

Govert Schilling

DE OLIFANT
IN HET UNIVERSUM

Donkere materie, mysterieuze deeltjes
en de samenstelling van ons heelal

FONTAINE UITGEVERS

De blinde mannen en de olifant

Een hindoe-fabel

Zes mannetjes uit Hindoestan
Die namen leergezind
Een kijkje bij een Olifant
Al waren ze wel blind
Ze dachten: het zal mij benieuwen
Wat ik ervan vind

De Eerste botste tegen een
Geweldig breed postuur
Dat stevig en solide was
En dus riep hij vol vuur:
'Mijn lieve God, de Olifant
Is net iets als een Muur!'

De Tweede hield een slagrand vast
En ging verbaasd tekeer:
'Wat hard en rond en glad en scherp
Dit is geen raadsel meer
Die wonderlijke Olifant
Is net iets als een Speer!'

De Derde naderde het dier
En was bepaald niet bang
Hij voelde dapper aan de slurf
Die wendbaar was en lang
'Aha,' zei hij, 'de Olifant
Is net iets als een Slang!'

De Vierde voelde aan een poot
En sprak toen zonder schroom:
'Dit staat zo grondig op de grond
Een béétje anatoom
Die weet meteen: de Olifant
Is net iets als een Boom!'

De Vijfde zocht en vond een oor
En juichte: 'Niets is fraaiër
Dan deze windverplaatsingsschijf
Ik zweer het en ik draai er
Dus niet omheen, de Olifant
Is net iets als een Waaier!'

De Zesde graaide naar de staart
En dacht: asjemenou
Wat is dit dun en vezelrijk
En met een hoop know-how
Verklaarde hij: 'De Olifant
Is net iets als een Touw!'

De mannetjes uit Hindoestan
Die hadden blind aanschouwd
En ook al hadden ze heel stug
Hun mening onderbouwd
Ze hadden allen deels gelijk
Maar ieder had het fout

De Moraal:

Vaak heeft men in godsdienstige
Discussies praats voor tien
Toch kakelt men onkundig
En onwetend bovendien
Het gaat over een Olifant
Die niemand heeft gezien!

John Godfrey Saxe (1872)

Vertaling: Frank van Pamelen (2021)

Inhoud

	Voorwoord door Vincent Icke	11
	Introductie	15
	Deel 1 OOR	
1	Moeilijke materie	25
2	Diepgravend onderzoek	37
3	De pioniers	48
4	Het halo-effect	62
5	<i>Flattening the curve</i>	73
6	Kosmische cartografie	84
7	Baryonen van de oerknal	95
8	Radioreflecties	107
	Deel 2 SLAGTAND	
9	Wennen aan de kou	121
10	Wonderbaarlijke WIMP's	133
11	Digitaal universum	145
12	Kosmologische ketters	158
13	Vervormd zicht	170

14	MACHO-gedrag	182
15	Het op hol geslagen heelal	194
16	De kosmische taart	206
17	Ingesleten patronen	217

Deel 3 **SLURF**

18	De xenon-wedloop	231
19	Tegen de wind in	244
20	Boodschappers uit de ruimte	257
21	Dwarse dwergen	271
22	Toenemende spanning	283
23	Subatomaire spoken	295
24	Een duistere crisis	307
25	Niet zien en toch geloven	319

	Noten	330
	Dankwoord	342
	Illustratieverantwoording	344
	Register	345

Introductie

In 1995 beschikten astronomen voor het eerst over gevoelige spectrometers waarmee heel nauwkeurig de snelheden van sterren konden worden gemeten. Binnen een paar jaar, zo was de verwachting, zou het daarmee waarschijnlijk lukken om exoplaneten op te sporen. De zwaartekracht van een nabije, zware planeet zou namelijk uiterst kleine periodieke veranderingen in de snelheid van zijn moederster veroorzaken. Ik besloot research te gaan doen voor een nieuw populair-wetenschappelijk boek over deze jacht op exoplaneten, in de hoop dat ik de baanbrekende ontdekking in het slothoofdstuk zou kunnen opnemen.

Toen Michel Mayor en Didier Queloz in oktober 1995 hun ontdekking bekendmaakten van 51 Pegasi b – de eerste bevestigde planeet die om een zonachtige ster draait – moest ik plotseling vaart maken. Het daaropvolgende jaar heb ik aan bijna niets anders gewerkt. Mijn boek, *Tweeling aarde*, verscheen begin 1997. Het was een van de eerste boeken ter wereld waarin de eerste reeks ontdekkingen aan bod kwam.

Een aantal jaren geleden gebeurde iets soortgelijks. Begin 2015 begon ik mijn research voor een boek over zwaartekrachtgolven – kleine rimpelingen in het weefsel van ruimte en tijd die worden veroorzaakt door heftige gebeurtenissen zoals botsingen tussen zwarte gaten. Zwaartekrachtgolven waren een eeuw eerder al voorspeld door Albert

Einsteins algemene relativiteitstheorie, en wetenschappers maakten er al tientallen jaren lang jacht op. Later dat jaar zouden de nieuwe, geavanceerde versies van de zwaartekrachtgolfdetectoren LIGO (Verenigde Staten) en Virgo (Italië) in bedrijf gaan, en het leek erop dat de eerste detectie niet lang meer op zich zou laten wachten.

Uiteindelijk was de eerste directe waarneming van zwaartekrachtgolven al in september van dat jaar een feit, al werd die pas in februari 2016 wereldkundig gemaakt. Opnieuw schoof ik alles aan de kant om het boek te voltooien. *Ripples in Spacetime* – vertaald als *Deining in de ruimtetijd* – verscheen in de zomer van 2017.

Dus toen ik begin 2018 serieus begon te werken aan een nieuw boek over donkere materie, vertelde ik mijn interviewkandidaten – astrofysici en deeltjesfysici die op zoek zijn naar de ware aard van dit geheimzinnige spul – half gekscherend dat ik heel binnenkort een revolutionaire ontwikkeling op dit gebied verwachtte. Zou het niet fantastisch zijn als mijn boek het eerste zou zijn waarin de langverwachte oplossing van het vraagstuk van de donkere materie wordt onthuld?

Jammer genoeg gebeurde dat niet. Dus ik verklap maar vast: als je de laatste pagina van dit boek hebt bereikt, weet je nog steeds niet waar het grootste deel van het materiële heelal uit bestaat. Wetenschappers ook niet trouwens. Ondanks tientallen jaren van speculaties, waarnemingen, onderzoeken en computersimulaties is donkere materie nog steeds een van de grootste raadsels in de moderne wetenschap. Maar je zult na afloop wél veel te weten zijn gekomen over ons wonderbaarlijke heelal, en over de wijze waarop natuur- en sterrenkundigen de geheimen van de kosmos hebben ontward.

Donkere materie tart ons voorstellingsvermogen. Het is de onzichtbare lijm die het heelal bij elkaar en in stand houdt. Zonder die lijm zouden sterrenstelsels uiteenvallen, clusters van sterrenstelsels ontbinden, en zou de ruimte lang geleden tot in het niets zijn uitgedijd. Donkere materie is het belangrijkste bestanddeel van het heelal, en toch hebben we het bestaan ervan pas enkele tientallen jaren geleden ontdekt. En niemand kent de ware aard ervan.

Nou ja, dankzij het werk van honderden toegewijde wetenschappers

weten we in elk geval wat het níét is. Donkere materie is geen oceaan van uiterst zwakke dwergsterren. Ook bestaat het niet uit sluiers van donker gas in de intergalactische ruimte. Of uit zwarte gaten – althans niet van het ‘normale’ soort dat sterrenkundigen stukje bij beetje leren kennen. Donkere materie bestaat zelfs niet uit de atomen en moleculen waarmee wij vertrouwd zijn. Het is een volslagen buitenissig en exotisch goedje.

En het heeft vorm gegeven aan het heelal waarin wij leven. Donkere materie fungeert als het geraamte voor de vorming van kosmische structuren. Het maakte het ontstaan mogelijk van clusters, sterrenstelsels, sterren, planeten en uiteindelijk mensen. Maar hoewel het probleem onderzocht wordt door talloze wetenschappers in verschillende disciplines, hebben we het raadsel van de donkere materie maar niet echt op weten te lossen. Aan aanwijzingen en vermoedens geen gebrek, maar harde bewijzen, ho maar. Donkere materie wil zijn ware identiteit maar niet prijsgeven.

Het verhaal van de speurtocht naar donkere materie gaat terug naar de jaren 30 van de vorige eeuw, ook al werd het mysterie pas zo’n vijftig jaar geleden serieus genomen, toen sterrenkundigen zich begonnen te verbazen over de hoge rotatiesnelheden van de buitendelen van spiraalvormige sterrenstelsels zoals ons eigen Melkwegstelsel. Het duurde niet lang voordat ook deeltjesfysici zich ermee gingen bemoeien; het werd namelijk al snel duidelijk dat het raadsel niet opgelost zou kunnen worden zonder het bestaan van een compleet nieuwe materievorm te veronderstellen. En vanwege de kardinale rol die deze donkere materie bleek te spelen in de evolutie van het heelal als geheel werd de speurtocht er naar ook een *hot topic* in de kosmologie, die het heelal bestudeert op de grootst mogelijke schalen. Het is een waarlijk multidisciplinair onderzoeksgebied dat waarnemers, theoretici, experimentalisten en bouwers van computermodellen tientallen jaren lang heeft beziggehouden.



Als er gedurende zo’n lange periode zo veel mensen aan het oplossen van een probleem werken, is het in een boek zoals dit ronduit onmogelijk

lijk om ze allemaal recht te doen. *De olifant in het universum* is immers geen academisch leerboek, en het pretendeert ook niet de definitieve geschiedschrijving van het vakgebied te zijn. Als populairwetenschappelijk boek dat zich richt op een geïnteresseerd lekenpubliek biedt het daarentegen wel een brede kennismaking met het onderzoek aan donkere materie in al zijn verrassende verscheidenheid, zonder te verzan- den in een overvloed aan details. De persoonlijke verhalen van veel belangrijke spelers op dit terrein geven een indruk van de vindingrijk- heid, het doorzettingsvermogen en – soms ook – de koppigheid van we- tenschappers die hun hele professionele carrière hebben gewijd aan het oplossen van het grootste mysterie in de kosmos. Ik neem je mee langs afgelegen sterrenwachten en ondergrondse deeltjeslaboratoria. We zul- len wetenschappelijke conferenties bijwonen en laboratoria en univer- siteiten bezoeken om zowel Nobelprijswinnaars als pas gepromoveerde onderzoekers aan de tand te voelen. Helaas konden, vanwege de coro- na-pandemie, niet al mijn geplande reizen doorgang vinden. Een flink aantal interviews moest telefonisch of via Zoom worden afgenomen.

Onze reis beslaat een breed scala aan onderwerpen die met donke- re materie te maken hebben. Hoewel de meeste van de 25 hoofdstukken als op zichzelf staande verhalen kunnen worden gelezen, heb ik ze zo- danig gerangschikt dat je een goed beeld krijgt van de omvang van het raadsel, en hoe dit zich in de loop van de decennia heeft ontwikkeld. In het eerste hoofdstuk maak je kennis met James Peebles, natuurkundige aan de Princeton-universiteit, die ook wel de ‘vader’ van het populaire model van de koude donkere materie wordt genoemd, en die in 2019 mede-ontvanger was van de Nobelprijs voor Natuurkunde voor zijn bij- dragen aan de theoretische kosmologie. Wat volgt in hoofdstuk 2 is een bezoek aan het ondergrondse Gran Sasso-laboratorium in Italië, dat je alvast een indruk geeft van de *experimentele* aanpak van het raadsel van de donkere materie, zodat je terdege beseft dat tientallen wetenschap- pers over de hele wereld ook vandaag de dag werken aan de ontraad- seling van dit mysterie.

Nadat je lekker bent gemaakt met deze korte inleidende kennis- making met zowel theorie als experiment, reizen we in hoofdstuk 3 een

eeuw terug in de tijd om kennis te maken met de eerste aanwijzingen dat er iets mis was met ons begrip van de materiële inhoud van het heelal. Veel later, in de jaren 70 van de twintigste eeuw, realiseerden fysici zich dat sterrenstelsels zoals ons eigen Melkwegstelsel niet stabiel kunnen zijn zonder enorme, min of meer bolvormige halo's van donkere materie (hoofdstuk 4). Ook begonnen pioniers zoals sterrenkundige Vera Rubin in te zien dat de snelle rotatie van sterrenstelsels alleen verklaarbaar is als zij veel meer materie bevatten dan wat je kunt waarnemen, zoals beschreven in hoofdstuk 5.

Hoofdstuk 6 gaat vervolgens over onze pogingen om de driedimensionale verdeling van sterrenstelsels in de ruimte in kaart te brengen – met een speciale rol voor het nieuwe Vera C. Rubin-observatorium. En in hoofdstuk 7 duiken we in de oorsprong van de elementen, om te moeten vaststellen dat donkere materie niet uit gewone atomen en moleculen kan bestaan. De doorslaggevende rol die de radioastronomie heeft gespeeld bij de ontdekking dat er werkelijk zoiets als donkere materie bestaat, is het onderwerp van hoofdstuk 8. Daarmee besluiten we het eerste deel van dit boek, waarin de focus vooral op sterrenkundig onderzoek ligt.

De eerste twee hoofdstukken van deel 2 (hoofdstuk 9 en 10) behandelen het groeiende besef, in de tweede helft van de jaren 70, dat het geheimzinnige spul uit relatief traag bewegende (oftewel 'koude') elementaire deeltjes bestaat, die verrassend goed passen in de theorie van de supersymmetrie – een veelbelovende kandidaat voor de langgezochte unificatietheorie ('theorie van alles'). Zo begon donkere materie ook een belangrijke rol te spelen binnen de deeltjesfysica.

Terwijl detailrijke computersimulaties van de evolutie van de grote-schaalstructuur van het heelal (het onderwerp van hoofdstuk 11) de rol van de Weakly Interacting Massive Particles (WIMP's – 'zwak wisselwerkende zware deeltjes') leken te bevestigen, begonnen sommige wetenschappers juist te twijfelen aan de realiteit van de donkere materie. Hun theorie van de Modified Newtonian Dynamics (MOND) – een aangepaste versie van de wetten van Newton – die in hoofdstuk 12 wordt besproken, stelt dat ons begrip van de zwaartekracht aan herziening toe

is. Misschien jagen wetenschappers wel op een hersenschim.

In de hoofdstukken 13 en 14 maken we kennis met de belangrijke rol van de zwaartekrachtlenzen (de minieme afbuiging van licht door de zwaartekracht) – als mogelijke weerlegging van de MOND-theorie, maar ook als hulpmiddel voor het opsporen van Massive Compact Halo Objects (MACHO's) oftewel 'zware astrofysische compacte halo-objecten' – een andere kandidaat voor de donkere materie die een deel van het hardnekkige raadsel zou kunnen verklaren. Zoals we zullen zien, heeft de jacht op MACHO's maar weinig opgeleverd. In plaats daarvan doemde eind jaren 90 nog een ander donker mysterie op: de donkere energie. Wetenschappers kwamen erachter dat de uitdijning van de lege ruimte aan het versnellen is – een rechtstreeks gevolg van de donkere energie. Die ontdekking, en wat die ons vertelt over de globale samenstelling van het heelal, is het onderwerp van de hoofdstukken 15 en 16.

Donkere energie en de theorie van de koude donkere materie zijn geïntegreerd in een kosmologisch model dat lambda-CDM wordt genoemd, waarbij lambda (Λ) voor donkere energie staat. Waarnemingen van de kosmische achtergrondstraling (soms ook wel 'de nagloed van de schepping' genoemd) hebben sterk ondersteunend bewijs opgeleverd voor dit populaire model. Bovendien kan deze overgebleven straling, zoals we in hoofdstuk 17 zullen zien, worden vergeleken met de huidige grote-schaalstructuur van het heelal. Dit heeft een gedetailleerd beeld opgeleverd van de kosmische evolutie, waarin de donkere materie een onmiskenbare rol speelt. Ook al kennen we de ware aard ervan niet, we zijn ons wel gaan realiseren dat donkere materie een belangrijk bestanddeel is van de kosmologie – de bestudering van het heelal op de grootst mogelijke schalen.

Deel 3 van het boek behandelt huidige en toekomstige speurtochten naar donkere materie, alsmede enkele van de uitdagingen waar de hedendaagse kosmologie zich voor geplaatst ziet. In de hoofdstukken 18 en 19 lees je over de technisch geavanceerde experimenten waarmee wetenschappers proberen om donkere-materiedeeltjes rechtstreeks te detecteren. Daarbij wordt gebruik gemaakt van uiterst gevoelige instrumenten in diepe grotten en tunnels, die afscherming bieden tegen de

kosmische straling die de metingen anders zou verstoren. Verrassend genoeg kan kosmische straling zelf ook kenmerken vertonen die karakteristiek zijn voor vervallende donkere-materiedeeltjes in de ruimte – het onderwerp van hoofdstuk 20.

De hoofdstukken 21 en 22 beschrijven een aantal zorgwekkende problemen met het populaire kosmologische concordantiemodel, die vrij recent zijn opgedoken. Op dit moment weet nog niemand hoe ernstig deze problemen op termijn zullen zijn, maar theoretici zijn al druk bezig om alternatieve ideeën en hypothesen te ontwikkelen. In de hoofdstukken 23 en 24 passeren enkele daarvan de revue. Het slot-hoofdstuk van dit boek probeert vooruit te kijken, al laat zich onmogelijk voorspellen welke van de toekomstige experimenten en observatoria het honderd jaar oude raadsel van de donkere materie uiteindelijk zal oplossen. Laten we vooral hopen dat het niet nog eens honderd jaar zal duren.



Als wetenschapsjournalist die gespecialiseerd is in alles wat zich boven de aardatmosfeer afspeelt, heb ik me waarschijnlijk wat meer gericht op de sterrenkunde dan op de deeltjesfysica, al heb ik natuurlijk geprobeerd om een gebalanceerd beeld te schetsen. Ook heb ik ervoor gekozen om meer de nadruk te leggen op vroegere ontwikkelingen, goed onderbouwde ideeën en huidige experimenten dan op nieuwe, speculatieve theorieën, onbevestigde resultaten en mogelijke toekomstige instrumenten – als dat blijvertjes zijn, zul je daar ongetwijfeld in een toekomstig boek van iemand anders over lezen.

De jacht op donkere materie duurt voort, maar hoewel ze nog niet is voltooid, heeft ze ons nu al meer geleerd over allerlei astronomische en fysische verschijnselen – van snel draaiende sterrenstelsels, gravitatielenzen en de grootschalige structuur van het heelal tot de vorming van atoomkernen bij de oerknal en intrigerende patronen in de kosmische achtergrondstraling. De speurtocht heeft ook geleid tot andere veelbelovende theorieën en tot speculaties over supersymmetrie en nog

niet ontdekte leden van de menagerie van elementaire deeltjes. Terwijl ze op zoek waren naar de ware identiteit van het leeuwendeel van het heelal, hebben wetenschappers enkele van de meest intrigerende raadsels van de natuur opgelost, en de verbluffende complexiteit aan het licht gebracht van de wereld waar wij onlosmakelijk deel van uitmaken.

Govert Schilling, 2021

Moeilijke materie

Phillip James Edwin Peebles, *Albert Einstein professor emeritus of science* aan de Princeton-universiteit, *Fellow of the American Physical Society* en de *Royal Society*, gelauwerd met de Nobelprijs voor Natuurkunde 2019 en peetvader van de theorie van de koude donkere materie, staat langzaam op van zijn bureau en loopt naar een boekenplank aan de tegenoverliggende muur, waar hij twee lege plastic flessen oppakt.¹

Hij blaast over de opening van de grootste fles. Een laag, trillend geluid vult de kamer. Dan houdt hij de kleinere fles bij zijn lippen. Er klinkt een ander, veel hoger geluid. ‘Het is hetzelfde principe,’ zegt Peebles, met een karakteristieke bescheiden glimlach op zijn gezicht. ‘Elke grootte heeft zijn eigen voorkeursfrequentie, en omgekeerd.’

Maar wacht eens even. Zoiets simpels levert je geen Nobelprijs op, toch? Nou, dat doet het wel als je erin slaagt het toe te passen op geluidsgolven in het pasgeboren heelal. Als je helpt bewijzen dat sterrenstelsels niet stabiel kunnen zijn zonder grote hoeveelheden mysterieuze donkere materie. En als je vervolgens de basis legt voor het huidige standaardmodel van de kosmologie – de overkoepelende wetenschap van alles wat er bestaat.

Vandaar dat Peebles op dinsdag 8 oktober 2019 om 5 uur ’s ochtends dat magische telefoontje van de Zweedse Academie van Weten-

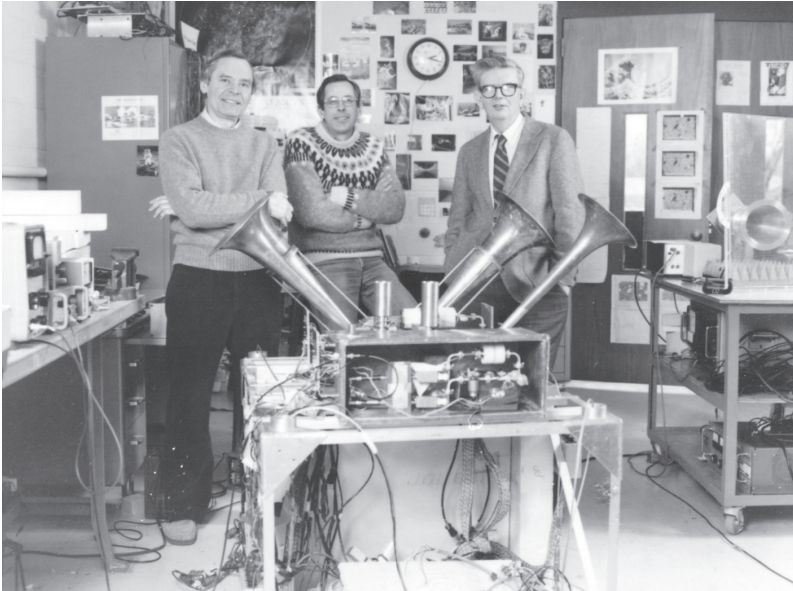
schappen kreeg. Hij zou de helft van de Nobelprijs voor Natuurkunde 2019 ontvangen – zo'n 820.000 euro – voor zijn 'theoretische ontdekkingen op het gebied van de fysische kosmologie'. 'Lieve hemel,' zei z'n vrouw Alison toen ze het nieuws hoorde. Daarna maakte Peebles, net als elke dag, de wandeling van anderhalve kilometer van zijn huis in Princeton naar zijn werkkamer op de tweede verdieping van Jadwin Hall, zijn 84-jarige hoofd vol verwarde gedachten.

En dan te bedenken dat Jim Peebles zich nooit had voorgesteld om kosmoloog te worden. Hij werd in 1935 geboren in de Canadese stad Saint Boniface (inmiddels onderdeel van de metropool Winnipeg). De kleine Jim was een knutselaar – een Willie Wortel in de dop die het tijdschrift *Mechanics Illustrated* verslond, elektrische apparaten bouwde, met buskruit experimenteerde en verliefd werd op stoomtreinen. Natuurlijk ging hij weleens naar buiten als het noorderlicht zijn stille dans aan de winterhemel van Manitoba uitvoerde, en hij wist ook heus wel waar de Poolster aan de hemel te vinden was. Maar de astronomie had nooit zijn technische hart veroverd. Toen hij als student voor het eerst kennismaakte met de kosmologie, vond hij het vakgebied zelfs 'uitermate saai, en ad hoc en ongelooftwaardig,' zoals hij astronoom Martin Harwit ooit vertelde.²

Daar kwam geleidelijk verandering in toen hij zich in het najaar van 1958 in Princeton als promovendus aansloot bij de onderzoeksgroep van de briljante natuurkundige Robert Dicke. Op vrijdagavonden organiseerde Dicke seminars op de natuurkunde-afdeling van de universiteit, waar studenten, postdocs en hoogleraren vrijuit discussieerden over elk wetenschappelijk onderwerp dat hun interesse wekte. Aanvankelijk geïntimideerd door de kennis van de quantumfysica of de algemene relativiteitstheorie die anderen tentoonspreidden, begon Peebles deze informele bijeenkomsten al snel te waarderen, en niet alleen vanwege het biertje dat na afloop soms werd gedronken. En al snel bleek Dicke's voorliefde voor de kosmologie besmettelijk te zijn.

Na zijn promotie in 1962 (op het vraagstuk of de sterkte van de elektromagnetische kracht metertijd verandert) bleef Peebles in Princeton, waar hij samenwerkte met Dicke en twee andere postdocs, David

Wilkinson en Peter Roll. Op een verbleekte kleurenfoto uit die tijd, die hij toonde tijdens zijn officiële Nobel-lezing in de grote aula van de Universiteit van Stockholm, is hij te zien als een lange, tengere jongen met sluijk zwart haar, een bril en een IJslandse trui – alsof hij zijn publiek duidelijk wilde maken dat hij gewoonlijk geen smoking draagt.



David Wilkinson (links), James Peebles (midden) en Robert Dicke (rechts) met de ontvanger die zij begin jaren 60 bouwden om de kosmische achtergrondstraling te bestuderen.

Peebles' carrière kwam op stoom op een smoorhete dag in de zomer van 1964. Op de warme, benauwde zolder van het Palmer Physics Lab ontvouwde Dicke zijn ambitieuze plannen om te gaan zoeken naar de verwachte reststraling van het pasgeboren heelal – een 'vuurzee' die nog miljoenen graden heter was dan welke zolder ook. Dave en Peter werden belast met het bouwen van de apparatuur die nodig was om die reststraling te detecteren. 'Dus Jim,' zei Dicke, 'waarom duik jij niet in de onderliggende theorie?'

Inderdaad, waarom niet?

Peebles rekende uit hoe het hete plasma van het vroege, uitdijende heelal – een mengsel van elektrisch geladen deeltjes – in wisselwerking moet zijn geweest met de energierijke straling. Zo zou een dichte, stroperige vloeistof zijn ontstaan, klotsend en vibrerend als een soort oersoep. Toen zo'n 380.000 jaar na de oerknal de temperatuur ver genoeg was gedaald om neutrale atomen te vormen, raakten materie en straling 'ontkoppeld': de eigenschappen van de een bepaalden niet langer het gedrag van de ander. De straling kon zich nu ongehinderd door het heelal voortplanten, en koelde af tot de zwakke kosmische achtergrondgloed waar Dicke naar op zoek was. En de materie bleef achter met een karakteristiek patroon van gebieden met hogere en lagere dichtheid, waarvan de afmetingen werden bepaald door de frequenties van de oorspronkelijke geluidsgolven.

Afmeting is gerelateerd aan frequentie, en omgekeerd. Dat is de link met de plastic flessen die de Albert Einstein Professor Emeritus of Science spelenderwijs in muziekinstrumenten liet veranderen – hetzelfde principe is van toepassing op het heelal als geheel. Mettertijd zou de materie verder condenseren tot sterrenstelsels, en vanwege de ingevroren 'baryonische akoestische oscillaties', zoals het ontstane patroon wordt genoemd, zouden deze stelsels niet gelijkmatig over de ruimte zijn verspreid. Met andere woorden: de huidige grote-schaalstructuur van het heelal is bepaald door gebeurtenissen kort na de oerknal.

Het is een gecompliceerd verhaal, dat je gerust even mag vergeten – op de baryonische akoestische oscillaties komen we in hoofdstuk 17 terug. Voor nu is het voldoende om te weten dat Jim Peebles rond zijn dertigste verjaardag al snel het talent ontwikkelde om zo groot mogelijk te denken – misschien niet over het leven, maar toch zeker over het heelal en de rest. Daar hoeft je geen 42 voor te zijn.

Hij raakte niet eens van slag door het feit dat in 1964 twee radio-technici – Arno Penzias en Robert Wilson bij Bell Laboratories in het nabijgelegen Holmdel – de Princeton-groep te vlug af waren bij het detecteren van de kosmische achtergrondstraling. 'Nou jongens, ik denk dat iemand ons vóór is geweest,' zei een teleurgestelde Dicke tegen Dave,

Peter en Jim, nadat hij telefonisch te horen had gekregen over de ontdekking. Peebles vond het juist heel spannend. Het was geen speculatie meer: er was daarbuiten echt iets dat je kon onderzoeken.

Jim Peebles werd aangestoken door het kosmologievirus, en is daar nooit meer van afgekomen. Al snel gaf hij hoorcolleges over het onderwerp dat hem ooit buitengewoon saai en ongeloofwaardig had geleken. Zijn boek *Physical Cosmology* verscheen in het najaar van 1971 – een jaar voordat Peebles tot Princeton-hoogleraar werd benoemd.³ De eerste editie heeft een prominente plek op de boekenplank naast zijn bureau, dicht bij een actiefiguur van Albert Einstein.

Fysische kosmologie... Eeuwenlang – nee, millennia-lang – waren het ontstaan en de evolutie van het heelal behandeld als een soort metafysica. Een heelal dat rust op de ruggen van olifanten en reusachtige schildpadden; een heilige scheppingsdaad in een niet al te ver verleden. Maar eindelijk begon de mythologische mist op te trekken en maakten de heilige verhalen plaats voor een kritische blik en voor wetenschappelijk onderzoek. Kosmologie werd iets dat je kon aanraken, uit elkaar halen, begrijpen en bewonderen. Of waar je zelfs verliefd op kon worden, net als op een stoomlocomotief.



Een halve eeuw later zit Nobelprijswinnaar Phillip James Edwin Peebles, gekleed in een informele spijkerbroek en een mosgroene sweater, gebogen over zijn computerbeeldscherm, zet hij zijn bril af om de kleine letters op het scherm te kunnen onderscheiden, doorzoekt hij een archief met wetenschappelijke artikelen en gaat hij geheel op in historische details. Sinds 1971, ongeveer een halve eeuw geleden, is er zoveel gebeurd. Zoveel adembenemende ontdekkingen zijn er gedaan en zoveel doodlopende steegjes verkend. Zoveel raadsels! Maar geleidelijk is het besef ontstaan dat ons heelal, ons eigen bestaan wordt beheerst door een geheimzinnige substantie. Een substantie die bij gebrek aan beter ‘donkere materie’ wordt genoemd. Om *Star Trek* te parafaseren: ‘*It’s matter, Jim, but not as we know it.*’

Ja, al in de lang vervlogen jaren 30 waren de eerste aanwijzingen gevonden, maar pas in de jaren 70 en 80 verscheen het raadsel van de donkere materie echt ten tonele, als een hoofdrolspeler die pas in het derde bedrijf opduikt en de plot van het stuk een verrassende wending geeft. ‘Er is meer tussen hemel en aarde, Horatio, dan jouw geest kan bevatten.’

De details zullen moeten wachten (we hebben nog driehonderd pagina’s te gaan), maar er waren tal van ontdekkingen die alleen begrepen konden worden als het heelal gevuld was met donkere materie. Zo was er bijvoorbeeld Peebles’ eigen onderzoek naar de klonterige verdeling van sterrenstelsels in de ruimte, nog vóór astronomen betrouwbare driedimensionale kaarten konden maken. Zijn theoretische onderzoek, samen met Princeton-collega Jeremiah Ostriker, naar de stabiliteit van schijfstelsels – onmogelijk tenzij ze zijn omgeven door zware, donkere halo’s. Carnegie-wetenschappers Vera Rubin en Kent Ford, die de eersten waren (of misschien toch niet?) die aantoonde dat de buitendelen van sterrenstelsels veel sneller roteren dan zonder donkere materie valt te verklaren.

En de steeds gedetailleerdere waarnemingen van de kosmische achtergrondstraling, die lieten zien dat het pasgeboren heelal – heel toepasselijk – zo glad was als een babyhuid. Het was dit onverwachte resultaat, zegt Peebles, dat hem er in 1982 toe bracht om zijn model van de koude donkere materie op te stellen. Er was namelijk een probleem: óf het hete plasma in het vroege heelal was te glad, óf de huidige grote-schaalstructuur van het heelal is te klonterig. Het was één van beide: in een altijd uitdijend heelal is de zwaartekracht namelijk te zwak om de gladde toestand van toen te veranderen in de klonterige toestand van nu.

Tenzij.

Tenzij de donkere materie iets heel vreemds is. Een nieuw soort deeltje dat reageert op zwaartekracht, maar niet op de overige fundamentele natuurkrachten, zoals elektromagnetisme of de sterke kernkracht. Een deeltje dat niet gekoppeld is aan het hete stralingsbad in het vroege heelal, en traag genoeg beweegt – ‘koud’ genoeg is in het jargon van de deeltjesfysica – om, lang voordat de kosmische achtergrondstra-