

**Helen Czerski**

# **OBER, ER ZIT NATUURKUNDE IN MIJN SOEP**

**Natuurkunde begrijpen aan  
de hand van het dagelijks leven**

Vertaald uit het Engels door Ineke van den Elskamp

**MAVEN**  
PUBLISHING

Tijdens mijn studie bereidde ik me een keer bij mijn oma thuis voor op een tentamen natuurkunde. Oma, een nuchtere noorderling, was onder de indruk toen ik haar vertelde dat ik leerde hoe atomen in elkaar zaten.

‘O,’ zei ze, ‘en wat kun je dan doen als je dat weet?’

Dat is een bijzonder goede vraag.

# Inhoud

Voorwoord<sup>{9}</sup>

1<sup>21</sup> Popcorn en raketten  
De gaswetten

2<sup>51</sup> What goes up must come down  
De zwaartekracht

3<sup>81</sup> Wie het kleine niet eert  
Oppervlaktespanning en viscositeit

4<sup>113</sup> Een ogenblik in de tijd  
De gang naar evenwicht

5<sup>145</sup> Deining verwekken  
Van water tot wifi

6<sup>183</sup> Waarom een eend geen koude voeten krijgt  
De dans van het atoom

7<sup>217</sup> Soep, spiralen en Spoetnik  
De regels van rotatie

8<sup>251</sup> De aantrekkingskracht van tegenpolen  
Elektromagnetisme

9<sup>297</sup> Een andere kijk

Bibliografie<sup>{323}</sup>

Woord van dank<sup>{333}</sup>

# **Voorwoord**

10 We leven op de rand, op de grens tussen de planeet aarde en de rest van het universum. In een onbewolkte nacht kunnen we de talloze heldere sterren bewonderen, die onveranderlijk en trouw aan de hemel staan, bakens die uniek zijn voor onze plaats in het heelal. Alle menselijke beschavingen hebben de sterren gezien, maar niemand heeft ze aangeraakt. Ons huis hier op aarde is het tegenovergestelde: rommelig, veranderlijk, bruisend van nieuwigheid en vol dingen die we elke dag aanraken en beetpakken. Hier moet je zijn als je wil weten wat het geheim van het universum is. In de fysische wereld vind je een verrassende variëteit, die ontstaat doordat dezelfde principes en dezelfde atomen op allerlei manieren worden gecombineerd, met talloze resultaten als gevolg. Maar die diversiteit is niet willekeurig. Onze wereld zit vol patronen.

Als je melk in je koffie schenkt en die een keer snel omroert, zul je zien dat er een draaikolk ontstaat, een spiraal van twee vloeistoffen die om elkaar heen draaien, maar elkaar nauwelijks raken. Die spiraal in je koffiekopje verdwijnt al na een paar seconden, als de twee vloeistoffen volledig met elkaar zijn vermengd.

Maar in die paar seconden wordt duidelijk dat vloeistoffen niet meteen in elkaar vloeien, maar zich in prachtige wervelende patronen met elkaar vermengen. Dit patroon kun je ook elders zien, om dezelfde reden. Als je uit de ruimte op de aarde neerkijkt, zie je vaak vergelijkbare draaikolken in de wolken. Die wervelingen ontstaan doordat warme en koude lucht om elkaar heen walsen en zich niet direct met elkaar vermengen. Hier, in West-Europa, komen ze regelmatig vanuit het westen over de Atlantische Oceaan aanzetten en zijn ze de oorzaak van ons notoir wisselvallige weer. De wervelingen ontstaan op de grens tussen koude poollicht in het noorden en warme tropische lucht in het zuiden. De koele en de warme lucht zitten elkaar achterna in cirkels, en je kunt het patroon duidelijk zien op satellietbeelden. We kennen deze draaikolken als depressies of cyclonen, en we krijgen te maken met een snelle afwisseling tussen wind, regen en zonneschijn wanneer de armen van de spiraal passeren.

Een ronddraaiende storing heeft op het eerste gezicht weinig gemeen met een omgeroerd kopje koffie, maar het is niet alleen toeval dat de patronen zoveel op elkaar lijken. Die gelijkenis wijst op iets fundamentele. Achter beide patronen zit een systematische basis voor al dit soort formaties, een basis die is ontdekt, onderzocht en getest in nauwgezette experimenten, uitgevoerd door verschillende generaties. Dat ontdekkingsproces is wetenschap: het voortdurend verfijnen en testen van onze kennis, naast het zoeken, waarbij weer andere dingen aan het licht komen die we nog niet begrijpen.

Soms is een patroon op een andere plaats makkelijk te herkennen. Maar soms zit het verband iets dieper verstopt, zodat het des te bevredigender is als het uiteindelijk duidelijk wordt. Je verwacht bijvoorbeeld niet dat schorpioenen en fietsers veel met elkaar gemeen hebben. Maar ze maken allebei gebruik van hetzelfde fysische verschijnsel om te overleven, zij het op de tegenovergestelde manier.

In de Noord-Amerikaanse woestijn zijn de nachten zonder

maan koud en stil. Alleen het zachte licht van de sterren valt op de grond, en je kunt je haast niet voorstellen dat je er iets kunt vinden. Maar uitgerust met een speciale zaklantaarn kun je in die duisternis op zoek gaan naar iets heel bijzonders. Je hebt een zaklantaarn nodig die ultraviolet licht geeft, licht dat wij mensen niet kunnen zien. Als de lichtstraal over de grond schijnt, kun je niet precies zeggen waar hij op gericht is omdat hij onzichtbaar is. Dan licht er iets op en verschijnt er in de duisternis van de woestijn een opgeschrikte, wegvluchtende, griezelige, helder blauwgroene flard. Dat is een schorpioen.

12 Zo gaan liefhebbers op zoek naar schorpioenen. De zwarte arachniden hebben pigmenten in hun exoskelet die het voor mensen onzichtbare ultraviolet licht opnemen en zichtbaar licht teruggeven. Het is een bijzonder slimme truc, hoewel je er waarschijnlijk minder van gecharmeerd zult zijn als je bang bent van schorpioenen. Deze lichttruc wordt 'fluorescentie' genoemd. Men neemt aan dat de blauwgroene gloed van de schorpioen een evolutionaire aanpassing is waardoor het dier in de schemering de beste schuilplaatsen kan vinden. Ultraviolet licht is er altijd, maar in de schemering, als de zon net achter de horizon is gezakt, is het zichtbare licht grotendeels verdwenen en blijft alleen het ultraviolette licht over. Zolang de schorpioen onder de blote hemel is, zal hij in de schemering dus licht uitstralen en valt hij op omdat er verder vrijwel geen blauw en groen licht is. Als er maar een stukje van zijn lijf uit zijn schuilplaats steekt, neemt hij zijn eigen gloed waar en weet hij dat hij zich beter moet verstoppen. Het is een elegant en effectief signaleringssysteem – althans dat was het totdat er mensen kwamen met ultraviolette zaklantaarns.

Gelukkig voor de arachnofoben onder ons hoeft je niet in een woestijn met schorpioenen te zijn om fluorescentie te zien. Je kunt het verschijnsel ook waarnemen op een druilerige ochtend in de stad. Kijk maar eens naar veiligheidsbewuste fietsers: hun jassen steken ongewoon fel af bij de omgeving. Het lijkt of ze licht geven, en dat doen ze ook. Op bewolkte dagen houden de wolken het

zichtbare licht tegen, maar er komt nog een heleboel ultraviolet licht doorheen. De pigmenten in de jassen nemen het ultraviolette licht op en geven zichtbaar licht terug. Het is exact dezelfde truc als die van de schorpioenen, maar met het tegenovergestelde doel. De fietsers willen juist licht uitstralen, want daardoor vallen ze meer op en lopen ze minder gevaar. Deze vorm van fluorescentie krijgen we gratis en voor niets: we zijn ons niet bewust van het ultraviolette licht, dus schieten we er niets bij in als het wordt omgezet in iets wat we kunnen gebruiken.

Dat er zo iets als fluorescentie bestaat, is op zich al fascinerend, maar het mooiste vind ik dat zo'n fysisch juweeltje niet enkel een interessant gegeven is; het is een hulpmiddel dat je altijd bij de hand hebt. Het kan overal van pas komen. Dit fysische verschijnsel helpt zowel de schorpioen als de fietser om te overleven. Het zorgt er ook voor dat tonic licht geeft onder ultraviolet licht, omdat de kinine in tonic fluorescerend is. En het is het geheim achter het wonder van witmakers in wasmiddelen en van markeerstiften. Houd dat in gedachten als je weer eens een gemarkeerde alinea ziet: de inkt van de markeerstift doet ook dienst als detector van ultraviolet licht; je ziet het ultraviolette licht niet, maar je weet dat het er is omdat de inkt oplicht.

Ik ben natuurkunde gaan studeren omdat de natuurkunde dingen verklaarde die mij interesseerden en de mechanismen van de wereld voor me blootlegde. Maar het mooiste vond ik dat ik de kans kreeg zelf een paar van die mechanismen uit te puzzelen. Hoewel ik nu fysisch van beroep ben, had ik voor veel van mijn ontdekkingen geen laboratorium, ingewikkelde computerprogramma's of kostbare experimenten nodig. De meeste voldoening schonken ontdekkingen die ik deed als ik zomaar ergens mee speelde en eigenlijk geen wetenschap aan het bedrijven was. Met een beetje basale kennis van de natuurkunde verandert de wereld in een kist vol speelgoed.

Op natuurwetenschappelijk onderzoek dat je gewoon in de keuken en de tuin of op straat kunt doen, reageren mensen soms een



14 beetje laatdunkend. Ze vinden het een bezigheid voor kinderen, een vorm van vermaak die belangrijk is voor de kleintjes, maar weinig zinvol voor volwassenen. Een volwassene koopt liever een boek over hoe het heelal in elkaar zit; dat vindt men wel een onderwerp voor grote mensen. Maar als je dat denkt, zie je iets belangrijks over het hoofd: overal is dezelfde fysica van toepassing. Een broodrooster kan je een paar fundamentele natuurkundige wetten leren, en het voordeel van een broodrooster is dat je er waarschijnlijk eentje in huis hebt, zodat je zelf kunt zien wat er gebeurt als hij aanstaat. De natuurkunde is juist zo geweldig omdat allerlei patronen universeel zijn: ze komen zowel in de keuken als in de uithoeken van het universum voor. Het is bovendien handig om eerst naar die broodrooster te kijken. Dan weet je straks in elk geval waarom je geroosterde brood warm is, ook als je je nooit gaat verdiepen in de temperatuur van het heelal. Maar zodra je het patroon kent, zul je het op veel andere plaatsen herkennen, onder andere in de indrukwekkendste prestaties van de mens. Als je kennisneemt van de alledaagse wetenschap, krijg je de achtergrondkennis over de wereld die iedere burger nodig heeft om volledig te participeren in de samenleving.

Heb je weleens een rauw ei van een gekookt ei moeten onderscheiden zonder ze te breken? Dat is heel eenvoudig. Leg het ei op een glad, hard oppervlak en laat het tollen. Na een paar seconden raak je de schaal net lang genoeg met één vinger aan om het ei tot stilstand te brengen. Mogelijk blijft het ei nu stilliggen. Maar het kan ook na een paar tellen weer langzaam gaan ronddraaien. Rauwe en gekookte eieren zien er vanbuiten hetzelfde uit, maar vanbinnen zijn ze niet hetzelfde, en daar zit de crux. Als je het gekookte ei aanraakt, breng je een volledig vast object tot stilstand. Maar bij het rauwe ei stop je alleen de schaal. De vloeistof in het ei is niet gestopt en blijft rondtollen, zodat de schaal na een paar tellen weer begint te draaien, omdat hij wordt meegesleurd door de vloeistof. Als je me niet gelooft, moet je het zelf maar proberen. Het is een natuurkundig principe dat voorwerpen de neiging hebben

dezelfde soort beweging vol te houden tenzij je ze een duw geeft of aan ze trekt. In dit geval blijft de totale hoeveelheid draaiing van het eiwit hetzelfde omdat ze geen reden had om te veranderen. Dit staat bekend als 'behoud van impulsmoment'. En het werkt niet alleen in eieren.

De Hubble-ruimtetelescoop, een kijker die sinds 1990 in een baan rond onze planeet draait, heeft duizenden spectaculaire foto's van de kosmos gemaakt. Hij heeft opnames naar de aarde gestuurd van Mars, de ringen van Uranus, de oudste sterren in de Melkweg, de nevel die de prachtige naam de Sombbrero nevel heeft gekregen, en de reusachtige Krabnevel. Maar als je vrij in de ruimte zweeft, hoe blijf je dan in positie wanneer je naar zulke piepkleine spel-denprikjes licht kijkt? Hoe weet je precies welke kant je op kijkt? Hubble heeft zes gyroscopen: wielen die elk 19.200 omwentelingen per seconde maken. Gegeven de wet van behoud van impulsmoment zullen die wielen met die snelheid blijven draaien omdat er niets is wat ze afremt. En de draaiingsas zal in precies dezelfde richting blijven wijzen omdat hij geen reden heeft om te verschuiven. De gyroscopen geven Hubble een referentierichting, zodat de optische instrumenten op een ver weg gelegen object gericht kunnen blijven zo lang als nodig is. Een van de meest geavanceerde hoogstandjes waartoe onze beschaving in staat is, wordt dus de juiste kant op gericht met behulp van het natuurkundige principe dat je kunt aantonen met een ei in je keuken.

En daarom houd ik van natuurkunde. Alles wat je leert, blijkt elders ook van pas te komen, en de fysica is één groot avontuur omdat je niet weet waar ze je nu weer zal brengen. Voor zover we weten, zijn de natuurkundige wetten die we hier op aarde tegenkomen in het hele universum van toepassing. Een groot deel van de moeren en bouten van het heelal kunnen door iedereen worden waargenomen. Je kunt ze zelf testen. Wat je te weten kunt komen met een ei, ontpopt zich tot een principe dat overal van toepassing is. Je gaat gewapend met je nieuwe kennis naar buiten en de wereld ziet er anders uit.

In het verleden was informatie lastig te krijgen en in die zin waardevoller. Tegenwoordig leven we op de oever van een zee aan kennis, een zee waar zich geregeld tsunami's voordoen die een gevaar zijn voor onze geestelijke gezondheid. Als je het leven aankunt zoals je bent, waarom zou je dan op zoek gaan naar meer kennis waardoor alles misschien nog ingewikkelder wordt? Leuk hoor, die Hubble-ruimtetelescoop, maar wat heb je eraan als hij niet af en toe omlaag kijkt om je sleutels te zoeken wanneer je al laat bent voor een afspraak?

Mensen zijn nieuwsgierig naar hun omgeving, en het doet hun plezier als hun nieuwsgierigheid wordt bevredigd. Nog leuker is het als je iets zelf uitpuzzelt of samen met anderen op ontdekkings- tocht gaat. En de natuurkundige principes die je spelenderwijs leert, zijn ook van toepassing bij nieuwe medische technologieën, het weer, mobiele telefoons, zelfreinigende kleding en kernfusie- reactoren. In het moderne leven moeten veel ingewikkelde beslis- singen worden genomen: is een compacte fluorescente lamp zijn geld waard? Is het veilig om met mijn telefoon naast mijn bed te slapen? Kan ik afgaan op het weerbericht? Maakt het uit of mijn zonnebril polariserende glazen heeft? De basale principes alleen zullen vaak geen specifiek antwoord opleveren, maar ze leveren de context die je nodig hebt om de juiste vragen te stellen. En zodra je eraan gewend bent om zelf dingen uit te zoeken, zul je je niet meer uit het veld laten slaan als het antwoord niet meteen bij je eerste poging duidelijk wordt. Dan weet je dat je het antwoord kunt vin- den als je nog wat extra nadenkt. Wil je de wereld begrijpen, dan moet je kritisch nadenken; dat is van essentieel belang, vooral om- dat adverteerders en politici allemaal om het hardst schreeuwen dat zij het het beste weten. We moeten zelf aan de hand van de fei- ten kunnen bepalen of we het met hen eens zijn. En er staat meer op het spel dan het leven van alledag. We zijn verantwoordelijk voor onze beschaving. We stemmen, we beslissen wat we kopen en hoe we willen leven, en we nemen met zijn allen deel aan de reis van de mens. Niemand kan alle details van onze complexe wereld

snappen, maar de basale principes zijn bijzonder waardevolle gereedschappen om mee te nemen op je reis.

Daarom ben ik van mening dat het niet alleen maar leuk is om met het fysische speelgoed in de wereld te spelen, hoewel ik een groot fan ben van plezier om het plezier. Wetenschap bedrijven is meer dan het verzamelen van feiten; het is een logisch proces om dingen uit te puzzelen. Het mooie van de natuurwetenschap is dat iedereen naar de feiten kan kijken en tot een beredeneerde conclusie kan komen. Aanvankelijk zullen die conclusies wellicht uiteenlopen, maar dan ga je meer gegevens verzamelen waarmee je kunt bepalen welke beschrijving van de wereld beter is, en na verloop van tijd zal er één conclusie uit rollen. Dat onderscheidt de natuurwetenschappen van andere disciplines: een wetenschappelijke hypothese moet specifieke testbare voorspellingen doen. Als je denkt te weten hoe iets werkt, moet je uitzoeken wat de consequenties van je idee zijn. Je moet met name kijken naar consequenties die je kunt controleren, en vooral naar consequenties waarvan je kunt bewijzen dat ze niet opgaan. Als je hypothese slaagt voor elke test die we kunnen bedenken, dan spreken we voorzichtig af dat je hypothese waarschijnlijk goed beschrijft hoe de wereld in elkaar steekt. De wetenschap probeert altijd van zichzelf te bewijzen dat ze het mis heeft, want dat is de snelste manier om erachter te komen wat er werkelijk gebeurt.

17

Je hoeft geen gediplomeerd wetenschapper te zijn om met de wereld te experimenteren. Als je een paar basale natuurkundige principes kent, kom je al een heel eind en kun je veel dingen zelf uitpuzzelen. Je hoeft soms niet eens systematisch te werk te gaan – de stukjes van de puzzel vallen vrijwel vanzelf op hun plaats.

Een van mijn favoriete ontdekkingsreizen begon met een teleurstelling: de bosbessenjam die ik maakte, werd roze. Knalroze. Dat gebeurde een paar jaar geleden, toen ik in Rhode Island woonde, en de laatste dingen aan het regelen was voordat ik zou terugkeren naar Groot-Brittannië. Ik was bijna klaar voor vertrek, maar er was nog één ding dat ik persé wilde doen. Ik ben dol op

bosbessen, altijd al geweest. Bosbessen zijn een beetje exotisch, lekker en prachtig bizar blauw. Helaas kwamen ze niet veel voor in de streken waar ik heb gewoond, behalve in Rhode Island, daar groeiden ze in overvloed. Ik wilde een deel van die zomerse rijkdom aan bosbessen omtoveren in blauwe jam om mee te nemen naar Engeland. Zodoende ging ik op een van mijn laatste ochtenden daar bosbessen plukken.

Bosbessenjam hoort in de eerste plaats blauw te zijn. Althans, dat vond ik; de natuur dacht er anders over. De pan borrelende jam was van alles, behalve blauw. Ik vulde de jampotten, en de jam smaakte heerlijk. Toch reisde iets van de teleurstelling en verbouwereerdheid met mij en mijn roze jam mee terug naar Engeland.

18 Een half jaar later vroeg een vriend of ik hem wilde helpen met een historisch raadsel. Hij maakte een tv-programma over heksen en vertelde dat er verhalen waren over 'wijze vrouwen' die de blaadjes van verbenabloemen kookten in water. Dat water smeerden ze op de huid van mensen om te zien of ze behekst waren. Hij vroeg zich af of ze een fysiologisch verschijnsel maten, ook al was dat niet hun bedoeling. Ik deed wat onderzoek en ontdekte dat dat weleens het geval zou kunnen zijn.

Paarse verbenabloemen bevatten net als rode kool, bloedsinaasappels en veel andere rode en paarse planten chemische stoffen die 'anthocyanen' worden genoemd. Die anthocyanen zijn pigmenten en geven de planten hun felle kleur. Er zijn een paar verschillende versies, zodat de kleur enigszins varieert, maar ze hebben allemaal een vergelijkbare moleculaire structuur. Maar dat is nog niet alles. De kleur hangt ook af van de zuurgraad, de zogenaamde pH-waarde, van de vloeistof waarin het molecuul zich bevindt. Maak je die omgeving iets zuurder of iets basischer, dan veranderen de moleculen enigszins van vorm, en verandert dus ook hun kleur. Het zijn indicatoren, de natuurlijke versie van lakmoespapier.

Je kunt je hiermee goed vermaken in de keuken. Je moet de plant koken om het pigment eruit te krijgen. Kook eens wat rode

kool en bewaar het kookwater (dat paars is). Schenk er azijn bij en het wordt rood. Door een oplossing van waspoeder (een sterke base) wordt het geel of groen. Je kunt een hele regenboog aan kleuren tevoorschijn toveren met spullen uit je keukenkastjes. Dat weet ik, want ik heb het gedaan. Ik vind het een prachtige ontdekking omdat die anthocyanen overal te vinden zijn, voor iedereen. Je hebt geen scheikundedoos nodig!

Misschien gebruikten die wijze vrouwen de verbenabloemen dus om te zien hoe het met de pH stond, en niet om te kijken of iemand betoverd was. De pH van je huid varieert van nature, en als je bij verschillende mensen het verbenabrouwsel op de huid smeert, kan dat resulteren in verschillende kleuren. Ik kon koolwater van paars in blauw laten veranderen als ik na een rondje hardlopen flink bezweet was, maar het veranderde niet van kleur als ik niet had gesport. De wijze vrouwen hadden wellicht gezien dat de pigmenten van de verbena bij verschillende mensen verschillende kleuren opleverden, en daar hun eigen uitleg aan gegeven. We zullen het nooit zeker weten, maar ik vind het niet zo'n gekke hypothese.

19

Tot zover de geschiedenis. Toen herinnerde ik me opeens de bosbessen en de jam. Bosbessen zijn blauw omdat ze anthocyanen bevatten. Voor jam heb je slechts vier ingrediënten nodig: fruit, suiker, water en citroensap. Het citroensap zorgt er samen met de natuurlijke pectine uit het fruit voor dat de jam opstijft. Dat doet het omdat... het zuur is! Mijn bosbessenjam was roze omdat de gekookte bosbessen fungeerden als een lakmoesproef in een steelpan. De jam moest roze zijn omdat hij anders niet goed zou opstijven. Ik was zo blij met deze ontdekking dat ik bijna vergat hoe groot mijn teleurstelling was geweest toen bleek dat ik geen blauwe jam kon maken. Bijna. Maar de ontdekking dat je een hele regenboog aan kleuren uit één soort fruit kunt halen, maakte veel goed.

In dit boek worden verbanden gelegd tussen de kleine dingen die we elke dag zien en de grote wereld waarin we leven. Het is

een vrolijke tocht door de fysische wereld, waarbij we zullen zien hoe je met dingen als popcorn, koffievlekken en koelkastmagneten licht kunt werpen op de expedities van Scott, medische tests en een oplossing voor het energievraagstuk. De wetenschap draait niet om 'zij', maar om 'wij', en we kunnen allemaal op onze eigen manier het avontuur aangaan. Ieder hoofdstuk begint met iets kleins uit het leven van alledag, iets wat je waarschijnlijk al vaak gezien hebt, maar waar je nog nooit bij hebt stilgestaan. Aan het einde van ieder hoofdstuk zullen we zien hoe dezelfde patronen belangrijke onderdelen van de hedendaagse wetenschap en techniek verklaren. Elke mini-ontdekking is op zichzelf de moeite waard, maar echt spannend wordt het pas als de stukjes aan elkaar worden gepast.

20 Het is leuk om te weten hoe de wereld in elkaar steekt, maar het heeft nog een ander voordeel, waar wetenschappers niet vaak genoeg over praten. Als je ziet hoe de wereld in elkaar zit, ga je er anders tegenaan kijken. De wereld is een mozaïek van fysische patronen, en zodra je vertrouwd bent met de basale patronen, ga je zien hoe ze met elkaar samenhangen. Ik hoop dat de wetenschappelijke inzichten uit de hoofdstukken tijdens het lezen van het boek zullen uitgroeien tot een andere kijk op de wereld. In het laatste hoofdstuk van dit boek onderzoek ik hoe de patronen in elkaar grijpen en onze drie life-supportsystemen vormen: het menselijk lichaam, onze planeet en onze beschaving. Maar je hoeft het niet eens te zijn met mijn visie. De essentie van wetenschap is zelf experimenteren met de principes, alle beschikbare bewijzen meewegen en dan je eigen conclusies trekken.

Het koffiekopje is nog maar het begin.