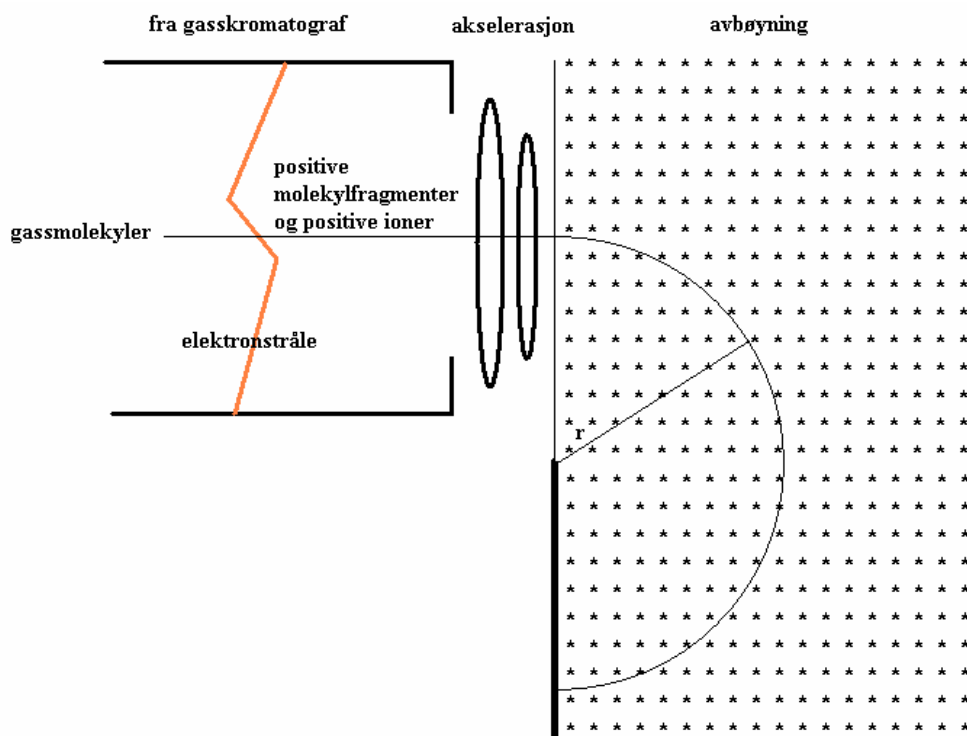
$$v = \frac{E}{B}$$



Hvis farten er til den positive partikkelen øker, øker  $F_m$  og partikkelen blir avbøyd nedover. Hvis farten til den positive partikkelen minker, minker  $F_m$ ,  $F_e$  får overtaket og partikkelen blir avbøyd nedover. Et slikt felt kan derfor brukes til å filtrere sortere ladete partikler etter fart.

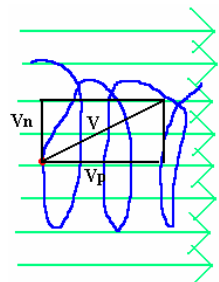
### Sirkelbevegelse

Når farten (bevegelsesretningen) til en ladd partikkel står vinkelrett på feltlinjene i et homogent magnetfelt, følger den ladde partiklen en sirkelformet bane med radius  $r = \frac{mv}{qB} = \frac{p}{qB}$ . Dette brukes i spektrografi.



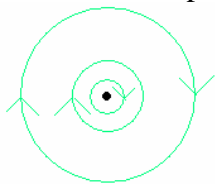
### Skrueformet bane

Hvis en partikkel med positiv ladning blir skutt på skrå inn i et homogent magnetfelt med flukstetthet  $B$ , vil partikkelen få en skrueformet bane. Hadde  $V_n$  vært alene ville ladningen fått en sirkelbane. Hadde  $V_p$  vært alene ville ladningen beveget seg med konstant fart parallelt med  $B$ . Disse sammen gir en skruebevegelse.



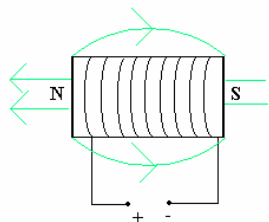
## Magnetfelt rundt strømledere

Hans Christian Ørsted kom med den avgjørende oppdagelsen i jakten på sammenhengen mellom elektrisitet og magnetisme. Ørsteds lov: De magnetiske feltlinjene rundt en rettlinjet strømleder er sirkler med sentrum i lederen. Sirkelplanet står vinkelrett på lederen. Høyrehåndsregel: I=tommel, B=resten.



## Strømspoler

Vi kan bruke Ørsteds lov til å lage sterke elektromagneter. Homogent felt inne i en strømspole.



Høyrehåndsregel: B=tommel, I=resten.

## Magnetisme

Ampères hypotese: Alle magnetfelt skyldes elektriske strømmer. Det er strømmer inne i molekylene som frembringer magnetisme i jern og andre magnetiske stoffer.

Hvis vi legger et jernstykke i spolen vil domenene i jernet orientere seg i samme retning som feltretningen i spolen. Elektromagneten vil bli sterkere.

## Teltronrør

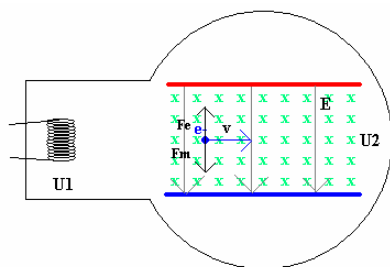
Vi regulerer spenningen i elektronkanonen slik at farten blir slik at elektronene går rettlinjet gjennom de kryssende feltene.

Da er farten til elektronene:

$$F_e = F_m$$

$$qE = qvB$$

$$v = \frac{E}{B}$$



Videre er:

$$E_k = \frac{1}{2}mv^2 = eU$$

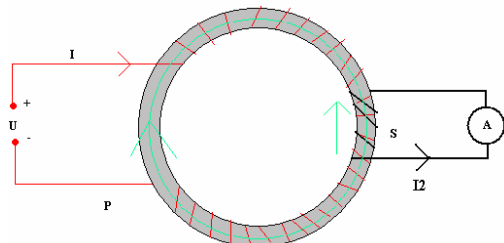
$$\frac{1}{2}m\left(\frac{E}{B}\right)^2 = eU$$

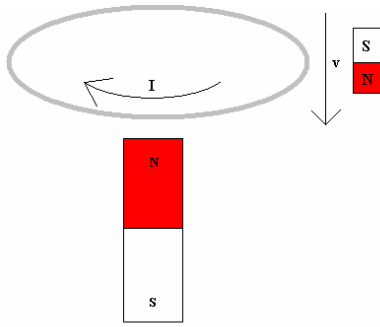
$$m = \frac{2eUB^2}{E^2}$$

## Kapittel 7: Induksjon

### Faradays ring og Lenz' regel

De isolerte ledningene rundt metallringen danner en primærspole og en sekundærspole. Hvis vi øker I blir magnetfeltet i den primære spolen sterkere. Endringen i magnetfeltet vil induisere en strøm i den sekundære spolen. Det vil oppstå et magnetfelt i den sekundære spolen som motvirker magnetfeltet i den primære spolen.

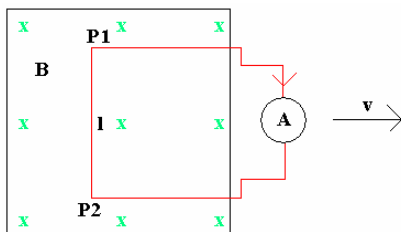




I dette tilfellet hvor en spole beveger seg nedover mot magneten vil det induseres en strøm som er slik at spolen får nordpolen nærmest nordpolen på magneten. Strømmen går derfor mot venstre. Når ringen har falt slik at den beveger seg bort fra magneten igjen vil det motsatte skje.

### Indusert spenning

Når et retlinjet lederstykke beveger seg vinkelrett på et magnetfelt og vinkelrett på sin egen lengderetning blir det induert en elektromotorisk spenning.

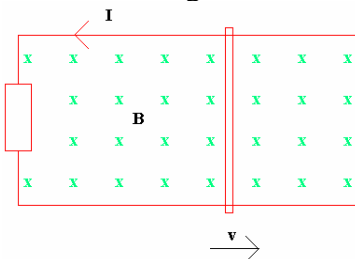


Vi vet at kraften skal motvirke årsaken til induksjonen. Den magnetiske kraften  $F$  må derfor virke motsatt vei av farten  $v$ . Da kan vi bruke høyrehåndsregel på partiklene i lederstykket for å finne strømretning. Vi ser at strømmen går med urviseren i kretsen.

$$ems = vBl$$

### Faradays induksjonslov

Når vi drar det bevegelige lederstykket mot høyre, øker den magnetiske fluksen  $\Phi$  fordi arealet  $A$  øker:  $\Phi = BA$ . Det blir da induert en strøm som etter høyrehåndsregelen går mot urviseren, fordi kraften vil motvirke bevegelsen av endestykket.



Når lederstykket beveger seg mot høyre, øker arealet av rektangelet med  $\Delta A = l\Delta s$ . Da øker fluksen med  $\Delta\Phi = B\Delta A = Bl\Delta s = Blv\Delta t = |\varepsilon| \Delta t = -\varepsilon\Delta t$ . Emsen er negativ fordi når fluksen øker blir induksjonsspenningen negativ.

Når lederstykket beveger seg mot venstre, minker arealet av rektangelet med  $\Delta A = l\Delta s$ . Da minker fluksen med  $\Delta\Phi = B\Delta A = -Blv\Delta t = -\varepsilon\Delta t = -\varepsilon\Delta t$ . Emsen er positiv fordi når fluksen minker blir induksjonsspenningen positiv, men krymping av arealet medfører minustegnet.

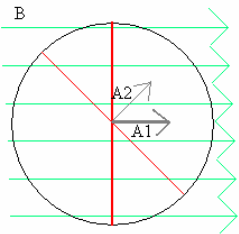
$$\varepsilon = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$$

$$\lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = \Phi'(t)$$

$$\varepsilon = -\Phi'(t)$$

### Indusert vekselspenning

I en elektrisk generator roterer en spole i et konstant magnetfelt slik at fluksen varierer med tiden. Det blir da induert en elektromotorisk spenning i spolen.



$$\varepsilon(t) = -N\Phi'(t) = -NBA(\cos \omega t)' = -NBA(-\sin \omega t)\omega = NBA\omega \sin \omega t$$

$$\varepsilon(t) = \varepsilon_m \sin \omega t$$

Når vi kobler spolen til en ytre strømkrets får vi vekselstrøm i kretsen. Strømmen og spenningen varierer i takt.

$$U(t) = U_m \sin \omega t$$

$$I(t) = I_m \sin \omega t$$

$$P = U_e I_e$$

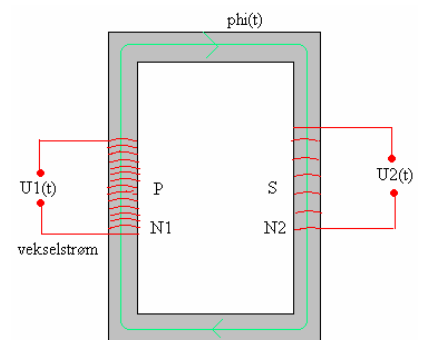
### Transformator

Effekttapet i overføring av elektrisk energi kan skrives som  $\Delta P = RI_e^2$ .

Effekttapet blir minst når I er liten. Fordi  $P = U_e I_e$ , blir effekttapet minst når spenningen er stor. Derfor transformeres spenningen opp før transport og ned etter transport. Fra venstre kommer vekselstrøm, slik at magnetfeltet i jernet varierer. Dermed induseres det en vekselspenning  $U_2(t)$  i sekundærspolen.

$$\frac{U_{e_2}}{U_{e_1}} = \frac{N_2}{N_1}$$

$$\frac{I_2}{I_1} = \frac{N_1}{N_2}$$



### Elektromagnetiske bølger

Alle elektromagnetiske bølger har lysfarten i vakuum. I en elektromagnetisk bølge er vektorene for elektrisk feltstyrke og magnetisk fluksitetthet vinkelrett på hverandre og på bølgens fartsretning.

## Kapittel 8: Relativitetsteori

Man antar at det er umulig å måle absolutt bevegelse, så vi holder oss til relativ bevegelse. Da må vi velge en referansegjenstand og et koordinatsystem som er i ro i forhold til referansegjenstanden. Et slikt koordinatsystem kaller vi et referansesystem.

Et treghetssystem er et referansesystem der treghetsloven gjelder. Dvs. at når resultanten av kreftene på en gjenstand i referansesystemet, vil gjenstanden være i ro eller ha konstant fart langs en rett linje.

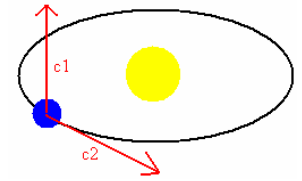
Alle lover har samme form i alle treghetssystemer.

Alle treghetssystemer beveger seg med konstant fart i forhold til hverandre. / Et referansesystem som beveger seg med konstant fart i forhold til et treghetssystem er også et treghetssystem.

På 1800-tallet trodde man addisjonssetningene for posisjon og fart (gallileiformlene) var riktige, men det viste seg å være galt. Et fly med fart  $v$  i forhold til bakken skyter en rakett med farten  $v_1$  i forhold til flyet. Da har raketten farten  $v+v_1$  i forhold til bakken. En lampe som sitter på flyet sender ut lys med farten  $c$ , men lysets fart i forhold til bakken er ikke  $v+c$ , men  $c$ ! (Lysfarten må jo ha samme verdi i alle treghetssystemer.)

## Michelson-Morley-forsøket

Amerikanerne målte  $c_1$  og  $c_2$ , men fant ingen forskjell. Flere forskere gjentok forsøket med samme resultat. Man konkluderte med at  $c_1=c_2=c$  og at lysfarten i forhold til Jorden har samme verdi i alle retninger. Gallileiformlene var altså gale.



## Det spesielle relativitetsprinsippet

Einstein publiserte i 1905 den spesielle relativitetsteorien. Teorien bygger på to postulater:

1. Fysikkens lover har samme form i alle treghetssystemer.
2. Lysfarten i vakuum har samme verdi i alle treghetssystemer.

Einstein mente at alle fysikkens lover gjaldt på samme måte i alle treghetssystemer. Før hadde man bare tenkt slik om mekanikken. Postulat 2 som var støttet opp av Michelson-Morley-forsøket avvek fra mekanikken. Begge postulatene er styrket i nyere tid.

## Samtidige hendelser

To hendelser som skjer samtidig i ett treghetssystem, skjer ikke samtidig i et treghetssystem som beveger seg i forhold til det første. To lyn slår ned samtidig i to punkter (A og B) på en jernbanelinje. Et tog med stor konstant fart befinner seg nøyaktig mellom disse punktene ved nedslag.

Vi står ved siden av jernbanelinjen i M1 og ser lysene fra nedslagene samtidig. Vi konkluderer med at lynene slo ned samtidig.

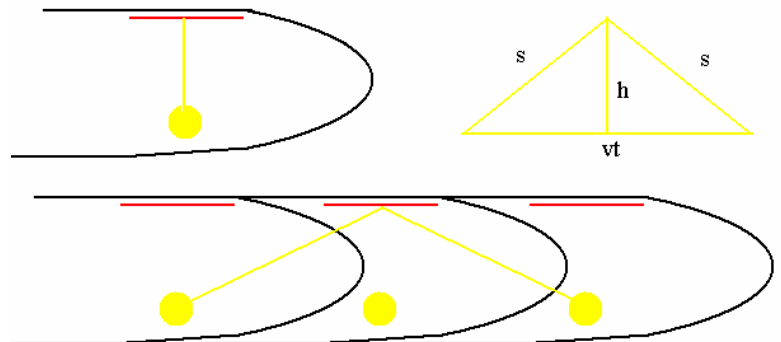
En passasjer på toget som sitter i punktet M2 vil se lyset fra nedslaget i punkt B først. Denne passasjeren vil konkludere med at lynet slo ned i B først.

Samtidighet er et relativt begrep.

## Tidsforlengelse

Sett fra flyet går lysstrålen i en rett linje normalt på speilet opp og ned. Altså lengden  $2h$ . Sett fra bakken starter og returnerer lyset i to forskjellige punkter. Sett fra bakken går lysstrålen en lengre vei,  $2s$ . Siden lysfarten er konstant, bruker lyset også lengre tid.

Når en klokke viser  $t_0$  i systemet som er i ro, måler vi tiden  $t = \gamma t_0$  i systemet der den har farten  $v$ .



En partikkel som beveger seg har lengre levetid enn en partikkel som er i ro. Hvis levetiden er  $t_0$  når partikkelen er i ro, så er levetiden  $t = \gamma t_0$  når partikkelen beveger seg med farten  $v$ .

## Bevegelsesmengde