

Inhoud

Inleiding 13

Waardoor zit het snoer van mijn koptelefoon altijd in de war? 17

Waarin de lezer ontdekt dat grote wetten die het gedrag van het universum dicteren, ook verklaren waarom je koptelefoonsnoertje altijd in de knoop zit als je het uit je zak haalt. We zien dat mensen niet gek worden bij volle maan en dat de menstruatiecyclus van vrouwen niet synchroniseert. De lezer maakt kennis met de onderwerpen energie en entropie, die het universum gemaakt hebben zoals het is, maar er ook voor zorgen dat je de wind van een collega ruikt, dat je een versgebakken taart door heel het huis kunt ruiken, dat er zonlicht uit je fietslamp komt, dat je nooit een kapot ei heel kunt laten vallen en dat de NASA planeten een heel klein beetje afremt met zijn interplanetaire satellieten. Het wordt duidelijk waarom de mens nooit in staat zal zijn om een perfect zuinige auto te maken of een perpetuum mobile te maken en ook nog eens zelfs in theorie de toekomst niet kan voorspellen.

Waardoor voelt deodorant zo koud aan? 49

Waarin de lezer ontdekt dat temperatuur gelijkstaat aan beweging en dat druk, volume en temperatuur met elkaar verbonden zijn. Hoe de onderliggende principes die deodorant koud doen aanvoelen, ook in werking zijn bij de werking van de koelkast, en ook het opwarmen van een fietspomp. Het wordt duidelijk dat je een kopje thee eigenlijk opwarmt door er met een lepelteje in te roeren, we zien hoe de choreografie van atomen bepaalt waarom het vacuüm sterker kan zijn dan een kroeg vol mannen, dat het zo vaak regent in Nederland, er een absoluut laagste temperatuur bestaat maar (nog) geen maximumtemperatuur. Waarom je koffie niet lekker krijgt in een vliegtuig en pasta niet gaar boven op een berg.

Waar komen stenen vandaan? 73

Waarin de lezer ontdekt dat alle stenen op aarde ontstaan zijn in exploderende megasterren en dat de aantrekkingskracht tussen twee geliefden ongeveer gelijkstaat aan het gewicht van een oogwimper. Hoe sterren werken, waar ze hun energie vandaan halen, hoe ze ten onder zullen gaan en dat je sterren nooit moet blussen met water omdat ze daar feller van gaan stralen. Wat al die woorden als atoom, molecuul, ion en isotoop nu precies betekenen en waarom helium geen behoefte heeft aan vrienden.

Kun je een zwevend skateboard maken? 91

Waarin de lezer ontdekt of we zwevende auto's, zelfreinigende kleren en zwevende skateboards zullen zien in 2015 – of hoe lang daarna. Hoe de natuur in al haar facetten gestuurd wordt door slechts vier fundamentele krachten en hoe we die kunnen zetten om iets te laten zweven. Wat het shoppen in de uitverkoop te maken heeft met stroom, spanning en weerstand. Dat er niet één soort magneet, maar drie soorten bestaan en wat dit met zwevende aardbeien en kikkers te maken heeft. Maar ook hoe Leiden in het begin van de twintigste eeuw het koudste plekje op aarde was.

Is alles relatief? 109

Waarin de lezer ontdekt hoe beide relativiteitstheorieën van Einstein werken en dat snelle voorwerpen of kleine voorwerpen zich gekker gedragen dan je ooit zou kunnen verzinnen. Dat klokken trager lopen in een raket en dat hoe sneller een voorwerp gaat, hoe langzamer en zwaarder het wordt. Over de kosmische flitspaal van het universum.

Kunnen we tijdreizen? 129

Waarin de lezer ontdekt dat in de toekomst reizen veel makkelijker is dan naar het verleden. Dat André Kuipers eigenlijk een tijdreiziger is en dat in Zwitserland een soort tijdmachine voor deeltjes staat. Wat de praktische bezwaren zijn van tijdreizen en of we een tunnel zouden kunnen graven door de ruimtetijd die ons in andere tijden brengt.

Kunnen we ooit onzichtbaar

zijn? 149

Waarin de lezer ontdekt dat er een redelijke kans bestaat dat zij gaat meemaken dat voorwerpen onzichtbaar gemaakt kunnen worden en hoe het kan dat hij iets kan zien. Wat het verschil is tussen zichtbaar licht, uv-licht en magnetronstraling en welke het gevaarlijkst is. Wat de moderne wetenschap van de kwantummechanica inhoudt en dat het leven één grote loterij is. Waarom licht soms een deeltje is en soms een golf. Hoe je een vriend kan vinden met een skippybal en wat dit met de kwantummechanica te maken heeft.

Waardoor klinkt een ambulance

zoals hij klinkt? 167

Waarin de lezer ontdekt wat de sirene van een ambulance te maken heeft met de kleur van sterren, het ontdekken van buitenaards leven en hoe het weer is op planeten buiten ons zonnestelsel. Waarom je een absoluut gehoor nodig hebt om te bewijzen dat een voorbijrijdend orkest anders klinkt en wat dit met hartchirurgie, bluesorgels en verkeersboetes te maken heeft. Hoe het eerste door mensen gemaakte voorwerp dat door de geluidsbarrière ging al tweeduizend jaar geleden gemaakt is, waarom sterren fonkelen, hoe een fata morgana werkt en dat de natuur liever de snelweg pakt dan binnendoor rijdt.

*Is een kilo veren zwaarder
dan een kilo goud?* 185

Waarin de lezer ontdekt dat een kilo veren wel degelijk zwaarder kan zijn dan een kilo goud. Dat er een verband is met de koers van een luchtballon of het drijven van een schip. Dat diamanten zinken in vloeibaar aluminium maar niet in vloeibaar zilver en dat er voorwerpen zijn met oneindige dichtheid. Wat neutronensterren en zwarte gaten zijn en waarom het per dag twee keer eb en twee keer vloed is. Ook is er de wedstrijd: wat valt het eerst op de grond: een afgeschoten kogel of een kogel die je laat vallen. Een revanchewedstrijd vindt plaats op de maan.

*Zijn alle sneeuwvlokjes
anders?* 201

Waarin de lezer ontdekt dat alle sneeuwvlokjes uniek zijn – maar ook dat dat helemaal niet zo bijzonder is. Dat sneeuwvlokjes symmetrisch zijn omdat water lijkt op Mickey Mouse. Diezelfde eigenschap maakt dat olijfolie niet mengt met water, maar belangrijker: is ook de voorwaarde geweest voor het ontstaan van leven. De lezer leert hoe belangrijk symmetrie is voor de natuur. En wat een higgsdeeltje nu eigenlijk is – en hoe dat die symmetrie verstoort.

Wat is ons lot

(en dat van de natuurkunde)? 231

Waarin de lezer ontdekt dat er vele mogelijkheden zijn waarop de mensheid aan haar einde zal komen. Een meteoriet, een zonnevlam, de opzwellende zon, een botsing met een ander sterrenstelsel, een energietekort bij de hittedood van het universum, een Big Crunch – of het bezwijken van atomen die uit elkaar getrokken worden? Welke het wordt? Dat weten we niet. En zo zijn er nog wel meer dingen die we niet kunnen weten.

Inleiding

Tijdens een natuurkundeles, ergens in het land, is het stil. De leerlingen zijn bezig hun oefenvragen te maken. Dan gaat er een hand een beetje verveeld omhoog. 'Meneer! Ik snap vraag 13c niet.'

De docent kan, even verveeld, de formule die gebruikt moet worden aan de leerling geven. Ik ga dat niet doen. Achter vraag 13c gaat namelijk een heel universum schuil. Een verhaal dat met sneeuw, deeltjes, een regenboog en tijdreizen te maken heeft. Alles grijpt in elkaar. Ook andere vragen van andere leerlingen.

Twintig minuten later is de les afgelopen en de leerling kan nu niet alleen zelf vraag 13c oplossen, maar snapt ook waarom het antwoord luidt zoals het luidt. Natuurkunde en de wetenschap vormen niet een droge set feitjes, maar een verhaal. Door de eeuwen heen zijn wetenschappers erachter gekomen dat vele fenomenen in de natuur via een paar basisprincipes met elkaar verbonden zijn. Die basisprincipes zijn gevonden doordat wetenschappers zichzelf ogenschijnlijk simpele vragen stellen.

Zo is dit boek opgebouwd. Elf vragen worden beantwoord met het hele verhaal. Vragen zoals waarom je koptelefoonsnoertje altijd in de war zit, of waar stenen vandaan komen. Aan het einde van dit boek heb je niet alleen een antwoord op de vragen, maar ook een beeld van hoe bèta-

wetenschap werkt. Concepten als tijdreizen, de bouwstenen van het universum, de werking van sterren, zwarte gaten, de oerknal, onzichtbaarheid, sneeuwvlokjes, zwevende skateboards, stoommachines, temperatuur, elektriciteit – en nog veel meer, en komen allemaal voorbij en worden opgehangen aan alledaagse vragen. Het zijn kleine vragen met grote antwoorden – verhalen in plaats van formules. Bèta voor alfa's.

Aangezien het mijn boek is en je nooit zeker weet of je er nog een mag maken, zal ik hier, in de traditie van mijn vroegere vakgroep, een aantal mensen bedanken.

Allereerst mijn ouders en broer, die me altijd gesteund hebben in alles wat ik doe en die mij toen ik klein was altijd dingen geduldig hebben uitgelegd, of als zij het niet wisten me de plek wezen waar ik de informatie kon vinden. Dat is volgens mij dé manier om van je kind een geïnteresseerd kind te maken. Ik dank ook mijn lieve vriendin die mij nu altijd steunt in wat ik doe en van wie ik zielsveel hou.

Dank aan de mensen die mijn carrière een enorme boost hebben gegeven: Hans, Dave en Alexander van de Universiteit Twente. Roland, Igor, Nadine, Elmar, Hansje, Biba en nog vele anderen die mij geholpen hebben om wetenschaps-journalist te worden. Mijn maatjes van de Universiteit Sebastiaan, Kasper en Marcel, met wie ik uitgezocht heb hoe ik wetenschap moet vertalen voor iedereen die er maar van horen wil. Dank aan degenen die mijn manuscript hebben verbeterd en bekeken, zoals Marcel, Sebastiaan, Dirk en Bob van Eijk. En zeker ook Bertram, want zonder jou was dit niet gelukt. En tot slot dank ik mijn vrienden, met wie ik lief en leed deel – voornamelijk Jon en Dirk.

Maar er zijn nog veel meer mensen die ik liefheb en die mij helpen. Ik ben echt een zondagskind in die zin dat ik mij

gelukkig mag prijzen dat zovelen mij helpen op mijn pad. Je kunt niet zonder anderen in je omgeving, en dat maakt het leven ook wel zo prettig.

Waardoor zit het snoer van mijn koptelefoon altijd in de war?

WAARIN DE LEZER ONTDEKT dat grote wetten die het gedrag van het universum dicteren, ook verklaren waarom je koptelefoonsnoertje altijd in de knoop zit als je het uit je zak haalt. We zien dat mensen niet gek worden bij volle maan en dat de menstruatiecyclus van vrouwen niet synchroniseert. De lezer maakt kennis met de onderwerpen energie en entropie die het universum gemaakt hebben zoals het is, maar er ook voor zorgen dat je de wind van een collega ruikt, dat je een versgebakken taart door heel het huis kunt ruiken, dat er zonlicht uit je fietslamp komt, dat je nooit een kapot ei heel kunt laten vallen en dat de NASA planeten een heel klein beetje afremt met haar interplanetaire satellieten. Het wordt duidelijk waarom de mens nooit in staat zal zijn om een perfect zuinige auto te maken of een perpetuum mobile te maken en ook nog eens zelfs in theorie de toekomst niet kan voorspellen.

Er lijkt een goed georganiseerd leger van satanische kaboutertertjes in mijn laptop tas te zitten. Zij hebben één missie: mijn koptelefoon saboteren. Hoe netjes ik het snoer ook opberg, ze slagen er keer op keer weer in om een gordiaanse knoop te leggen in mijn luistergenot.

Dat heeft te maken met een fundamenteel principe van de natuur, hetzelfde principe dat ervoor zorgt dat een ei altijd stukvalt op de grond, maar een kapot ei nooit meer heel wordt. Dat je 's ochtends door de straat de lekkere broodgeuren van de bakker kunt ruiken. Dit principe is verbonden met een diep geworteld gegeven uit de natuurkunde dat wel eens 'de pijl van de tijd' wordt genoemd. Deze pijl bepaalt waar alles in het universum naartoe gaat en geeft richting aan processen. Hierdoor heb je het meteen door wanneer een film wordt teruggespoeld in plaats van vooruit wordt afgespeeld.

Het maakt dat wolken waterstof in sterren veranderen en laat sterren uiteindelijk weer doven. Het bepaalt hoe het universum in de verre toekomst aan zijn einde zal komen en dat de receptuur vanaf de oerknal maar op één manier afgewerkt wordt. Waarom gratis energie en een eeuwig doorgaand apparaat, een zogenoemd perpetuum mobile, niet mogelijk zijn. Het wonderlijke concept dat in belangrijke mate alles in ons heelal bestiert, van oordopjes tot Melkweg, heet: entropie.

Het is niet alleen de natuurkunde die ervoor zorgt dat mijn koptelefoonsnoer 'altijd' in de war zit, er is ook een psychologisch fenomeen werkzaam. Een vriend van me noemt het 't Prius-effect. Op het moment dat hij een Toyota Prius had gekocht, zag hij opeens overal om zich heen dat type auto rondrijden. Ditzelfde verschijnsel komt ook vaak voor bij zwangere vrouwen: op het moment dat er een baby in hun buik zit, zien ze alleen nog maar baby's om zich heen. Ik kan me eraan ergeren dat ik nooit een paraplu bij me heb als het regent of dat ik vaak voor niets een paraplu mee neem. Ik ben er dus ook niet ongevoelig voor, en hetzelfde principe is zeker van toepassing op mijn koptelefoontje.

Ik ben namelijk extra alert op knopen, omdat ik onbe-

wust de hypothese heb gesteld dat mijn koptelefoon altijd in de war zit. Zodra ik knopen aantref, wordt mijn vermoeden bevestigd en denk ik: zie je nou wel? Als mijn snoertje goed zit, let ik er niet op en realiseer ik me niet dat mijn hypothese op dat moment ontkracht is. Misschien zitten er helemaal niet zo vaak knopen in, maar onthoud ik selectief de momenten die mijn gedachte bevestigen. Dit wordt *confirmation bias* genoemd en het is een van de grote valkuilen van wetenschappelijk onderzoek.

Zo zijn er mensen die zweren dat er meer ongelukken gebeuren bij een volle maan of dat mensen zich in die periode gekker gaan gedragen. Het Engelse woord *lunatic*, dat 'gek' betekent, stamt af van het Latijn voor 'maan'. Uit wetenschappelijk onderzoek blijkt echter dat er helemaal geen duidelijk verband is tussen deze zaken. Er zullen desondanks verpleegsters en politieagenten zijn die sterk geloven in dit fenomeen, en als ze aan het begin van hun werkdag omhoogkijken denken: volle maan, het zal wel weer gekkenhuis worden. Alle situaties die zich die nacht gaan voordoen, zullen in dit maanlicht worden gezien. Mensen houden van nature vast aan hun overtuigingen en kunnen dan zelfs overtuigend tegensprekend of ontkrachtend bewijs simpelweg negeren. Een fenomeen dat bij alle mensen voorkomt. Slim of dom, rijk of arm, jong of oud – we houden allemaal liever harder vast aan dingen waar we al in geloven dan dat we nieuwe standpunten toelaten.

Deze confirmation bias vind je bijna overal terug, ook in de journalistiek. Vaak maken journalisten gebruik van experts in wie ze vertrouwen hebben. Hij of zij weet vaak onbewust al welke richting die expert op zal gaan met zijn of haar betoog. Het is niet de bedoeling, maar het gebeurt wel.

Dit is overigens een valkuil waar iedereen in zijn leven mee te maken heeft. Zo geloofde ik als kind dat dobbelste-

nen beter vielen als ik even op de stenen blies voordat ik ze wierp. Waarschijnlijk heeft het een paar keer per toeval gewerkt, en sindsdien was elke goede worp een bewijs dat het werkte en elke foute worp gewoon een uitzondering of een teken dat ik niet goed genoeg geblazen had. De talismannen en konijnenpootjes die mensen bij zich dragen voor goed geluk krijgen hun kracht door hetzelfde principe.

Wanneer je jezelf op deze manier 'voor de gek houdt' kan dat overslaan op anderen. Stel je voor dat iemand uit een oude beschaving op een dag aan het jagen is. Hij heeft een succesvolle jacht gehad en heeft twee dieren geschoten. Het ene neemt hij mee en het andere laat hij achter boven op een grote opvallende rotspartij. Het is maar goed dat hij veel gevangen heeft, want zijn vrouw en hij maken zich grote zorgen. Een van hun kinderen is al dagenlang doodziek van de koorts. De volgende dag wordt hij wakker, en tot zijn grote genoegen ziet hij dat zijn kind genezen is. Die middag wil hij het stuk vlees van de vorige dag ophalen bij de grote rotspartij. Maar als hij aankomt, schijnt er een prachtig licht in zijn ogen met alle denkbare kleuren. Een grote regenboog lijkt van de steen af te spatten, en wanneer hij op zoek gaat naar zijn jachttrofee kan hij nergens het gedode dier meer vinden.

Twee weken later, als hij weer een goede jacht heeft gehad, besluit hij opnieuw om op dezelfde plek een tweede dier achter te laten. Hij heeft geen tijd om ze allebei mee te nemen, want hij moet haasten om op tijd terug te zijn. Het dorp staat op het punt om de oogst binnen te halen en de bewoners kunnen het eten goed gebruiken. De opbrengst is geweldig en ze zullen de winter op deze manier zeker veilig kunnen doorkomen. Nadat al het eten van het land is gehaald en de avond is gevallen, gaat de man terug naar de steen en ziet hij boven zijn hoofd een regen van vallende ster-

ren. Hij zoekt en hij zoekt, maar kan het gedode dier nergens meer vinden.

Zou er misschien een geest of een godheid in die steen kunnen huizen die over het dorp waakt wanneer we hem af en toe wat te eten geven? Twee keer was het offerdier verdwenen onder begeleiding van vallende sterren en een regenboog. En het kind dat geneest of de oogst die goed bleek te zijn – dat kan bijna geen toeval meer zijn.

Er worden steeds grotere offers gebracht aan deze vreemde rotspartij met zijn grote gaven. De rest van het dorp hoort van de mirakels en gaat zelf ook offeren. Elk goed nieuws wordt veroorzaakt door de steengod en elk groots ding dat fout gaat is een teken dat er niet genoeg geofferd is, of dat de dorpelingen zich niet netjes volgens de regels van de steengod hebben gedragen.

Nu weten we dat de regenboog veroorzaakt werd door opspattend water van de waterval die naast de rotsen loopt. Dat vallende sterren niets anders zijn dan stukken puin uit de ruimte die onze atmosfeer binnenkomen en door de wrijving gaan gloeien. Het vlees zal waarschijnlijk zijn weggehaald door een slim dier uit het oerwoud dat doorheeft dat dorpelingen steeds vlees daar achterlaten. Hele geloofsstructuren kunnen ontstaan uit dit Prius-effect. Ook de werking van homeopathie is bijvoorbeeld, om het zacht uit te drukken, nog nooit wetenschappelijk goed bewezen. Een fout die op dat gebied onderzoek vaak vertroebelt is het moment waarop je een homeopathisch middel toedient. Voor dingen zoals griep, waar gezonde mensen over het algemeen zonder hulp wel weer van afkomen, geldt dat mensen het middel vaak nemen als ze het echt niet meer trekken: als de griep op z'n hevigst is en hun moraal op z'n dieptepunt. Dan gaan ze middeltjes slikken en worden ze weldra beter. Maar dat hoeft niets met het middel te maken te hebben! Immers op

dat punt geldt: *things can only get better*. Dit voorbeeld heeft overigens niet exclusief met homeopathie te maken en kom je vaker tegen.

Op zo'n moment is het heel logisch om het pilletje in verband te brengen met beter worden. Sowieso voelt de meerderheid van de mensen zich beter na het slikken van een simpel suikerpilletje met een mooi kleurtje en een vieze smaak. Dit placebo-effect is wetenschappelijk goed onderzocht en blijkt ook zeer krachtig te werken. Daarom is onderzoek naar medicijnen erg moeilijk. Er zijn veel aspecten die de bewijsbare werkzaamheid van een stof vertroebelen.

Een laatste voorbeeld van een confirmation bias dat ik vaak hoor, heeft te maken met de verbazing waarvan vrouwen blijk geven dat hun menstruatiecyclus synchroon zou lopen. Vrouwen die langdurig bij elkaar zijn zouden uiteindelijk een gelijklopende periode krijgen. Er is veel wetenschappelijk onderzoek naar dit fenomeen gedaan en de meerderheid van de studies laat géén synchronisatie zien. Bovendien zijn de onderzoeken die wél een verband laten zien vaak twijfelachtig van kwaliteit.

Wanneer een vrouw haar vriendin ook ongelukkig ziet zijn, zal ze meteen bevestigd worden in de gedachte dat een dergelijke synchronisatie echt bestaat. Veel vrouwen hebben helemaal geen perfect regelmatige cyclus, waardoor er soms overlap is met de menstruatie van anderen en soms niet. Als iedere vrouw er precies achtentwintig dagen over zou doen, kun je vrij makkelijk uitzoeken of er van synchronisatie sprake is. Maar als de één een snellere cyclus heeft dan de ander, of een van de vrouwen een onregelmatige cyclus heeft, dan is het heel moeilijk om te zien of die synchronisatie daadwerkelijk bestaat.

Misschien heb je ooit in de auto gekeken naar je eigen knipperlicht en tegelijkertijd naar het knipperlicht van de

auto die voor je staat bij het stoplicht. Even lijken de knipperlichten perfect synchroon te knipperen, maar even later gaan ze met steeds langere tussenpozen knipperen. Dat komt doordat de knippersnelheid van beide niet exact gelijk is. Soms is er overlap en dan niet meer. Wanneer er overlap is, valt het echt op. Daar komt bij dat vriendinnen die veel met elkaar doen en ondernemen misschien soms hun cyclus uitstellen door de pil door te slikken omdat ze een weekend ergens naartoe gaan. Als je dat allebei doet, kun je misschien er onbewust voor zorgen dat je meer gelijk gaat lopen. Uiteraard is er dan wel een synchronisatie, maar dat heeft niets te maken met een natuurlijk biologisch mechanisme waarbij de cyclus gelijk wordt getrokken.

Kortom, deze wetenschappelijke valkuil zorgt ervoor dat mensen iets als werkelijk ervaren wat helemaal niet waar hoeft te zijn. Hetzelfde gebeurde bij mij en mijn koptelefoon. Maar er is ook iets objectiefs en niet-psychologisch gaande en daar gaat het natuurlijk om in dit boek. Het is leuk om kritisch naar je eigen waarnemingen te kijken, maar is het universum echt doelgericht bezig om mijn snoertjes in de knoop te maken? Dat klinkt nogal grootheidswaanzinnig, maar toch is het dat niet.

De eerste stap om erachter te komen waarom mijn snoertjes altijd in de knoop zitten, bestaat eruit te bepalen wat 'in de knoop zitten' eigenlijk precies betekent. Als ik naar mijn koptelefoon kijk, kan ik me in twee gemoedstoestanden bevinden: óf het snoertje zit goed en kan ik direct muziek gaan luisteren – en dan ben ik vrolijk – óf er zit een aantal knopen in die ik moet ontwarren, en dan word ik chagrijnig.

Meer smaken zijn er niet.

Deze manier van situaties categoriseren is echter niet eerlijk. Het probleem is dat ik niet heel precies kijk naar wat er aan de hand is, want of er in het snoertje nu zes knopen

zitten of twintig, het voelt allemaal even erg. Hier kun je meteen al zien waarom het veel vaker voorkomt dat mijn snoertje wel in de knoop zit dan niet. Er zijn talloze manieren waarop het snoertje in de knoop kan zitten, en er is maar één manier waarop het níét in de knoop zit. De twee mogelijkheden hebben zeker niet evenveel kans. Het is dezelfde redenering als zeggen dat je vijftig procent kans hebt om de loterij te winnen. Je kunt namelijk ofwel winnen, ofwel niet winnen. Twee mogelijkheden lijken vijftig procent kans te bieden, maar dat is natuurlijk niet zo.

Er zijn veel meer mogelijkheden. Een recht snoer zonder knoop. Of één knoop. Diezelfde knoop kan op een andere plek in het snoer zitten, of in spiegelbeeld. Een tweede knoop erbij, waarvan de ene in spiegelbeeld zit en de andere niet, of andersom. Beide knopen kunnen ver uit elkaar liggen of dicht bij elkaar zitten. En ga zo maar door. Het aantal mogelijkheden neemt snel toe, terwijl maar één van die mogelijkheden een niet in de war zittend snoertje is.

Deze manier van goed kijken en goed tellen is enorm belangrijk in de natuurkunde. Sterker nog: het is de basis van een belangrijk deelgebied van de natuurkunde, namelijk dat van de thermodynamica en statistische fysica. Je kijkt dan naar alle verschillende manieren waarop je een systeem (hier het koptelefoonsnoertje) kunt rangschikken (alle duizenden manieren waarop je knopen kunt leggen) waarbij het systeem op grote schaal onveranderd blijft. Dus het systeem kan in twee staten verkeren: in de knoop en niet in de knoop.

Het woord 'thermodynamica' roept misschien een associatie op met temperatuur. Maar wat heeft warmte dan met een koptelefoontje te maken? Direct misschien niet zoveel, maar deze manier van mogelijkheden tellen en redeneren gaf wetenschappers voor het eerst goed inzicht over hoe fe-

nomenen als temperatuur, warmte, energie, druk en volume precies in elkaar steken. Om een antwoord te krijgen op de koptelefoonsnoervraag moeten we wat concepten lenen uit de thermodynamica.

In het geval van niet-in-de-knoop heeft het snoertje maar één manier om dat te doen en in het geval van wel-in-de-knoop zijn er heel veel manieren waarop dit het geval kan zijn. De thermodynamica en statistische fysica houden zich overigens niet echt bezig met systemen die zulke grote onderdelen hebben als een knoop in een koptelefoonsnoer. Deze wetenschappelijke disciplines gaan over atomen en andere kleine deeltjes. Daar zijn er dan vaak miljarden en miljarden van, waardoor het aantal mogelijkheden astronomisch toeneemt. De verschillende staten waarin een systeem zich kan bevinden wordt de ‘multipliciteit’ genoemd en wanneer je dit concept goed doorhebt, kun je er allerlei wetten uit afleiden over druk, temperatuur, chemische reacties en nog veel meer.



De thermodynamica maakte de ontwikkeling van de stoommachine mogelijk en alle motoren die daar later op volgden. We zijn hierdoor in staat om elektriciteitscentrales te maken, een goede infrastructuur aan te leggen en de productiviteit van de mens op ongekende wijze te laten toenemen. Dit speelde zich af in de negentiende eeuw; alle millennia daarvoor werd de mens alleen maar bijgestaan door windkracht, waterkracht of paardenkracht. De komst van de stoommachine luidde de industriële revolutie in en betekende voor de mensheid zo’n verandering dat je je niet kunt voorstellen hoe belangrijk deze thermodynamica eigenlijk is. De gevolgen hebben betrekking op elk facet van ons bestaan.