Einsteins 1916 update van zijn Speciale Relativiteit

Introductie en relevantie

Einstein publiceerde de eerste versie van zijn Speciale Relativiteitstheorie in 1905 (SR1905, vertaald in het Engels)[1]. Zonder er veel over te zeggen, veranderde hij zijn SR1905 later in een versie die geschikt was voor zijn Algemene Relativiteitstheorie (AR). Die publiceerde hij in 1916 en die zullen we de Speciale Relativiteitstheorie van 1916 noemen: kortweg SR1916.

Dit artikel gaat over het hoe en waarom van Einsteins verandering van gedachte. Eerst analyseren wij de problemen met SR1905. Vervolgens kijken we naar het alternatief, hem aangeboden door zijn vroegere professor Minkowski. Tot slot komt de SR1916, die geen paradoxen meer kent en fungeert als de goede basis voor zijn AR.

Problemen met SR1905

De SR1905 is gebaseerd op de Lorentztransformatie van twee referentiekaders K en K' die zich van elkaar verwijderen met een constante snelheid "v". Het uitgangspunt is dat natuurkunde in beide referentiekaders tegelijkertijd kan worden toegepast.
De Lorentztransformatie van (t, x, y, z) naar (t', x', y', z') is:

t'	$= \gamma.(t - v.x / c^2)$	coördinaat t' in K' is functie van coördinaten t en x in K	(1)
x'	$= \gamma.(x - v.t)$	coördinaat x' in K' is functie van coördinaten t en x in K	(2)
y'	$= y$	coördinaat y' in K' gelijk aan coördinaat y in K	(3)
z'	$= z$	coördinaat z' in K' gelijk aan coördinaat z in K	(4)
γ	$= (1 - v^2 / c^2)^{-½}$	Lorentzfactor	(5)

De oorsprongen van beide referentiekaders, op moment nul, liggen op dezelfde ruimtetijd locatie (0,0,0,0) en de referentiekaders overlappen elkaar. Bijvoorbeeld, als v = 0,6 c, waarin "c" de lichtsnelheid is, dan is de Lorentz-factor "γ" gelijk aan 1,25. Met x = v.t, dan is:

t'	$= t / \gamma = t / 1{,}25$	tijdsvertraging van t' in K' relatief t.o.v. t in K

Met andere woorden, de tijd t' geeft slechts 4 seconden aan terwijl de tijd t 5 seconden aangeeft. Echter, op basis van historische en ten *onrechte* aangenomen gelijkheid van referentiekaders, kan ook K' beweren stil te staan terwijl juist K reist, in welk geval we tijd vertraging zouden zien van t in K. Welke klok tikt nu het langzaamst? Dit is de essentie van de klok paradox en de tweeling paradox.

Er is ook nog een ander probleem. Ehrenfest wees erop dat een starre cilinder die roteert met een zeer hoge snelheid, op basis van de Lorentztransformatie, een kleinere omtrek (x' = γ.(x-v.t), lengtesamentrekking) krijgt, terwijl de straal precies hetzelfde blijft (y' = y, geen breedtesamentrekking). Hoe kan een starre cilinder een kleinere omtrek en dezelfde straal hebben? Dit is de Ehrenfest paradox.

[1] Einstein A, "On the electrodynamics of moving bodies", "Annalen der Physik", 1905

Bovendien, Mach maakte bezwaar tegen de gelijkheid van referentiekaders. Mach betoogde dat de traagheid van massa relatief is aan alle andere massa in het universum. Dit betekent dat het referentiekader van het universum altijd een dominant referentiekader is en dat het referentiekader van de aarde weer dominant is over het kader van kleine deeltjes.

Samengevat: de SR1905 zadelt ons op met onoplosbare paradoxen. *Opmerkelijk is dat de SR1905 nog steeds wordt gedoceerd ondanks Einsteins eigen wijzigingen in 1916, dus ondanks het feit dat het correcte alternatief goed beschreven staat*!

Minkowski biedt een alternatief

De formule van Minkowski is een heel andere manier van kijken naar Speciale Relativiteit. Minkowski was Einsteins professor en zijn formule relateert niet twee referentiekaders aan elkaar, maar relateert een enkel deeltje (een massa-punt of foton) aan een Euclidisch (vlak of recht) referentiekader. De formule van Minkowski is partieel en gaat al volgt:

$ds^2 = c^2.dt_0^2 = c^2.dt^2 - dx^2 - dy^2 - dz^2 \quad [m_0^2]$ Minkowski formule (6)

In deze formule is "ds" het lijnelement, "dt_0" het tijdsverschil zoals gemeten door een propere (meebewegende) waarnemer van het deeltje, en zijn "dx", "dy", en "dz", de verandering in coördinaten na verloop van tijd "dt". De Minkowski formule biedt ook tijd vertraging, gegeven dat $ds^2 = dx^2 + dy^2 + dz^2$:

$c^2.dt_0^2 = c^2.dt^2 - ds^2 \quad [m_0^2]$ Minkowski formule (7)

Let op: “ds” is een *ruimtelijke* afstand en “ds” is het lijnelement, een maat voor het propere tijdsverschil “dt_0” ($ds = c.\ dt_0$). Gegeven dat ds = v.dt in formule (7), krijgen we:

$c^2.dt_0^2 = c^2.dt^2 - v^2.dt^2 \quad [m_0^2]$ Minkowski formule

Dan, gebaseerd op formule (5) van de Lorentzfactor, krijgen we:

$dt_0 = dt / \gamma \quad [s_0]$ tijdsvertraging van de propere waarnemer

Met andere woorden, de tijd “dt_0” geeft 4 seconden aan, terwijl tijd "dt" 5 seconden aangeeft, dus er treedt tijdsvertraging op van de propere waarnemer, net zoals bij de Lorentztransformatie.

Echter, de Minkowski-formule is geheel anders dan de Lorentztransformatie. Ten eerste: de snelheid "v" kan variëren, ten tweede: er is een dominant referentiekader en ten derde: er is *geen verschil* tussen samentrekking in de x richting (2) en de samentrekking in de y en z richtingen (3) en (4).

Einsteins verandering van gedachte in 1916

De kritiek van Mach en Ehrenfest en de flexibiliteit van de formule van Minkowski hebben waarschijnlijk geleid tot Einsteins verandering van gedachte. Hij schrijft in 1916 in paragraaf 3 over de Lorentztransformatie[2] (vertaald in het Engels door W. Perrett en G.B. Jeffery):

"….Hence Euclidean geometry does not apply to K'…."

Als K' niet Euclidisch is zou dat betekenen dat de wetten van de fysica, met inbegrip van de geometrie, niet langer van toepassing zijn! Einstein accepteerde de terechte kritiek van Ehrenfest (de Ehrenfest paradox) op zijn SR1905.

De *allereerste* formule in zijn definitieve publicatie van zijn AR[3] in 1916 gaat over zijn SR en de Minkowski formule (vertaald in het Engels door W. Perrett en G.B. Jeffery):

"By the Special theory of Relativity the expression

$$ds^2 = -dX_1^2 - dX_2^2 - dX_3^2 + dX_4^2$$

then has a value which is independent of the orientation of the local system of co-ordinates and is ascertainable by measurements of space and time."

In feite, verlaat hij zijn eigen Lorentztransformatie. Dus de allereerste formule van zijn AR beschrijft de vernieuwde SR1916 met de formule van Minkowski, waarin:

$X_1 = x$, $X_2 = y$, $X_3 = z$, en $X_4 = t$.

Een formule tussen een propere waarnemer en een Euclidisch referentiekader, niet langer gebruik makend van de Lorentztransformatie.

Tot slot, daarmee verwijst hij zijn eerdere SR1905 naar de prullenbak, stelt hij in paragraaf 22 van hetzelfde document[4] (vertaald in het Engels door W. Perrett en G.B. Jeffery):

"Thus the clock goes more slowly if set up in the neighborhood of ponderable masses"

Dit neemt de laatste strohalm weg van zijn oorspronkelijke SR1905, de gelijkheid van de referentiekaders: het referentiekader met de meeste massa bepaalt nu de kloksnelheid van het (propere) referentiekader met minder massa, tegemoet komend aan de kritiek van Mach. Dientengevolge zijn alle paradoxen verdwenen.

De mythes over SR blijven echter voortwoekeren voor diegenen die nooit Einsteins AR hebben gelezen. Maar voor degenen die het wel hebben gelezen verdwijnen de tweeling-, klok-, ladder- en Ehrenfest-paradoxen als sneeuw voor de zon.

[2] Einstein A, "The Foundation of the General Theory of Relativity", "Annalen der Physik", 1916, par. 3
[3] Einstein A, "The Foundation of the General Theory of Relativity", Annalen der Physik" 1916 par. 4
[4] Einstein A, "The Foundation of the General Theory of Relativity", Annalen der Physik" 1916 par. 22

Waarnemingen die zijn 1916 versie bevestigen

Het Hafele-Keating experiment en muonen (ontstaan door de zonnewind) die het aardoppervlak bereiken, tonen aan dat de referentiekaders inderdaad niet gelijk zijn. De klokken in vliegtuigen die met de aardrotatie mee vliegen tikken langzamer dan de klokken die op aarde blijven staan. De klok en de tijd van het muon tikt veel trager dan de klokken op aarde. Einstein veranderde terecht van mening.

Speciale Relativiteit volgens Einstein in 1916

In Einsteins Speciale Relativiteitstheorie van 1916 zoals beschreven in zijn slotdocument over AR, is er geen enkele tweeling-, klok-, ladder-, of Ehrenfest-paradox meer. De snelheid van het licht is de invariante "c" voor alle waarnemers. De juiste formule is de formule van Minkowski (6), niet de Lorentztransformatie (1) tot (5). Tijdsvertraging is geldig voor een massa-punt met een propere waarnemer die zich verplaatst in een Euclidisch referentiekader. Er treedt *gelijktijdig* lengte-, breedte- en hoogte-samentrekking op.

Slotopmerkingen

De Minkowski formule houdt zich aan Noethers theorema[5] van behoud van energie en impuls, terwijl de Lorentztransformatie dat niet deed: zie ons boek "Repairing Special Relativity". Einsteins verandering van standpunt is wat een echte wetenschapper doet: je theorie aanpassen wanneer overweldigend bewijs gepresenteerd wordt van rafels in je theorie, terwijl er een beter alternatief voorhanden is.

Meer informatie?

Onze drie boeken (www.loop-doctor.nl) beschrijven volledig en gedetailleerd de reparatie van Einsteins relativiteitstheorie met het theorema van Noether[5].

Wij hopen dat u evenveel "aha" ervaringen zult beleven als wij,

Rob Roodenburg (MSc. auteur)
Frans de Winter (MSc. coauteur)
Oscar van Duijn (MSc. coauteur)
Maarten Palthe (MSc. redacteur en vertaler)

April 2018

[5] Noether E, “Invariant variation problems” translated by Tavel M. TTSP 1971 p. 186-207