

Spectrum maakt deel uit van Uitgeverij Unieboek | Het Spectrum bv,
Amstelplein 32
1096 BC Amsterdam

© 2020 Roy Smits
© 2020 Uitgeverij Unieboek | Het Spectrum bv, Amsterdam

Eerste druk 2020

Omslagontwerp: Dirk van der Burgh
Auteursfoto: Anne van Gelder
Opmaak: Elgraphic

Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand, of openbaar gemaakt, in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, door fotokopieën, opnamen, of enige andere manier, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de uitgever.

Voor zover het maken van kopieën uit deze uitgave is toegestaan op grond van artikel 16 Auteurswet 1912, juncto het Besluit van 20 juni 1974, Stb. 351, zoals gewijzigd bij het Besluit van 23 augustus 1985, Stb. 471 en artikel 17 Auteurswet 1912, dient men de daarvoor wettelijk verschuldigde vergoedingen te voldoen aan de Stichting Reprorecht (Postbus 3051, 2130 KB, Hoofddorp).

Voor het overnemen van gedeelte(n) uit deze uitgave in bloemlezingen, readers en andere compilatiewerken dient men zich tot de uitgever te wenden.

ISBN 978 90 00 36584 5
ISBN 978 90 00 36585 2 (e-book)
NUR 917

www.spectrumnonfictie.nl

Inhoud

Proloog	9
1. Een eerste blik op de hemel	11
De zon	12
De maan	14
Afstanden	17
Hoeken meten aan de hemel	21
Sterren en planeten	23
Het heliocentrisch model	25
Mysteries	29
2. Astronomie met de eerste telescopen	31
Hoe werkt een telescoop?	32
De eerste telescoopervaringen	34
Johannes Kepler	38
Christiaan Huygens	41
De snelheid van licht	46
Zwaartekracht	49
Spiegels als lens	53
Mijn Vader At Meestal Jonge Spruitjes Uit Nieuwe Pekela	57
De weg tussen de sterren	65
Tijdmachines	68

3. Elektromagnetisme en relativiteit	71
Wat is licht?	71
Golf-deeltjedualiteit	75
Het elektromagnetisch spectrum	77
De speciale relativiteitstheorie	79
De lichtsnelheid is constant	84
De tweelingparadox	87
Voorbij de lichtsnelheid	89
Massa is energie	90
De algemene relativiteitstheorie	93
Het universum expandeert	98
4. Radiotelescopen	104
Cassiopeia A: een supernovarest	106
Cygnus A: een radio-sterrenstelsel	108
Wat zijn zwarte gaten?	109
Hawking-straling en spaghettificatie	111
De Nederlandse pioniers	114
De Dwingelloo Radiotelescoop	117
Hoe werkt een radiotelescoop?	119
Een tweede leven	122
Lovell	126
Kosmische straling	129
Astronomische masers	131
Radio-interferometrie	133
Quasars	138
Gravitatielenzen	139
De ontdekking van pulsars	142
Buitenaardse laboratoria	149
Kosmische achtergrondstraling	153
Een explosie van telescopen	156
Arecibo	156
Parkes	163
De Westerbork Synthesis Radio Telescope	170
Donkere materie	176

5. De rest van het spectrum	181
De ruimte in	181
Microgolven in de ruimte	182
Donkere energie	187
De eerste jaren van het universum	190
Infraroodtelescopen	193
Lagrangepunten	195
De groei van optische telescopen	196
De evolutie van sterren	200
Ultraviolettelescopen	204
Blazars	206
Röntgentelescopen	206
Magnetars	209
Gammatelescopen	210
Gammaflitsen	213
6. Deeltjestelescopen	217
Het standaardmodel	217
Neutrino's onder de grond	219
Neutrino's onder water	223
Muonen bij CERN	225
STEREO	226
Zonnedeeltjes	227
Air Cherenkov	228
7. Het heden en de toekomst	231
De toekomst van radiosterrenkunde	231
LOFAR	234
Dark Ages en herionisatie	236
Apertif	238
FAST en ethische dilemma's	240
ALMA	243
De Sardinië-telescoop	244
Webb	246
Gaia	247
Reusachtige spiegels	248

Het tijdperk van gravitatiegolven	249
Outreach en citizen science	255
Appendix	261
Maxwell-vergelijkingen	261
Lorentz-transformatie	262
Lengtecontractie	262
Tijddilatatie	263
Einstein-vergelijking	263
Dankwoord	265
Bronnen	267
Register	277

Proloog

De ruimte om je heen is ijskoud. De vorst dringt je handschoenen binnen en bij iedere diepe ademhaling voelt het alsof je longen bevriezen. Het is volledig windstil. De grond onder je voeten is glad en kraakt bij iedere stap die je zet. Diep vanuit de duisternis klinken geluiden van bekende nachtdieren en geluiden die je nog nooit eerder hebt gehoord. Het is middernacht, hartje winter en je bent helemaal alleen in het bos.

Je weet niet waar je vandaan komt, waarom je hier bent, noch waar je naartoe gaat, maar je benen lijken de weg te weten. Het pad dat voor je ligt, kronkelt de onzichtbare diepte in, met zijpaden die naar het onbekende leiden. Na iedere bocht voelt het alsof alle antwoorden op je vragen om de volgende hoek liggen. Je vertrouwt erop dat de reis een doel heeft.

De weg is lang, maar omkeren en teruggaan is geen optie. In het donker lijken alle bomen op elkaar. De takken en bladeren belemmeren het zicht op de hemel. Je hebt geen enkel gevoel voor richting, geen zekerheid dat je niet in cirkels loopt, maar tevens geen enkel ander pad om te volgen. Dus je loopt door, met je vingers gekruist, en wacht af wat er komen gaat.

Na talloze kronkels opent zich eindelijk een nieuw vergezicht. Je passeert de laatste boom en staart naar een groot gapend gat midden in een open veld. Een glad bevroren meer weerspiegelt de lucht, waardoor het lijkt alsof je dwars door de aarde kijkt naar de ruimte die erachter schuilgaat. Het schouwspel is wonderbaarlijk. Je ziet een blauwe band van licht van het midden van het meer tot aan de hori-

zon. En vanuit de horizon rijst de gloed verder omhoog tot ver in de lucht waar hij langzaam afzwakt. Daar gaat de hemel over in de eeuwige lichtshow. Tegen een zwarte achtergrond flikkeren ontelbare stipjes die hier en daar in clusters bij elkaar zitten en opmerkelijke patronen vormen. En je ziet een sikkel, een vorm die precies overeenkomt met een bol die van de zijkant verlicht wordt. Het beeld is adembenemend en hoe langer je kijkt hoe meer patronen je begint te zien. Sommige stipjes zijn wat roder, andere zijn wat blauwer. Sommige fonkelen en andere weer niet.

De hemel is mysterieus en ongrijpbaar. Zou dit de plek zijn waar al die antwoorden liggen opgeslagen?

1.

Een eerste blik op de hemel

Gedurende de gehele menselijke historie keken wij naar de hemel op zoek naar antwoorden. In Afrika en Europa zijn botten gevonden van mogelijk 35.000 jaar oud met daarop markeringen die de fasen van de maan aangeven. In Schotland is een tienduizend jaar oude maankalender gevonden. De Egyptenaren geloofden dat de plek aan de hemel waar alle sterren omheen bewegen de plek was van het hiernaamaals en slaagden er vierduizend jaar geleden al in de piramiden met extreme nauwkeurigheid in lijn te brengen met de locatie waar we tegenwoordig de Poolster zien. In India gebruikte men in diezelfde periode astronomie om de tijd bij te houden. Nog voor het begin van de christelijke jaartelling hadden de oude Grieken al een astronomische computer (het mechanisme van Antikythera), konden de Maya's eclipsen voorspellen en waren de Chinezen de eersten die een supernova documenteerden.

Mensen hebben een fascinatie voor de hemelse lichten. Ze vormen een inspiratie voor kunst, filosofie, religie en wetenschap. We kunnen het aanschouwen, maar we kunnen er niet bij komen. En dus is aanschouwen precies wat we doen. Dat is de essentie van sterrenkunde: het observeren en bestuderen van alle fenomenen buiten de aarde. En ook zonder telescoop valt er van alles te ontdekken. De enige instrumenten die je daarbij nodig hebt, zijn een paar ogen en gezond verstand. Vergeet voor een moment alle kennis die je reeds hebt van de sterren en planeten, en laten we de hemel bestuderen zonder telescoop. We beginnen met die ene heldere ster die overdag zichtbaar is.

De zon

In de ruimte zweeft een bol van heet plasma met een diameter van anderhalf miljoen kilometer. Voor dit miljarden jaren oude hemelli-chaam is het ontstaan van de gehele mensheid en alles wat zij bereikt heeft, voorbijgeflitst in slechts een oogwenk. Hier op aarde, op een afstand van honderdvijftig miljoen kilometer, is de zon een bron van licht en warmte. We zien haar als een felle cirkel aan de hemel die in het oosten opkomt en via het zuiden naar de horizon in het westen reist, waar zij weer ondergaat.¹ Als je iets meer geduld hebt, zul je merken dat het hoogste punt van de zon, wanneer zij in het zuiden staat, door de dagen heen langzaam verandert. Aan het begin van de winter blijft de zon laag aan de hemel en aan het begin van de zomer staat deze juist het hoogst. Deze cyclus duurt 365 dagen, net als de cyclus van de seizoenen. Je zult ook merken dat de zon minder warmte verspreidt wanneer ze laag aan de hemel staat. Het is dus niet zo raar dat de winters koud zijn en de zomers lekker warm; gemiddeld genomen althans.

Het heeft er alle schijn van dat de zon om de aarde draait. Immers, als het de aarde zou zijn die beweegt, dan zouden we dat toch moeten voelen. Rij maar eens in een cabrio over de snelweg. Terwijl de vrachtwagens aan je rechterkant voorbijflitsen, ervaar je de monsterlijke snelheid van 130 kilometer per uur² aan de turbulente luchtstroom door je haren. Maar wanneer we stilstaan, voelen we niets. Het lijkt voor de hand liggend om te concluderen dat de aarde stilstaat. Maar wat als die luchtdeeltjes allemaal met de aarde meebewegen? De aarde zou dan wel degelijk een hoge snelheid kunnen hebben zonder dat we het merken. Als we het dak van de cabrio dichtdoen, voelen we immers ook geen luchtstroom meer, terwijl we nog steeds even snel bewegen. In dat geval is het mogelijk dat die felle bol aan de hemel in werkelijkheid stilstaat en dat de aarde juist om de zon draait. Merkwaaardig genoeg is het veel eenvoudiger om te bewijzen dat de aarde bolvormig is dan om te bepalen wie van de twee door de ruimte danst.

1 Althans, vanuit Nederland en alle landen boven de Kreeftsekeerkring.

2 Ten tijde van dit schrijven was de maximumsnelheid in Nederland de hele dag door 130 kilometer per uur.

Het is zelfs gemakkelijker om de grootte van de aarde te meten. En dat was precies waar de oude Grieken al in slaagden terwijl ze tegelijkertijd volhardden in het geloof dat de aarde het centrum van het universum was.

Er bestaan vele verhalen en mythes rond de oude Grieken. Met name Hollywood profiteert nog altijd volop van het romantiseren van een beschaving die immense prestaties leverde in literatuur, kunst, wetenschap en politiek. Wat we zeker kunnen stellen is dat er veel slimme koppen zaten tussen de vele Grieken van voor de christelijke jaartelling. Zonder toegang tot de hedendaagse technologie wisten ze vele mysteries te ontrafelen. Hoe meet je als oude Griek bijvoorbeeld de omvang van de aarde? Ze hadden niet de beschikking over vliegtuigen of schepen die even een rondje om de gehele wereld konden maken. Wel hadden de Grieken een vergevorderde kennis van wiskunde en waren ze oplettend. Zo'n 240 jaar v.Chr. viel het Eratosthenes van Cyrene op dat de bodem van een diepe put in Aswan, Egypte, op een vast moment in het jaar zichtbaar was. Met andere woorden, de zon stond er op dat moment recht boven. Hij reisde achthonderd kilometer naar het noorden tot aan Alexandrië. Daar gebruikte hij de paal van een zonnewijzer om te bepalen onder welke hoek de zon aan de hemel stond op datzelfde moment van het jaar. Eratosthenes ontdekte dat de zon zeven graden afweek. Dat is ongeveer een vijftigste van een cirkel. In Alexandrië kijk je dus onder een andere hoek naar de hemel dan in Aswan. Dit suggereert dat het oppervlak van de aarde gekromd is. Uit de aannames dat de aarde bolvormig is, dat de zon praktisch oneindig ver weg staat en dat Alexandrië precies noordelijk van Aswan ligt, zou je kunnen opmaken dat de aarde een omtrek heeft van vijftig keer de afstand tussen Aswan en Alexandrië. Deze aannames kloppen niet helemaal en de afstand tussen de twee steden was in die tijd ook niet exact bekend. Toch was Eratosthenes' schatting van de omtrek van de aarde slechts vijftien procent groter dan de werkelijke omtrek van veertigduizend kilometer. En dat wist hij te achterhalen zonder een voet buiten Egypte te zetten!

Ondanks het succes van deze eenvoudige methode om de omvang van de aarde te bepalen, zou de Italiaanse ontdekkingsreiziger Christoffel Columbus zeventien eeuwen later halsstarrig vasthouden aan

een verkeerde schatting van de Italiaan Paolo dal Pozzo Toscanelli. Daarom geloofde hij dat Azië via het westen velen malen dichterbij lag dan in werkelijkheid het geval was.

Met behulp van wat vernuft en eenvoudige middelen valt er veel te leren over de zon en de aarde. Maar niet alle vragen zijn eenvoudig te beantwoorden. Draait de zon nou om de aarde of is het toch andersom? Wat is de zon eigenlijk? Hoe ver weg staat deze? En waarom kleurt die lichtgevende bol bij opkomst en ondergang rood en lijkt hij dan minder warmte te verspreiden? Wel hebben we een begin gemaakt met het begrijpen van de mysteries van de hemel. En dat door alleen maar oplettend te zijn! Laten we diezelfde oplettendheid toe passen op de maan.

De maan

Geen enkel hemellichaam heeft de mens meer geïnspireerd dan de maan. Een volle maan maakt het mogelijk om 's nachts details van de wereld om je heen waar te nemen. Er is geen enkele andere bron aan de hemel die dit evenaart. Geen wonder dat we de maan associëren met de nacht, terwijl deze overdag feitelijk net zo vaak te zien is.

In tegenstelling tot de zon heeft de maan een gezicht. Daarmee bedoel ik dat je met het blote oog patronen kunt ontwaren in het maanoppervlak. Maar tevens bedoel ik dat de volle maan een echt gezicht heeft, het bekende mannetje in de maan (zie Figuur 1). Opvallend is dat het aanzicht van de maan nooit merkbaar verandert. Het is altijd hetzelfde plaatje dat naar ons toe wijst. Dit wekt de indruk dat de maan plat is. Dus wanneer je geduldig de hemel bestudeert en langzaam ziet hoe deze als een geheel beweegt, lijkt het er in eerste instantie op dat alles daarboven aan elkaar vastzit. Alsof iemand een grote beschilderde bol rond de aarde heeft geplaatst waar wij de binnenkant van mogen bewonderen. Dit is de essentie van geocentrisme, de leer die ervan uitgaat dat de aarde het centrum van het universum is.

Laten we de maan een aantal nachten lang in de gaten houden en onze observaties registreren. Op de eerste plaats blijkt dat de maan