

# De relativiteitstheorieën van Einstein

## De speciale relativiteitstheorie (1905)

De speciale relativiteitstheorie is de eenvoudigste theorie die Einstein heeft bedacht. De theorie geldt alleen voor eenparige bewegingen en is gebaseerd op 2 principes

- 1. in elk eenparig bewegend systeem gelden dezelfde natuurwetten als in een stilstaand systeem**  
(met geen enkele meting in een afgesloten ruimte kan worden vastgesteld of je met een eenparige snelheid beweegt of dat je stil staat)
- 2. in elk eenparig bewegend systeem is de lichtsnelheid hetzelfde** (in vacuüm)

(een eenparige beweging = een beweging met een constante snelheid in een rechte lijn)

In een eenparig bewegend systeem geldt, gezien vanuit een stilstaand systeem:

- licht plant zich rechtlijnig voort
- klokken tikken langzamer
- lengtes worden korter
- massa's nemen toe

## De algemene relativiteitstheorie (1915)

De algemene relativiteitstheorie geldt ook voor versnelde bewegingen en is eveneens gebaseerd op 2 principes

- 1. zwaartekracht en versnelling zijn equivalent**  
(met geen enkele meting in een afgesloten ruimte kan worden vastgesteld of je eenparig wordt versneld, of dat er een zwaartekrachtveld aanwezig is)
- 2. ruimte en tijd worden op dezelfde manier behandeld**

(een eenparige versnelling = een constante versnelling in een rechte lijn)

Bij een eenparige versnelling of in een zwaartekrachtveld geldt, gezien vanuit een stilstaand systeem:

- de tijd vertraagt
- lichtstralen worden gekromd (het licht van een ster wordt afgebogen door de zwaartekracht van de zon)
- de ruimtetijd is gekromd

Bij gelijktijdige gebeurtenissen is de ruimtetijd hetzelfde. De ruimtetijd wordt bepaald door 4 dimensies, namelijk 3 dimensies in de ruimte en 1 dimensie in de tijd.

**tijd = afstand** (en omgekeerd)

- 1 lichtjaar = de afstand die het licht in 1 jaar aflegt =  $9,46 \times 10^{12}$  kilometer, dat is ruim 63 000 keer de afstand aarde – zon
- 1 lichtvoet = de afstand die het licht in 1 nanoseconde aflegt = 30 centimeter (1 nanoseconde = 1 miljardste seconde)

## De speciale relativiteitstheorie

voorbeeld:

In een vliegtuig dat met een eenparige snelheid vliegt, gelden dezelfde natuurwetten als in een vliegtuig dat op de grond staat. Voorwerpen vallen loodrecht naar beneden, men kan zonder morsen vloeistof in een glas schenken en de vloeistof blijft netjes in het glas zitten met een horizontaal oppervlak. Het maakt daarbij dus niet uit of het vliegtuig vliegt of dat het op de grond staat. Als je in een vliegtuig zit, en je kan niet naar buiten kijken, dan lijkt het net of het vliegtuig stil staat. Met geen enkele meting **in** het vliegtuig kan worden vastgesteld of het vliegt of dat het stilstaat.

Snelheid is nooit absoluut, het is altijd een snelheid ten opzichte van iets anders, dus relatief. Vandaar de naam van de theorieën.

Einstein trok de volgende conclusie:

**Als alle natuurwetten geldig zijn in een eenparig bewegend systeem, dan geldt dat ook voor de lichtsnelheid.**

Dus de lichtsnelheid is in elk eenparig bewegend systeem hetzelfde.

Dat leidt tot een schijnbare tegenstrijdigheid. Einstein neemt als voorbeeld een trein. In een rijdende trein is de lichtsnelheid hetzelfde als er buiten, terwijl de trein zich met grote snelheid verplaatst.

Dat kan alleen verklaard worden, als de afstanden en de tijd **in** de rijdende trein anders zijn dan er buiten, **gezien vanuit een stilstand systeem**.

De aarde draait met een snelheid van 30 kilometer per seconde in een baan om de zon. **Michelson** en **Morley** maakten in 1887 een interferometer. Hiermee kon het verschil in lichtsnelheid, in de richting van de baan om de zon en loodrecht daarop zeer nauwkeurig worden gemeten. De uitkomst van de metingen was zeer verrassend:

**de lichtsnelheid is in alle richtingen altijd hetzelfde**

Einstein noemt daarom de lichtsnelheid  $c$  (= constant)

## De formule van Einstein:

$E = mc^2$        $E$  = energie       $m$  = massa       $c$  = de lichtsnelheid

Uit deze formule volgt:

**1 kilogram massa is equivalent aan 25 miljard kilowatt-uur**

## Massa en gewicht

**Massa** is een maat voor de hoeveelheid materie. **Gewicht** is de kracht waarmee materie door de zwaartekracht van de aarde wordt aangetrokken. Op de aarde is de zwaartekracht niet overal even groot en het gewicht dus ook niet. De massa is wel overal hetzelfde. Het gewicht van massa is gedefinieerd bij een versnelling van de zwaartekracht van 9,81 meter per seconde<sup>2</sup>

De eenheid van massa is de kilogram.

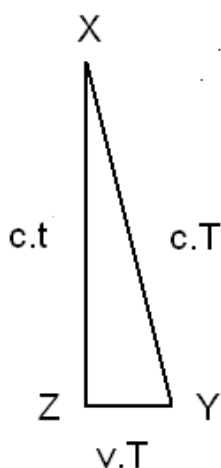
## Een paar wetenswaardigheden

- Bij kernsplijting van Uranium 235 wordt ongeveer 1 promille van de massa omgezet in energie.
- Bij kernfusie van de isotopen Deuterium en Tritium wordt ongeveer 4 promille van de massa omgezet in energie
- Bij de atoombom op Japan werd slechts 1 gram materie omgezet in energie. De hoeveelheid energie die daarbij vrij kwam was 25 miljoen kilowatt-uur.

**Berekening van de tijdvertraging in een eenparig bewegend systeem, gezien vanuit een stilstaand systeem** (zie onderstaande tekening)

- Stel, in een trein is aan het plafond (bij **X**) een laser gemonteerd die loodrecht naar beneden schijnt. (naar **Z**)
- Voor iemand die in de trein zit maakt het niets uit, of de trein stil staat of rijdt, het licht schijnt steeds loodrecht naar beneden.
- Naast de spoorbaan staat een man. Als de trein op volle snelheid langs komt rijden, ziet hij dat de lichtstraal in de trein schuin naar beneden gaat (van **X** naar **Y**, want terwijl het licht naar beneden gaat, legt de trein een kleine afstand van **Z** naar **Y** af)

De man naast de spoorbaan ziet dus, dat het licht in een rijdende trein een grotere afstand aflegt, dan wanneer de trein stilstaat. Omdat de lichtsnelheid constant is, kan de enige conclusie zijn, dat de tijd in de rijdende trein langzamer verloopt dan in een stilstaande trein, **gezien vanuit het standpunt van de man naast de spoorbaan**. Het verschil is uiterst gering, want de lichtsnelheid is 10 miljoen keer zo groot als de snelheid van de trein.



- c** = de lichtsnelheid (= 300.000 kilometer per seconde)
- v** = de snelheid van de trein
- t** = de tijd waarin het licht van **X** naar **Z** gaat, als de trein stil staat
- T** = de tijd waarin het licht van **X** naar **Y** gaat, als de trein rijdt. In diezelfde tijd gaat de trein van **Z** naar **Y**

Volgens Pythagoras geldt:

$$(c.T)^2 = (c.t)^2 + (v.T)^2$$

hieruit volgt;

$$T = t \text{ gedeeld door } \sqrt{1 - v^2/c^2}$$

De tijdvertraging als gevolg van de snelheid van een voertuig wordt pas merkbaar bij snelheden die in de buurt liggen van de lichtsnelheid

Stel  $v = 0,6c$  dan wordt  $(1 - v^2/c^2) = 0,64$  en de wortel hieruit = 0,8  
 Dan is  $T = t / 0,8$

De factor  $\sqrt{1 - v^2/c^2}$  komt men steeds tegen in de speciale relativiteitstheorie van Einstein, zowel bij de contractie van voorwerpen in de bewegingsrichting als in de toename van de massa bij snelheden die de lichtsnelheid benaderen. De factor wordt nul bij de lichtsnelheid en daarom moet de conclusie zijn, dat er geen hogere snelheden bestaan dan de snelheid van het licht

bron: Einstein voor Dummies  
 Einstein: "mijn theorie" (geschreven door de meester zelf)  
 Creatief denkwerk, Jan Moerbeek