

Tweelingparadox

Albert Einstein was een fascinerende geleerde. Hij zocht en zocht en... vond vele antwoorden, maar zeker niet álle antwoorden! Uiteindelijk is hij min of meer ontgoocheld gestorven, omdat hij niet in staat was een vervolg op z'n algemene relativiteitstheorie, de "algemene veldtheorie", te ontwikkelen. Ook had hij grote moeite met de consequenties van de kwantumtheorie.

Op m'n eigen zoektocht, kwam ik, al zoekende, de zogenaamde "tweelingparadox" tegen, die volgt uit de (speciale) relativiteitstheorie van Albert. Volgens Einstein is tijd niet absoluut, zoals Newton stelde, maar relatief, dat wil zeggen: een seconde, uur of wat voor tijdmaat dan ook kan, afhankelijk van de snelheid, langer of korter duren. De afwijking is alleen merkbaar bij zeer hoge snelheden, dus als ik op m'n fietsje of met m'n auto rijd, zal m'n stokoude Rolexhorloge echt niet (meetbaar) langzamer of sneller gaan lopen. Maar als je met een vliegtuig reist, blijkt de afwijking, hoewel niet merkbaar, al wél meetbaar te zijn, ondanks het feit dat het om "nano"(= miljardste) seconden gaat. Maar wél merkbaar wordt het bij echt hoge snelheden. Hoe hoger de snelheid, hoe langzamer de klokken lopen ten opzichte van de "stilstaande" klokken.

Nu de "tweeling paradox": Stel, een persoon A (één van een tweeling) reist met een snelle raket vanaf onze aarde het heelal in, bijvoorbeeld richting een ster die flink ver wegstaat. Het is een raket die kan reizen met een snelheid in de buurt van de lichtsnelheid. Z'n tweelingbroer B blijft op aarde. Als de raket terugkeert op aarde zijn er twee mogelijkheden:

-A blijft een paar jaar weg, maar als hij terugkomt op aarde blijken er daar tientallen jaren voorbij gegaan te zijn en is iedereen en dus ook z'n broer B, veel ouder geworden dan hij!

-A blijft enige jaren weg, maar als hij op aarde terugkomt blijken daar maar een paar maanden vergaan te zijn en is hij (A) een stuk ouder geworden vergeleken met broer B.

Wat is het verschil? Het volgende: We beschouwen de raket eerst als een voorwerp dat zich met een bepaalde snelheid van de áárde af beweegt, de tijd zal dan in de raket langzamer verlopen. Maar... we kunnen de aarde ook beschouwen als een hemellichaam dat zich van de ráket af beweegt. Snelheid is immers relatief? In de ruimte kan je alleen zeggen, ik beweeg met die en die snelheid ten opzichte van iets: de zon, de aarde, het melkwegstelsel, etc. Snelheid is nooit absoluut! Dus, als we het zo zien, dat de aarde zich van de raket af beweegt, gaat de klok op aarde langzamer dan in de raket. Het is eigenlijk als volgt: Broer A stelt vast dat zijn klok normaal loopt en die van broer B sneller, of... broer B stelt vast dat zijn klok normaal loopt en die van z'n broer sneller. Het gaat er maar om wie de *waarnemer* is. Snappen jullie het nog?

Dit verschijnsel, dat de tijd dus rekbaar is, noemt men ook "tijddilatatie". In Indonesië kent men dit verschijnsel overigens al heel lang: "jam karet". Dat betekent "rubber tijd" en houdt in dat als je te laat voor een afspraak dreigt te komen, je gewoon de tijd wat oprekt. En als je te laat bent lach je en zeg je: "jam karet".

Terug naar de tweelingparadox. Ik zou toch wel eens willen weten wat er nu werkelijk gaat gebeuren met de klok! Kom ik nu veel ouder of juist minder oud uit die raket? Ik zou dat toch wel graag weten voordat ik in zo'n raket stap!

Hoe het precies zit weet ik niet, maar de speciale relativiteitstheorie gaat over éénparige snelheden en genoemde raket moet bij vertrek versnellen en bij aankomst vertragen.

Dat zóu een verklaring kunnen zijn. Maar het blijft natuurlijk een vreemde zaak, want het fenomeen van verschillend lopende klokken is, naar ik gelezen heb, ooit vastgesteld met twee zeer nauwkeurige, gelijkgezette atoomklokken, één in een vliegtuig, de andere bleef op aarde. De klok die flink lang en snel om de wereld vloog, bleek achter te lopen! (of was het voor?). Maar..... ook lees ik over twee vliegtuigen, die in tegenovergestelde richting gevlogen zouden zijn, één met de aardrotatie mee en één er tegenin. Hoe was het nu echt? Ik moet nog maar eens verder zoeken, als ook de beschrijvingen van deze paradox elkaar al tegenspreken.....

Gelijktijdigheid

Al vaker is Einstein genoemd als vader van de relativiteitstheorie. Eerst ontwikkelde hij z'n **speciale** relativiteitstheorie, die over éénparige snelheden gaat. Later kwam de **algemene** relativiteitstheorie, die ook over "versnelde beweging" gaat en de zwaartekracht tracht te verklaren.

Einstein bedacht z'n **speciale** relativiteitstheorie door een gedachte-experiment. Hij heeft dit voor 'gewone' mensen beschreven in zijn boekje "Mijn theorie" uit 1916. Met genoemd gedachte-experiment toont hij aan dat *gelijktijdigheid* niet absoluut is: wat voor de één gelijktijdig is, hoeft dat voor de ander niet te zijn! Dit denkwerkje gaat als volgt:

Stel: we hebben een recht stuk spoorlijn dat punt A met B verbindt. Halverwege de lijn AB bevindt zich station C. Op het perron van dit station staat een zekere Jan, precies halverwege de afstand AB. Ook rijdt er een sneltrein van A naar B, waarin zich o.a. iemand, die we maar Piet zullen noemen, bevindt. "A un momento dado", op een gegeven moment dus, rijdt de trein (hij stopt dus niet!) langs het perron van station C en ziet Piet opzij kijkend, Jan op het perron staan. Op dat zelfde moment slaat in A zowel als in B de bliksem in. We kunnen natuurlijk zeggen: "Ook toevallig!", maar het is ook maar een gedachte-experiment!

Jan, op het perron, ziet in z'n ooghoeken beide flitsen en denkt: "Verrek, die bliksems slaan precies tegelijk in!" Piet in de trein ziet echter duidelijk dat de bliksem in B eerder inslaat dan in A. Einstein trok hieruit de conclusie: gelijktijdigheid is niet zo absoluut als men denkt, ze is afhankelijk van de beweging van de *waarnemer!*

Hoe komt het nu dat Piet (in de trein) de bliksemflitsen niet tegelijk en Jan (op het perron van station C) ze wél tegelijk ziet? Heel eenvoudig: het licht van beide flitsen heeft even tijd nodig om van A en van B naar station C te bewegen. In die tijd is de trein iets in de richting van B gereden en staat Piet dus niet meer precies tegenover Jan. Het licht van de flits in B zal Piet dus iets eerder bereiken dan het licht van de inslag in A!

Dit gedachte-experiment is de grondslag van de (speciale) relativiteitstheorie:

"Gelijktijdigheid bestaat niet zonder meer, ze is afhankelijk van de beweging van de waarnemer!"

Hoewel er geen speld tussen te krijgen is heb ik toch mijn bedenkingen. Eerst maar eens gaan rekenen (doe ik blijkbaar graag) hoeveel tijd er nu eigenlijk zit tussen de flits voor Piet (in de trein) en de flits (voor Jan op het perron).

Stellen we de afstand AB op 60 km, dan bevindt Jan op het perron van station C zich precies op 30 km van A en 30 km van B. Lichtsnelheid c is 300.000 km/sec., dus beide lichtflitsen doen er 0,1 milliseconde ($30 : 300.000$) over om in C aan te komen.

We gaan uit van een trein met een "Très Grande Vitesse" en nemen aan dat deze sneltrein 360 km per uur rijdt, dat is 0,1 km per seconde. We kunnen ook zeggen: 100 meter per seconde of: 100 millimeter per milliseconde.

Als Piet in de trein de lichtflitsen ziet, dat is dus 0,1 milliseconde na de inslagen, is hij $0,1 \times 100 \text{ mm} = 10 \text{ mm} = 1 \text{ cm}$ richting C gereden. Het licht van de flits in A moet dan dus

één cm verder reizen om Piet te bereiken, het licht van de bliksem in B reist juist één cm minder, totaal dus twee centimeter verschil.

Over deze twee centimeter (0,02 meter) doet het licht: $0,02 : 300.000.000 = 2 / 30 \times 10^{-9}$ seconde. Dit komt uit op twee dertigste “nano”seconde (een nanoseconde is een miljardste seconde!).

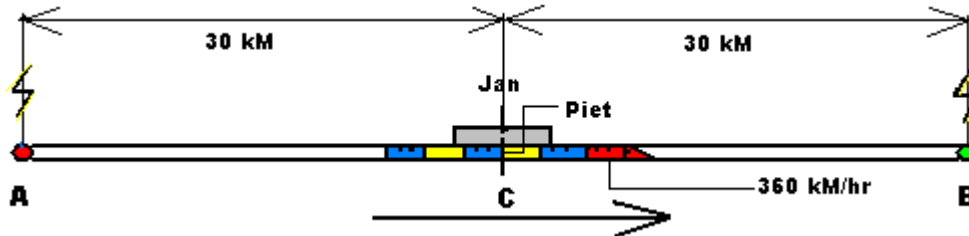


Fig. 8.1 “T G V” van A naar B

Jan ziet de flitsen tegelijk, maar voor Piet is het tijdsverschil tussen de flitsen dus: twee dertigste nanoseconde (eigenlijk ietsje meer want licht beweegt in lucht iets langzamer dan c), wel érg weinig tijd! Zo duidelijk kan Piet het verschil niet gezien hebben! Maar nou ja, het was maar een gedachte experiment! De echte verschillen komen pas bij zeer hoge snelheden en grotere afstanden.

Maar..... je zou ook kunnen bedenken, dat de bliksems één dertigste nanoseconde eerder inslaan. Dan is de trein, met Piet er in, wél precies halverwege als het licht daar aankomt en zien Jan en Piet de flits allebei wél gelijktijdig, dus.... gelijktijdigheid bij verschillende snelheden bestaat (volgens mij) wel, maar is wat uitzonderlijker.

Er is nog wat, er is denk ik toch een speldje tussen te krijgen: De tijd gaat voor Piet iets sneller dan voor Jan! Piet beweegt toch ten opzichte van Jan? Wat voor rol speelt dat? Waarschijnlijk een zeer kleine rol, een “nanospeldje” dus!

Verder, maar dit is een beetje flauw: als er geen mensen (lees: *waarnemers*) zouden zijn, was er wel degelijk gelijktijdigheid. Er zouden dan geen waarnemers zijn die verschillende snelheden hadden. Waarnemers die dus nu wél gelijktijdige gebeurtenissen ongelijktijdig zien en dit ook nog aan elkaar kunnen vertellen!

In ieder geval vind ik het bout gesproken dat er (voor waarnemers met verschillende snelheden) geen gelijktijdigheid zou zijn! Nou ja, Einstein zegt eigenlijk alleen dat, wat voor de één gelijktijdig is, voor de ander niet gelijktijdig hoeft te zijn. Sorry Albert, ik wil met dit alles niet zeggen dat ik de theorie niet geloof, ik ben eerder bang, dat ik een beetje aan 't provoceren ben. Want Einstein's theorie gaat altijd uit van “*de waarnemer*”. En wat betreft de tweelingparadox, dit bedenkfel heet niet voor niets een “paradox”.

Contractie

Volgens onze vriend Albert Einstein is materie eigenlijk geconcentreerde energie, energie in een andere vorm! In ieder geval heeft Einstein de beroemdste (eigenlijk beruchtste) formule uit de geschiedenis van de mensheid gelanceerd: $E = m \cdot c^2$. Berucht, want hierdoor is men uiteindelijk op de atombom uitgekomen. In die tijd was men, door metingen en proeven, al tot de conclusie gekomen dat de lichtsnelheid absoluut en altijd gelijk was (in vacuüm!). Voor de eerder beschreven proef van Michelson Morly, die toen zeer opzienbarend was, had onze eigen professor Lorentz (en ook nog een zekere Fitzgerald), zoals eerder beschreven, een interessante verklaring: de “Lorentz” of “Fitzgerald” contractie. Volgens deze geleerden wordt een lichaam in beweging korter naarmate de snelheid toeneemt, ook hier weer: alleen voor de waarnemer. Een vreemd fenomeen dat pas bij zeer hoge snelheden

gaat tellen. Een rijdende trein is dus iets korter dan een stilstaande. En het betekent dus ook dat, als ik door de ruimte reis in een “langzame” raket en door het raampje naar buiten kijk, dan een zeer snelle raket zie, die onze raket met hoge snelheid passeert, dan zal ik dus volgens Lorentz en Fitzgerald een heel kort raketje zien. De passagiers in die snelle raket zullen daar trouwens zelf niets van merken. Bereikt een voorwerp de lichtsnelheid dan zal de lengte zelfs nul geworden zijn. Niets kan dan ook sneller bewegen dan de lichtsnelheid! Trouwens: van een lichaam, dat steeds sneller wil bewegen, zal ook de massa steeds meer toenemen en uiteindelijk oneindig worden.

Door deze “contractie” zal bijvoorbeeld een meetlat (op aarde), die in de richting van de aardbeweging om de zon ligt, iets korter zijn dan wanneer dezelfde meetlat 90 graden gedraaid wordt en richting zon ligt; dan is hij niet korter, maar alleen wat smaller. De snelheid van de aarde, 30 km per seconde, is in vergelijking met de lichtsnelheid c niet al te hoog, maar deze “contractie” (en de eerder besproken “tijddilatatie”) heeft volgens de geleerden bij de Michelson Morly proef een doorslaggevende rol gespeeld, waardoor er geen verschil was en de ethertheorie herzien moest worden.

Massa = energie

We denken altijd aan Einstein als de vader van de formule over energie en massa. Maar eigenlijk waren het de Engelsman Maxwell en de Nederlander Lorentz die al tot deze conclusie gekomen waren, maar het grote belang ervan niet inzagen.

Maxwell had al zeer belangrijk werk verricht om het elektromagnetisme beter te verklaren en Hendrik Lorentz had zijn Lorentztransformatie uitgedacht.

Deze *Lorentztransformatie* gaat over het feit dat men er vanuit gaat dat overal in 't heelal dezelfde natuurwetten zouden moeten gelden, onafhankelijk van iemands beweging. Indien er dus een gebeurtenis in 't heelal waargenomen wordt door twee waarnemers die zich ten opzichte van elkaar bewegen, moeten toch voor beiden dezelfde natuurwetten gelden.

Door gebruik te maken van het vóórdenkwerk van Maxwell en Lorentz kwam Einstein uiteindelijk tot zijn relativiteitstheorieën. Hij voegde aan de formules van Newton, die het verband tussen kracht en snelheid aangeven, factoren toe en kwam uiteindelijk tot zijn beroemde formule: E (energie) = m (massa) maal c kwadraat:

$$E = M \cdot c^2$$

Deze formule vertelt ons dat de massa eigenlijk equivalent aan energie is, met andere woorden: materie (of massa) is niets anders dan energie in een ander jasje (geconcentreerde energie)! Wat hier óók uit volgt is dat de hoeveelheid energie, die bij een eventuele omzetting van materie vrijkomt, enorm is: de lichtsnelheid c^2 (c maal c) in meters per seconde in deze formule, is een getal met zestien nullen. Ziet men dus kans massa om te zetten in energie, dan heeft men een geweldige krachtbron. Albert heeft dit alles in 1915 voor leken netjes uitgelegd in het eerder genoemde boekje: “Mijn theorie” uit 1916 en in de bijlage vinden we de afleiding van de “Lorentztransformatie”, die met basiskennis wiskunde goed te volgen is!

Materie volledig in energie omzetten is op aarde nog nooit gelukt, maar Einstein gaf wel aan waar men moest zoeken: in radioactieve processen, want daarbij vindt inderdaad enig massaverlies plaats. Uiteindelijk kwam men zo uit bij kernsplitsing van Uranium. Nog later bij kernfusie van Waterstof(isotopen) tot Helium, daar kwam nog meer energie bij vrij. Uiteindelijk hebben deze hints geleid tot de ontwikkeling van de atoom- (uranium)bom, de waterstofbom en de kernenergie. Einstein heeft het er dan ook behoorlijk moeilijk mee gehad dat hij min of meer de vader van de atoombom was! Veel later kwamen ook nog de kerncentrales, die ook nu nog steeds controversioneel zijn!

$E = M \cdot c^2$ of “Energie is gelijk aan massa maal de lichtsnelheid in 't kwadraat”.

Als massa omgezet wordt in energie, gebeurt dat volgens deze beroemde formule van Einstein. Laten we nu eens de bijbehorende eenheden in deze formule invullen. Eerst nemen we de massa M. Als “M” de massa is, “G” het gewicht van deze massa en “g” de zwaartekrachtversnelling, dan geldt:

$$M = G/g (= G : g)$$

“Massa is gelijk aan het gewicht gedeeld door de zwaartekrachtversnelling”:

- G is het gewicht van de massa en gewicht wordt (in het S.I. stelsel) in “Newton” (N) aangegeven. De massa zelf wordt in kg gegeven, dus: kg = Newton : g (in m/s²)
- g is de zwaartekrachtversnelling. Versnelling wordt altijd aangegeven in meter per seconde kwadraat (m/s²).
- c, de lichtsnelheid, wordt meestal in kilometers per seconde (km/s) aangegeven, maar in deze formule beter in meters per seconde (m/s).

Om nu te weten te komen op wat voor eenheden we uiteindelijk uitkomen, vullen we geen getallen, maar alleen de eenheden in. Kijk maar: we beginnen met:

$$E = M \times c^2 \rightarrow E = G/g \times c \times c.$$

We vullen nu de betreffende eenheden in deze formule van Einstein in:

G / g = Newton : meter per seconde kwadraat = N : m/s², c = meter per seconde = m/s.

$$E = (N : m/s^2) \times m/s \times m/s = (N : m/s^2) \times m^2/s^2$$

Delen is vermenigvuldigen met het omgekeerde, dus kunnen we dit ook schrijven als:

$$E = \frac{N \cdot s^2 \cdot m^2}{m \cdot s^2} = N \cdot m = \text{Newtonmeter (want } s^2 : s^2 = 1 \text{ en } m^2 : m = m!)$$

Dit betekent dus dat E (= energie) in Nm (“Newtonmeter”) wordt uitgedrukt.

Men kan deze “E” ook in “Joule” aangeven, want 1 Nm = 1 Joule!

Deze eenheden: “Newtonmeter” of “Nm” en “Joule” of “J”, waarbij 1 Nm = 1 J, zijn de “nieuwe eenheden” van arbeid of “energie” in het indertijd (1957) ingestelde S.I. eenhedenstelsel.

We hebben ook nog (om het nog leuker te maken) de “erg”, waarbij 1 erg = 10⁻⁷ Joule.

Kilogrammeter en paardenkracht

Zoals we ons misschien nog wel herinneren was vroeger de eenheid van arbeid de “kgm”, waaruit de eenheid van vermogen, de “paardenkracht” (PK), was afgeleid. De paardenkracht is nog steeds niet helemaal uitgestorven, bijvoorbeeld bij automotoren wordt het motorvermogen nog steeds in PK aangegeven. Wel wordt nu het motorvermogen (de “power”) niet alleen in PK's maar ook in kW (kilowatt) aangegeven. Ook de “calorie” bestaat

officieel niet meer, maar wordt nog steeds gebruikt, vooral als eenheid van voedingswaarde. Daarbij is 1 Joule = 0,238 cal.

Hoe zit het eigenlijk precies met al die eenheden? Toch maar eens in duiken!

Eenheden van kracht, massa en gewicht

We hadden vroeger als eenheid van kracht: de “kilogramforce” of “kgf” of gewoon de “kg”. Deze is in 1978 vervangen door de “Newton”. Hoe is men daar eigenlijk toe gekomen? Sir Isaac Newton, de grote Engelse geleerde heeft indertijd een belangrijke formule geponeerd, namelijk:

$$\mathbf{F} = \mathbf{M} \times \mathbf{a}$$

Force = Mass x acceleration

Kracht = Massa x versnelling

Dit houdt in dat, wil men een massa **M** (in kg) een versnelling van **a** (m/s²) geven, er een kracht **F** (in Newton) nodig is. Men heeft nu in 1957 bepaald dat 1 Newton de kracht is die een massa van 1 kg een versnelling van 1 m/s² geeft. De intussen uitgestorven kgf (kilogramforce) is bepaald op ongeveer 9,8 N (om precies te zijn: 9,80665 N), omdat de zwaartekracht- of valversnelling op aarde ± 9,8 m/s² bedraagt.

1 kg massa weegt daarom, op het aardoppervlak, 9,8 Newton!

(Al eerder is uitgelegd dat “iets” aan de evenaar minder weegt dan aan de polen. Er is dus ook een klein verschil, 0,53%, in zwaartekracht en versnelling, die we hierbij maar verwaarlozen.)

Gaan we nu PK's omrekenen, dan krijgen we:

$$1 \text{ PK} = 75 \text{ kgm/s} = 75 \times 9.8 \text{ Nm/sec} = 735 \text{ Joule/sec} = 735 \text{ Watt.}$$

1 N.m/s is namelijk 1 Watt en deze is gelijk aan 1 J/s (Joule per seconde).

De precieze waarde voor de paardenkracht (PK) is: 735,49875 Watt, de Engelse horsepower (HP) is iets meer, namelijk 745,7 Watt.

Nog even de “Watt” (genoemd naar de uitvinder van de stoommachine: James Watt). Zoals we waarschijnlijk nog wel weten is 1 Watt het vermogen dat geleverd wordt bij een spanningsverschil van 1 Volt en een stroomsterkte van 1 Ampère. Heeft men een elektrisch kacheltje van 230 Volt en neemt dit een stroom van 4,35 ampère op, dan verbruikt dit apparaat: 230 x 4,35 = ± 1000 Watt = 1 kilowatt.

Even tussendoor: voor de correctheid moet ik wel even vermelden dat je dit voor een kacheltje, een lamp etc. inderdaad zo mag berekenen, maar... voor een elektromotor niet. We hebben bij wisselstroom dan ook nog te maken met een factor, de “cosinus ψ”, door het mogelijk achterlopen van de stroom op de spanning! Om die factor te weten te komen: kijk maar op het motorplaatje! Een “Watt” is dus eigenlijk een “Voltampère” maal deze “arbeidsfactor”, die voor huishoudelijk gebruik meestal 1 bedraagt, maar voor een wisselstroomelektromotor ongeveer 0,8 is.

We gaan verder, laten we dit kacheltje 3,5 uur branden dan kost dit dus 3,5 kilowattuur (“kWh”) en bij een kilowattuurprijs van 20 cent kost dit dan ongeveer 70 Eurocent. Over de prijs van een kilowattuur zal ik het maar niet hebben, daar snapt niemand meer wat van! Het enige wat je kunt doen is na een jaar het totaal betaalde bedrag delen door het jaarverbruik in

kilowattuur, dan weet je het eindelijk, maar....dan zal iedereen, ieder jaar een ander bedrag vinden!

Hoewel het nieuwe SI eenhedenstelsel al sinds 1957 officieel in gebruik is, worden de oude eenheden: paardenkracht, kilo(gram) voor kracht en gewicht nog steeds hardnekkig en volop gebruikt. Dat is typisch voor de mens, we proberen wel te standaardiseren, maar houden niet van verandering! Zo houdt men bijvoorbeeld in Engeland, ondanks alles, vast aan de oude eenheden: “stones”, “inches”, “foot”, “pounds”, “gallons” enzovoort. En ook de Fransen hebben nog jaren en jaren gerekend in “ancien francs”, oude franken, terwijl officieel 100 oude franken allang één nieuwe frank was. En vergeet ook de invoering van de Euro niet, die men (ook ik) nog steeds omrekent naar guldens.

Massa

“Massa” (of materie) is een begrip dat in dit “boek” al vaak genoemd is. Maar het begrip massa blijkt helemaal niet zo duidelijk te zijn. Wat massa precies is weet eigenlijk niemand! De eenheid van massa is, zoals we zojuist hebben gezien, het kilogram (eigenlijk het gram). Maar.... terwijl sinds 1957 de nieuwe eenheid van gewicht de “Newton” is, gebruikt iedereen de eenheid van massa: grammen en kilogrammen, als eenheid van gewicht!

De doorsnee mens heeft de “Newton” niet geaccepteerd, men vindt deze “Newton” waarschijnlijk maar een raar begrip, want ik heb nog nooit gehoord dat iemand naar de groenteboer gaat en om “tien Newton” aardappelen vraagt. Ik denk trouwens dat die groenteboer je raar aan zou kijken. En toch zou dat correct zijn!

Hoe zit het ook weer precies? Denk maar weer aan de eerder geven regel:

Een massa krijgt pas gewicht als deze massa zich in een zwaartekrachtveld bevindt!

Als iets een bepaalde massa heeft, heeft het deze massa overal: op aarde, op de maan, in het luchtledige, in het heelal: een voorwerp met een massa van een kilogram heeft deze massa dus overal. Maar..... het gewicht varieert met de zwaartekracht. Een hoeveelheid aardappelen met een massa van één kilogram weegt op aarde ruwweg 10 Newton. Op de maan weegt deze zelfde hoeveelheid piepers maar 1,6 Newton, want door de veel kleinere massa van de maan is de zwaartekracht daar 6 maal zo klein als op onze aarde. In het luchtledige, buiten de invloed van zwaartekracht, weegt deze massa van één kilogram helemaal niets!

Dit alles heeft te maken met “g”, de “zwaartekrachtversnelling”. Gooien we op aarde iets omhoog, dan valt dat normalerwijze na enige tijd terug. De snelheid waarmee ieder voorwerp terugvalt naar het aardoppervlak neemt iedere seconde toe met 9,81 meter. (Op de maan valt alles veel langzamer, daar is deze “g” zo’n 1,62 meter/sec²). De zwaartekrachtversnelling “g” bedraagt dus op aarde 9,8 m/sec² (meter per seconde kwadraat).

$$\mathbf{M = G / g : \rightarrow \text{Massa (in kg) = Gewicht (in Newton) : g (in M/sec}^2\text{)}$$

Men kan ook schrijven:

$$\mathbf{G = M \times g : \rightarrow \text{Gewicht = massa} \times \text{zwaartekrachtversnelling } \mathbf{g}.$$

Op aarde is dus:

$$\mathbf{\text{Gewicht} = \text{Massa} \times \mathbf{g} \rightarrow \text{Gewicht} = \text{massa} \times \mathbf{9,8}.$$

Dit betekent dus dat een massa van een kilo op aarde 9,8 Newton (9,80665 N) weegt. Daar de zwaartekrachtversnelling niet overal op aarde hetzelfde is, houdt dit ook in dat genoemde massa op aarde niet overal precies hetzelfde weegt. Zoals eerder al aangegeven is, bedraagt het verschil tussen polen en evenaar ongeveer 0,53 %! In een volgend hoofdstuk kom ik op het begrip “massa” terug.