

Donkere materie en de dinosaurussen

*Hoe alles in het universum
op een verbazingwekkende
manier samenhangt*

LISA RANDALL



UITGEVERIJ NIEUWEZIJD'S

Oorspronkelijke titel: *Dark Matter and the Dinosaurs – The Astounding Interconnectedness of the Universe*. New York: Ecco – An Imprint of HarperCollinsPublishers, 2015.

Uitgegeven door: Uitgeverij Nieuwezijds, Amsterdam
Vertaling: Marianne Vincken, Geldrop
Zetwerk: CeevanWee, Amsterdam
Omslag: Studio Jan de Boer, Amsterdam

© Lisa Randall, 2015

© Nederlandse vertaling: Uitgeverij Nieuwezijds, 2016

ISBN 978 90 5712 474 7

ISBN E-BOOK 978 90 5712 481 5

NUR 910



Bij de productie van dit boek is gebruikgemaakt van papier dat het keurmerk van de Forest Stewardship Council (FSC) mag dragen. Bij dit papier is het zeker dat de productie niet tot bosvernietiging heeft geleid.

Niets uit deze uitgave mag worden veelevoudigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm, geluidsband, elektronisch of op welke andere wijze ook en evenmin in een retrieval system worden opgeslagen zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de uitgever.

Hoewel dit boek met veel zorg is samengesteld, aanvaarden schrijver(s) noch uitgever enige aansprakelijkheid voor schade ontstaan door eventuele fouten en/of onvolkomenheden in dit boek.

Inhoud

Inleiding 7

DEEL I: *De ontwikkeling van het universum*

- 1 De clandestiene donkeremateriewereld 17
- 2 De ontdekking van donkere materie 26
- 3 De grote vragen 38
- 4 Bijna het allereerste begin: een uitstekende plaats om te beginnen 46
- 5 Een sterrenstelsel is geboren 62

DEEL II: *Een actief zonnestelsel*

- 6 Meteoroiden, meteoren en meteorieten 79
- 7 De korte, illustere levens van kometen 96
- 8 De rand van het zonnestelsel 115
- 9 Gevaarlijk leven 119
- 10 Shock and awe 139
- 11 Extincties 154
- 12 Het einde van de dinosaurussen 175
- 13 Leven in de leefbare zone 199
- 14 Wie wind zaait zal storm oogsten 214
- 15 Kometen uit de Oort-wolk smijten 206

DEEL III: *Het ontcijferen van de identiteit van donkere materie*

- 16 De materie van de onzichtbare wereld 243
- 17 Hoe je in het donker ziet 259
- 18 Donkere materie met sociale connecties 271
- 19 De snelheid van donker 282
- 20 Op zoek naar de donkere schijf 296
- 21 Donkere materie en komeetinslagen 310

Conclusie: naar boven kijken 325

| | |
|------------------------|-----|
| Dankwoord | 333 |
| Lijst van illustraties | 337 |
| Verder lezen | 339 |
| Index | 355 |

Inleiding

‘Donkere materie’ en ‘dinosaurussen’ zijn woorden die je zelden samen hoort behalve misschien op de speelplaats, in een fantasy gaming club of in een of andere, nog niet uitgebrachte film van Spielberg. Donkere materie is de ongrijpbare substantie in het universum die net als gewone materie zwaartekracht uitoefent, maar die geen licht absorbeert of uitzendt. Astronomen nemen de zwaartekrachtseffecten ervan waar, maar kunnen haar zelf letterlijk niet zien. Dinosaurussen, daarentegen ... ik twijfel of ik dinosaurussen moet uitleggen. Zij waren van 231 tot 66 miljoen jaar geleden de meest voorkomende gewervelde dieren op aarde.

Hoewel zowel donkere materie als dinosaurussen elk op zich fascinerende onderwerpen zijn, zou je redelijkerwijs kunnen aannemen dat deze onzichtbare fysische substantie en deze populaire biologische icoon helemaal niets met elkaar te maken hebben. En dat kan ook best zo zijn. Maar het universum is per definitie één geheel, en in principe staan de onderdelen ervan met elkaar in verbinding. Dit boek verkent een speculatief scenario waarin mijn medewerkers en ik suggereren dat donkere materie uiteindelijk (en indirect) verantwoordelijk kan zijn geweest voor het uitsterven van de dinosaurussen.

Paleontologen, geologen en natuurkundigen hebben aangetoond dat 66 miljoen jaar geleden een object met een diameter van minstens tien kilometer vanuit de ruimte op de aarde neerstortte, en de op het land levende dinosaurussen vernietigde, samen met driekwart van de andere soorten op onze planeet. Het object kan een komeet zijn geweest uit de buitenste delen van het zonnestelsel, maar niemand weet waarom deze komeet uit zijn zwak gebonden maar stabiele baan is gestoten.

Ons idee is dat toen de zon het vlak van de Melkweg passeerde – de strook sterren en lichtgevend stof die je tijdens een heldere nacht aan de hemel ziet – het zonnestelsel een schijf donkere materie tegenkwam die het verafgelegen object uit zijn baan stootte en daarmee de catastrofale botsing veroorzaakte. In ons deel van de Melkweg omringt het leeuwendeel van de donkere materie ons in een enorme gladde en ijle bolvormige halo.

De soort donkere materie die het uitsterven van de dinosaurussen in gang zette, zou heel anders verdeeld zijn dan het merendeel van de ongrijpbare donkere materie in het heelal. Deze speciale soort donkere materie zou de halo intact laten, maar zou door afwijkende onderlinge wisselwerkingen gecondenseerd zijn in een schijf – precies in het midden van het vlak van het Melkwegstelsel. Dit dunne gebied zou een zo hoge dichtheid kunnen hebben dat de zwaartekrachtinvloed ervan ongewoon groot is wanneer het zonnestelsel erdoorheen trekt terwijl de zon op en neer schommelt in zijn baan door het Melkwegstelsel. De aantrekkingskracht ervan zou sterk genoeg zijn om kometen aan de rand van het zonnestelsel – waar de aantrekking van de zon te klein is om ze weer in het gareel te krijgen – uit hun baan te stoten. De dolende kometen zouden uit het zonnestelsel gestoten worden of – met meer gevolgen – naar het binnenste van het zonnestelsel gedreven worden, waar ze de aarde zouden kunnen treffen.

Ik zeg er meteen bij dat ik nog niet weet of dit idee juist is. Alleen een onvoorzien soort donkere materie zou een meetbare invloed kunnen opleveren op levende wezens (nou ja, technisch gezien dan niet meer levend). Dit boek vertelt het verhaal van ons ongebruikelijke voorstel voor juist zo'n verrassend invloedrijke donkere materie.

Maar deze speculatieve ideeën – hoe uitdagend ze ook mogen zijn – zijn niet het belangrijkste doel van dit boek. Voor de inhoud van dit boek zijn de context en de wetenschappelijke achtergrond minstens zo belangrijk als het verhaal van de komeet die de dinosaurus vernietigde. Daarbij horen het veel beter bewezen raamwerk van de kosmologie en de wetenschap van het zonnestelsel. Ik voel me erg bevoorrecht dat de onderwerpen die ik bestudeer mijn onderzoek vaak naar grote vragen voeren, zoals waar alles van gemaakt is, wat de aard van ruimte en tijd is, en hoe alles in het heelal uiteindelijk geleid heeft tot de wereld zoals we die nu kennen. In dit boek hoop ik veel hiervan met je te delen.

Het onderzoek dat ik zal beschrijven voerde mij over een pad waarop ik veel breder begon te denken over kosmologie, astrofysica, geologie en zelfs biologie. De focus was nog steeds op fundamentele natuurkunde. Maar terwijl ik mijn hele leven de traditionelere natuurkunde van elementaire deeltjes heb bestudeerd – de bouwsteentjes van de gewone materie zoals het papier of het scherm waarop je dit leest – vond ik het ook verfrissend om te speuren naar wat er over de donkere wereld bekend is, of binnenkort bekend zal worden, en naar de gevolgen die de fundamentele natuurkundige processen hebben voor het zonnestelsel en de aarde.

Donkere materie en de dinosaurussen licht onze huidige kennis toe over het universum, de Melkweg, het zonnestelsel, en wat onze aarde tot een leefbare en met leven gevulde plek maakt. Ik zal donkere materie en de kosmos bespreken, maar ik ga ook diep in op kometen, planetoiden, en het ontstaan

en het uitsterven van leven, met speciale aandacht voor het object dat op de aarde insloeg en zo de op het land levende dinosaurussen – en veel van het andere leven hier – uitroeide. Ik wil met dit boek de vele ongelofelijke verbanden tonen die ons hier gebracht hebben, zodat we beter kunnen begrijpen wat zich nu afspeelt. Als we vandaag de dag over onze planeet denken, willen we misschien ook de context waarin die zich ontwikkelde beter begrijpen.

Toen ik me verdiepte in de concepten achter de ideeën in dit boek, raakte ik overdonderd en verrukt, niet alleen door onze huidige kennis van onze omgeving – lokaal, ons zonnestelsel en het Melkwegstelsel, en het heelal – maar ook door hoeveel we er uiteindelijk van hopen te begrijpen, gezien vanaf ons willekeurig plekje hier op aarde. Ik was ook overdonderd door de vele verbanden tussen de verschijnselen die het ons uiteindelijk mogelijk maken om te bestaan. Voor alle duidelijkheid, mijn standpunt is niet religieus. Ik voel me niet geroepen om een doel en een betekenis aan dingen toe te kennen. De emoties die ik voel terwijl we de onmetelijkheid van het universum, ons verleden en hoe dat alles met elkaar samenhangt beginnen te begrijpen, zijn emoties die we vaak geneigd zijn religieus te noemen. Het geeft iedereen wat perspectief bij het omgaan met de waan van het leven van alle-dag.

Dit recente onderzoek heeft me een andere kijk gegeven op de wereld en de vele stukjes universum die de aarde – en ons – hebben voortgebracht. Ik groeide op in Queens en zag daar de indrukwekkende gebouwen van de stad New York, maar niet zoveel natuur. Het kleine beetje natuur dat ik zag was gecultiveerd tot parken of grasvelden – en had nog maar weinig weg van de natuur die er was voor de mens arriveerde. Maar toch, op het strand loop je op kapotgetrapte schepsels – of liever gezegd op hun beschermende omhulsels. En kalkstenen rotsen bevatten meestal ook wezens die ooit, soms miljoenen jaren geleden, geleefd hebben. Uit botsende tektonische platen ontstonden bergen, en het gesmolten magma dat tot die bewegingen aanzet, is het resultaat van radioactief materiaal dat zich bij de kern van de aarde bevindt. Onze energie is uiteindelijk afkomstig van de kernprocessen in de zon – hoewel die, sinds die oorspronkelijke kernreacties plaatsvonden, op verschillende manieren is omgezet en opgeslagen. Veel van de grondstoffen die wij gebruiken zijn zwaardere elementen die ons vanuit de ruimte bereikten en die op aarde zijn achtergelaten door planetoiden of kometen. Sommige aminozuren zijn ook door meteoroiden achtergelaten en brachten misschien wel leven, of de kiemen voor leven, naar de aarde. En voordat dit alles gebeurde, stortte donkere materie in tot klonters die door hun massa meer materie aantrokken – en zo uiteindelijk veranderden in sterrenstelsels, clusters van sterrenstelsels en sterren zoals onze zon. Gewone materie, ook al is die voor ons erg belangrijk, vertelt niet het hele verhaal.

We koesteren misschien de illusie dat we in een op zichzelf staande omgeving leven, maar elke dag als de zon opkomt en elke nacht als de maan en de veel verder afgelegen sterren in beeld komen, worden we eraan herinnerd dat onze planeet hier niet alleen is. Sterren en nevels vormen nog meer bewijs dat we bestaan in een sterrenstelsel dat zich bevindt in een nog veel groter universum. We bewegen in een baan binnen het zonnestelsel en de seizoenen herinneren ons aan onze oriëntatie en plaats daarin. Alleen al het feit dat we tijd meten in dagen en jaren, geeft al aan hoe relevant onze omgeving voor ons is.

Vier inspirerende lessen die ik zou willen delen, tekenen zich af na alles wat ik onderzocht en gelezen heb om dit boek te kunnen schrijven. De allereerste is het plezier dat ik voelde toen ik begreep hoe de delen van het universum op zoveel opmerkelijke manieren met elkaar samenhangen. De grote les op het fundamenteelste niveau is dat de fysica van de elementaire deeltjes, de fysica van de kosmos en de biologie van het leven zelf met elkaar samenhangen – niet in een of andere new-age-achtige betekenis, maar op allerlei bijzondere manieren die zeer de moeite van het begrijpen waard zijn.

Materiaal uit de ruimte treft de aarde voortdurend. Toch heeft de aarde een haat-liefdeverhouding met zijn omgeving. De planeet heeft voordeel van sommige dingen rondom ons, maar er bevinden zich ook veel dingen in onze omgeving die fataal kunnen zijn. De positie van onze planeet leidt tot precies de juiste temperatuur, de buitenplaneten zorgen ervoor dat aanstormende planetoïden en kometen afgebogen worden voor ze de aarde treffen, de afstand tussen de aarde en de maan maakt onze baan voldoende stabiel zodat grote temperatuurschommelingen niet voorkomen, en de buitenste delen van ons zonnestelsel beschermen ons tegen gevaarlijke kosmische straling. Meteoroiden die de aarde treffen hebben ons misschien grondstoffen gebracht die cruciaal zijn voor het leven, maar hebben het verloop van het leven op de planeet ook op een schadelijker manier beïnvloed. Ten minste een zo'n object leidde 66 miljoen jaar geleden tot een verwoestende extinctie, waardoor de op het land levende dinosaurussen werden weggevaagd. Maar hun uitsterven maakte ook de weg vrij voor het ontstaan van grotere zoogdieren, waaronder wijzelf.

Het tweede punt – ook indrukwekkend – is hoe recent veel wetenschappelijke ontwikkelingen zijn die ik zal bespreken. Misschien kun je de volgende uitspraak wel op elk willekeurig tijdstip in de geschiedenis van de mensheid doen, maar dat verandert niets aan de geldigheid ervan: de laatste [vul hier een context-afhankelijk aantal in] jaren heeft onze kennis enorme vorderingen gemaakt. Voor het onderzoek dat ik zal beschrijven is dat aantal jaren minder dan vijftig. Toen ik bezig was met mijn onderzoek, en las over dat van anderen, viel me voortdurend op hoe nieuw en vergaand revolutio-

nair veel van de recente ontdekkingen zijn. De menselijke vindingrijkheid en koppigheid kwam steeds weer naar boven wanneer wetenschappers probeerden zich te verhouden tot de vaak verrassende, altijd onderhoudende en soms angstaanjagende dingen die we over de wereld leerden. De wetenschap die in dit boek gepresenteerd wordt, maakt deel uit van een grotere geschiedenis – van 13,8 of 4,6 miljard jaar, afhankelijk van of je je concentreert op het universum of op het zonnestelsel. Maar mensen zijn nog maar net iets meer dan een eeuw bezig deze ideeën te ontrafelen.

Dinosaurussen stierven 66 miljoen jaar geleden uit, maar paleontologen en geologen hebben pas in de jaren zeventig en tachtig van de vorige eeuw afgeleid hoe dat uitsterven gebeurde. Toen de relevante ideeën eenmaal geïntroduceerd waren, duurde het maar enkele tientallen jaren eer de gemeenschap van wetenschappers ze volledig geëvalueerd had. En die tijdsperiode was niet helemaal toevallig. Het verband tussen het uitsterven en een buitenaards object werd geloofwaardiger sinds astronauten op de maan geland waren en daar kraters van dichtbij zagen – wat hun gedetailleerd bewijs bood van de dynamische aard van het zonnestelsel.

De laatste vijftig jaar heeft de aanzienlijke vooruitgang op het gebied van deeltjesfysica en kosmologie ons geleerd over het Standaardmodel, dat de bouwsteentjes van materie beschrijft zoals we die tegenwoordig begrijpen. Ook de hoeveelheid donkere materie en donkere energie in het heelal werd pas in de laatste tientallen jaren van de twintigste eeuw precies bepaald. Onze kennis van het zonnestelsel veranderde ook in datzelfde tijdsbestek. En pas in de jaren negentig van de vorige eeuw ontdekten wetenschappers in de buurt van Pluto meer objecten in de Kuiper-gordel, waarmee ze lieten zien dat Pluto daar niet in zijn eentje ronddraaide. Het aantal planeten werd teruggebracht – maar alleen omdat de natuurwetenschap die je misschien op de basisschool hebt geleerd, nu rijker en complexer is.

De derde belangrijke les concentreert zich op het tempo van de veranderingen. Natuurlijke selectie laat aanpassing toe wanneer soorten tijd hebben om te evolueren. Maar bij dat aanpassen zullen geen radicale veranderingen optreden. Daarvoor gaat het veel te langzaam. Dinosaurussen waren niet staat om zich voor te bereiden op een meteoröide met een doorsnede van 10 kilometer die de aarde zou treffen. Ze konden zich niet aanpassen. Degene die aan het land waren gebonden, waren te groot om zichzelf in te graven en hadden geen geschikte plek om naar toe te gaan.

Terwijl nieuwe ideeën of technologieën opkomen, hebben debatten over catastrofale versus geleidelijke veranderingen ook een grote rol gespeeld. De sleutel tot het begrijpen van de meeste nieuwe ontwikkelingen – wetenschappelijk of anderszins – is het tempo van de processen die ze beschrijven. Ik hoor mensen vaak suggereren dat bepaalde ontwikkelingen, zoals genetisch onderzoek of vooruitgang door het internet, nog nooit zo dramatisch

waren. Maar dat is niet helemaal waar. Het verbeterde inzicht in ziektes of het hart- en vaatstelsel, dat van honderden jaren geleden dateert, bracht minstens zulke diepgaande veranderingen teweeg als de genetica vandaag de dag. De invloed van de introductie van geschreven taal en later van de drukpers op hoe mensen kennis verwierven en dachten, was minstens zo belangrijk als die van het internet nu.

Net als bij deze ontwikkelingen, is een erg belangrijke factor voor de huidige veranderingen de snelheid ervan – en dat geldt niet alleen voor wetenschappelijke processen, maar ook voor veranderingen in het milieu en de maatschappij. Hoewel de kans dat we sterven door een meteoroïde waarschijnlijk geen reden tot zorg is, zijn het steeds snellere tempo van de veranderingen in het milieu en het verdwijnen van soorten dat vermoedelijk wel – en de gevolgen zouden op vele manieren wel eens vergelijkbaar kunnen zijn. De misschien niet eens zo erg verborgen agenda van dit boek is om ons het verbazingwekkende verhaal van hoe we tot hier gekomen zijn, beter te leren begrijpen en ons te stimuleren die kennis verstandig te gebruiken.

Niettemin is de vierde belangrijke les de bijzondere wetenschap van de vaak verborgen elementen van onze wereld en zijn ontwikkeling – en hoeveel we mogen hopen te begrijpen van het universum. Veel mensen zijn gefascineerd door het idee van een multiversum – andere universa buiten ons bereik. Maar minstens zo fascinerend zijn de vele verborgen werelden, zowel biologische als fysische, die we nu kunnen verkennen en waar we meer over te weten kunnen komen. In *Donkere materie en de dinosaurussen* wil ik overbrengen hoe inspirerend het kan zijn om na te denken over wat we weten – én over wat we kunnen verwachten of hopen in de toekomst uit te dokteren.

Dit boek begint met een uiteenzetting van de kosmologie – de wetenschap van hoe het universum geëvolueerd is tot zijn huidige toestand. Het eerste deel bevat de oerknaltheorie, de kosmologische inflatie en de samenstelling van het universum. Daarin leg ik ook uit wat donkere materie is, hoe we haar bestaan hebben aangetoond en waarom ze relevant is voor de structuur van het universum.

Donkere materie neemt 85 procent van de materie in het universum voor haar rekening, terwijl gewone materie – waar sterren, gas en mensen uit bestaan – slechts 15 procent beslaat. Toch zijn mensen voornamelijk bezig met het bestaan en belang van gewone materie – die, om eerlijk te zijn, veel meer invloed lijkt uit te oefenen.

Maar net als bij de mensheid is het niet zinvol om al onze aandacht te richten op het kleine percentage dat onevenredig veel invloed heeft. De dominante 15 procent van de materie die we kunnen zien en voelen is maar een kant van het verhaal. Ik zal de doorslaggevende rol uitleggen die donkere materie speelt in het universum – zowel voor sterrenstelsels als voor clus-