De relativiteitstheorie voor dummies

Een totaal andere benadering

Inhoudsopgave

Henk Druiven, 28 september 2014

[Wikipedia] *De speciale relativiteitstheorie werd ontwikkeld in 1905 door Albert Einstein. Deze theorie gaat uit van o.a. het volgende postulaat: De lichtsnelheid in vacuüm is een universele constante, oftewel: waarnemers in inertiaalstelsels meten voor de lichtsnelheid in vacuüm altijd 299.792.458 m/s, onafhankelijk van hun onderlinge (relatieve) beweging.*

Niemand twijfelt uiteraard aan dit postulaat, het volgt immer direct uit de Maxwelvergelijkingen. Maar die verklaren echter niet **waarom** dit zo is.

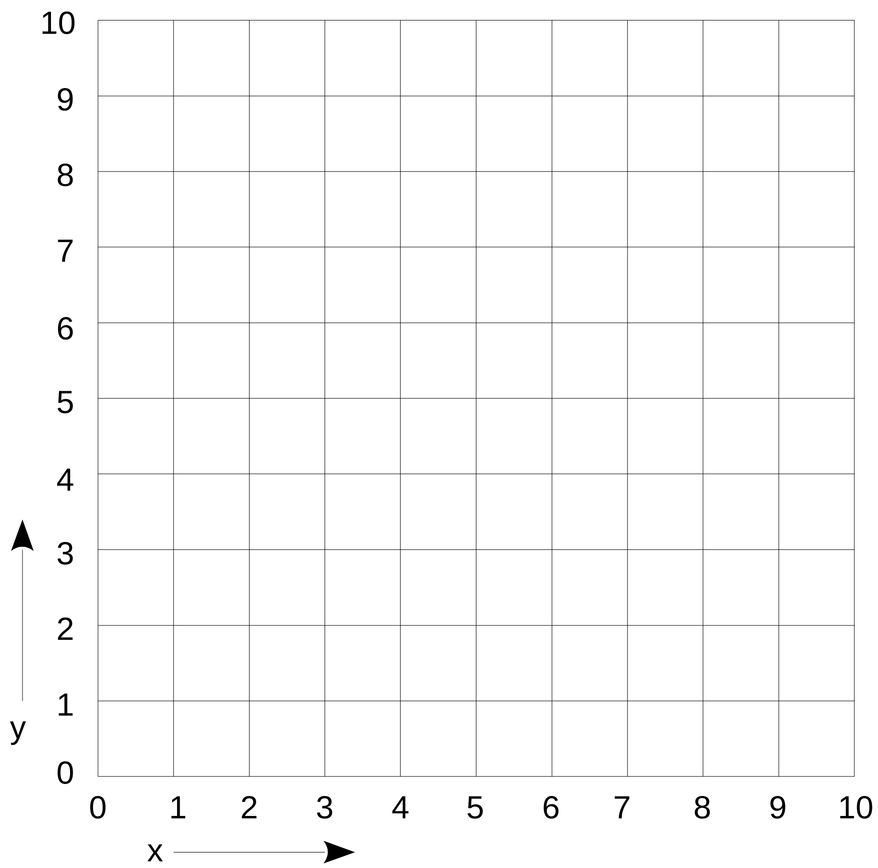
De ruimte in twee dimensies.

Stel je een tweedimensionale ruimte voor met een x- en een y-as. De derde dimensie laten we in dit voorbeeld weg, maar door de symmetrie geldt voor de z-as het zelfde als voor de x- en y-as.
In deze ruimte (de D-ruimte) bestaat tijd niet als aparte dimensie maar is deze volledig met de ruimte verstrengeld, met dien verstande dat een afstand van 300.000 km overeenkomt met 1 seconde. Het maakt niet uit in welke richting je die afstand aflegt.

De D-ruimte verschilt van de Minkowski-ruimte waar we gewend aan zijn. Zo heeft de Minkowski-ruimte een aparte dimensie voor tijd en is een groot deel van de ruimte verboden gebied. Snelheden zijn gelimiteerd aan 300.000 km/s (c).

In de D-ruimte is geen gebied verboden en zijn snelheden niet gedefinieerd.

We verdelen de x- en de y-as voor het gemak op in seconden.

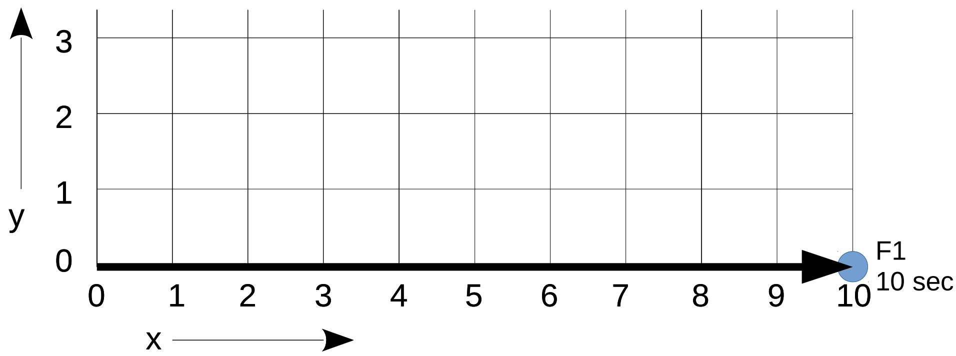


Twee soorten deeltjes

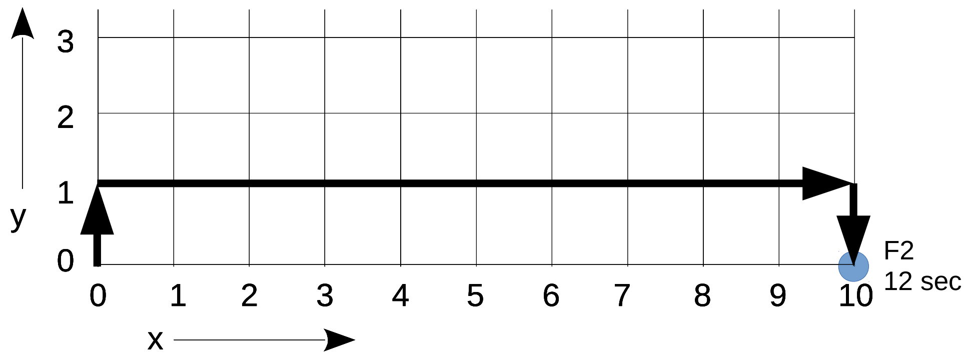
In deze ruimte bestaan twee soorten deeltjes. Eén type kan zich alleen rechtlijnig voortbewegen, zoals een foton. Het andere type bestaat uit elementaire materiedeeltjes.

Een foton

Stel nu dat een foton een weg aflegt die gaat van 0,0 (x,y) naar 10,0 dan heeft de foton dus 10 seconden ofwel 3.000.000 km afgelegd.

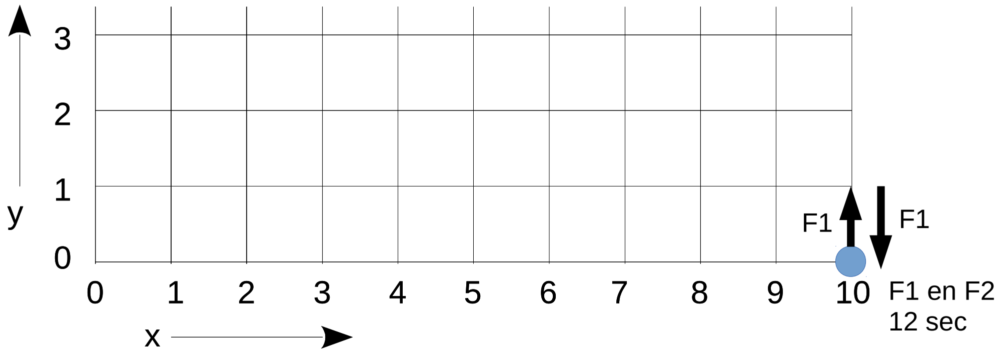


Stel dat een tweede foton een weg aflegt van 0,0 (x,y) naar 0,1 naar 10,1 naar 10,0 (totaal 12) dan bevindt dat tweede foton zich op de zelfde ruimtecoördinaten als het eerste foton. Ze kunnen elkaar echter niet zien want het tweede foton heeft een afstand afgelegd van 12 seconden.



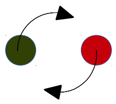
Je kunt dat vergelijken met twee personen die afspreken elkaar onder de Eiffeltoren te ontmoeten. Als ze verzuimen daar een tijd bij af te spreken dan zal de kans niet erg groot zijn dat ze elkaar daar treffen. Pas als ze nauwkeurig een tijd met elkaar afspreken zal de ontmoeting plaatsvinden.

Het eerste foton kan het tweede foton weer treffen als deze nog een afstand aflegt van 2 seconden, bijvoorbeeld door te reizen van 10,0 naar 10,1 en weer naar 10,0.

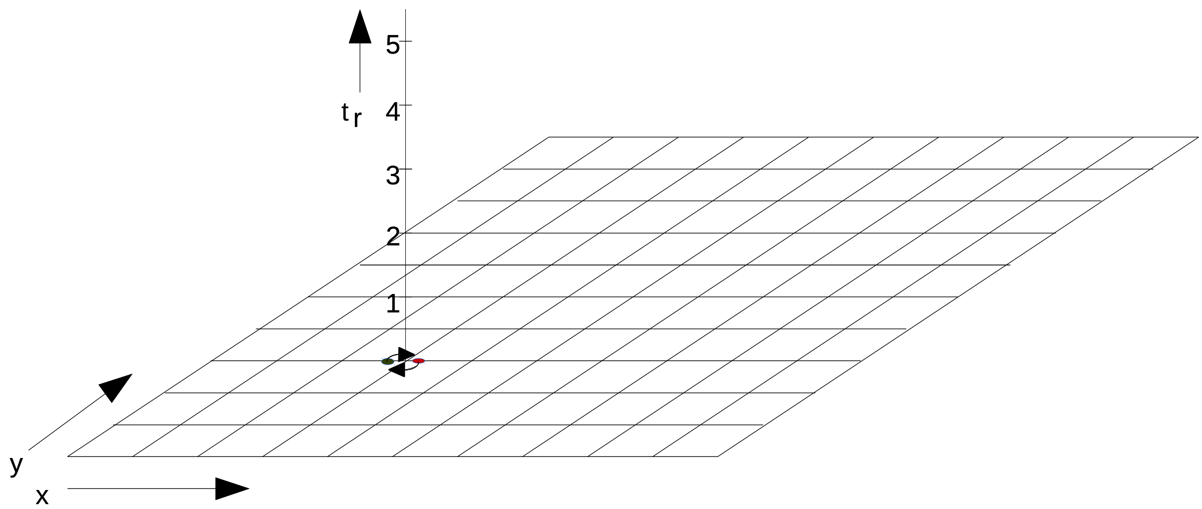


Een elementair materiedeeltje

Stel het elementaire materiedeeltje voor als bestaande uit twee individuele deeltjes die om een gemeenschappelijk punt draaien. Doordat deze twee deeltjes elkaar aantrekken houden ze elkaar in de zelfde baan.
In werkelijkheid zit een elementair materiedeeltje veel ingewikkelder in elkaar maar voor deze uitleg voldoet dit model. Houd er rekening mee dat deze bouwstenen zeer klein zijn. Zo bestaat een neutron of proton uit drie quarks en de afmeting van een neutron of proton is al kleiner dan $2.10^{-15} m$.



Door de rotatie legt ook dit deeltje een afstand af. Het is uiteraard lastig om de afstand die door rotatie wordt afgelegd in het vlak van de ruimte af te beelden. We gebruiken daarom een hulpas die loodrecht staat op de ruimtedimensies van ons vlak. t_r is hier de verplaatsing van het materiedeeltje t.g.v. zijn rotatie in seconden. Let wel, het gaat hier om een hulpas, de beweging van het materiedeeltje vindt geheel plaats in de tweedimensionale ruimte.



Stel je nu een waarnemer voor die uit meer dan een miljard maal een miljard maal een miljard van dit soort deeltjes is opgebouwd. Uiteraard is hij/zij zich niet bewust van de rotatie van de elementaire deeltjes maar merkt wel op dat op een gegeven moment een bepaalde tijd is verstreken.

Een waarnemer en een foton

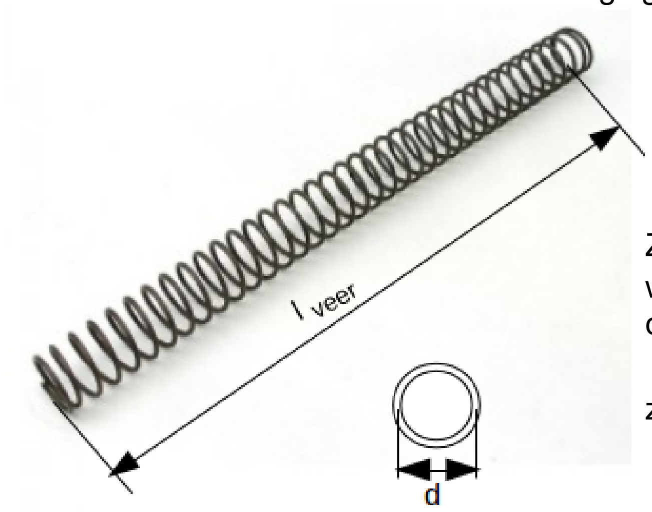
Stel nu dat deze waarnemer een foton wegstuurt die op een afstand van 10 door een spiegel wordt gereflecteerd. We gaan er vanuit dat de waarnemer weet dat deze spiegel zich op een afstand van 10 seconden bevindt. Om elkaar weer te ontmoeten moeten beide de zelfde afstand/tijd hebben overbrugd. Als het foton terugkeert bij de waarnemer hebben ze 20 seconden (ofwel 6.000.000 km) afgelegd. Het foton een rechte weg en de elementaire deeltjes van de waarnemer door rotatie.
De waarnemer zal nu concluderen dat het foton de weg van 6.000.000 km in 20 seconden heeft afgelegd en dus voor de waarnemer een snelheid heeft van 300.000 km/s, de zogenaamde lichtsnelheid c.

Een waarnemer, een reiziger en twee klokken

In mijn volgende voorbeeld gaan we uit van een waarnemer, een reiziger en twee klokken. Uiteraard zijn de waarnemer, de reiziger en de klokken samengesteld uit de zelfde elementaire materiedeeltjes en dus gaan alle vier even snel door de tijd. Als voor de waarnemer en de reiziger een seconde is verstreken dan is dat ook het geval voor de beide klokken.

We laten nu een reiziger een bepaalde weg afleggen in onze D-ruimte. De reiziger neemt een klok mee en er blijft er een achter bij de waarnemer op het punt van vertrek. De elementaire materiedeeltjes van de reiziger en zijn klok leggen een afstand af die bepaald wordt door de rotatie t_r en door de lineaire afgelegde weg t_l . Beide mogen niet zonder meer bij elkaar worden opgeteld.

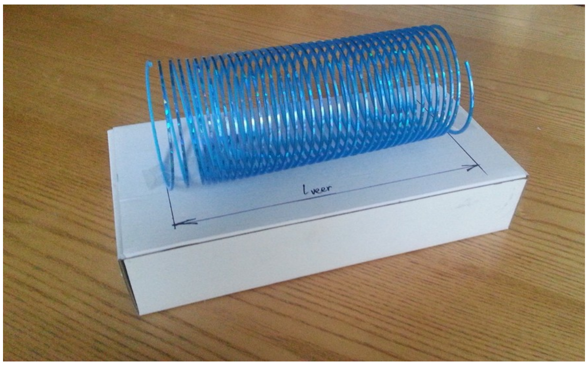
Het toeval wil (maar misschien heeft de schepper dit wel zo bedoeld) dat de totaal afgelegde weg bepaald wordt door $t_t=\sqrt{t_r^2+t_l^2}$ (zie hier). Het maakt niet uit welke hoek het vlak van de rotatie maakt met de lineaire beweging.

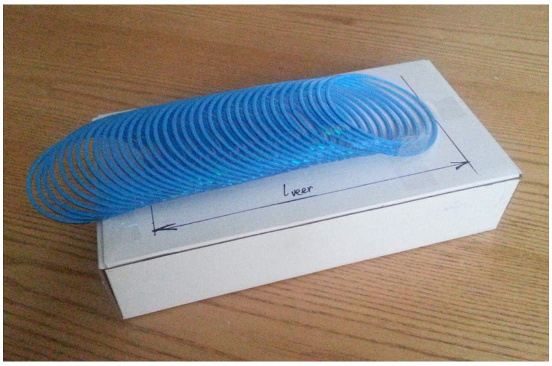


Zo wordt de lengte van de draad (l_{draad}) waarvan deze veer is gemaakt bepaald door de diameter d , het aantal omwentelingen n en de lengte l_{veer} van de veer en wel zo dat $l_{draad}=\sqrt{(d.\pi.n)^2+l_{veer}^2}$
$(d.\pi \text{ is de omtrek van de veer})$

Om duidelijk te maken dat de hoek van het vlak van de rotatie niet belangrijk is heb ik hier twee foto's van de zelfde veer. Een met de rotatie haaks op de lengte van de veer en een met het vlak van de rotatie bijna gelijk aan het vlak van de lengte van de veer.

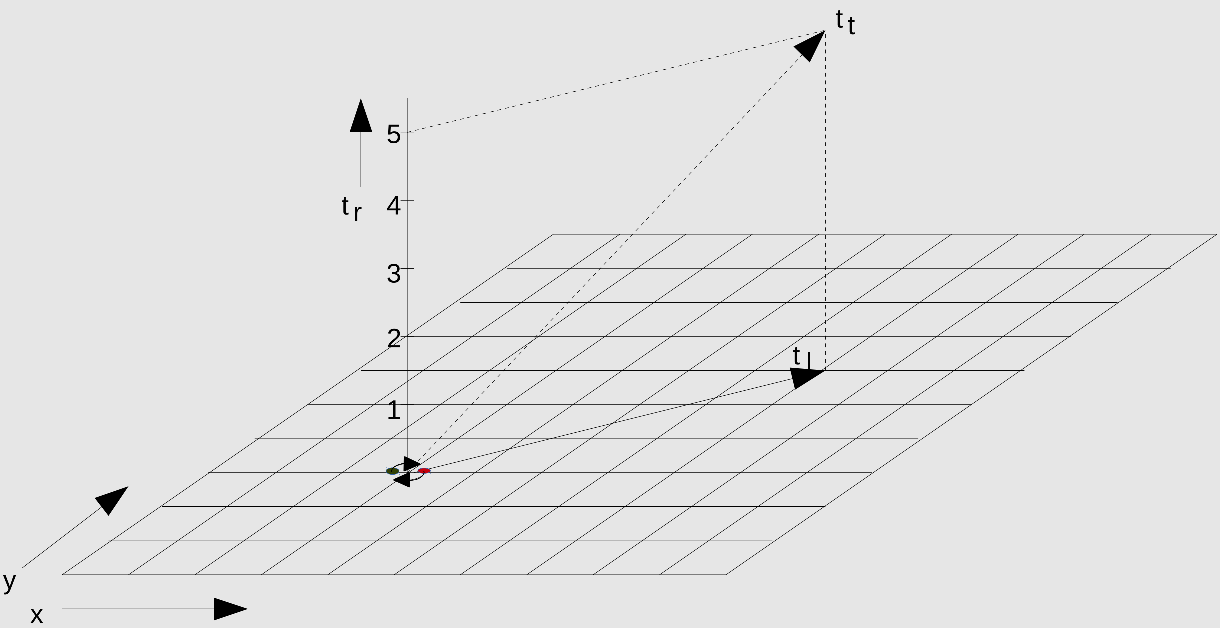
Uiteraard is de lengte van de draad waaruit de veer gemaakt is in beide gevallen gelijk.





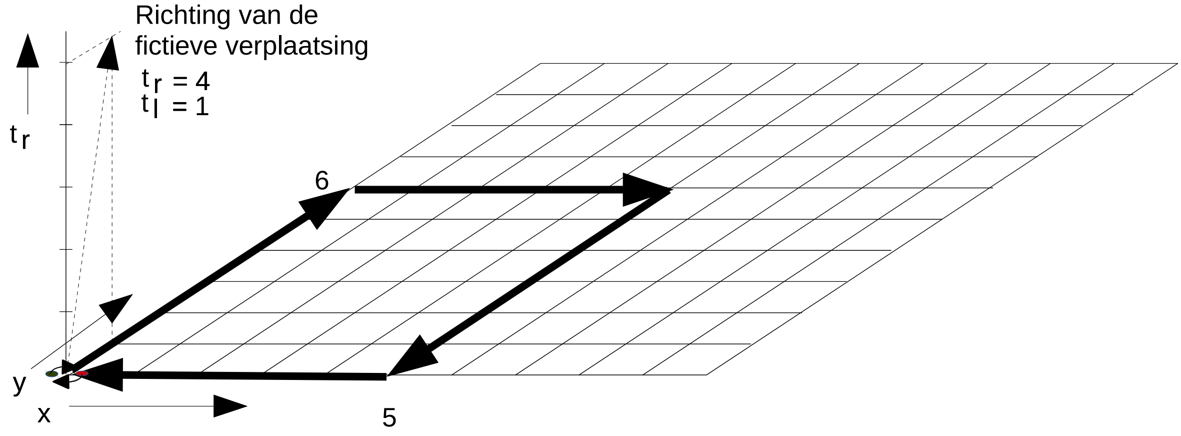
De afgelegde weg van een materiedeeltje

Als we de afgelegde weg door rotatie van het materiedeeltje afzetten op een hulpas loodrecht op de tweedimensionale ruimte dan is de lengte van de totaal afgelegde weg gelijk aan de schuine zijde van de gevormde driehoek. Grafisch ziet dat er als volgt uit:



Ook hier geldt dat de afgelegde weg geheel door de ruimte wordt afgelegd. Het is verleidelijk om aan de hulpas de zelfde waarde toe te kennen als van de ruimteassen. Er geldt immers een symmetrie: $t_t = \sqrt{t_x^2 + t_y^2 + t_r^2}$. Het lijkt er op dat t_r de zelfde functie vervult als t_x en t_y , maar dat berust (min of meer) op toeval.

Stel dat een reiziger een weg aflegt van 0,0 naar 0,6 naar 5,6 naar 5,0 en tenslotte terugkeert bij de klok en een waarnemer op 0,0 (coördinaten zijn voor vertrek uitgezet). In dit voorbeeld is de verhouding tussen t_r en t_l zo dat als $t_r=4$ dan $t_l=1$, de reiziger legt dus een afstand af van 300.000 km in 4 seconden en interpreteert zijn snelheid dus als 75.000 km/s. Totaal legt de reiziger een afstand af van $22x\,300.000\,km$ in $88\,sec$.



In totaal heeft de reiziger met zijn klok door de rotatie en de lineaire verplaatsing een afstand (alles in seconden) afgelegd van $t_t=\sqrt{22^2+88^2}=90{,}7\,seconden$. De klok en de waarnemer die zijn achtergebleven ontmoeten elkaar als ook zij een tijd hebben afgelegd van 90,7 seconden. De klok van de reiziger staat echter op 88 seconden.
(De klok van de reiziger zal weliswaar sneller door de tijd van de ruimte gaan maar zal daardoor niet sneller gaan lopen.)

De waarnemer interpreteert de snelheid van de reiziger als $\frac{6.600.000}{90{,}7}=72.767\,km/s$

De waarnemer en de reiziger zijn het dus niet eens over de tijd en dus de snelheid waarmee de reiziger de afstand heeft afgelegd, respectievelijk (90,7 seconden en 72.767 km/s) en (88 seconden en 75.000 km/s).

In dit voorbeeld zijn we er van uitgegaan dat de reiziger geen tijd nodig had om zijn snelheid te bereiken. Dit is in de praktijk uiteraard niet haalbaar. Ook zijn in dit voorbeeld de afstanden bepaald door de waarnemer en de reiziger voor het moment van vertrek. De reiziger neemt alle afstanden anders waar op het moment dat hij zich beweegt t.o.v. de waarnemer. Hierover later meer.

Tot op heden is de afspraak dat de tijd, afstand en snelheid worden bepaald door de waarnemer en niet door de reiziger.

Meer algemeen geldt $t_t = \sqrt{t_l^2 + t_r^2}$ (zie boven)

(t_t is de totaal afgelegde weg, t_l is de lineair afgelegde weg en t_r is de afgelegde weg door rotatie. Alle afstanden in seconden)

=> $t_{waarnemer} = \sqrt{t_l^2 + t_{reiziger}^2}$

=> $t_{reiziger} = \sqrt{t_{waarnemer}^2 - t_l^2}$

=> $t_{reiziger} = t_{waarnemer} \sqrt{1 - \frac{t_l^2}{t_{waarnemer}^2}}$

=> $t_{reiziger} = t_{waarnemer} \sqrt{1 - \frac{t_l^2 . c^2}{t_{waarnemer}^2 . c^2}}$ *(t_l is de afstand in seconden en $t_l . c$ de afstand in km)*

=> $t_{reiziger} = t_{waarnemer} \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$ ($v = \frac{t_l . c}{t_{waarnemer}}$, de snelheid volgens de waarnemer)

of ook wel $t' = t \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$ de formule uit de speciale relativiteitstheorie.

Een paar handige vergelijkingen.

Uit de vergelijking $t_t=\sqrt{t_l^2+t_r^2}$ kunnen meer vergelijkingen worden afgeleid.

=> $t_{waarnemer}^2=t_l^2+t_{reiziger}^2$

=> $\dfrac{t_{waarnemer}^2}{t_l^2.c^2}=\dfrac{1}{c^2}+\dfrac{t_{reiziger}^2}{t_l^2.c^2}$

=> $1/v_i^2=1/c^2+1/v_e^2$ $\quad v_i$ is de snelheid van de reiziger volgens de waarnemer

v_e is de snelheid van de reiziger volgens de reiziger

=> $1/v_e^2=1/v_i^2-1/c^2$ hieruit $v_e=\dfrac{1}{\sqrt{1/v_i^2-1/c^2}}$ of $v_e=\dfrac{v_i}{\sqrt{1-v_i^2/c^2}}$ (A)

=> $1/v_i^2=1/v_e^2+1/c^2$ hieruit $v_i=\dfrac{1}{\sqrt{1/v_e^2+1/c^2}}$ of $v_i=\dfrac{v_e}{\sqrt{1+v_e^2/c^2}}$ (B)

=> $v_i^2=\dfrac{v_e^2c^2}{c^2+v_e^2}$ => $v_i^2/c^2=\dfrac{v_e^2/c^2}{1+v_e^2/c^2}$

=> $1-v_i^2/c^2=\dfrac{1+v_e^2/c^2}{1+v_e^2/c^2}-\dfrac{v_e^2/c^2}{1+v_e^2/c^2}$

=> $\sqrt{1-v_i^2/c^2}=\dfrac{1}{\sqrt{1+v_e^2/c^2}}$ of $\sqrt{1-v_i^2/c^2}.\sqrt{1+v_e^2/c^2}=1$ (C)

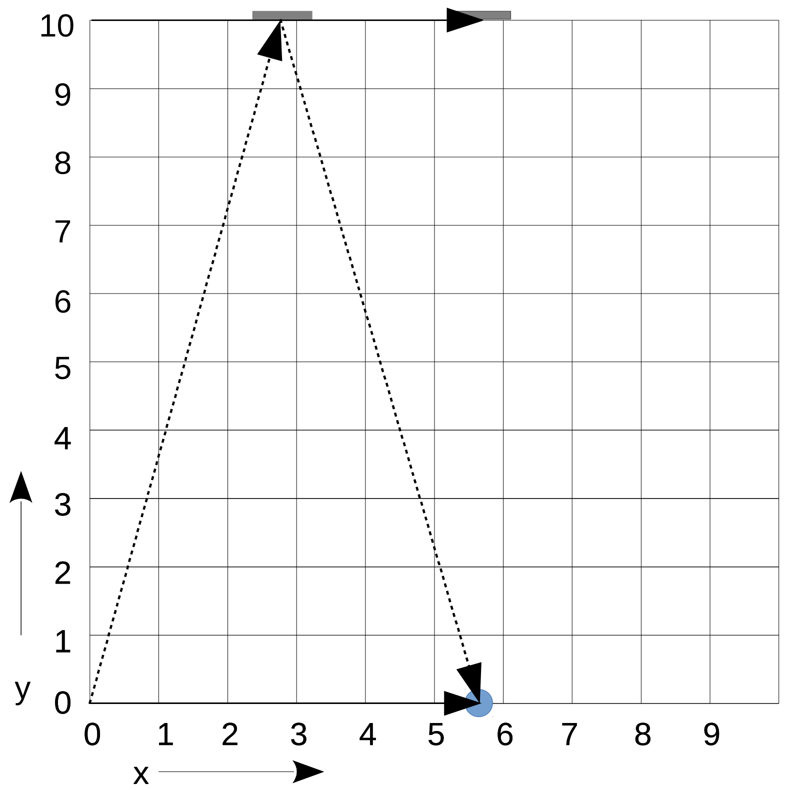
(A) is bruikbaar als je v_i door v_e wilt vervangen.
(B) als je v_e door v_i wilt vervangen.
(C) als je $\sqrt{1-v_i^2/c^2}$ door $\dfrac{1}{\sqrt{1+v_e^2/c^2}}$ wilt vervangen of andersom. Beide komen namelijk vaak voor in deze combinatie.

Een waarnemer en een spiegel met een eenparige snelheid.

Wat nu als de waarnemer en de spiegel met een eenparige snelheid een afstand afleggen door de ruimte. Heeft dat invloed op de waarneming?

In veel publicaties wordt als voorbeeld een proef gedaan met een reiziger in een trein die zich t.o.v. een waarnemer verplaats die zich op het perron bevindt.

In ons voorbeeld geven we de waarnemer uit een eerder voorbeeld een eenparige snelheid langs de x-as, net als de spiegel. De x-as is hier het perron.



Het foton en de waarnemer komen beide aan op $t_x, 0$.
De tijd die het foton heeft overbrugd is in totaal $t_f = 2 . \sqrt{10^2 + (t_x/2)^2} = \sqrt{20^2 + t_x^2}$
De tijd die de waarnemer heeft overbrugd is $t_w = \sqrt{20^2 + t_x^2}$ (Denk aan de hulpas $t_t = \sqrt{t_l^2 + t_r^2}$)

Beide zullen elkaar weer ontmoeten want beide bevinden zich in de zelfde tijd/ruimte. De klok van de waarnemer staat op 20 seconden en hij zal ook hier de snelheid van het foton interpreteren als $c = 300.000\, km/s$.

Conclusie

Als de waarnemer geen referentiepunt heeft dan is het voor hem onmogelijk te bepalen met wat voor eenparige snelheid hij zich door de ruimte beweegt.
Sterker: Als er wel een referentiepunt is dan is het onmogelijk voor hem te bepalen of het referentiepunt of hij of beide bewegen in de ruimte. **Het is onmogelijk een punt aan te wijzen waarvoor geldt dat dat punt absoluut in rust is.**

Daartegenover staat dat elk punt dat geen versnelling ondervindt als referentiepunt mag worden genomen.

De positie van een deeltje in de tijd/ruimte wordt geheel bepaald door zijn ruimteco-ördinaten en de afstand die het deeltje in dat coördinatenstelsel heeft afgelegd.

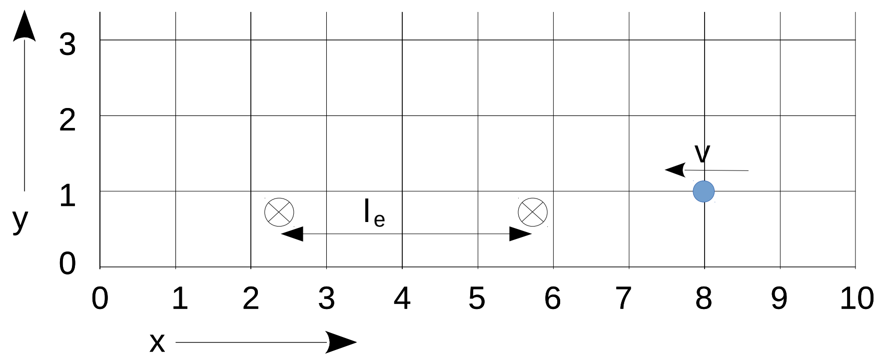
Het coördinatenstelsel behorende bij een referentiepunt dat niet versneld wordt wordt een inertiaalstelsel genoemd.

Lorentz-FitzGeraldcontractie

Uit Wikipedia: De Iers-Britse natuurkundige George FitzGerald en de Nederlandse natuurkundige Hendrik Lorentz postuleerden al, voordat Einstein met zijn theorie kwam, dat voorwerpen die de lichtsnelheid naderen, verkort worden in de bewegingsrichting.

Als een voorwerp met een bepaalde lengte en snelheid een waarnemer nadert en er een bepaalde tijd over doet om deze te passeren -dan volgt uit het feit dat het de afspraak is dat tijd, afstand en snelheid worden bepaald door de waarnemer,- er door de waarnemer een verkorting in de bewegingsrichting wordt waargenomen.

In het volgende voorbeeld plaatsen we twee bakens in ons eigen inertiaalstelsel. Deze bakens zijn voorzien van een radiozender en een lamp. We gaan nu met een raket naar een punt ver van deze bakens en keren daarna terug om met een bepaalde constante snelheid langs deze bakens te vliegen.



Aan de hand van de radiozenders in deze bakens bepalen we onze snelheid v_i . Het zal ons een zekere tijd t kosten om beide bakens te passeren. Aan de hand van deze gegevens kunnen we nu de afstand tussen de bakens bepalen en wel zo dat $l_i = \frac{v_i}{t}$.

We weten echter uit eerdere berekeningen dat onze meting vertekend wordt door het feit dat we met een bepaalde afstand ook een bepaalde tijd overbruggen. De werkelijke snelheid waarmee we door het coördinatenstelsel vliegen is v_e . Voor deze snelheid geldt dat $l_e = \frac{v_e}{t}$.

Er geldt dus $\frac{l_i}{l_e} = \frac{\frac{v_i}{t}}{\frac{v_e}{t}}$ of $l_i = \frac{v_i}{v_e} . l_e$

$$v_e = \frac{1}{\sqrt{1/v_i^2 - 1/c^2}} \quad \text{(A)}$$

En dus $l_i = v_i . l_e \sqrt{\frac{1}{v_i^2} - \frac{1}{c^2}} = l_e \sqrt{1 - \left(\frac{v_i}{c}\right)^2}$. (Zie ook lengtecontractie op Wikipedia)

Relativistische energie

Voor een deeltje dat we versnellen van een snelheid 0 tot een snelheid v_i geldt

$$E_k = \int F\,dx = \int \frac{dp}{dt}\,dx = \int \frac{dp}{dt} v_i\,dt = \int v_i\,dp$$

voor p geldt $p = \dfrac{m}{\sqrt{1-(\frac{v_i}{c})^2}} . v_i = m . v_e$ (zie Wikipedia en pagina 6)

m is de z.g. rustmassa.

Voor v_i geldt $v_i = \dfrac{v_e}{\sqrt{1+\frac{v_e^2}{c^2}}}$ (zie pagina 6) of $v_i = \dfrac{v_e . c}{\sqrt{c^2+v_e^2}}$

Bovenstaande integraal is nu te herschrijven als:

$$E_k = mc \int_0^{v_e} \frac{v_e}{\sqrt{c^2+v_e^2}}\,dv_e = mc\left[\sqrt{c^2+v_e^2}\right]_0^{v_e}$$

Het vinden van de primitieve functie van de integraal is vooral een kwestie van proberen. Hoe vaker je het doet hoe sneller je de oplossing vindt. Ook kun je de integraal oplossen met online integrator van Wolfram (zie hier)

Als je in het verleden al eens de differentiaal $\dfrac{dy}{dx}$ van $y = \sqrt{p+qx+rx^2}$ hebt opgelost dan is het vinden van de primitieve functie van bovenstaande integraal een eitje.

Differentiaal oplossen met de kettingregel:

$y = \sqrt{p+qx+rx^2}$ $\quad u = p+qx+rx^2$ dus $y = \sqrt{u}$

$\dfrac{dy}{du} = \dfrac{1}{2\sqrt{u}}$ en $\dfrac{du}{dx} = q+2rx$

$$\frac{dy}{du} . \frac{du}{dx} = \frac{dy}{dx} = \frac{q+2rx}{2\sqrt{p+qx+rx^2}} = \frac{q/2+rx}{\sqrt{p+qx+rx^2}}$$

In ons geval is $p = c^2$, $q = 0$ en $r = 1$

Tussen de grenzen v_e en 0 :

$$E_k = mc\sqrt{c^2+v_e^2} - mc^2$$

Feitelijk leunt deze oplossing al dicht aan tegen de vergelijking $E = mc^2$ omdat hier feitelijk staat dat de kinetische energie gelijk is aan de totaal energie

$E_{tot} = mc\sqrt{c^2+v_e^2}$ minus de energie in rust waarvoor geldt $E_{rust} = mc\sqrt{c^2+0} = mc^2$

Aan de vergelijking is goed te zien dat de relatieve bijdrage van v_e (de lineaire eigensnelheid) even groot is als de energie door rotatie. ($v_r = c$).

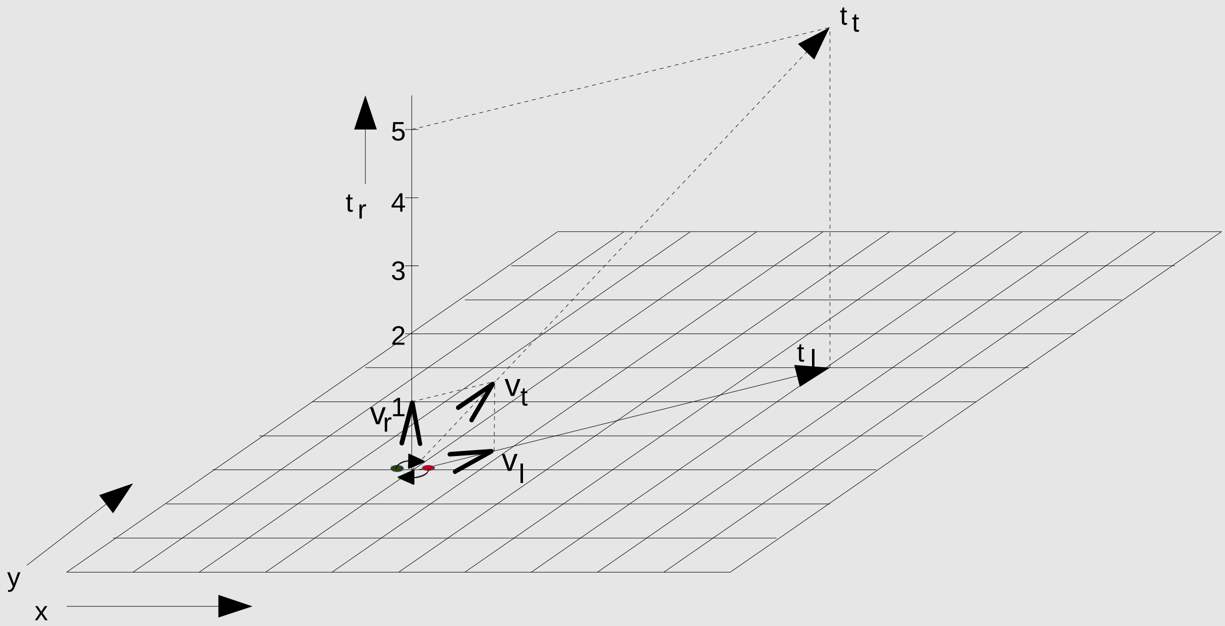
De vergelijking E_k herschreven voor v_i :

$$E_k = mc\sqrt{c^2 + v_e^2} - mc^2 = mc^2\sqrt{1 + \frac{v_e^2}{c^2}} - mc^2$$

=> $E_k = mc^2\left(\frac{1}{\sqrt{1 - v_i^2/c^2}} - 1\right)$ (Wikipedia)

De energie van een materiedeeltje

Als we de snelheid door rotatie v_r van het materiedeeltje afzetten op een hulpas loodrecht op de tweedimensionale ruimte dan is de lengte van de totale snelheid v_t gelijk aan de schuine zijde van de gevormde driehoek. Grafisch ziet dat er als volgt uit:



$$E_{tot} = mc.v_t = mc\sqrt{v_r^2 + v_l^2} = mc\sqrt{c^2 + v_l^2}$$

Een paar rekenvoorbeelden

Wordt vervolgd.

In dit artikel/discussiestuk wil ik aantonen dat het voor een goed begrip van de relativiteitstheorie beter is om met wat meer afstand de waarneming te interpreteren. Bovendien is de theorie dan beter te begrijpen.

Disclaimer

Inhoud

De informatie die door mij, Henk Druiven, wordt verstrekt op deze website is ontleend aan mijn fantasie. Doordat er door weinig mensen inhoudelijk op mijn stellingen en berekeningen wordt gereageerd kan het zijn dat er fouten op de site voorkomen. Ik nodig iedereen van harte uit om te reageren.

De informatie op deze website is uitsluitend indicatief en kan op ieder moment zonder aankondiging worden gewijzigd.

Aansprakelijkheid
Aan de verstrekte informatie kunnen geen rechten worden ontleend. Ik, Henk Druiven, aanvaardt geen enkele aansprakelijkheid voor de inhoud van deze website en de daarop verstrekte informatie.

Verantwoordelijkheid

Reacties kunt u sturen naar **henk@alternatiefoerknaltheorie.nl**