

## HOOFDSTUK 1

# Historische inleiding

Ongeveer begin twintigste eeuw was bijna alles wat wetenschappelijk bekend was over de werkelijkheid gebaseerd op wat 180 jaar eerder door Newton uit oude kennis was samengevat en ontdekt. Het kwam overeen met wat onze intuïtie ons vertelt over hoe de natuur zich gedraagt.

Maar dit zou radicaal veranderen.

De afgelopen tienduizend jaar zijn onze lichamen immers nauwelijks veranderd. We hebben al die tijd vrijwel dezelfde ogen, oren, vingers, tongen en neuzen gehad. Dat maakt ons door de eeuwen heen vanaf onze geboorte allemaal gelijk wanneer we wat er om ons heen gaande is, proberen te begrijpen.

Dankzij eeuwenlang bevragen en verwonderen en allerlei technologische verbeteringen zien we aan het begin van de vorige eeuw onze soort een nieuw bewustzijnsniveau bereiken. We realiseren ons dat de natuurwetten waarvan we intuïtief meenden dat ze overal in ruimte en tijd geldig waren, niet helemaal zijn zoals we dachten.

## HOE BEGRIJP JE $E=MC^2$ ?

We zijn zo nietig, vergeleken met de onmetelijkheid van ons universum.

En vergeleken met de nietigheid van elementaire deeltjes en hun kwantumwereld zijn we ware reuzen.

We dobberen tussen deze twee oneindigheden, één grote en één kleine. Onze zintuigen staan ons toe de omringende wereld alleen op een beperkte manier te onderzoeken.

Ongeveer 100 jaar geleden zien we onszelf afdrijven van de veiligheid van ons referentiekader; de natuurwetten beginnen drastisch te veranderen. Wat we dagelijks ervaren, is slechts een benadering van werkelijkheden die onze zintuigen niet kunnen detecteren. Deze kennis maakt ons anders dan alle mensen die vóór ons geleefd hebben.

Vandaag kennen we drie wegen die leiden naar onvoorziene aspecten van de werkelijkheid. De ene is het grote. De andere het kleine. En de derde het snelle – het rijk van de hoge snelheden.

Net zoals het waar is dat we noch groot zijn (vergeleken met het universum) noch klein (vergeleken met deeltjes), is het ook zo dat we nooit snel bewegen. Zelfs de snelste raket ooit gelanceerd is zo'n beetje een slak in vergelijking met wat vliegt met de snelheid van het licht.

Maar wacht eens even, plant het licht zich niet onmiddellijk voort?

Ik weet dat jij weet dat dat niet het geval is. Het plant zich voort met een bepaalde snelheid die we de lichtsnelheid noemen. Wetenschappers verwijzen ernaar met de letter 'c', voor *celeritas*, wat Latijn is voor gezwindheid. Het heeft de eer gekregen van

een letter, een eer die jouw snelheid noch de mijne ooit zullen krijgen, en dat komt doordat er iets heel eigenaardigs mee aan de hand is: in een vacuüm plant het licht zich altijd met dezelfde snelheid voort.

Altijd. Onafhankelijk van wie de snelheid aan het meten is.

Dit is half de reden waarom  $E$  gelijk is aan  $mc^2$ .

Om te zien hoe men tot dit besef kwam, moeten we beginnen met het meten van de lichtsnelheid.

## HOOFDSTUK 2

# De lichtsnelheid

Stel jezelf voor in een donkere kamer.

Je hebt je hand bij de lichtknop.

Je bent helemaal gefocust, want je staat op het punt uit te zoeken hoe lang het licht erover doet om van de gloeilamp naar je oog te reizen.

Je doet het licht aan.

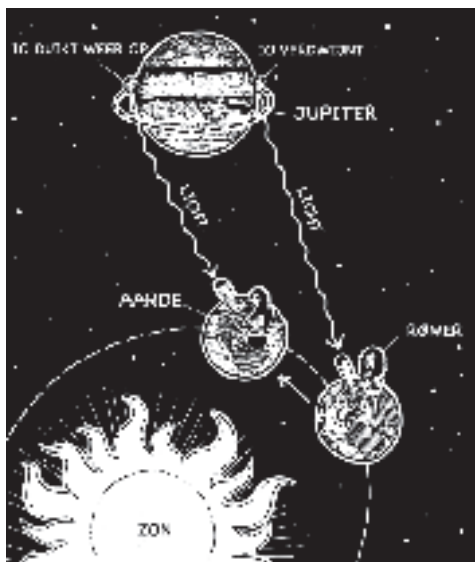
Maar je detecteert geen vertraging.

Voor je zintuigen is de kamer onmiddellijk verlicht.

Galileo probeerde zo'n 500 jaar geleden dezelfde truc met een lichtbron op ongeveer anderhalve kilometer vanwaar hij stond, en kon evenmin enige vertraging ontdekken. Toch is er een. Rond Galileo's tijd bestond er nog geen apparaat dat precies genoeg was om die te detecteren. Om überhaupt iets te kunnen zien, hadden onze voorouders het licht over zeer veel grotere afstanden moeten laten komen, van ergens ver buiten deze aarde.

En dat is precies wat de Deense astronoom Ole Rømer deed in 1676. Hij bestudeerde Io, een van de grootste manen van

Jupiter.<sup>1</sup> Zoals de meeste planeten schijnt Jupiter niet van zichzelf. Hij wordt verlicht door de zon. Er zit dus een schaduw achter. Io gaat op heel regelmatige wijze deze schaduw in en uit, waardoor het in de duisternis verdwijnt en eruit opduikt. Dankzij Galileo's pas uitgevonden telescoop merkte Rømer op dat het Io meer tijd kostte om te verdwijnen en weer tevoorschijn te komen wanneer de aarde zich van Jupiter verwijderde dan wanneer die naar Jupiter toe bewoog. Voor Rømer was dit het teken dat licht zich niet zonder vertraging (onmiddellijk) voortplante. Hij schatte zelfs hoe snel het was binnen ongeveer 20 procent van de waarde die we vandaag kennen. Helemaal niet slecht voor een eerste poging.



Ongeveer 200 jaar later, rond 1860, stond de Schotse natuurkundige James Clerk Maxwell aan de wieg van een reeks wetenschappelijke revoluties die tot niets minder dan de wetenschap van de twintigste eeuw zouden leiden. In een tijd waarin mensen nog rondreden op paarden en 's nachts bij kaarslicht werkten, ontdekte Maxwell dat elektriciteit en magnetisme twee aspecten waren van een en hetzelfde fenomeen – elektromagnetisme – dat, als het verstoord werd, een golf veroorzaakte.

Net zoals een bewegende boei op een meer golven op het oppervlak creëert die met een bepaalde snelheid van de boei af bewegen, zo krijg je ook een golf – een elektromagnetische golf – als je een magneet beweegt. Daar gaan de wetten van Maxwell (of maxwellvergelijkingen) over. En hij vroeg zich natuurlijk ook af hoe snel deze golven zich voortplantten. Uit experimenten bleek dat dat precies de snelheid was die Rømer had gevonden: de snelheid van het licht. Maxwell geloofde niet dat dit toeval was. Hoe vreemd het ook mag klinken, hij had ontdekt dat licht een elektromagnetische golf was.

Maar dit leidde tot een nieuwe puzzel.

Een golf op het oppervlak van de oceaan plant zich voort over water; een geluidsgolf plant zich voort door materie.<sup>2</sup> Maar waar plant een lichtgolf zich over voort? In een kamer zien we een kaars branden op tafel en aan de nachtelijke hemel zien we heel ver sterren flonkeren. In een kamer bevindt zich lucht. In de ruimte is er niets. Niets dat blijkbaar te zien is. En toch plant het licht zich door beide voort. Na de ontdekking van Maxwell

dachten wetenschappers dat er eigenlijk iets moest bestaan in de ruimte, en hier op aarde, dat we niet konden zien. Een medium dat het hele universum vulde, een medium dat in trilling gebracht kon worden en de doortocht van een golf verwelkomde. Een lichtgolf. Dat medium werd de *lichtgevende ether* genoemd, of kortweg *ether*. Bijna geen van al die briljante wetenschappers van die tijd twijfelde aan het bestaan ervan, maar als je er nog nooit van hebt gehoord, wees gerust. De ether bestaat niet.

Stel jezelf voor op een boot, op zee. Je hebt de wind in de zeilen, je vaart snel. Een andere boot vaart achter je met exact dezelfde snelheid. De kapitein daarvan blaast op zijn hoorn om je te groeten. Gedragen door de wind bereikt het geluid van de hoorn van de andere boot je sneller dan op een rustige dag. Beleefd blaas je terug op je hoorn, maar je akoestische signaal moet nu tegen de wind opboksen.

Door de twee reistijden van het signaal te vergelijken kun je een schatting maken van de windsnelheid.

In de jaren 1880 deden twee Amerikaanse wetenschappers, Albert Michelson en Edward Morley, precies hetzelfde experiment, niet om een wind van lucht te detecteren, maar een van ether. Het schip dat ze gebruikten was geen willekeurige boot op de oceaan. Het was het schip waar we bij onze geboorte op aanmonsteren op onze reis door het universum: de aarde zelf.

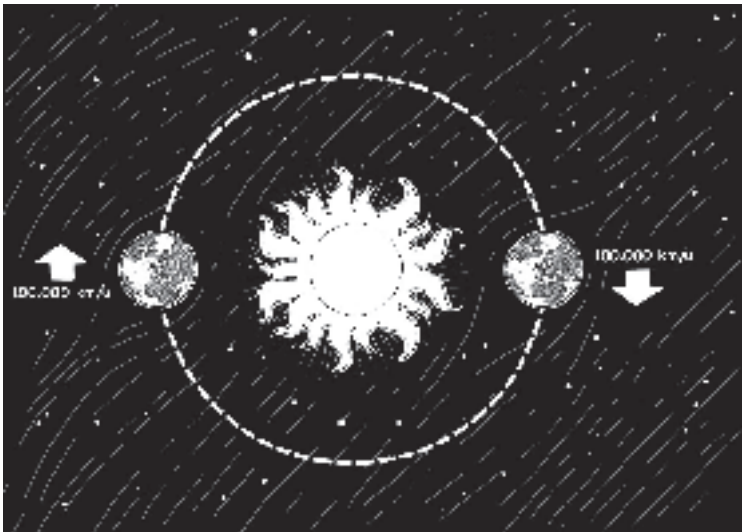
De aarde voltooit in één jaar een baan rond de zon. En toevallig is die baan redelijk rond, wat betekent dat we ongeveer in een cirkel rond onze ster bewegen. Dus welke dag het ook is, terwijl jij dit leest, zijn jij en ik, en alles hier op onze planeet, op

## HOE BEGRIJP JE $E=MC^2$ ?

weg naar verafgelegen sterren die exact in de tegenovergestelde richting liggen ten opzichte van diegene waar we zes maanden geleden naartoe gingen of over zes maanden naartoe zullen gaan. Dat is precies wat er gaande als je in een cirkel reist.

We merken het niet, maar de aarde beweegt zich vrij snel rond de zon: ongeveer 100.000 km per uur. Als er dus wat ether in de buurt was, alles vullend en in een bepaalde richting blazend, zou er met tussenpozen van zes maanden een snelheidsverschil van 200.000 km/u moeten zijn tussen de snelheid van de aarde en die van de ether.

Michelson en Morley's experiment bestond in wezen uit het om de zes maanden afvuren van lichtstralen naar dezelfde verre





sterren in de ruimte. De aarde zou eerst naar een van deze sterren toe gaan en zich er zes maanden later van af bewegen. Als licht dat zich door de ether voortplant hetzelfde is als geluid dat zich door de lucht voortplant, moet de reistijd van het licht tussen twee plaatsen veranderen en de snelheid van de etherwind verraden.

Maar ze vonden helemaal geen verschil. Nul.

Geen wind. Dat was onvoorzien, maar de (meeste) wetenschappers zijn eroverheen gekomen.

Ze konden de snelheid van de aarde echter ook niet detecteren. Dit verschil van 200.000 km/u bleek nergens uit.

Dat was een echte schok, niet alleen omdat het betekende dat er niet zoiets als ether bestond.

Om te begrijpen waarom moet je jezelf voorstellen op een cricket pitch. Je gooit een cricketbal naar het wicket.

Gooi de bal opnieuw, met dezelfde kracht, terwijl je op een raket met 200.000 km/u op het wicket af gaat.

Je zou niet verwachten dat de twee cricketballen het wicket met dezelfde snelheid raken, toch?

Nou, nogal onverwacht was dat precies wat Michelson en Morley over licht ontdekten.

Wat de bron ook doet, licht plant zich altijd met dezelfde snelheid voort.

Precies met 299.792.458 meter per seconde.

‘Precies’, want sinds 1983 wordt op die manier de meter gedefinieerd: het is de afstand die licht in één seconde aflegt, gedeeld door 299.792.458. Daar valt niets tegen in te brengen.