

# Inhoud

1	Een korte geschiedenis van de natuurkunde	7
2	Krachten	23
3	Energie en vermogen	43
4	Impuls	61
5	Hitte en materie	82
6	Golven	97
7	Elektriciteit	116
8	Relativiteit	132
9	Kwantumfysica	152
10	Het universum	170
	Register	188

# Een korte geschiedenis van de natuurkunde

**W**at is natuurkunde precies?  
Wel, eigenlijk is het alles.

Natuurkunde probeert ons te vertellen over een oerknal die lang geleden het universum creëerde, uit te leggen hoe mensen van daar naar hier kwamen (en waarom we niet snel ergens anders heen zullen gaan) en te laten zien hoe en waarom alles om ons heen werkt zoals het werkt.

Natuurkunde vertelt ons hoe de eerste stukjes materie ontstonden, hoe de eerste sterren werden geboren en hoe het universum, in de loop van miljarden jaren, de enorme en verbaazingwekkende ruimte werd die we kennen, met onze planeet als nietig vlekje aan de rand van een van de 125 miljard sterrenstelsels.

Hij verklaart vrijwel alles wat er gebeurt in de wereld om ons heen: energie en beweging, geluid en licht, elektriciteit en materie. En zijn wetten vormen de basis van scheikunde en biologie.

Natuurkunde wijst ook op spannende nieuwe ideeën. Hij zegt bijvoorbeeld dat tijdreizen mogelijk zou kunnen zijn. He-

laas zegt hij ook dat we waarschijnlijk te groot zijn om dat te kunnen uitproberen.

Kortom, de moderne natuurkunde geeft ons een fascinerende, indrukwekkende en soms gewoonweg vreemde visie op het universum en onze plaats daarin. Vallende appels en opstijgende ballonnen zijn nog maar het begin.

## Het is de wet

Natuurkundigen – een gemengd gezelschap van wiskundige denkers en meer praktische types die het leuk vinden om experimenten uit te voeren, bijvoorbeeld kleine stukjes materie kapotslaan in nog kleinere stukjes – denken dat ze alles kunnen verklaren omdat alles gebeurt volgens de wetten van de natuur.

Deze wetten laten zien dat als dit gebeurt, ook dat zal gebeuren. Als ik een gewicht (bijvoorbeeld mezelf) aan een springveer hang, is de hoeveelheid die de veer uitrekt evenredig met mijn gewicht: twee keer zoveel gewicht, twee keer zoveel rek. (Deze wet wordt de wet van Hooke genoemd, omdat hij werd ontdekt door de zeventiende-eeuwse Engelse natuurkundige Robert Hooke.)

De wetten van de natuurkunde zijn nuttig voor ons omdat natuurkunde een praktische wetenschap is. Wat we tot dusver hebben geleerd, heeft ons geholpen bij het bouwen van allerlei dingen – van weegschalen in de badkamer (die springveer weer) tot miljoenen glanzende gadgets, van de lampen die onze steden en wegen verlichten tot de vliegtuigen die daar (meestal) overheen vliegen.

Ze hebben ons uiteraard ook voldoende kernraketten opgeleverd om dat allemaal – inclusief onszelf en het leven zoals wij het kennen – op te blazen.

## Hoe we natuurkunde ontdekten

Mensen hebben altijd geprobeerd om de wereld om hen heen te verklaren en te voorspellen. Het lijkt een wezenlijk onderdeel te zijn van ons mens-zijn. Maar pas nadat we gestopt waren met de schuld van allerlei dingen, van bliksem tot aardbevingen, in de schoenen te schuiven van een stel lichtgeraakte goden, begonnen we nuttige informatie op te maken uit onze verklaringen.

Dat is dus natuurkunde. Maar een snelle blik door 2500 jaar wetenschappelijke vooruitgang geeft ons een beter idee van hoe we kwamen waar we nu zijn. En bewijst, hopelijk, iedereen die nog steeds bang is voor dit onderwerp, dat het niet bijt – zelfs niet als het een knal geeft.

## Het is allemaal Grieks

De oude Grieken dachten bijna 2500 jaar geleden veel na over wetenschap. Behalve dat ze naakt rondjes renden tijdens de eerste Olympische Spelen, hoogdravende verhalen schreven over goden, slimme helden en veelkoppige monsters en prachtige tempels bouwden, bedachten ze ook heel veel interessante theorieën.

Thales stelde bijvoorbeeld dat de aarde dreef op water en dat aardbevingen werden veroorzaakt door golven. Aristoteles, wiens *Fysica* het eerste werk is over natuurkunde dat dit woord gebruikte in de titel, geloofde dat alles op de wereld bestond uit aarde, lucht, vuur en water en dat de hemel was gemaakt van een goddelijke stof genaamd ether. Rook, dacht hij, steeg op omdat het vooral bestond uit lucht en lucht heeft altijd de neiging om boven de aarde te zijn.

Dit waren aardige eenvoudige theorieën, maar de Grieken waren over het algemeen van mening dat een voorwerp iets doet omdat het een voorwerp is dat zoiets doet. Daarmee komen we nergens: het is een cirkelredenering, een goed voorbeeld van wat de moderne natuurkunde niet is. (Tegenwoordig proberen we dingen te verklaren met andere dingen, een aardige manier om te zeggen dat we meestal iemand anders de schuld geven.)

Strikt gesproken zeiden de Grieken, bijvoorbeeld, dat alle cirkels die we zien op de een of andere manier schaduwen zijn van de ‘vorm’ rondheid. Men dacht dat vormen goddelijk, perfect en niet van deze wereld waren, zodat de vorm rondheid het perfecte voorbeeld was voor alle andere ronde dingen. Maar we lijken niet om het feit heen te kunnen dat de rondheid van een voorwerp nog steeds wordt verklaard door het feit dat het, nou ja, rond is. En dat is, zoals we al zeiden, een mooi voorbeeld van een cirkelredenering.

## Denkspelletjes

Een deel van het probleem was dat de oude Grieken de neiging hadden om te denken dat men puur door de kracht van het verstand in staat zou moeten zijn om te ontdekken wat er in de wereld gebeurt. De wereld om ons heen was niet perfect, dus, dachten ze, had het niet zoveel zin om hem te goed te bekijken en te verwachten dat hij zich op een regelmatige manier gedroeg.

En zelfs als zij observeerden wat er om hen heen gebeurde, maakten ze een paar vreemde fouten. Aristoteles maakte bijvoorbeeld gedetailleerde studies van planten en dieren maar dacht dat mannen altijd meer tanden hadden dan vrouwen.

## De planeten voorspellen

Een paar honderd jaar later bedacht een andere oude Griek, genaamd Ptolemaeus, een vrij nauwkeurig wiskundig systeem om de positie te voorspellen van de sterren en planeten.

Dit was een grote stap voorwaarts, hoewel hij ook dacht dat de planeten (en de zon) om de aarde draaiden. Dit betekende dat hij, om te zorgen dat zijn cijfers klopten, moest voorspellen dat de maan soms twee keer zo dicht bij de aarde kwam als andere keren. Daarom zouden we, zo dacht hij, regelmatig moeten zien dat de maan twee keer zo groot leek.

De maan groeide uiteraard nooit, maar in de westerse wereld bleven de Griekse ideeën in de natuurkunde 1500 jaar bestaan. Dit kwam ten dele omdat ze werden ondersteund door de kerk: de Griekse ideeën zetten, net als het christendom, de mens in het centrum van het universum en omdat de sterren allemaal waren bevestigd aan de binnenkant van een enorm uitspannel, bleef er aan de buitenkant daarvan heel veel ruimte over voor de hemel en de hel.

Toen de Griekse beschaving in verval raakte, werden veel van de ideeën en geschriften gered door islamitische wetenschappers, die ze uitwerkten en langzaam het belang van wetenskap en observatie deden toenemen, vooral bij het bestuderen van licht, de sterren en beweging. Dit was een goede stap omdat wiskunde en observatie de sleutel bleken te zijn tot ontwikkelingen in de wetenschap.

## De wetenschappelijke revolutie

Het lijkt nu misschien voor de hand liggend, maar deze nieuwe gedachtewereld revolutioneerde de manier waarop we de we-

reld verklaren. Door goed te kijken, tijd, afstand en energie te meten en die cijfers te combineren met wiskunde en zorgvuldig na te denken, konden we voorspellen – tenminste onder zorgvuldig gecontroleerde omstandigheden in het laboratorium – wat er zou gebeuren en waarom. (Het is eigenlijk verrassend hoever men kan komen zonder wiskunde, zoals dit boek aantoont. Wiskunde is nodig om theorieën goed geformuleerd op te schrijven en ze te bewijzen aan andere wetenschappers, maar meestal is het algemene idee ook zonder wiskunde heel goed te begrijpen.)

Ook de astronomie ontwikkelde zich en de theorie dat de aarde om de zon draaide werd langzaam steeds populairder, ondanks de inspanningen van de katholieke kerk. De Bijbel zegt dat de wereld stevig vastzit en deze revolutionaire nieuwe theorie was, inderdaad, revolutionair.

De grote Italiaanse natuurkundige Galileo Galilei, die handig was met een telescoop en een toegewijd sterrenkijker was, leverde het eerste directe bewijs voor de nieuwe theorie. De kerk plaatste hem in 1633 onder huisarrest voor zijn ketterij. Hij bleef dat tot zijn dood.

Toen kwam Sir Isaac Newton – een Engelse mysticus, alchemist en theoloog – een gecompliceerde en vaak heel dwarse man, maar ook de grootste wiskundige en op één na grootste natuurkundige ooit. In een boek, de *Principia Mathematica*, dat werd gepubliceerd in 1687, verkondigde hij de wet van de zwaartekracht, naast drie wetten van beweging die beschrijven hoe voorwerpen bewegen. Deze waren tweehonderd jaar onbetwist en vormen nog steeds de basis van de meeste bewegingsberekeningen van wetenschappers en ingenieurs.

Als u bijvoorbeeld de minimumafstand wilt weten die nodig is om uw auto te stoppen als u 120 kilometer per uur rijdt op de snelweg en u geen kettingbotsing wilt veroorzaken door het

zelf uit te proberen, hebt u alleen maar een snel experiment bij 30 kilometer per uur, een kopie van Newtons wetten van beweging en, voor mensen die niet zo goed kunnen rekenen, het vermogen om op een rekenmachine te vermenigvuldigen en delen nodig (zie bladzijde 55).

## **Een universum als een uurwerk**

Na Newton leek het dat het universum liep op een geheime uurwerkcode en dat het werd bestuurd door regels die we kunnen ontdekken en verklaren. Dit idee veranderde de loop van de menselijke geschiedenis. Het leidde ertoe dat wetenschappers overal ter wereld Newtons wiskundige tools gebruiken om voort te bouwen op zijn ideeën en de wetenschap te ontwikkelen. Newton startte dus de golf aan wetenschappelijke ontdekkingen die nog steeds doorgaat.

We ontdekten waarom de aarde rond de zon draait en hoe de hitte van de zon ons bereikt. We leerden over licht, geluid, elektriciteit en energie: hoe het verandert, hoe het beweegt en hoe het verdwijnt. We merkten dat alles wat we zien, bestaat uit heel kleine deeltjes genaamd atomen, die weer bestaan uit nog kleinere deeltjes genaamd elektronen en protonen en neutronen. En dat daarin zelfs nog kleinere deeltjes zitten.

Met deze informatie begonnen ingenieurs aan de bouw van onze moderne wereld.

## **Met de snelheid van het licht**

In de negentiende eeuw begonnen wetenschappers heel kleine foutjes te ontdekken in Newtons wetten – en de tak van de na-