

Inhoud

Introductie 7

1 De regels van het spel 15

2 De atoomrevolutie 57

3 De deeltjes van het Standaard Model 117

4 De krachten van het Standaard Model 181

5 De ontdekking van het Higgs-boson 221

6 Terra incognita: reis naar het onbekende 269

Dankwoord 317

Introductie

‘Een heelal is niet vanzelfsprekend. Voor hetzelfde geld heb je namelijk gewoon geen heelal.’ Zo’n bizarre en verwarrende uitspraak lijkt een ideaal vertrekpunt voor een diep filosofische bespiegeling of een openingszet in een discussie tijdens een borrel. Deze woorden werden echter uitgesproken tijdens de oratie van natuurkundige Paul de Jong, die de ultieme vraag probeert te vangen: waarom is er überhaupt *iets*? Die simpele vraag bevat een wonderbaarlijke diepgang, maar door alleen na te denken over het *waarom* kom je niet veel verder. Gegeven dat het heelal er nou eenmaal is, kan je ook een meer pragmatische houding aannemen en je dan maar op dat *iets* richten om zo te proberen uit te zoeken *hoe* alles werkt in dat rare heelal van ons.

Je kan natuurlijk prima honderd jaar oud worden en onbevangen door het leven stappen zonder je ooit af te vragen hoe je elektriciteit maakt, waarom water wel doorzichtig is en steen niet, hoe de zon aan zijn energie komt of hoe het eigenlijk mogelijk is dat er überhaupt een heelal is. Pas als je eenmaal, vaak per ongeluk, zo’n eerste waarom-vraag hebt gesteld, merk je pas hoe weinig je weet van de dingen die eerst

zo logisch en triviaal leken. Voor de meeste van die vragen is het antwoord maar een muisklik van ons verwijderd op websites als Wikipedia, maar er zijn ook veel vragen waar nog geen antwoord op is gevonden. De natuur geeft haar diepste geheimen namelijk niet zomaar prijs en het is keihard werken door generaties wetenschappers om de natuur langzaam haar geheimen te ontfutselen. Door het nauwkeurig bestuderen en in kaart brengen van fenomenen die we om ons heen zien, proberen we door patronen te herkennen stap voor stap door te dringen tot de onderliggende natuurwetten. Daar liggen namelijk de antwoorden op al onze vragen verborgen.

Hoe werkt het allemaal? En waarom? Om de grenzen van onze kennis te verleggen, moeten we per definitie een gebied betreden waar nog nooit iemand is geweest. Het verleggen van grenzen, op welk gebied dan ook, heeft een onbedwingbare aantrekkingskracht op mensen. Records in de sport en extremen in de natuur vragen er gewoon om om bedwongen te worden en we kennen allemaal de namen van de waaghalzen die als eerste die streep passeerden. Jim Hines liep als eerste atleet de 100 meter onder de 10 seconden, Edmund Hillary en Tenzing Norgay bereikten in 1953 de top van de Mount Everest, Jacques Piccard daalde in 1960 af tot de bodem van de oceaan, de Marianentrog op meer dan 10 kilometer diepte. Christoffel Columbus zette in 1492 als eerste westerling voet aan land in een voor Europeanen nieuwe wereld, net als Neil Armstrong dat deed op de maan in 1969. Allemaal onsterfelijke helden die de verbeelding een gezicht hebben gegeven omdat ze grenzen hebben verlegd. Ze hebben de wereld zowel letterlijk als figuurlijk groter gemaakt en in hun voetstappen schuiven we allemaal mee. Op naar de volgende uitdaging!

Deze pioniers wilden allemaal de beste, de eerste of de snelste zijn en in de wetenschap is het niet anders.

Ook wetenschappers kijken verlangend voorbij de horizon en stellen doelen die voor anderen onbereikbaar lijken. Ook zij worden gedreven door de wens om als eerste het antwoord te vinden op de vragen waar iedereen voor hen mee worstelde. Ze worden daarmee de nieuwe kopmannen in een lange traditie van wetenschappers die sinds mensenheugenis op jacht zijn geweest naar het onbereikbare ultieme ‘waarom?’

Hoewel het vooral de woorden ‘groter’, ‘hoger’ en ‘verder’ zijn die we associëren met avontuur en vooruitgang, is er ook een groep mensen die de extremen zoekt in precies het tegenovergestelde: klein, kleiner, kleinst. We weten allemaal dat kinderen met legoblokjes de meest fantastische bouwwerken kunnen maken, van een simpel torentje of klein kasteel tot een groot ruimteschip of elke andere droomwereld. En toch is het allemaal opgebouwd uit maar een handvol unieke kleine bouwstenen. In de natuur blijkt dat net zo te zijn. Elk onderdeel in die wonderbaarlijke variatie aan zeer complexe elementen die we zien in de wereld om ons heen, van sterren tot de mens zelf en van water tot virussen, is uiteindelijk opgebouwd uit maar een handvol bouwstenen. De wetenschappers die op zoek zijn naar deze bouwstenen heten deeltjesfysici. Zij hebben precies dát doel: uitzoeken wat de elementaire bouwstenen van de natuur zijn en begrijpen hoe die samen de natuur opbouwen met al haar complexiteit zoals we die elke dag waarnemen. Ook dat is een avontuur. En wat voor een! Het is een reis waarin het lijkt alsof we een wenteltrap aflopen en zo steeds dieper en dieper doordringen tot de bouwstenen van het heelal.

Dit boek beschrijft de zoektocht van de vele wetenschappers die al honderden jaren onvermoeibaar op zoek zijn naar de ultieme bouwstenen van de ruimte en alles wat zich daarin bevindt. Die zoektocht lijkt een eindeloze uitputtingsslag te zijn van vragen, antwoorden en weer nieuwe vragen. We zijn zeker wat dichter bij het ultieme antwoord gekomen, maar hoe mooi het begrip van de natuur zoals we dat we nu hebben ook is, een ding is zeker: het heelal met alle spelregels die er gelden is krankzinnig.

De afgelopen honderd jaar hebben we door die wenteltrap af te lopen, net als archeologen, steeds dieperliggende funderingen blootgelegd. En net als ontdekkingsreizigers die als eerste een nieuw land ontdekken is er bij elke nieuwe laag een schat aan kennis en nieuwe inzichten bijgekomen. Revoluties in de manier waarop we naar de natuur kijken, antwoorden op oude vragen, maar tegelijkertijd doken ook weer nieuwe vragen, mysteries en dromen van nog dieperliggende lagen van de werkelijkheid op. We zijn duidelijk nog niet op de bodem.

In *De melodie van de natuur* ben ik van plan de hele wenteltrap af te lopen en u mee te nemen in de wereld van de deeltjesfysica, 'mijn' wereld. Maar ik moet dat wel behoedzaam doen. Het is een voor mensen onzichtbare wereld waarbij magische termen als quantummechanica, relativiteitstheorie en deeltjesversnellers de dienst uitmaken. Als niet-natuurkundige zou je door dat soort termen behoorlijk snel geïntimideerd kunnen worden. Dat is niet nodig, want hoewel het een lastige spagaat vereist van mijn kant is het mijn doel om te zorgen dat iedereen die denkt 'ik zou wat meer moeten weten van die deeltjeswereld waar ik steeds over in de krant lees' te bedienen. Ik zal mijn best doen om tijdens het afdalen niet

alleen te vertellen welke inzichten we onderweg ontdekten, maar ook hoe het ons is gelukt steeds weer een nieuwe stap te zetten en hoe deze nieuwe inzichten terugkomen in onze maatschappij.

Hoewel geen enkele paleontoloog ooit een dinosaurus heeft gezien, of ooit zal zien, hebben ze door het bestuderen van botten en andere overblijfselen toch enorm veel kunnen leren over een wereld die toch echt al zo'n honderd miljoen jaar geleden verdwenen is. Wij deeltjesfysici zitten met een soortgelijk probleem, want de wereld die wij graag in kaart willen brengen lijkt voor mensen net zo onbereikbaar als die van dinosaurussen voor paleontologen. Onze interesse gaat namelijk uit naar een wereld die miljoenen malen kleiner is dan we ooit met het blote oog kunnen zien. Maar door, net zoals archeologen, de brokstukken van deeltjesbotsingen keurig in elkaar te puzzelen, lukt het ons toch om steeds dieper door te dringen in die wereld.

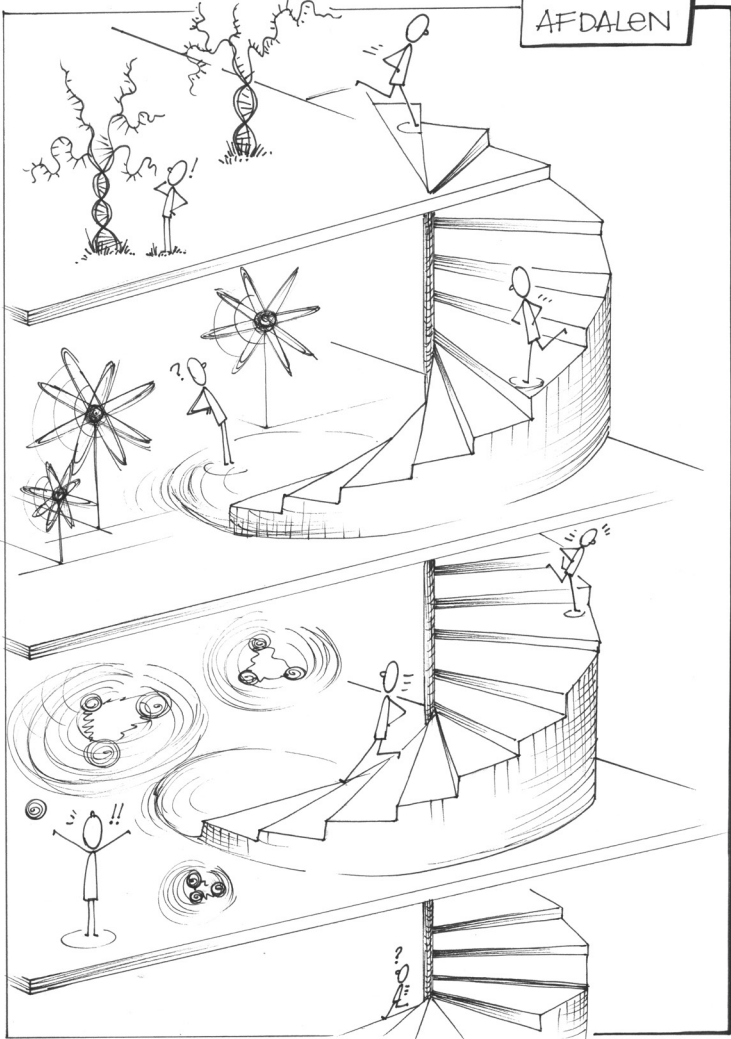
Deze onvermoeibare reis naar de fundamenteën van ons heelal drijft ook de techniek tot het uiterste. Hoewel de wetenschappelijke formulering en diepere consequenties van de nieuwe inzichten voor weinig mensen echt te begrijpen zijn, zijn de uitvindingen en technieken die we in de deeltjesfysica voor deze zoektocht hebben moeten ontwikkelen overal in ons leven terug te vinden. Sterker nog, ze vormen nu al de basis voor onze moderne maatschappij. Zonder relativiteitstheorie geen GPS, zonder quantummechanica geen computerchip, zonder antimaterie geen PET-scan om tumoren te lokaliseren, en zonder deeltjesversnellers geen manier om kwaadaardige tumoren te bestralen.

Deze tak van wetenschap staat erg ver af van het klassieke beeld van de eenzame oude man in een stoffig laboratorium. Het is een wereldwijde onderneming geworden waarin wetenschappers uit alle landen, los van politiek, samenwerken, samen *moeten* werken, in grote onderzoeksinstituten. Zoals bijvoorbeeld het Europees centrum voor deeltjesfysica CERN in Genève, de plek waar een groot deel van dit verhaal zich afspeelt. Behalve een onderzoeksinstituut is dat ook een groot sociologisch experiment, want het is niet makkelijk om koppige natuurkundigen samen te laten werken, laat staan duizenden natuurkundigen uit meer dan honderd landen. Maar dankzij die gedeelde droom over de elementaire bouwstenen, het verleden en de toekomst van het heelal, lukt het die rare natuurkundigen toch maar mooi om samen keer op keer de grenzen te verleggen en zo nieuwe geheimen bloot te leggen.

De deeltjesfysica is een avontuur dat drijft op de honger naar antwoorden op grote vragen over de werking van ons heelal. U zult bij het lezen van dit boek ontdekken dat we enorm ver zijn gekomen. Hoewel de diepste laag van de realiteit laat zien dat de materie in ons heelal inderdaad is opgebouwd uit maar een handvol unieke bouwstenen, zien we tegelijkertijd patronen en fenomenen waar we helemaal niets van begrijpen. In 2012 hebben we bijvoorbeeld nog ontdekt dat de lege ruimte zelf, het lege toneel waarop alle planeten en sterren figureren, niet leeg was, maar gevuld is met een mysterieus veld. Een veld dat alle bouwstenen massa geeft waardoor ze aan elkaar klonteren tot objecten als de zon en de aarde. Maar er is nog zoveel onduidelijk. Welk mechanisme is namelijk verantwoordelijk voor die overduidelijke maar vreemde patronen die we zien in de wereld van de elementaire deeltjes? En het ontstaan van de ruimte zelf dan? We zitten

met onze handen in het haar. Er moet nog ergens een deur verborgen zijn die leidt naar een nog dieperliggend fundament, een nog diepere waarheid die antwoord geeft op al die open vragen. Maar waar zit die deur dan en hoe komen we er doorheen? Avontuur!

AFDALEN



I

De regels van het spel

We beginnen onze ontdekkingsreis op de begane grond. Vertrouwd in de wereld van dingen die we kunnen zien en vast kunnen houden. Een wereld die we goed kennen en waarin we ons goed kunnen voorbereiden voor we aan onze afdaling beginnen. Het is bijvoorbeeld belangrijk te begrijpen hoe wetenschappers natuurwetten ontdekken door patronen in de natuur te bestuderen, maar ook dat de soms simpele wetmatigheden die we vinden in de zoektocht naar de antwoorden op de grote vragen een gigantische impact kunnen hebben op onze maatschappij. Soms zijn de patronen glashelder maar liggen de antwoorden verborgen op een niveau dat onzichtbaar is voor het blote oog. Hoe kan je nou ooit iets zien dat een miljoen keer kleiner is dan het kleinste dat je met het blote oog kan zien (met behulp van een deeltjesversneller, ik verklap het vast) en hoe leer je je oriënteren in die wereld? Het doel van dit eerste hoofdstuk is dan ook om een introductie te geven door een aantal van die belangrijke concepten de revue te laten passeren. Voorbeelden die we herkennen en waardoor we rustig onze basisuitrusting door kunnen nemen. Het is de start van ons avontuur waarbij we nog op redelijk vaste grond staan voor we beginnen met graven.