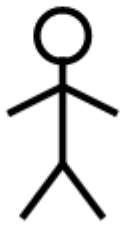
Relativiteit (1): Het relativiteitsbeginsel

Dit is het eerste artikel uit het dossier Relativiteitstheorie. Een korte beschrijving van de inhoud van dit dossier vind je in het overzichtsartikel.

Revolutionaire natuurkunde volgt soms uit heel alledaagse ideeën. Einstein ontdekte de speciale relativiteitstheorie toen hij nadacht over een heel eenvoudig verschijnsel: bewegen met een constante snelheid in een bepaalde richting. Zo'n beweging wordt in de natuurkunde een *eenparige beweging* genoemd. Wat Einstein opviel, was dat veel natuurwetten niet veranderen als we ze beschrijven vanuit het gezichtspunt van een eenparig bewegende waarnemer. Hij was daarin overigens beslist niet de eerste: Galileo Galilei merkte in 1632 al op dat natuurkundige experimenten in een met constante snelheid bewegend schip precies dezelfde wetten volgen als soortgelijke experimenten in stilstand, op het land.



Afbeelding 1. Eenparige beweging.Twee waarnemers zien een botsing tussen twee loden kogels. De eerste waarnemer (zwart) lijkt stil te staan; de tweede (groen) voert ten opzichte van de eerste een eenparige beweging uit.

Dit verschijnsel wordt het *relativiteitsbeginsel* genoemd. Laten we om dit beginsel te begrijpen eens kijken naar het volgende eenvoudige experiment. We nemen twee even zware loden kogels en laten die met gelijke snelheden recht op elkaar afvliegen. Wanneer de

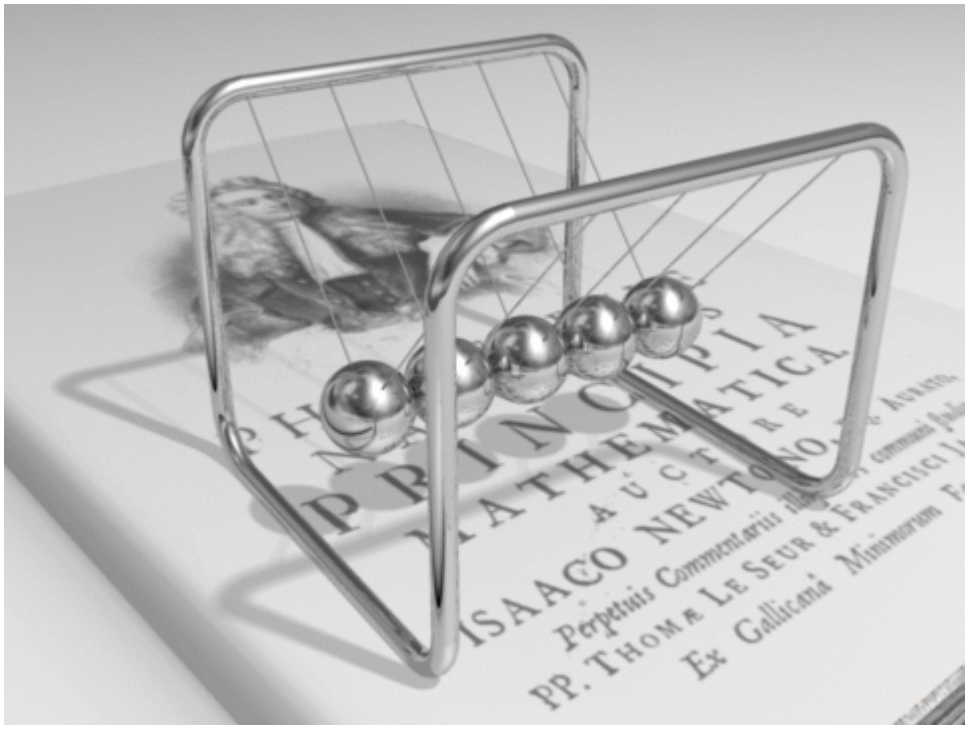
kogels volkomen elastisch zijn (dat wil zeggen: wanneer er bij de botsing geen energie verloren gaat) kunnen we met behulp van de wetten van de mechanica uitrekenen dat de kogels na de botsing van elkaar af zullen bewegen, met precies dezelfde snelheden, maar in omgekeerde richting als voor de botsing. In afbeelding 1 zien we een waarnemer (zwart) die dit experiment gadeslaat.

In afbeelding 1 zien we ook een tweede waarnemer (groen), die ten opzichte van de eerste eenparig beweegt met dezelfde snelheid als een van de kogels. Hoe ziet deze waarnemer het experiment gebeuren? Om dit te achterhalen laten we een “bewegende camera” met de tweede waarnemer meebewegen. Het resultaat zien we in afbeelding 2.



Afbeelding 2. Eenparige beweging (2).Hetzelfde experiment als in afbeelding 1, nu gezien vanuit de groene waarnemer.

De tweede waarnemer ziet in eerste instantie een van de kogels (rood) stilstaan – hij beweegt immers met dezelfde snelheid met de kogel mee. De tweede kogel (blauw) komt met dubbele snelheid op de eerste kogel af, stoot die aan, en blijft vervolgens zelf stilstaan, terwijl de eerste kogel met dubbele snelheid wegbeweegt. Wat we hier zien gebeuren is een bekend verschijnsel uit de mechanica, waarop bijvoorbeeld ook de populaire Newtonpendel (afbeelding 3) is gebaseerd.



Afbeelding 3. Newtonpendel.Het verschijnsel waarbij kogels al hun bewegingsenergie op elkaar overdragen is goed te zien in een Newtonpendel. (Afbeelding: Dominique Toussaint)

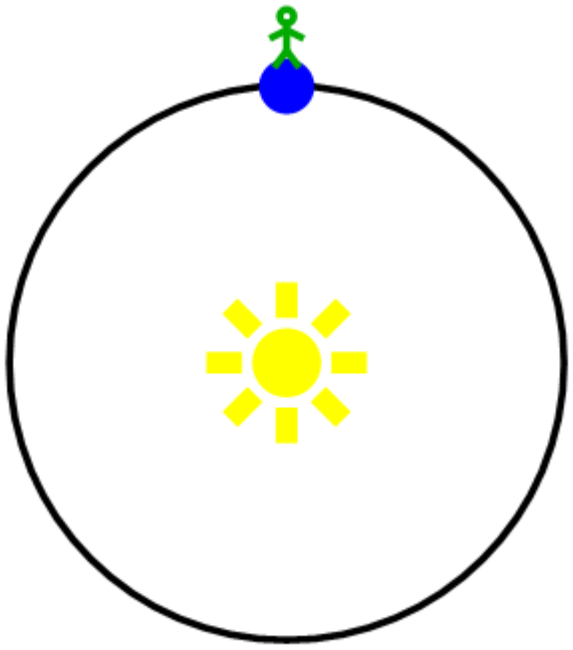
In dit voorbeeld zien de twee waarnemers twee heel verschillende processen plaatsvinden. Waar het echter om gaat is dat beide processen voldoen aan dezelfde *natuurwetten*. Beide processen (de botsing met gelijke snelheden en de botsing met één stilstaande kogel) kunnen beschreven worden met precies dezelfde mechanicawetten. Met andere woorden: van geen van beide processen zou het ons verbazen als we het zouden waarnemen terwijl we ons (voor ons gevoel) in een toestand van stilstand zouden bevinden. We hadden de twee afbeeldingen dus ook kunnen omdraaien, en kunnen zeggen dat de groene waarnemer zich in rust bevond, en dat de zwarte waarnemer ten opzichte van hem bewoog.

Deze cruciale observatie blijkt voor heel veel natuurwetten te gelden, en wordt het *relativiteitsbeginsel* genoemd. Een goed begrip van dit beginsel is essentieel voor het begrijpen van de relativiteitstheorie – we herhalen het daarom nog eens:

Het relativiteitsbeginsel zegt dat de natuurwetten voor elke eenparig bewegende waarnemer hetzelfde zijn. Met andere woorden: elk experiment dat door een zo'n eenparig bewegende waarnemer gedaan wordt, kan ook door een andere eenparig bewegende waarnemer, met een heel andere snelheid, gedaan worden.

Let op: het relativiteitsbeginsel zegt *niet* dat twee verschillend eenparig bewegende waarnemers één verschijnsel op precies dezelfde manier waarnemen! Dat zien we al duidelijk in het voorbeeld hierboven: de groene waarnemer ziet de rode kogel in eerste instantie stilstaan, terwijl de tweede waarnemer die kogel ziet bewegen. Waar het om gaat is dat beide waarnemers processen zien die aan dezelfde natuurkundige wetten voldoen, en dat beide waarnemers het experiment van de ander ook in hun eigen referentiekader kunnen herhalen. De zwarte waarnemer kan bijvoorbeeld ook een experiment uitvoeren waarbij de rode bal vanuit zijn gezichtspunt eerst stilstaat, en zal dat experiment precies hetzelfde ervaren als de groene waarnemer nu doet. Omgekeerd kan de groene waarnemer een experiment uitvoeren met twee kogels die met gelijke snelheid op elkaar af bewegen, en zal hij dit experiment hetzelfde ervaren als de zwarte waarnemer nu doet.

Een heel belangrijk gevolg van dit beginsel is dat we stilstand eigenlijk niet kunnen definiëren. We kunnen immers geen enkel experiment doen om te testen of iemand stilstaat: een “bewegende” waarnemer zou precies hetzelfde experiment kunnen doen, en zou dan ook tot de conclusie moeten komen dat hij stilstaat! We merken dit in zekere zin continu: wanneer iemand rustig op een stoel zit heeft hij het gevoel dat hij niet beweegt – maar intussen raast hij met de aarde mee rond de zon, met zo’n 30 kilometer per seconde! Daarbij gaan we er dan weer vanuit dat de zon stilstaat, maar ten opzichte van het Melkwegstelsel beweegt de zon op haar beurt weer met zo’n 220 kilometer per seconde – enzovoort.



Afbeelding 4. Stilstand of beweging?De waarnemer heeft het gevoel stil te staan, maar beweegt intussen ongemerkt met bijna 30 km/s door het zonnestelsel.

Een andere bekende manier om te ervaren dat “stilstand niet bestaat” is het verschijnsel dat we ervaren als we in een trein zitten die stilstaat op het station, en uit het raampje kijken naar een andere stilstaande trein die naast ons staat. Opeens beginnen we te rijden – we zien dat we langzaam versnellen ten opzichte van de trein naast ons, tot we die gepasseerd zijn… en merken dat we nog steeds stilstaan! Wat er eigenlijk gebeurde was dat het de trein naast ons was die wegreed, terwijl we zelf ten opzichte van het station stil bleven staan. Doordat het niet mogelijk is om eenparige beweging van stilstand te onderscheiden (en doordat de versnelling van de trein zo klein was dat we die niet voelden) koos ons brein voor de waarneming dat het onze trein was die begon te rijden, terwijl het ten opzichte van het station in feite de andere trein was die bewoog.

We kennen heel veel natuurwetten: wetten die de mechanica beschrijven, de elektriciteitsleer, de thermodynamica, de wereld van subatomaire deeltjes, enzovoort. Voor zover we weten is het relativiteitsbeginsel algemeen geldig: er lijkt geen enkele natuurwet te zijn die *niet* aan dit beginsel voldoet. Dit was reden genoeg voor Einstein om dit beginsel als een eerste postulaat aan te nemen: hij ging ervan uit dat het relativiteitsbeginsel zelf een fundamentele natuurwet is, en dat alle andere natuurwetten aan dit beginsel zouden moeten voldoen. Er was echter een obstakel dat daarbij in de weg leek te staan: een vreemde eigenschap van het licht. Het uit de weg ruimen van dit obstakel zou uiteindelijk leiden tot de relativiteitstheorie.

Dit is het eerste artikel uit het dossier Relativiteitstheorie. In het tweede artikel hebben we het over de bijzondere eigenschappen van de lichtsnelheid.