

Bijeenkomst op zaterdag 8 februari 2025.

1. Mededelingen

Deze namiddag is een Einstein namiddag. De zaal zit goed vol en we zijn met 18 deelnemers. Hopelijk komen we toe met de vlaai.

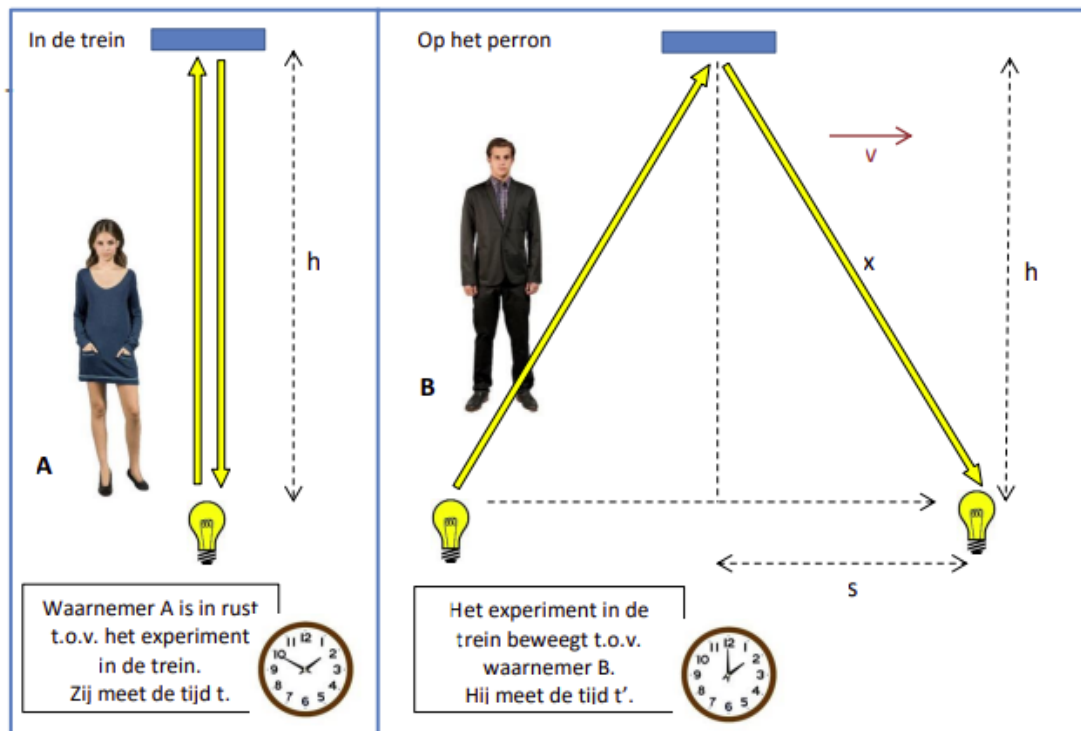
2. Tijddilatatie (Roel)

Roel heeft de afgelopen weken een lezingenreeks gevolgd van Gerard Bodifée bij Studium Generale in Maastricht. Hij pikt er een klein deel uit dat gaat over de tijddilatatie.

Onderstaande tekst komt uit een syllabus van Bodifée.

We voeren een experiment uit in een rijdende trein waarbij een lichtstraal uit een lamp verticaal omhoog naar een spiegel wordt gestuurd. De spiegel kaatst de lichtstraal terug naar de lamp. De tijd tussen vertrek en terugkeer van het licht wordt gemeten door twee waarnemers. Waarnemer A (zij) bevindt zich in de trein, waarnemer B (hij) staat op het perron waar de trein voorbijrijdt. Waarnemer A bevindt zich in de trein in rust binnen het systeem waarin het experiment uitgevoerd wordt. De afstand tussen de lamp en de spiegel is de hoogte h . Voor deze waarnemer legt de lichtstraal heen en weer een afstand $2h$ af. Daarvoor heeft het licht een tijd $2h/c$ nodig (c is de lichtsnelheid). De tijd t die nodig is om de helft van het traject af te leggen is dan $t = h/c$. Voor de hoogte kan dus geschreven worden: $h = ct$.

Waarnemer B op het perron beweegt niet mee met de trein. Voor hem verplaatst het experiment zich horizontaal met een snelheid v naar rechts. De lichtstraal vertrekt weer vanuit de lamp en gaat via de spiegel terug naar de lamp die zich in de tussentijd verplaatst heeft. Hierdoor moet de lichtstraal nu een langere weg afleggen. Zo blijkt al meteen dat het licht hiervoor ook een langere tijd nodig moet hebben aangezien de snelheid van het licht voor beide waarnemers dezelfde is, volgens het tweede postulaat van Einstein.



We berekenen de tijd t' die het licht voor waarnemer B nodig heeft om het traject af te leggen tussen de spiegel en de lichtbron (de helft van de weg heen en terug). Tijdens deze tijd t' heeft de lichtbron zich over een afstand s verplaatst, waarbij $s = vt'$. De hoogte h in de richting loodrecht op de beweging is niet veranderd, zoals in § 5.3 aangetoond. Met de stelling van Pythagoras berekenen we de lengte x van de weg van de spiegel naar de lichtbron:

$$x = \sqrt{s^2 + h^2}$$

Voor beide waarnemers heeft het licht dezelfde snelheid c , overeenkomstig het tweede postulaat van de relativiteitstheorie. Daaruit volgt dat de tijd t' die het licht voor B nodig heeft om het halve traject af te leggen gegeven wordt door de uitdrukking

$$t' = \frac{\sqrt{s^2 + h^2}}{c} = \frac{\sqrt{v^2 t'^2 + c^2 t^2}}{c} = \sqrt{\frac{v^2}{c^2} t'^2 + t^2}$$

Hieruit volgt

$$t' = \frac{t}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

We voeren de factor γ in:

$$\gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

zodat we kunnen schrijven:

$$t' = \gamma t$$

Zolang de snelheid v van het stelsel kleiner is dan de snelheid c van het licht (hetgeen, zoals hierna zal blijken, steeds het geval moet zijn) is γ steeds reëel en geldt $\gamma > 1$.

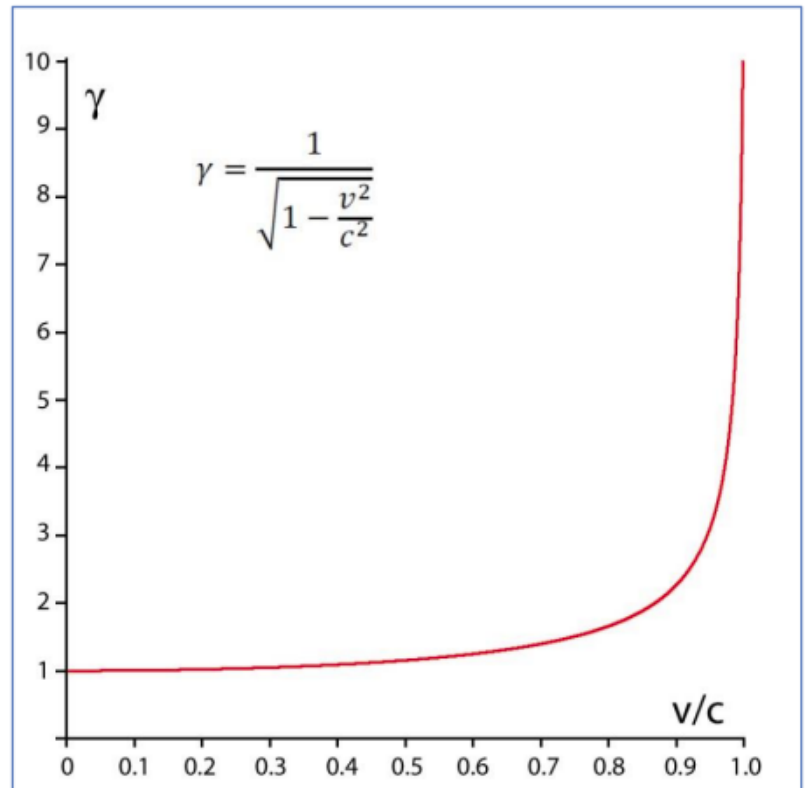
De formule leert dat de tijdsduur t' van een gebeurtenis langer is voor waarnemer B die niet meebeweegt met de gebeurtenis dan de tijdsduur t voor waarnemer A die in rust is ten opzichte van de gebeurtenis. De tijd van de niet-meebewegende bewegende waarnemer ondergaat een 'uitrekking' (dilatatie). Er verloopt in zijn stelsel meer tijd dan in het andere, meebewegende stelsel. Voor de waarnemer die beweegt ten opzichte van een gebeurtenis, schuift de klok in het stelsel van die gebeurtenis voorbij en loopt deze klok langzamer dan zijn eigen klok. Kort gezegd: Bewegende klokken lopen langzamer. Of ook: De gebeurtenis duurt langer voor de waarnemer die niet meebeweegt met de gebeurtenis dan voor de waarnemer die meebeweegt. Let op: De formulering kan aanleiding geven tot verwarring. De bewegende waarnemer is de niet meebewegende waarnemer. De meebewegende waarnemer is de waarnemer in rust ten opzichte van de beschouwde gebeurtenis. De afspraak is dat het symbool t (zonder accent) de tijdsduur aangeeft voor de waarnemer in rust ten opzichte van de gebeurtenis, en t' de tijdsduur voor de niet meebewegende waarnemer. In dat geval verwijst t naar de eigentijd (en wordt soms ook met τ aangeduid).

Voor snelheden die veel kleiner zijn dan de lichtsnelheid is $\gamma \approx 1$, zodat $t' \approx t$. Dit is de benadering die in de newtoniaanse fysica geldt. De tijd wordt dan aangenomen dezelfde te zijn voor alle waarnemers, onafhankelijk van hun onderlinge snelheden. Deze voor iedereen gelijklopende tijd noemde Newton de absolute tijd.

In de relativistische voorstelling van Einstein is het verloop van de tijd voor twee waarnemers die zich met een snelheid verschillend van nul ten opzichte van elkaar bewegen, verschillend. Het verschil wordt echter pas aanzienlijk voor snelheden dicht in de buurt van de snelheid van het licht.

Een getallenvoorbeeld spreekt tot de verbeelding. De bemanning aan boord van een ruimteschip neemt een pauze van één uur. Het ruimteschip beweegt zich met een snelheid van 30 km/sec,

zodat $v/c = 10^{-4}$ en $\gamma = 1.000000005$. Dan duurt de pauze op aarde 0.02 duizendsten van een seconde langer dan aan boord, een verschil dat niemand zal opmerken. Vliegt het ruimteschip tegen de helft van de lichtsnelheid, dan is $\gamma = 1.15$ en duurt de pauze van een uur aan boord voor een waarnemer op aarde 1 uur en 9 minuten. Bedraagt de snelheid van het ruimteschip 90 procent van de lichtsnelheid dan verloopt op aarde 2 uur en 18 minuten tijdens de pauze van één uur aan boord. Bij een snelheid van 99,99 procent van de lichtsnelheid duurt de pauze op aarde 3 dagen. Voor de aardbewoner lijkt de tijd aan boord van het voorbijsnellende ruimteschip nu bijna stil te staan. Voor een snelheid die gelijk is aan de lichtsnelheid, $v = c$, wordt γ oneindig groot. Dat betekent dat voor de niet-meebewegende waarnemer de tijd in het ruimteschip tot stilstand is gekomen.



Tijddilatatie en ruimte-contractie maken interstellaire reizen in de loop van een mensenleven in principe mogelijk. Wel is daarvoor een technologie vereist die een ruimteschip een snelheid kan geven die niet veel lager is dan de snelheid van het licht zodat de relativistische effecten een rol spelen.

We rekenen uit hoe lang een reis zou duren naar Procyon, een dichtbij gelegen ster in het sterrenbeeld Kleine Hond. De afstand bedraagt 11.4 lichtjaar. Het ruimteschip heeft een snelheid van 80 procent van de lichtsnelheid: $v = 0.8 c$. We nemen aan dat het traject met die constante snelheid wordt afgelegd. (We verwaarlozen de tijd waarin het ruimteschip vertrekkend vanuit stilstand tot die snelheid versneld moet worden, en bij aankomst weer afgeremd moet worden. Indien de motor genoeg stuwkracht heeft om het ruimteschip een comfortabele versnelling te geven die gelijk is aan de valversnelling op aarde, zijn daar telkens ongeveer anderhalf jaar voor nodig, zoals we in §20.1 zullen berekenen.)

De afstand van 11.4 lichtjaar wordt tegen een snelheid van $0.8c$ afgelegd in een tijd t_A :

$$t_A = \frac{11.4 \text{ lichtjaar}}{0.8 \text{ lichtjaar/jaar}} = 14.25 \text{ jaar}$$

Dit is de tijd die de reis duurt voor een thuisblijver op aarde. Als bij aankomst op de bestemming de terugweg onmiddellijk wordt aangevat en tegen dezelfde snelheid wordt afgelegd, duurt de terugreis even lang en gebeurt het weerzien $14.25 \times 2 = 28.50$ jaar na het vertrek.

Voor de reiziger aan boord van het ruimteschip is de werkelijkheid anders. Hij verplaatst zich ten opzichte van het stelsel aarde-Procyon, waardoor de afstand tussen beide korter is ten gevolge van de Lorentzcontractie met een factor $\sqrt{1 - v^2/c^2}$. Daardoor duurt voor hem de reis een tijd t_B :

$$t_B = \frac{11.4 \sqrt{1 - \frac{(0.8c)^2}{c^2}}}{0.8c} = \frac{11.4 \times 0.6}{0.8} = 8.55 \text{ jaar}$$

De reis heen en terug duurt voor de reiziger dus $8.55 \times 2 = 17.10$ jaar. Dit is de eigentijd van de expeditie, de tijd gemeten met een meevliegende klok.

Terwijl de thuisblijver op aarde 28.5 jaar verouderd is, blijkt de reiziger bij thuiskomst slechts 17.1 jaar ouder geworden te zijn. Als de thuisblijver zijn fysica kent, is hij echter niet verbaasd, want dan weet hij dat voor hem, als niet-meebewegende waarnemer, de tijd sneller liep dan voor de reiziger. Wegens de tijddilatatie geldt:

$$t_{\text{thuisblijver}} = \frac{t_{\text{reiziger}}}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} = \frac{8.55}{0.6} = 14.25 \text{ jaar}$$

Wie een reistijd van ruim 17 jaar (heen en terug, gemeten door de reiziger) te lang vindt, kan een sneller ruimteschip nemen. Een toestel dat een snelheid haalt van 95 procent van de lichtsnelheid, doet de reis heen en weer in 8.9 jaar (voor de reiziger, op aarde zijn er ook dan 28.5 jaar verstreken).

Er blijft natuurlijk nog een probleem. Beschouwd vanuit het standpunt van de ruimtereiziger, die zich in zijn eigen referentiestelsel (het ruimteschip) in rust bevindt, is het de aarde die zich verwijderd bij de heenreis en weer naderbij komt bij de terugreis. Bewegingen zijn relatief, en de reiziger kan met evenveel recht beweren dat hij stilstaat en dat de thuisblijver beweegt. Hij ziet de aarde zich immers van zijn ruimteschip verwijderen. Waarom zou dan voor de reiziger de tijd trager lopen dan voor de thuisblijver, en niet andersom? Dit is de fameuze tweelingen-paradox. Als van een tweeling het ene lid een reis onderneemt en het andere thuisblijft, wie van beide zal dan jonger zijn dan de andere wanneer ze elkaar weerzien? We onderzoeken deze interessante paradox in hoofdstuk 10.

3. Weetlust (Roel)

Heel lang geleden bestond er een maandblad voor vulgarisatie van wetenschap en natuurliefhebberij. Hoofdopsteller was Jos van Limbergen en de prijs bedroeg 2,75 frank per nummer.

Roel heeft een exemplaar van juli 1935 gevonden waarin het volgende artikel staat: “Hoeveel Menschen begrijpen Einstein?”

In het artikel wordt gezegd dat in heel de wereld maar twaalf mensen in staat zijn om de relativiteitstheorie van Einstein te begrijpen. Dit zijn de mensen van overheerschen bekwaamheid, die hun leven hebben gewijd aan de studie van de mathematische physica.

In 1916 publiceerde Einstein ene brochure getiteld “Die Grundlage der Allgemeine Relativitätstheorie”, die na den wereldoorlog de belangstelling van het groote publiek op den schrijver vestigde.

In het artikel wordt verder omschreven: de bovenste 99 percentiel van de bevolking is intelligent genoeg en heeft voldoende verstandelijke vermogens om de theorie te begrijpen. Naar schatting zouden er dan tenminste 14.000 personen in aanmerking komen over de hele wereld.

Inmiddels is dit aantal flink gegroeid. Hiervan is vandaag het bewijs geleverd. Met een beetje inspanning kun je perfect volgen hoe de bovenstaande formules zijn afgeleid. De geïnteresseerde astronoom kan nu met zijn eigen woorden vertellen hoe de theorie werkt en tijddilatatie is geen onbekend begrip meer.

4. Vallende druppel (Hans)

Hans vertelt over het langst durende wetenschappelijk experiment: the pitch drop experiment bij the Queens University in Australië. Dit is een glasdruppel die heel heel langzaam valt.

<http://thetenthwatch.com/feed/#>

5. ET pathfinder (Roel)

Op 24 januari jl. heeft een delegatie van Vendelinus de ET pathfinder in Maastricht bezocht.

In de vergadering van november 2024 heeft Roel hierover al gerapporteerd. Dus dan gaan we hier niet meer herhalen. We waren met 12 deelnemers.

6. ETEC (Roel)

Op 31 januari jl. is een Vlaamse delegatie op bezoek geweest bij het Einstein Telescope Education Centre in het Discovery Museum in Kerkrade. De delegatie bestond uit medewerkers van de Cosmodrome, UCLL, KUL en andere onderzoeksinstituten.

In het museum heeft men allerlei workshops gemaakt voor middelbare scholen. Hier kan men ter plekke ervaren wat er komt kijken bij de bouw van de ET. De workshop is niet individueel te bezoeken.

Voor meer informatie verwijzen we naar

<https://www.discoverymuseum.nl/activiteiten/etec/>

7. Volgende bijeenkomst

Op 8 maart ontvangen we een gastspreker. Guy Leus van de Heemkundige Kring vertelt ons over priester astronoom Govaart Wendelen. De lezing start om 15.15 uur in de aula Wendelen van de Cosmodrome. De leden van Vendelinus zijn welkom om vanaf 14.30 uur een stuk vlaai met koffie te nuttigen.

Waarom beginnen we op zo'n gek uur? De aula is gereserveerd tot 15 uur voor een externe groep. Vandaar dat de aula niet eerder beschikbaar is.

<https://www.kattevennen.be/nl/cosmodrome/event/govaart-wendelen-een-vlaamse-pionier-in-de-astronomie>