



(beschikbaar op  
[www.dehoedvaneinstein.nl](http://www.dehoedvaneinstein.nl))

## ***Epiloog bij De hoed van Einstein***

*Introductie.*

Doe nooit formules in een verhaal! Dit zegt elke uitgever en ik heb me daaraan gehouden.

Daarom staan de formules in een epiloog op de website. Waarom dan toch weer de dialoog-vorm, ook in de epiloog?

Dat vind ik leuker. Je kan in een dialoog veel beter laten zien, dat niet alles zo logisch is als het lijkt in een formule. Je kan in een gesprek wat terug zeggen; je kan twijfelen: klopt het wel? Je kan een ander gezichtspunt naar voren brengen. Ook in de natuurkunde is het niet zo dat iedereen het over alles met iedereen eens is. Vaak is er discussie; niet zozeer over wat je ziet in een experiment, en ook meestal niet of het wel klopt met de theorie (of juist niet!), maar over de betekenis ervan. Soms hebben waarnemingen een veel diepere betekenis dan mensen aanvankelijk denken. Bijvoorbeeld de lichtsnelheid. Ruim een eeuw geleden was al gemeten dat die altijd dezelfde waarde heeft (300.000 km/seconde), ook als je zelf met een heel hoge snelheid dezelfde kant opgaat. Dat vond men toen –heel begrijpelijk- nogal vreemd en de Nederlandse natuurkundige Lorentz bedacht dat je dat zou kunnen verklaren, als de liniaal waarmee je de afstand meet, zelf korter wordt in de richting van je eigen snelheid. Met een beetje denkwerk kan je je voorstellen dat je zo altijd dezelfde snelheid meet van het licht. Het was Einstein die op het idee kwam dat de lichtsnelheid een ‘natuurconstante’ is en dat er daarom ook iets bijzonders aan de hand is met de tijd! Dat vond men toen (en ook nu nog) heel, heel vreemd en de ‘tweelingparadox’ werd bedacht. Daarover gaat het in het boek.

De epiloog is behoorlijk lang (ongeveer zeventien bladzijden A4) en kan in pdf gedownload en geprint worden.

Commentaar op het boek en op de epiloog stel ik zeer op prijs. Het wordt op de website ([www.dehoedvaneinstein.nl](http://www.dehoedvaneinstein.nl)) gezet en is leuk of interessant voor andere lezers. Als er vragen zijn, zal ik deze beantwoorden.

Rudi van der Velde (de schrijver).

## ***De hoed van Einstein***

### **Epiloog**

#### *Hoofdstuk 1 Over Relativiteit.*

‘Lieve tweeling’, zei Tijmen, ‘nu we allemaal weer veilig thuis zijn, ben ik jullie nog enkele formules schuldig. Herinneren jullie je die lezing met professor Tomos op de Club?’

Charlotte en Rosa knikten beiden.

Tijmen pakte een stuk papier en een viltstift.

‘Wacht even,’ zei Charlotte. ‘Ik heb hier de *Wetenschapsbijlage* van de krant. Het is van vóór onze reis, maar er staat in wat de bedoeling was.’

### ***Wetenschapsbijlage: Honderd jaar Relativiteit***

Ruim honderd jaar na de publicatie door Albert Einstein van de Relativiteitstheorie, is het grote publiek nog even gefascineerd door de bizarre consequenties van deze theorie als in de eerste jaren. Het gekste vinden de meeste mensen dat je, als je met een zeer hoge snelheid gedurende een lange tijd door de ruimte reist, minder snel oud wordt dan de mensen die op aarde blijven. Hoe kan dat nou? Velen geloven dan ook dat het een paradox is; dat wil zeggen dat het schijnbaar zo is, maar niet echt. Daarom spreekt men van de *Tweeling Paradox*, als het ene lid van een tweeling zo’n ruimtereis met hoge snelheid zou maken en de ander op aarde achterblijft; de thuisblijver zou ouder zijn dan de ruimtereiziger als deze is teruggekeerd. Dat is toch te gek voor woorden?

Toch is het zo!

Laten we beginnen met uitleggen waarom de theorie een *Relativiteits* theorie heet. Wat is relativiteit?

‘Laat mij dat uitleggen,’ zei Tijmen. ‘Ik kan het beter dan zoals het in de krant staat.’

‘Weet je zeker dat jouw professor Tomos het niet geschreven heeft, Krak?’ vroeg Rosa.

‘Nee, nee, dit is echt een domoor. Zo’n journalist die er zelf niets van snapt. Professor Tomos herinnerde in zijn lezing aan de uitdrukking *Alles is relatief*. Wat bedoelt iemand die dat zegt daarmee?’ Tijmen keek naar de tweeling.

Charlotte en Rosa keken elkaar aan. ‘Wat een simpele vraag,’ zei Rosa. ‘Dat betekent dat alles relatief is. Eh, alles is maar betrekkelijk.’ Tijmen en Charlotte moesten lachen.

‘Zo schieten we niet echt op, Roos,’ zei Charlotte.

‘Ja, nou, ja’, zei Rosa, ‘ik bedoel, eh, ik weet het eigenlijk niet. Het is zo vanzelfsprekend. Het betekent dat er niets is dat op zichzelf staat, dat alles te maken heeft met iets anders.’

Charlotte keek peinzend. ‘Je bedoelt toch niet *Alles hangt met alles samen*? Dat is ook zo’n modekreet.’

‘Nee, nee, ik hebt het. Tegenover *relatief* staat *absoluut*. Er zijn dingen die zijn absoluut, zoals, *twee plus twee is vier*. Dat is gewoon altijd waar. Terwijl, als ik zeg *Charlotte is een beauty* dan is dat relatief.’

Charlotte keek pijnlijk getroffen. ‘Oh, ja?’ vroeg ze. ‘Hoe kom je daar zo op? Jij bent anders mijn tweelingzus en dan ben jij ook hartstikke relatief.’

‘Ik bedoel’, zei Rosa, ‘hoewel je bloedmooi bent, en ik dus ook, nietwaar Krak, zijn er meiden die nog mooier zijn.’

‘Dat weiger ik te geloven, dames,’ zei Tijmen. ‘Jullie zijn zonder twijfel de mooiste meiden van de hele kosmos, maar dat is mijn punt niet.’

‘Is dat jouw punt niet, Krak? Wat is jouw punt dan wel? Is schoonheid niet het belangrijkste wat er op aarde bestaat?’ Rosa keek verontwaardigd.

Tijmen negeerde Rosa. Hij wendde zich tot Charlotte: ‘Jij begrijpt me tenminste, Charlie. Belangrijker dan schoonheid vind ik de waarheid. Als iets relatief is, is het niet absoluut.’

‘Dat zei ik al, Krak,’ zei Rosa. ‘Ja, zeg, ik heb filosofie gedaan op school. En die debattrucjes daar prik ik zo doorheen. Ik heb het nu duidelijk voor me. Als je zegt: *Jan is een grote jongen*, dan bedoel je dat Jan groot is met betrekking tot andere jongens van zijn leeftijd. Hij is dus groot *relatief* ten opzichte van de anderen. Als ik in een auto zit dan zeg ik dat die beweegt ten opzichte van de aarde. De aarde staat dan zogenaamd stil, maar ik weet dat die ook weer om de zon draait. Beweging is dus altijd ten opzichte van iets waarvan je denkt dat dat stilstaat.’

‘Is het allerbelangrijkste niet het “goede”?’ zei Charlotte. ‘Schoonheid en waarheid zijn zo persoonlijk. Jij vindt iets mooi en een ander vindt het lelijk. Jij zegt dat iets de waarheid is en een ander zegt dat je staat te liegen. Maar het goede bestaat alleen als je iets voor een ánder doet.’

‘Gaan we nou allemaal filosoferen? Daarvoor zijn we hier niet.’ Rosa keek naar Tijmen. ‘Krak, jij hebt het woord.’

‘Kijk’, zei Tijmen, ‘ik heb me goed voorbereid op deze avond. Ik heb een leuk voorbeeld. Iedereen heeft wel eens de ervaring gehad dat je in een trein stapt op een druk station en naast je staat ook een trein langs een ander perron. Ik zit in die ene trein en wacht op het vertrek. Dan zie ik plotseling in die andere trein een geweldig stuk zitten.’

‘Niet één van ons?’ vroeg Charlotte verontwaardigd.

‘Bij wijze van spreken. Ik behandel nu een wetenschappelijk gedachte-experiment.’

‘Denk je dan ook meteen aan seks met dat stuk?’ vroeg Rosa.

Tijmen bloosde. ‘Laat me nou even uitpraten. Daarna mag je je erotische gedachtecronkels loslaten. Ik ga verder. Ze kijkt niet naar me en ik probeer haar aandacht te trekken. Net op het moment dat ze naar buiten kijkt en mij ziet, vertrekt mijn trein.’

‘Wat een pech, Krak. Kijkt dat stuk naar je en weg ben je. Heb je aan de Noodrem getrokken?’

Maar Tijmen reageerde niet. ‘Ik zie dat ik langs andere treinraampjes met andere mensen ga; andere wagons schuiven langs en dan, net als ik denk dat ik het station uitrij, zie ik tot mijn verbazing het perron waar net nog die trein stond. Die andere trein is weg! Ik sta nog steeds stil.’

‘Als je aan de Noodrem had getrokken, was dat stuk gewoon doorgereden en dan stond jij behoorlijk voor aap, Krak.’

Tijmen negeerde Rosa. ‘Stel dat deze gebeurtenis plaatsvond midden in de nacht in *the middle of nowhere*; je staat ergens in de weilanden stil en je ziet niets, behalve die andere trein naast je met de lichtjes aan, net als in jouw trein. Als één van beide treinen is weggereden, weet je niet welke het is, de jouwe of die andere. Als je naar buiten kijkt zie je niets; je kan aan het

nachtelijk duister niet zien of je eigen trein rijdt of nog stilstaat. Dit verschijnsel speelt een belangrijke rol in de natuurkunde. Het zegt dan: niemand kan uitmaken of een trein stil staat of beweegt. Nu zal je tegenwerpen dat je als het licht is kan zien of de trein rijdt of stilstaat. Ja, maar dat is dan ten opzichte van het station, of de weilanden. Je kon het niet zien ten opzichte van die andere trein. De mensen die in de andere trein zaten hadden precies dezelfde ervaring: reden zij nou weg, of jullie? Dit is het *relativiteitsbeginsel*; het zegt dat je niet weet wie van beide beweegt of stilstaat, als het buiten stikdonker is. Dus de één kan niet tegen de andere met zekerheid zeggen: jij staat stil, of: jij rijdt! De beweging van de één is alleen met betrekking tot de andere vast te stellen. Je kan wel zeggen: ik weet niet zeker of ik nou rijdt, of jij; maar ik weet wel zeker dat wij beiden ten opzichte van elkaar bewegen. De één beweegt alleen *relatief* tot de ander, zegt men dan.

We weten nu wat relatief is en wat het relativiteitsbeginsel betekent. Om duidelijk te maken wat Einstein voor bijzonders heeft verzonnen, moeten we nog meer onderzoeken.'

## *Hoofdstuk 2      De lichtsnelheid is altijd hetzelfde.*

'Een erg lang verhaal was dat, Krak, over Relativiteit,' zei Rosa.

'Er komt nog veel meer,' zei Tijmen.

'Laten we nou naar die formules gaan,' zei Charlotte.

'Zo dadelijk. Eerst nog even dit. In Einsteins jonge jaren hadden natuurkundigen iets heel gek ontdekt. Als je de snelheid van licht meet uit de koplampen van een hard rijdende auto, meet je dezelfde snelheid als van het licht van de schemerlamp in je slaapkamer. Dat is héél, héél gek. Maar het is zo. Licht heeft altijd dezelfde snelheid.

Als de auto met een snelheid van 180 kilometer per uur rijdt en de lichtsnelheid is 300.000 kilometer per seconde, dan zou je toch zeggen: het licht dat door de koplampen wordt uitgezonden heeft voor iemand die langs de weg staat te meten de snelheid van 300.000 kilometer per seconde plus 180 kilometer per uur. Waar of niet? En toch meet die natuurkundige langs de kant van de weg steeds weer dezelfde snelheid van het licht: 300.000 kilometer per seconde. Alsof die auto gewoon stilstaat.

Dit lijkt in strijd met het Relativiteitsbeginsel, want je kan geen situatie verzinnen waarin je denkt dat iemand die met de lichtsnelheid voort suist stilstaat. Zoals die treinen op het station. Eén van de twee staat stil, maar je weet niet welke; de jouwe, of de trein die naast de jouwe staat. Als de trein naast de jouwe met de lichtsnelheid zou gaan, zou je nooit kunnen meten dat hij stilstaat!'

'Een dulle boel met die lichtsnelheid. Maar gaan we nu eindelijk naar de formules. Ik krijg slaap van je ingewikkelde verhalen.' Charlotte gaapte.

'Nog even. Einstein vroeg zich af wat er zou gebeuren, als je aan de éne kant vasthoudt aan het relativiteitsbeginsel en aan de andere kant vasthoudt aan de vaste snelheid van het licht. Dat lijkt tegenstrijdig, maar Einstein dacht: wat gebeurt er dan?' Tijmen keek naar Charlotte en Rosa: 'Weten jullie wat er dan gebeurt?'

‘Wij zijn Einstein niet, Krak,’ zei Rosa. ‘Maar misschien dat onze absolute schoonheid het weet?’ Zij keek vol verwachting naar Charlotte. ‘Ik denk dat ik het weet,’ zei Charlotte.

Tijmen en Rosa keken Charlotte vol verwachting aan.

‘Snelheid is de afgelegde afstand gedeeld door de tijd,’ zei Charlotte. ‘*Right?* Als de snelheid van het licht altijd hetzelfde is, moet er iets mis zijn met de meting van de afstand, of met de meting van de tijd. Toch?’ Charlotte stakte even. ‘Want stel je maar voor dat Roos en ik allebei vanuit een rijdende auto de lichtsnelheid meten. Roos rijdt 100 kilometer per uur en ik rij 150 kilometer per uur. En we meten allebei dezelfde lichtsnelheid. Dan moet er iets mis zijn met de klokken waarmee we meten. Ik kan er niets anders van maken. En nu naar de formules!’

‘Ik denk dat je goed zit,’ zei Tijmen. ‘Het kan haast niet anders of de klokken van mensen die ten opzichte van elkaar bewegen lopen verschillend. Het punt is, dat de klok van iemand die beweegt altijd langzamer loopt dan de klok van iemand die stilstaat. Als Roos in de trein zit en die trein rijdt met bijna de lichtsnelheid, dan zal Charlotte die op het station staat altijd zien dat het klokje van Roos langzamer tikt dan haar eigen horloge of de stationsklok.’

Dan gaan we nu naar de formules. Ik weet een heel leuke afleiding van de formule van Einstein voor het langzamer lopen van de tijd, als je met een hoge snelheid reist. Heel simpel en zelf bedacht.’ Tijmen keek vol verwachting naar Charlotte en Rosa.

‘Vooruit dan maar, Krak,’ zei Rosa, ‘ik ben er geestelijk op voorbereid.’ ‘Ik ook,’ zei Charlotte. ‘Kom op dan maar. Ik heb er lang op gewacht.’

Tijmen ging wat rechter opzitten en keek gewichtig. ‘We gaan weer terug naar die trein. Om op te warmen doen we het volgende experiment. Roos zit in de trein die stil staat langs het perron en gooit een bal omhoog. Charlotte staat op het perron. Wat ziet zij?’ Tijmen keek naar zijn vriendinnen. Charlotte keek Rosa aan en moest lachen. ‘Wat valt er voor bijzonders te zien dan? Roos gooit een balletje omhoog en dan komt weer naar beneden. Niks aan de hand.’

‘Oké! Maar nu gaat de trein rijden en Roos gooit het balletje opnieuw omhoog. Wat ziet Roos?’

Roos keek naar Tijmen alsof die een beetje debiel was geworden. ‘Ik zie gewoon het balletje omhoog gaan en weer naar beneden komen tot ik het opvang. Is dat alles?’

‘En jij Charlotte. Wat zie jij?’

‘Ik zie hetzelfde: Roos gooit het balletje omhoog en zij vangt het even later weer op. Wat is daar voor bijzonders aan?’

‘Is dat alles wat je ziet?’ vroeg Tijmen. ‘Hoe interpreteer je dat dan?’

Charlotte trok een grimas. ‘Hoe interpreteer ik dat? De trein heeft een stukje gereden tussen het opgooien van de bal en het weer opvangen door Roos. O, nou zie ik wat je bedoelt. Het balletje beschrijft een kromme baan voor mij. De bal reist met Roos mee. Inderdaad!’

Tijmen haalde een stuk papier uit zijn tas en liet het zien:



‘Hé’, zei Rosa, ‘waar heb je die foto van ons gemaakt? Ik herinner me niet dat ik met jou in de trein gezeten heb.’

‘Dat verteld ik straks wel. De mop is, dat Roos en Charlotte *verschillende* dingen zien. Roos ziet de bal gewoon recht omhoog en omlaag gaan, terwijl Charlotte vanaf het perron, door het raam van de trein ziet dat de bal met een boogje schuin omhoog gaat en daarna weer met een boogje schuin omlaag.’

‘Is dat “hogere natuurkunde”, Krak?’ vroeg Rosa.

‘Let maar op. Nu het volgende experiment.’ Tijmen keek onverstoort.

‘Deze keer heeft Roos een zaklantaarn in haar hand. Zij zit nog steeds in de trein en heeft met een plakker een spiegeltje bevestigd aan het plafond van de coupé. De trein staat stil. Zij doet heel even de lantaarn aan en geeft een lichtflitsje naar het spiegeltje. Als de lichtstraal terugkaatst van het spiegeltje raakt dit een lichtgevoelige cel op de zaklantaarn, die een klein stroompje produceert in haar oortelefoon die daardoor een piepje geeft. Roos drukt haar stopwatch in als zij de zaklantaarn aandoet en een lichtflitsje geeft. De stopwatch gaat tikken en zij drukt hem opnieuw in als zij het piepje hoort. Zo heeft zij de tijd bepaald die is verstreken tussen het aanflitsen van de zaklantaarn en het horen van het piepje.’

‘Ho, even, Krak,’ zei Rosa. ‘Het licht gaat zo snel dat ik dat natuurlijk nooit ofte nimmer bijhoud met het knipperen en piepen en op die knopjes van de stopwatch drukken.’

‘Oké, Roos. Jij hebt een punt. Maar het is een *gedachte*-experiment. Zo noemde Einstein dat ook. Doe in gedachten alsof het licht zó langzaam gaat dat je het wél kan zien. Net zoals in Nieuw Sterrenstad met het “langzame licht”.’

‘Nu gaan we weer naar Charlotte. Die staat op het perron en heeft ook een oortje in en hoort het piepje en neemt ook de tijd op met een stopwatch. Als de trein stil staat horen zij beiden natuurlijk tegelijk het piepje. Ja?’

Charlotte en Rosa knikten.

‘Maar nu gaat de trein rijden. Net als met het balletje dat Roos opgooide, ziet zij het lichtflitsje naar het spiegeltje gaan en weer terug, waarna zij het piepje hoort. Oké?’

Charlotte en Rosa knikten braaf.

‘Wat ziet Charlotte?’



Charlotte keek naar Rosa met een blik van “inderdaad, ernstig debiel”.  
 ‘Natuurlijk zie ik hetzelfde als daarnet met dat stomme balletje. Dat lichtflitsje gaat omhoog en wordt door het spiegeltje teruggekaatst naar die lichtgevoelige cel op de zaklantaarn en ik hoor ook een piepje. En ja, de trein heeft inmiddels een stukje gereden, dus zie ik die lichtstraal schuin naar boven gaan en weer schuin naar beneden komen. Zo goed?’  
 Tijmen lachte. ‘Tot zover wel. Maar heb je ook op je stopwatch gedrukt toen je zag dat Roos dat lichtflitsje gaf en toen je dat piepje hoorde?’  
 Charlotte knikte. ‘Denk je soms dat ik achterlijk ben? Ik heb heus goed naar je geluisterd.’  
 Tijmen keek een beetje spottend naar Charlotte. ‘Let op! Nu komt de “300.000 dollar” vraag: Denk je dat jouw stopwatch evenveel seconden heeft weggetikt als die van Roos. Roos mag ook antwoord geven.’  
 Charlotte en Rosa keken elkaar aan. ‘Ga je bij het goede antwoord evenveel dollars aan ons geven als de snelheid van het licht?’  
 ‘Symbolisch, natuurlijk. Zoveel dollars heb ik niet. Maar geef nou eens antwoord!’  
 ‘Ja, we hebben inmiddels wel begrepen dat de tijd langzamer loopt als je snel beweegt. Dus zal Roos minder tikken hebben gemeten met haar stopwatch dan ik. Als die trein maar hard genoeg rijdt. Maar hoe wilde je dat uitrekenen?’  
 Opnieuw bukte Tijmen zich naar zijn tas en rukte er een papier uit.  
 ‘Ta,ta,ta,táááá...!’ riep hij triomfantelijk en liet het aan de tweeling zien.



Rosa zit in de rijdende trein en flitst een lichtsignaal recht naar boven, dat na terugkaatsing weer recht naar beneden gaat. Charlotte staat op het perron en ziet het lichtsignaal schuin naar boven gaan en na spiegeling weer schuin naar beneden, omdat de trein inmiddels een stukje is doorgereden.

‘Mooi plaatje, hè! Om de formule van Einstein te kunnen opstellen, maakte ik nog een aparte tekening van de lichtsignalen.’





Charlotte ziet de schuine, rode lijn. De lengte hiervan is  $p$  en deze is gelijk aan de snelheid van het licht maal de tijd die het licht erover doet om van de lantaarn naar het spiegelkje te gaan (of terug van het spiegelkje naar de lantaarn). In letters:  $p = c \cdot t_{\text{charlotte}}$ . Dit is zoals Charlotte het ziet en de tijd die zij meet met haar stopwatch. In diezelfde tijd heeft de trein met snelheid  $v$  de afstand  $b$  afgelegd. In letters:  $b = v \cdot t_{\text{charlotte}}$ . Vul dit nu in in de formule van Pythagoras:

$$(c \cdot t_{\text{rosa}})^2 + (v \cdot t_{\text{charlotte}})^2 = (c \cdot t_{\text{charlotte}})^2.$$

Je hoeft geen rekenwonder te zijn om hier verder te rekenen tot de beroemde formule voor de “tijduitrekking”:

$$c^2 \cdot t_{\text{rosa}}^2 = c^2 \cdot t_{\text{charlotte}}^2 - v^2 \cdot t_{\text{charlotte}}^2$$

$$t_{\text{rosa}}^2 = t_{\text{charlotte}}^2 \cdot (1 - v^2 / c^2)$$

$$t_{\text{rosa}} = t_{\text{charlotte}} \cdot \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}. \text{ Deze formule is “het konijn uit de hoge}$$

hoed” van tovenaars Einstein.’

‘Kijk er eens goed naar. Je ziet dat wat onder het wortelteken staat altijd kleiner is dan 1 (behalve als de trein stilstaat). Zodra de trein gaat rijden, wordt de wortel kleiner dan 1 en moet  $t_{\text{charlotte}}$  groter worden om gelijk te kunnen zijn aan  $t_{\text{rosa}}$ .

Wat betekent dat?’ Tijmen pauzeerde even om de zussen gelegenheid te geven de formule te interpreteren.

‘Ik denk dat ik het snap,’ zei Charlotte. ‘Als mijn  $t$  groter is dan die van Roos, betekent dat dat mijn klokje sneller moet lopen dan dat van m’n zus. Sneller lopen betekent: méér seconden maken dan de haar klokje. Of, met andere woorden: haar klokje loopt langzamer dan mijn klokje.’

‘Hoeveel loopt het klokje van Roos achter op de klok van mij, als de trein 250 kilometer per uur rijdt?’ vroeg Charlotte.

‘Gaan we uitrekenen,’ zei Tijmen. De snelheid van de trein is 250 kilometer per uur. De formule wordt dan:

$$t_{\text{rosa}} = t_{\text{charlotte}} \cdot \sqrt{1 - \frac{(250)^2}{(300.000 \times 3600)^2}}$$

‘Waar komt die 3600 vandaan?’

‘Dat is de snelheid van het licht per uur in plaats van per seconde.’

‘Okay! Reken maar verder.’

$$t_{\text{rosa}} = t_{\text{charlotte}} \cdot \sqrt{1 - 0,00000025}$$

$$t_{\text{rosa}} = \dots\dots\text{praktisch gelijk aan } t_{\text{charlotte}}$$

‘Dat schiet niet erg op, hè?’ Rosa keek sceptisch. ‘Hoe hard moet die trein rijden om voor mij een merkbaar effect te hebben?’

‘Tsja,’ zei Charlotte.

‘Tsja,’ zei Rosa ook.

‘Laten we de zaak omdraaien,’ zei Charlotte. ‘Stel dat we de trein tien jaar rondjes om de aarde laten draaien. Roos, hoe lang wil jij in de trein zitten?’

‘Nou, geen tien jaar in ieder geval. Eén jaar, dat is mooi.’

‘Goed’, zei Charlotte, ‘laten we het dan zo doen dat ik op mijn klok 10 jaar meet. Voor mij zit jij 10 jaar in die trein. En jij zit volgens jouw klok één jaar in de trein. Hoe hard rijdt de trein?’

We gaan rekenen:  $t_{\text{charlotte}} = 10$  (jaar) en  $t_{\text{rosa}} = 1$  (jaar).

We gaan de formule toepassen

$$1 = 10 \cdot \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$$

Linker- en rechterlid kwadrateren:

$$1 = 100 (1 - v^2/c^2)$$

Met gebruik van het rekenmachientje, vinden we dat

$v = 298$  duizend kilometer per seconde (afgerond); dat is bijna de lichtsnelheid!

Wel, het wordt duidelijk dat je altijd met bijna de lichtsnelheid moet reizen om een effect te merken.’

‘Ik zie nog iets bijzonders,’ zei Rosa. ‘Als de trein écht met de lichtsnelheid gaat, dan is  $v = c$  en  $c^2/c^2 = 1$ . Dus wat onder het wortelteken staat is dan  $1 - 1 = 0$ .

We gaan weer rekenen

$$t_{\text{rosa}} = t_{\text{charlotte}} \cdot \sqrt{1 - \frac{c^2}{c^2}}$$

$$t_{\text{rosa}} = t_{\text{charlotte}} \cdot \sqrt{1 - 1} = t_{\text{charlotte}} \times 0 = 0$$

‘Christ! Het klokje van Roos staat stil. Als  $t_{\text{rosa}} = 0$ , is er dus geen tijd verstreken sinds de trein rijdt.’ Charlotte stond perplex. ‘Haar tijd staat stil.’ ‘Aangezien  $0 \times \text{“iets”} = 0$ ’, vulde Rosa aan, ‘doet het er niet toe wat Charlotte’s klokje aanwijst; mijn tijd is nul! Mijn klokje staat stil! Arme ik. Wat moet er van mij terecht komen?’

‘Je blijft eeuwig jong, mijn geliefde zus. Terwijl ik ouder word en ouder word en kom te sterven, leef jij door als een ontluikende bloem.’

‘Zolang ze in die trein blijft zitten met de lichtsnelheid,’ zei Tijmen nuchter. ‘Maar laten we nog even kijken wat de formule doet als de trein stilstaat:

Als de trein stil staat op het station, is  $v = 0$ . Dan staat er

$$\begin{aligned} \text{in de formule: } \quad t_{\text{rosa}} &= t_{\text{charlotte}} \cdot \sqrt{1 - \frac{0}{c^2}} \\ t_{\text{rosa}} &= t_{\text{charlotte}} \cdot (1 - 0) = t_{\text{charlotte}} \end{aligned}$$

Dus de klokjes van Rosa en Charlotte lopen gelijk.

Laten we tenslotte nog eens goed naar de formule kijken die we hebben afgeleid:

$$t_{\text{rosa}} = t_{\text{charlotte}} \cdot \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$$

$t_{\text{charlotte}}$  is de tijd die Charlotte afleest op haar klok op het perron en  $t_{\text{rosa}}$  is de tijd die Roos op haar klokje ziet in de rijdende trein. Voor Roos is het leven even gewoon als voor Charlotte, ook al raast zij met bijna de lichtsnelheid langs het station. Tijd is voor Roos net zo gewoon als voor Charlotte. Ook al ziet Charlotte dat Roos haar klok veel langzamer loopt dan die van haar zelf.’

‘Het is maar wat je gewoon noemt,’ zei Rosa. ‘Zit ik in die trein jong te blijven, terwijl de hele wereld om mij heen oud wordt en dood gaat. Ik reis naar de Toekomst en jullie worden langzamer maar zeker Verleden Tijd. Er komen diepe filosofische gedachten bij mij op.’

### Hoofdstuk 3 *De Einsteinfiets.*

‘Nog even niet, Roos,’ zei Tijmen. ‘Laten we eerst nog eens uitrekenen met de formule, wat we in Nieuw Sterrenstad gezien hebben. Roos, jij zat op die Einsteinfiets. De klok op het stuur van de fiets liep 15 seconden achter op één minuut van de klok aan de muur.

Als Roos met een snelheid fietste van 20 kilometer per uur, hoe snel, of hoe langzaam, moet het licht dan gaan?

Opnieuw dezelfde formule

$$t_{\text{rosa}} = t_{\text{charlotte}} \cdot \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$$

De klok van Roos loopt 15 seconden achter op een minuut, of een kwartier op een uur. Dat betekent, dat als Rosa drie kwartier zou fietsen, er volgens de klok aan de muur een uur is verstreken. Dus als  $t = \_$  (van een uur; drie kwartier dus), is  $t_{\text{charlotte}} = 1$  (een uur)

Dit vullen we in in de formule

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

met  $V$  als de snelheid van de fiets, dus 20 kilometer per uur

$$3/4 = 1 \cdot \sqrt{1 - \frac{20^2}{c^2}}$$

We pakken weer het rekenmachien en komen op

$$c = 30 \text{ kilometer per uur (afgerond)}$$

Dit is dan de snelheid van het *langzame* licht. Een heel verschil met de normale snelheid van 300.000 kilometer per seconde.'

'Ik wil nog even terug naar het begin,' zei Tijmen. 'We hebben vastgesteld dat als niets sneller gaat dan het licht, je snelheden niet zomaar bij elkaar mag optellen. Want de snelheid van het licht dat wordt uitgezonden door de koplampen van een pijlsnel rijdende auto blijft 300.000 kilometer per seconde. Sterker nog: ik sta op de rails en Roos zit in een trein die met de lichtsnelheid op mij afkomt. Zij zendt met haar zaklantaarn een lichtflits in mijn richting. Wat is dan voor mij de snelheid van die lichtflits? Je zou denken, de lichtsnelheid van de trein plus de lichtsnelheid van het flitsje uit de zaklantaarn. Toch? Tweemaal de lichtsnelheid; twee maal 300.000 kilometer per seconde, dat is 600.000 kilometer per seconde. Maar niks daarvan. Ik meet gewoon de lichtsnelheid van 300.000 kilometer per seconde. Of met letters:  $c + c = c!$ '

'Wat?!' gilte Rosa. 'Ben je gek geworden, Krak? Beweer je nou dat één plus één gelijk is aan één? Er moet ergens iets niet kloppen, zou je zeggen. Wat klopt er niet?'

'Zo zie je maar, Roosje. Net zei je nog met je filosofische inslag dat "één plus één is twee", een "absolute waarheid" is. Niet dus! Je kan met filosofie geen natuurkundige problemen oplossen. Laat dat een les zijn!' Tijmen keek haar streng aan.

'Zeg, opa Krak, wat denk je wel? Dat je mij de les kan lezen? Probeer eerst maar uit te leggen wat er aan de hand is. Dan controleer ik wel of je geen denkfouten, of redeneerfouten, maakt.'

Charlotte keek ingespannen naar de formule. 'Laten we weer teruggaan naar het voorbeeld van Roos in de rijdende trein. We hebben geconcludeerd dat je, als je twee snelheden bij elkaar optelt, nooit sneller kan dan het licht. We nemen weer het voorbeeld van Rosa in de trein. De trein rijdt met 250 kilometer per uur en Roos holt met een snelheid van 10 kilometer per uur door de trein. Tijn die met een meetinstrument naast de rails zit, meet dan voor de hollende Roos een snelheid van 260 kilometer per uur ( $250 + 10 = 260$ ). Laten we om allerlei voorbeelden van de relativiteitstheorie beter te kunnen uitrekenen, weer formules met letters gebruiken. Die letters staan voor getallen. Noem de snelheid van de trein  $u$  (km/uur) en de snelheid van

Roos in de trein  $v$  (km/uur). Noem de snelheid die buiten de trein wordt gemeten  $w$  (km/uur). Dan is

$$w = u + v$$

In het voorbeeld van daarnet was de snelheid van de trein 250 kilometer per uur; dus  $u = 250$ . Roos loopt in de trein met 10 kilometer per uur; dus  $v = 10$ . Tijmen, buiten de trein, die langs de rails snelheden meet, ziet dat Roos 260 kilometer per uur loopt ( $w = u + v = 250 + 10 = 260$  km/uur).

Als de trein maar steeds sneller gaat rijden en na lange tijd de lichtsnelheid bereikt, mag je snelheden niet meer gewoon bij elkaar optellen. Want  $u$ ,  $v$ , of  $w$  mogen nooit groter worden dan de lichtsnelheid  $c$  van driehonderdduizend kilometer per seconde (afgerond zit je dan ongeveer op 1 miljard kilometer per uur). Dan mogen  $u$ ,  $v$ , of  $w$  niet groter worden dan  $c$ . Dus  $u + v$  mag ook niet groter worden dan  $c$ . Wat moet je doen als bijvoorbeeld de trein de lichtsnelheid nadert?

De snelheid van de trein  $u$  is dan praktisch gelijk aan  $c$ . De snelheid waarmee Roos door de trein holt is  $v$  (10 km/uur). Wat meet de waarnemer naast de rails? Hij meet altijd snelheid  $w$ .

$w = u + v$ , dus  $w = c + 10$ , maar dat mag niet want  $w$  mag niet méér zijn dan  $c$ . Hoe lossen we dat op?

Het wordt nog erger, als Roos haar zaklantaarn aan doet in de trein die al met de lichtsnelheid rijdt. Het licht van de zaklantaarn heeft natuurlijk snelheid  $c$ . Je zou dus redeneren, dat langs de rails de dubbele lichtsnelheid wordt gemeten:  $w = c + c = 2c$ . Maar dat mag niet.

Hoe krijg je een formule die deze situatie correct weergeeft?

Tijmen pauzeerde even en schreef de formule op een stuk papier:

$$w = \frac{u + v}{1 + u \cdot v / c^2}$$

‘Heel mooi, Krak. Je lijkt wel een Superkrak.’

Tijmen reageerde er niet op. ‘Zo tel je snelheden in de Relativiteitstheorie bij elkaar op,’ zei hij.

Hij keek een tijdje naar de formule, pakte een nieuw vel papier en gaf dat aan de tweeling: ‘Vul maar in dat  $u$  en  $v$  beide de lichtsnelheid hebben; dus de trein en het licht van de zaklantaarn van Roos;  $u$  is dan gelijk aan  $c$ , en  $v$  is ook gelijk aan  $c$  :

$$w = \frac{u + v}{1 + u \cdot v / c^2} = \frac{c + c}{1 + c \cdot c / c^2}$$

‘En wat komt daar uit?’ vroeg Charlotte.

$$w = \frac{2c}{1 + c^2 / c^2} = \frac{2c}{2} = c$$



‘Hoe bestaat het.’ Rosa en Charlotte stonden wel even te kijken.

‘Die Krak! Je telt twee lichtsnelheden bij elkaar op en je krijgt opnieuw de lichtsnelheid. Eerlijk is eerlijk, Krak. Nu ik het met eigen ogen zie in een formule, geloof ik je pas.’

‘Dit is een leuk resultaat’, zei Charlotte, ‘en je zou wensen met de lichtsnelheid in de ruimte te reizen. Er is echter één “maar”: om de lichtsnelheid te bereiken, moet je een steeds sterkere kracht uitoefenen, die uiteindelijk oneindig groot zou moeten zijn. Dat kan natuurlijk niet. Zeg jij eens wat, Tijm. Weet je een formule?’

Tijmen knikte. ‘Met de fiets in Nieuw Sterrenstad moest je al bij 20 kilometer per uur flink trappen. We kunnen, om dit aan te tonen, dezelfde formule gebruiken, maar dan met gedeeltelijk andere grootheden; in plaats van *tijd*, nemen we *massa*. Jullie weten nog wat dat is? Massa is je “gewicht” in kilogrammen. Voor massa nemen we de kleine en de grote letter m en M. Hoe zwaarder je bent, hoe meer kracht je moet zetten om vooruit te komen. Als je meer eet word je zwaarder. Maar je wordt ook zwaarder als je met grote snelheid door het heelal reist.

Hier is de formule, ook door Einstein opgesteld:

$$m = M \cdot \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} .$$

Hierin is m de massa van de fiets met Roos erop als zij stil staat, zeg eens 50 kilo. M is de massa van Roos + fiets als zij aan het fietsen is.

Als Roos met een snelheid fietst van 20 km/uur en de lichtsnelheid (van het langzame licht) is 30 km/uur, dan wordt de massa M

$$50 = M \cdot \sqrt{1 - \frac{20^2}{30^2}}$$

Weer grijpen we naar de zakjapanner en vinden dat M gelijk wordt aan ongeveer 67 kilo. Dat is alsof je een kind van 17 kilo achterop hebt. Dat valt nog wel mee.

Als Roos harder wil fietsen, bijvoorbeeld 25 kilometer per uur, dan moet zij 90 kilo verplaatsen. Dan heeft zij schijnbaar iemand van 40 kilo achterop. Dat gaat ook nog. Maar als zij 28 kilometer per uur wil fietsen, komt er uit de formule: 140 kilo. Met een dikzak van 90 kilo kan Roos nog net 28 kilometer per uur fietsen, als zij zich uit de naad trapt! En dat zal ze maar heel kort volhouden.

Wat wordt het plaatje als Roos 29 kilometer per uur wil fietsen? Dan moet zij een massa wegfietsen van 195 kilo. Dit wordt toch te gortig!

Doen we er evenwel nog één kilometer per uur bij: Roos wil 30 kilometer per uur fietsen, dan wordt de massa *oneindig* groot. Reken maar na. Hoe komt

dat? Ja, dat komt omdat we in Nieuw Sterrenstad de lichtsnelheid verlaagd hebben naar 30 kilometer per uur. In werkelijkheid, is de lichtsnelheid 300.000 kilometer per seconde. Dan merk je pas dat je zwaarder wordt bij snelheden die in de buurt komen van de echte lichtsnelheid.'

'Er is nóg een nadeel als de lichtsnelheid erg veel kleiner wordt. Dat zie je direct. Omdat de lichtsnelheid niet overschreden kan worden, zou je niet sneller kunnen reizen in het heelal dan bijvoorbeeld die 30 kilometer per uur van Nieuw Sterrenstad. Je schiet dus niet op. Met deze snelheid zou je er 5 jaar over doen om de zon te bereiken. Met de natuurlijke lichtsnelheid ben je in acht minuten bij de zon (de zon staat 150 miljoen kilometer van de aarde vandaan).

Boven de Relativiteitstheorie zaal in Nieuw Sterrenstad stond

*Zoals het klokje thuis tikt tikt het nergens*

Dat was bedoeld om de bezoekers direct in de juiste sfeer te brengen dat de tijd *relatief* is. Je neemt je eigen tijd mee, als je op reis gaat. En je neemt ook je eigen "gewicht" mee als je op reis gaat. Dat hebben we net gezien.'

*Hoofdstuk 4 Is ons hart een klok*

Het was een tijdje stil.

'Pilsje?' vroeg Tijmen.

'Ik zit nog met een punt,' zei Charlotte. 'Roos en ik zijn een tweeling. Onze hartjes kloppen om bloed rond te pompen en dat bloed voorziet onze organen en spieren van zuurstof en die zuurstof gebruiken we als brandstof om de hele zwik aan de gang te houden. Waarom zou ons hart zich houden aan de regels van de relativiteitstheorie voor klokken? Die "domme" journalist van jou, Tijm, schrijft er dit over:

Het menselijk hart kan worden opgevat als een natuurlijke klok. Het 'tikt' een aantal slagen per minuut (gemiddeld 72) met grote regelmaat. Verondersteld wordt dat het hart zich net zo zal gedragen als een gewone klok in de Relativiteitstheorie. Als dus een gewone klok die met zeer grote snelheid beweegt ten opzichte van een klok die stilstaat, langzamer gaat lopen, dan zal ook het hart van een mens, als die heel snel beweegt, langzamer kloppen dan het hart van een mens die stilstaat. Deze bewegende mens mag natuurlijk niet zèlf hardlopen, want dan gaat het hart uiteraard sneller kloppen om meer bloed rond te pompen dat de nodige zuurstof moet toevoeren naar de spieren. Hij, of zij, moet zich onder verder normale omstandigheden in een ruimteschip bevinden, ver van de aarde. Het ruimteschip moet ten opzichte van de aarde met grote snelheid bewegen. We kunnen de hartslag meten met een gewone klok in een ruimtevaartuig. Als het hart van de ruimtevaarder tijdens de reis niet sneller of langzamer klopt dan op aarde, zoals gemeten met de klok in het ruimteschip, dan zou men kunnen concluderen dat het hart inderdaad in hetzelfde ritme langzamer loopt ten opzichte van het hart op aarde, als de klok in het ruimteschip langzamer loopt dan de klok op aarde.

Het zou echter ook een biologische oorzaak kunnen hebben dat het hart van de ruimtevaarder tijdens de ruimtereis langzamer loopt dan op aarde en dus niets te maken hebben met de relativiteitstheorie.

Zoals we, om de relativiteitstheorie te testen, klokken met elkaar vergelijken, moeten we om het effect ervan op mensen te testen, harten met elkaar vergelijken. Maar harten van mensen verschillen veel meer van elkaar dan klokken. Klokken móeten onderling gelijk lopen, anders kunnen we niet met andere mensen afspreken elkaar op een bepaald tijdstip op een bepaalde plaats te ontmoeten. Dat heet dat zij *synchroon* lopen (naar het de Griekse woorden *chronos* voor tijd). Om nu twee harten te vinden die beschouwd kunnen worden als

‘synchrone klokken’ (dus klokken die onderling gelijk lopen) kunnen we kijken naar de harten van een eeneiige tweeling. Waarom? Omdat het dan gaat om twee mensen die samen uit één bevrucht eitje zijn gekomen en daarom ook wel een *identieke* tweeling wordt genoemd. Identiek wil zeggen: precies gelijk. Net als bij *klonen* het geval is. We mogen aannemen dat de harten van een tweeling nagenoeg precies gelijk zijn. Hier staat ‘nagenoeg’ omdat in de loop van het leven van een tweeling er geleidelijk onderlinge verschillen ontstaan, wat ook goed te zien is, al lijken eeneiige tweelingen altijd ontzettend veel op elkaar.

We kunnen de hartslag van de harten van een identieke tweeling langdurig met elkaar vergelijken en vaststellen of zij zó ‘gelijk’ kloppen dat zij geschikt zijn voor het wetenschappelijke experiment met de Relativiteitstheorie.

Eén van de tweeling gaat mee met een ruimtereis, de ander blijft op aarde achter. De ene zal met reusachtige snelheid door het heelal reizen en de andere blijft rustig thuis. Hun beider hartslag zal tijdens de reis worden gemeten. Verondersteld wordt dat, als de Relativiteitstheorie ‘klopt’ voor kloppende harten, het hart van degene die de ruimtereis heeft gemaakt minder ‘slagen’ (van de hartslag) heeft gemaakt, dan het hart van degene die thuis is gebleven. Met andere woorden: het hart van de ruimtreiziger heeft langzamer geklopt dan het hart van de tweelingbroer, of zus, op aarde.

Nu komt het: sommige natuurkundigen nemen aan dat de hartslag het *levensritme* bepaalt en daarmee de mate waarin wij ouder worden. Als dus het éne lid van de tweeling heel lang en met grote snelheid op reis is geweest en zijn of haar hart heeft gedurende de reis langzamer geklopt dan het hart van het lid van de tweeling dat thuis is gebleven, dan is de thuisblijver *ouder* geworden gedurende de duur van de reis, dan degene die onderweg was. Conclusie: na terugkeer van het ruimteschip is de thuisblijver ouder dan de reiziger en zijn het dan nog wel tweelingen?

Ja, natuurlijk. Maar het is toch wel gek. Want wat maakt een tweeling tot een tweeling? Niet alleen dat zij uit hetzelfde ei gekropen zijn; dat is wel zo bij eeneiige tweelingen, maar niet bij twee-eiige tweelingen (die allebei hun eigen eitje hebben gehad en die gelijktijdig zijn bevrucht door twee zaadcellen). Een tweeling is een tweeling omdat zij ‘tegelijk’ (dat wil zeggen meteen na elkaar) geboren zijn en dus even oud zijn. Na de ruimtereis zijn zij evenwel niet meer even oud! Het verschil in ouderdom wordt bepaald door de zowel de duur van de ruimtereis, als door de snelheid van het ruimteschip.

Een biologische medewerker van deze krant wijst erop dat ons hart *niet* het levensritme bepaalt en daarmee *niet* als een klok onze leeftijd en dus ons ouder worden meet. Biologisch wordt dit anders gezien. Het hart is een pomp die het bloed rondpompt, wat nodig is om allerlei fysisch-chemische processen in ons lichaam op gang te houden. Het heeft niets te maken met leeftijd of ouder worden. Waarom organismen, zoals mensen en dieren, ouder worden is een verhaal apart waar weinig van bekend is. Pas onlangs is bekend geworden dat ook bacteriën ouder worden. Bacteriën zijn ‘primitieve’ levensvormen, bestaande uit één cel, die zich vermenigvuldigen door zich te delen. De cel is de bouwsteen van het leven. Ook menselijke cellen delen zich. Dat proces is eerder een vorm van recycling, dan van ouder worden. Behalve zenuwcellen, vernieuwen de lichaamscellen zich voortdurend. Toch is het niet zo dat het ouder worden van mensen geheel afhankelijk is van de ‘slijtage’ van de zenuwcellen. Er is ook veroudering als gevolg van beschadiging van de cellen, bijvoorbeeld door kosmische straling, en door ‘vervuiling’ van cellen door het binnenkomen in de cel van stoffen die de cel minder goed doen functioneren. Wie kans ziet beschadiging en vervuiling tegen te gaan houdt zijn cellen gezond; dan blijft de celdeling goed lopen en werken de organen zoals het behoort. Kortom, het is zeer de vraag of het ouder worden van ons lichaam iets te maken heeft met een ‘levensritme’ dat met klokken gemeten kan worden.

‘Tsja, daar zitten we dan,’ zei Tijmen. ‘Mooie boel. Sturen we een tweeling de ruimte in; nou ja, de helft van een tweeling dan en mijn persoontje erbij, om te meten of de tweelingparadox écht is of niet en dan lezen we dit!’

‘Ik zou zeggen, Krak, niks aan de hand.’ Rosa lachte breed. ‘Als het éne niet waar is, is het andere waar. Toch? Ik zie twee mogelijkheden; beide even interessant.’

Ten eerste. De natuurkundigen hebben gelijk. Mijn hartslag is op mijn klok in Dark Star hetzelfde als die van Charlotte op aarde. De klok in Dark Star

stuurt mijn kalenderleeftijd en mijn hartslag stuurt als het ware mijn zichtbaar ouder worden.

Als ik een hele lange reis had gemaakt van twintig jaar op Charlotte's klok en maar één jaar op mijn klok in het ruimteschip, dan kan iedereen bij mijn terugkeer op aarde zien dat ik nog maar achttien ben en Charlotte bijna veertig. Leve Einstein! De tweelingparadox is geen paradox, maar écht.

Tweede mogelijkheid. De fysisch-chemische processen van de cellen in mijn lichaam sturen het ritme van mijn hart aan.

Als de cellen in hetzelfde tempo blijven werken als op aarde; dus als er geen "tijduitrekking" zou plaatsvinden met de hartslag, dan gaat mijn hart sneller kloppen dan volgens de klok in het ruimteschip goed voor me is. Ik heb een veel te snelle pols. Maar géén koorts. Ik krijg van de dokter een pilletje om de polsslagen te verlagen.

Ouder worden, in de betekenis van "er ouder uitzien", hangt helemaal niet af van de hartslag maar, volgens de krant, van vervuiling of beschadiging van de cellen. Waarom zouden cellen tijdens een ruimtereis langzamer vervuilen dan op aarde? Als dat niet zo is, ben ik volgens de klok en dus volgens de kalender, jonger dan Charlotte, maar ik zie er *even oud* uit als zij. Dat is een gekke, hè! Denk je eens even in: ik ben volgens de Relativiteitstheorie en volgens mijn kalender in het ruimteschip één jaar weggeweest en volgens Charlotte en Tijmen op aarde, ben ik volgens hun kalender, veertig jaar weggeweest. Maar ik zie er toch even oud als zij! Wat is gekker? Zij zullen denken dat de Relativiteitstheorie niet klopt, want zij verwachten dat ik er één jaar ouder uitzie (als je dat al kan zien). De grap, of de paradox, van de Relativiteitstheorie zit hem niet in de verschillende kloktijd en de verstreken jaren op de kalender op aarde of in het ruimteschip, maar in de zichtbaarheid van het ouder worden!

'Je moet ook rekening houden met celbeschadiging en dus veroudering als gevolg van kosmische straling,' zei Charlotte. 'Daar is veel van in de ruimte en dat wordt niet tegengehouden zoals in onze dampkring. Je komt na een hele lange ruimtereis misschien wel ouder terug dan ik.'

'Daarom moet Doornroosje tijdens haar honderdjarige slaap ook niet zichtbaar ouder worden. Dan zou die prins een stokoud besje hebben aangetroffen in een vervallen paleis,' zei Rosa.

'Doornroosje had wel dood kunnen zijn,' zei Charlotte. 'Als mensen niet dood zouden gaan en ook niet zichtbaar ouder zouden worden, dan zou niemand zich opwinden over de tweelingparadox. De "tijduitrekking" zou niemand wat zeggen, als je het niet kan zien.'

'Er is toch iets wat altijd geldt, meiden,' zei Tijmen. 'Dat is misschien wel het aller-, aller-, allerspectaculairste van de Relativiteitstheorie: je reist naar de Toekomst! Want ook al zou niemand aan jou kunnen zien dat je maar één jaar bent weggeweest op je ruimtereis, jij ziet direct dat de wereld is veranderd. Ik heb uitgerekend dat je, als je met een constante versnelling, zoals van de zwaartekracht op aarde, al in één jaar zowat op de lichtsnelheid zit. Als je daarna met één miljoenste procent verschil met de lichtsnelheid door was gevlogen naar het Zwarte Gat in het centrum van de Melkweg, je in dertig jaar heen- en terug was geweest. Omdat dat Zwarte Gat op zo'n

30.000 lichtjaren afstand van ons is, zou de aarde bij jouw terugkeer 60.000 jaar ouder zijn. Misschien zijn er dan geen mensen meer....’

Het was stil rond de tafel. Ze keken elkaar aan. Zestigduizend jaar. ‘Maar kan ik ook weer terug naar huis? Naar jullie?’ vroeg Rosa. ‘Absoluut niet!’ antwoordde Tijmen. ‘Eens naar de toekomst, voor altijd naar de toekomst. *This is a way of no return*. De Relativiteitstheorie laat niet toe terug te reizen naar het begin, of naar het verleden. Of..., er is misschien een ontsnappingsclausule.’ Tijmen stopte even en dacht na. ‘Er is wel eens gedacht dat je door een Zwart Gat heen kan vallen. Dat je niet verzwolgen wordt en tot stof vermalen, maar dat je er aan de andere kant weer uitrolt. Dan zou je in een heel ander deel van de ruimte en van de tijd worden uitgespuugd. Dat zou ook in het verleden kunnen zijn. Maar als je het mij vraagt, twijfel ik. In ieder geval kan je niet op dezelfde plaats terug in de tijd. Als je een suïcidale bui hebt als puber, kan je niet met een tijdmachine naar het verleden om je vader ervan te weerhouden je moeder te bevruchten om zo je eigen geboorte te verhinderen. Daar heeft “oom Einstein” wel voor gezorgd!’ ‘Goeie hemel’, zei Rosa, ‘waar jij allemaal mee bezig bent. Ik ben toch meer filosoof dan natuurkundige. Van mij hoeft de relativiteitstheorie niet overal geldig te zijn. Ook niet voor mijn lijf. Het verleden heb ik opgeslagen in mijn geheugen. Daar bewaar ik het en ik kan ernaar terug wanneer ik wil. Dat is toch ook tijdreizen?’

Het bleef lang stil aan tafel.

Charlotte keek beide anderen ernstig aan. ‘Luister, ik ben een klein beetje sceptisch. Ik geloof niet iedereen metéén, maar ik twijfel ook niet aan álles. Waarom zouden de natuurkundigen, de biologen en de filosofen niet ieder op hun eigen terrein een beetje gelijk hebben?’

Ze keken elkaar aan. ‘Een beetje dan, vooruit!’ zei Rosa; ze barstten in lachen uit en hieven hun glazen.

‘Proost!’ zeiden ze alle drie tegelijk.

Rudi van der Velde