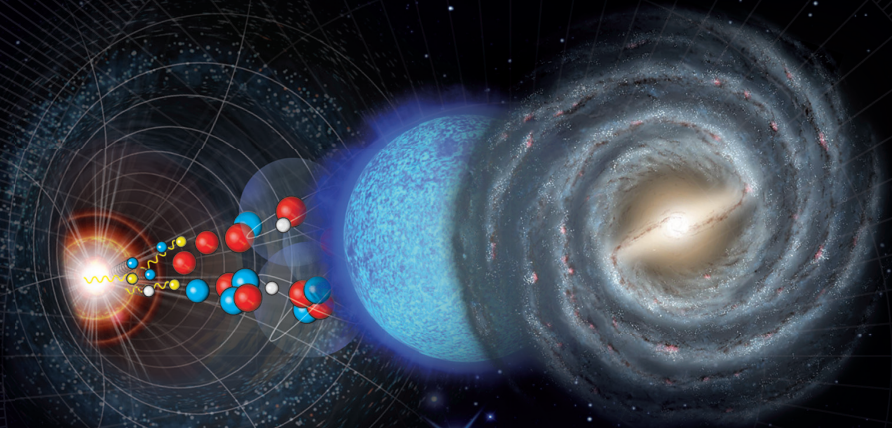


WAAROM DRAAIT DE WERELD DOOR?

VAN
OERKNAL
TOT EINDE
DER TIJDEN



BEN GILLILAND



KOSMOS

Utrecht/Antwerpen

Dit is een uitgave van Kosmos Uitgevers, Utrecht/Antwerpen
www.kosmosuitgevers.nl

Voor het eerst gepubliceerd in 2015 door Philip's, a division of Octopus
Publishing Group Ltd. An Hachette UK Company
www.hachette.co.uk

Oorspronkelijke titel: *How to build a universe*
© 2015 tekst en illustraties: Octopus Publishing Group Ltd

Nederlandse uitgave:
© 2015 Kosmos Uitgevers, Utrecht/Antwerpen
Vertaling: Ger Meesters en Bertie van Zoest
Opmaak binnenwerk: Ger Meesters
Omslagontwerp: The Oak Studio

ISBN 978 90 215 6081 6
NUR 410

Alle rechten voorbehouden.

Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd en/of openbaar gemaakt
door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke andere wijze en/of door
welk ander medium ook, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de
uitgever.

All rights reserved.

De uitgever heeft ernaar gestreefd de rechten van derden zo goed mogelijk te
regelen. Degenen die desondanks menen zekere rechten te kunnen doen gelden,
kunnen zich tot de uitgever wenden.

WAAROM DRAAIT DE WERELD DOOR?

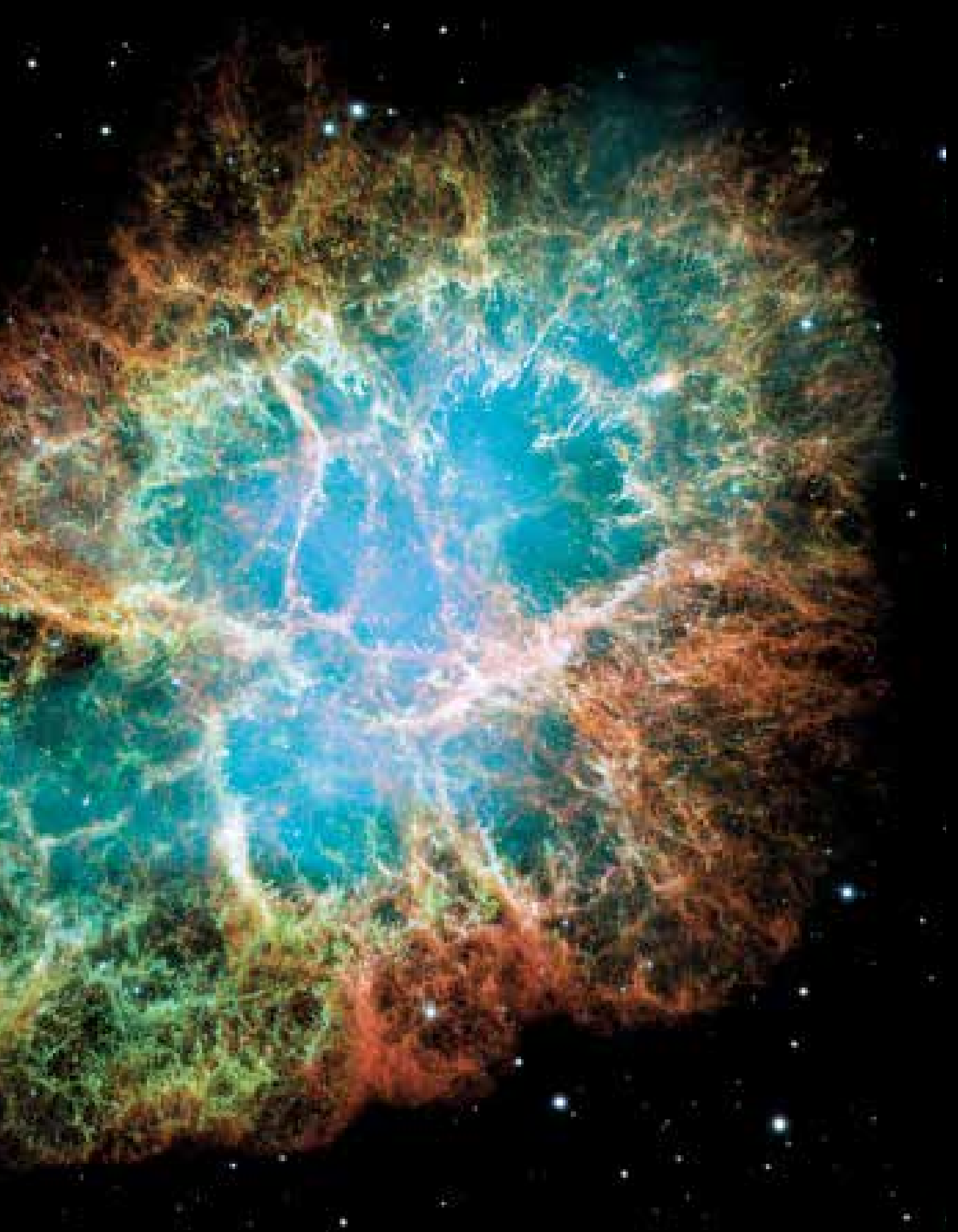
VAN OERKNAL TOT
EINDE DER TIJDEN

BEN GILLILAND



KOSMOS

Kosmos Uitgevers, Utrecht/Antwerpen



INHOUD

• INLEIDING	6
• HOE WE DE OERKNAL ONTDEKTE	8
• DE GEBOORTE VAN EEN KOSMOS	30
• HOE WE HET ATOOM ONTDEKTE	52
• DE KRACHT IS STERK IN DEZE KOSMOS	70
• DE GEBOORTE VAN EEN STER	88
• LEVEN EN DOOD VAN EEN STER	108
• TUINIERS VAN DE MELKWEG	132
• EEN ZONNESTELSEL MAKEN	160
• HET EINDE... OF TOCH NIET?	194
• WOORDENLIJST	212
• REGISTER	218

INLEIDING



HET WONDER DAT JE BENT

Toen mensen voor het eerst over hun bestaan nadachten, leefden zij in een vijandige wereld. Als kleine nomadische groepen van jager-verzamelaars hadden de eerste mensen geen controle over hun lot, maar zochten die door hun lot in handen van de goden te leggen. Immers, niets brengt meer licht in de duisternis van een kort hard leven dan de hoop op een mooi wonder. Toen kwam de wetenschap en door het verzamelen van bewijsmateriaal en het testen van ideeën werden de natuurwetten en mechanismen die de kosmos regeren ontdekt. Zelfs het wonderbaarlijke zou kunnen worden verklaard door kritisch denken, bewijs en experimenten. Terwijl de wetenschap bijgeloof en wonderen ontkracht, ontdekt ze het grootste wonder van alles: het wonder dat je bent.

Jouw reis begon ongeveer 13,8 miljard jaar geleden op een plaats voor er ruimte en tijd was, op een dag zonder gisteren. Ergens in het midden van nergens was al het toekomstige potentieel van het heelal samengebonden in een gebied dat kleiner was dan het kleinste deeltje. Toen (om nog onbekende redenen) werd al dit potentieel losgelaten in een kolossaal ‘WHOESH’ en het universum was geboren. Eerst ontstond er een kolkende soep van oververhit plasma, daarna breidde het universum zich uit en koelde af. Terwijl dit bezig was, werden de eerste deeltjes uit de soep samengevoegd. Al die deeltjes werden gemaakt in twee varianten: materie en, het tegenovergestelde, antimaterie. Was materie en antimaterie in gelijke mate gemaakt, dan zou het heelal daar en toen zijn geëindigd – in een kettingreactie van wederzijdse vernietiging. Maar, om redenen die we nog steeds niet begrijpen, was er net iets meer materie dan antimaterie en het universum (en de potentiële jij) bleef bestaan.

Maar je bestaan was nog geen uitgemaakte zaak. Terwijl het universum zich uitbreidde, verspreidde ook de materie zich. Was dat gelijkmatig gebeurd (zoals het vullen van een emmer met water), dan zou het altijd zo gebleven zijn. Gelukkig was het uitdijend heelal niet perfect en op plekken waar het spul wat dichter was, ging de zwaartekracht aan het werk. Materie werd samengedrukt om gaswolken te vormen, die instortten – waarbij ze voldoende warmte en druk ontwikkelden om de kernfusiereacties op gang te brengen die de eerste sterren aandreven en om atomen samen te persen tot de zware chemische elementen waaruit jij opgebouwd zou worden.

Al die chemische spullen waren van geen enkel nut en zaten opgesloten in de kernen van de sterren. Gelukkig waren die vroege sterren echt enorm en een zware ster is een kortlevende ster. Dus, na het maken van die zware elementen, explodeerden ze als supernova’s – de kosmos verrijkend met hun vruchtbare zaad. Als de wetten van de fysica iets anders waren geweest, zouden die sterren misschien niet zwaar genoeg zijn geweest om van ‘KABOEM’ te gaan en je chemische ingrediënten

zouden halfbakken zijn gebleven en voor eeuwig opgesloten in de ingewanden van een afkoelende klomp koolstof. Na een paar miljard jaar, meerdere kernfusiecycli, de vorming van sterrenstelsels en in een – ondanks alles – nog bestaand heelal was er een gebied in een sterrenstelsel genaamd de Melkweg klaar om van het volgende wonder getuige te zijn.

Ongeveer 4,5 miljard jaar geleden werd rond een onopvallende ster een planeet samengevoegd uit een wervelende schijf van stof en ijs. Hij was weinig indrukwekkend – alleen een verzengend hete bal van gesmolten gesteente en zinkende metalen – maar hij was op een bijna perfecte afstand van zijn ster gevormd. Hij was niet zo dichtbij dat het eeuwig verschroeïend heet zou blijven en niet zo ver dat het een groot, nieuw ijsblok zou worden. Leven zou een vrij goede kans op een planeet als deze hebben, maar er zou nog een wonder nodig zijn om dat te laten gebeuren.

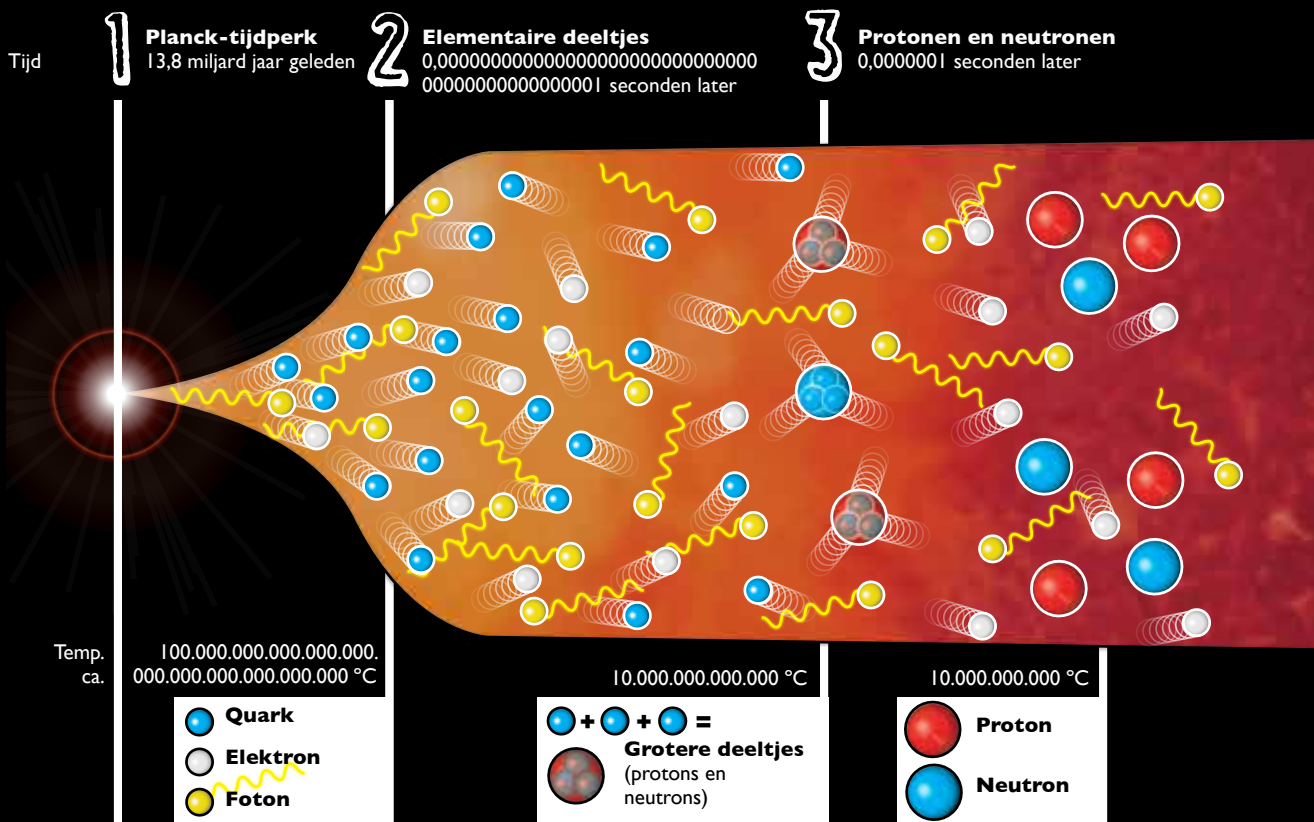
Dat wonder arriveerde in de vorm van een planeet ter grootte van Mars, die insloeg in onze jonge planeet en een enorme massa rotsachtige materiaal de ruimte inslingerde. Hieruit ontstond onze maan. Bij de inslag werd ook de aardas zijwaarts geslagen, wat betekende dat de zonne-energie niet op een enkel gebied was gericht. De aanwezigheid van de zwaartekracht van de maan voorkwam dat de aarde onregelmatig om die as ging wiebelen. Dit stabiliseerde het klimaat op aarde en voorkwam hevige (potentieel levensbedreigende) klimaatwisselingen. Het ontstaan van de maan had de aarde veranderd in een perfecte kinderkamer voor het leven. Maar het was nog niet klaar. De zwaartekracht van de maan trok aan de oceanen van de planeet en zo begonnen de getijden dagelijks de kustlijnen van de wereld te masseren. Misschien dat juist deze getijdenwerking met het herhaaldelijk (en regelmatig) blootleggen en vervolgens onderdompelen van de kust de eigenlijke oorzaak was dat het leven begon te evolueren.

En dan is nog een laatste wonder ... Wat ook het mechanisme was dat hun evolutie veroorzaakte, een van die eerste, eencellige levensvormen was je voorouder. Voor jou die dit vandaag leest, was er een ononderbroken keten van leven tussen jou en die kleine, zwevende voorvader. 3,8 miljard jaar lang overleefde elk van je voorouders lang genoeg om genetisch materiaal aan de volgende generatie door te geven. Hoe onwaarschijnlijk is dat? Bijna 4 miljard jaar van massaal uitsterven, predatie, ziekte, sociale onrust, oorlog en hongersnood is er een ononderbroken keten van leven die naar jou leidt. Dat is pas een wonder.

IN DIT BOEK

In dit boek brengen we in kaart hoe energie materie werd en hoe een reeks van fysische wetten de wisselwerkingen leidden die materie in staat stelde sterren, sterrenstelsels en jou te bouwen. En we zullen een aantal wetenschappelijke ontdekkingen en doorbraken beschrijven die ons hebben geholpen om te begrijpen hoe we een universum kunnen bouwen.

HET MAKEN VAN MATERIE



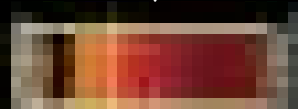
I Planck-tijdperk: ruimte, tijd, materie en energie zijn allemaal gebundeld in een onmogelijk kleine, oneindig dichte, waanzinnig hete vuurbal. Alle fundamentele krachten (zwaartekracht, elektromagnetisme en de sterke en zwakke kernkrachten) zijn gebundeld als één verenigde kracht. Een biljoenste van een seconde later, breekt de verenigde kracht om de exponentiële inflatie van het universum aan te drijven.

2 Elementaire deeltjes: terwijl het universum uitdijt wordt al die energie minder dicht en koelt af. Energie klontert samen zodat materie en de eerste deeltjes worden geboren. Deze eerste bouwstenen voor deeltjes – quarks, elektronen, fotonen en neutrino's – ontstaan samen met hun antimaterie-tweelingen (antiquarks, positronen, enz.). Deze tegengestelde materialen botsen en vernietigen elkaar, waarbij grote aantallen fotonen (lichtdeeltjes) vrijkomen.

3 Protonen en neutronen: terwijl de temperatuur daalt, kunnen botsende quarks zich samenvoegen zonder onmiddellijk verscheurd te worden door al die energie. Quarks combineren (via de sterke kernkracht) tot stelletjes van drie om de eerste protonen en neutronen te vormen.

Oerknal Deeltjes vormen CMB Donker tijdperk (eerste donkere materie)

Eerste sterren en actieve sterrenstelsels



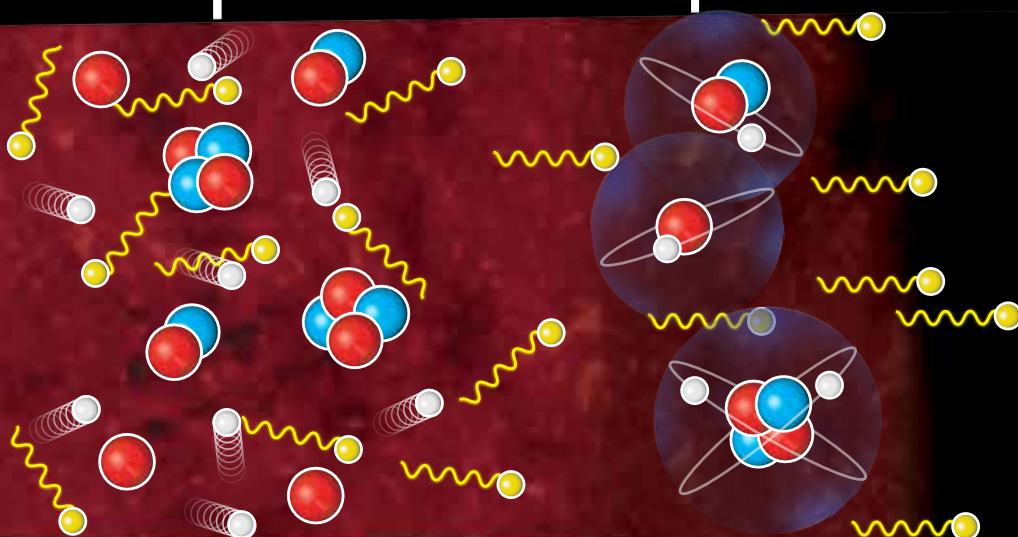
13,82 miljard jaar geleden 377.000 jaar na de oerknal

200 miljoen jaar

4 Basiselementen (aatomkernen) 3 minuten later

5 Stabiele atomen (recombinatietijdperk) 377.000 jaar later

Donker tijdperk



1.000.000.000 °C



Waterstofkern

(een proton)

Deuteriumkern

(een proton en een neutron)



Heliumkern

(twee protonen,
twee neutronen)



3000 °C



Waterstofatoom

(een proton, een elektron)

Heliumatoom

(twee protonen, twee
neutronen, twee elektronen)



4 Basiselementen: als de temperatuur is gedaald tot ongeveer een miljard graden, kunnen botsende protonen en neutronen combineren door middel van kernfusie tot de kernen van de eenvoudigste chemische elementen – waterstof, deuterium (zwaar waterstof) en helium. Ongeveer 20 minuten later is het universum te veel afgekoeld en eindigt kernfusie (het zal pas opnieuw beginnen als de eerste sterren worden geboren). Tijdens dit tijdperk is het universum gevuld met een hete, ondoorzichtige soep van atoomkernen en elektronen die we plasma noemen. Alle fotonen die gecreëerd zijn door materie-antimaterievernielingen worden gevangen in het plasma en botsen voor altijd met protonen en elektronen.

5 Stabiele atomen: het universum koelt genoeg af om de positief geladen atoomkernen de negatief geladen elektronen te laten vangen – ze worden neutraal. Met alle kernen gestabiliseerd kunnen fotonen ongehinderd reizen en het universum wordt voor het eerst transparant. Op dit punt bestaat het universum uit 75 procent waterstof en 25 procent helium.

Sterrenstelsels evolueren (clusters en superclusters)

Zonnestelsel vormt zich

Dood van de zon

Lot van het universum

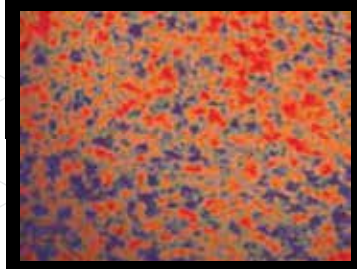
1 miljard jaar

9 miljard jaar

18,7 miljard jaar

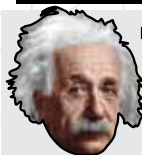
VIRTUELE DEELTJES

HOE TIJD-REIZENDE ELEKTRONEN IETS UIT NIETS KUNNEN MAKEN



Op blz. 50-51 spraken we over iets dat we het kwantumschuim noemde, waar 'materie en energie letterlijk als uit het niets kunnen "opduiken"'. Zo gaat dat in zijn werk ...

Als je dacht dat golven die deeltjes zijn raar waren, bereid je dan maar voor op een nieuw niveau van de hersenkrakende kwantumgoedheid. Het komt tot ons via de briljante geest van de Amerikaanse natuurkundige (en bongo-speler) Richard Feynman (met een beetje hulp van Albert Einstein en Werner Heisenberg).



1 Einstein is aan zet

Relativiteit vertelt ons dat tijd en ruimte onlosmakelijk met elkaar verbonden zijn (ruimtetijd) en hoe sneller je door de ruimte reist, hoe langzamer je beweegt door de tijd – iemand die reist met bijna de lichtsnelheid zal ervaren dat er minder tijd voorbijgaat dan voor een stationaire waarnemer (ten opzichte van de reiziger).

Als die persoon sneller dan het licht kon reizen, zou hij (ook weer ten opzichte van de waarnemer) achteruit lijken te bewegen in de tijd (dat is de reden waarom de lichtsnelheid wordt beschouwd als een onverbreekelijke kosmische snelheidslimiet).



2 Over naar Heisenberg

Zoals we hebben gezien vertelt de onzekerheidsrelatie van Heisenberg ons dat een deeltje bestaat in alle staten en alles tegelijk doet. Alleen door het te meten beperken we zijn acties en dwingen het om een enkele eigenschap aan te nemen.

Eigenlijk zegt het dat 'als je het niet kunt zien gebeuren, is alles mogelijk'. Dit geldt zowel voor 'lege' ruimte als voor het deeltje.

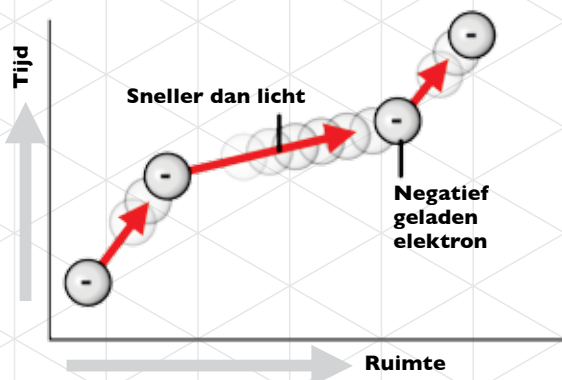
Hoe korter de hoeveelheid tijd die je naar iets kijkt, hoe minder zeker je kunt zijn van wat er gaande is.

In de kwantumfysica is er een kortste periode van meetbare tijd, die de Plancktijd wordt genoemd. Iets dat gebeurt binnen die tijd is, per definitie, onmeetbaar en, als het onmeetbaar is, vertelt Onzekerheid ons dat alles mogelijk is.



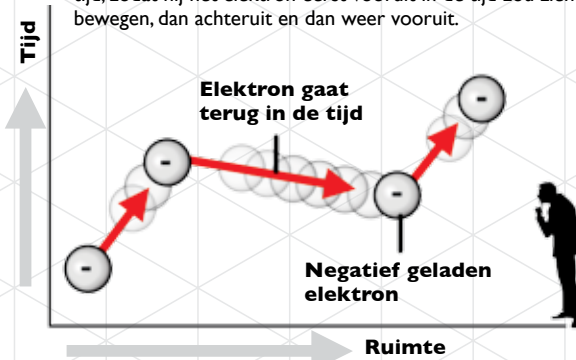
3 Feynmans tijd-reizend elektron

Richard Feynman stelde zich voor hoe een elektron rondsuiert door de ruimte. Halverwege zijn reis versnelt het elektron tot sneller dan de lichtsnelheid. Gelukkig heeft deze besloten zich over een stel assen die tijd en ruimte vertegenwoordigen te bewegen.



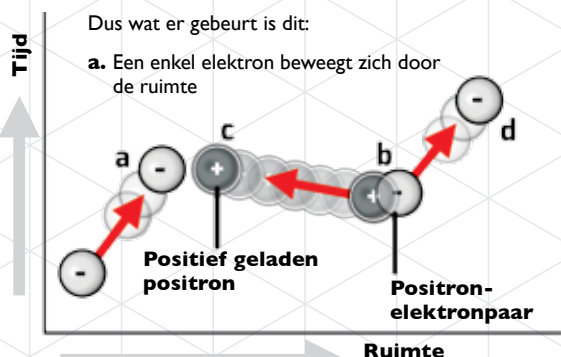
4

Hij realiseerde zich dat de relativiteitstheorie ons leert dat het elektron in zijn sneller-dan-lichtperiode voor een andere waarnemer achteruit zou lijken te bewegen in de tijd, zodat hij het elektron eerst vooruit in de tijd zou zien bewegen, dan achteruit en dan weer vooruit.



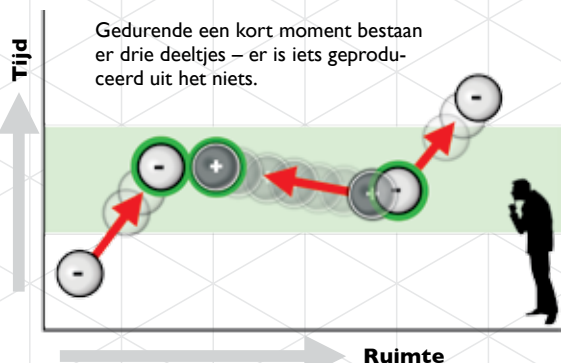
5

Voor een natuurkundige als Feynman is een negatieve lading die terug in de tijd beweegt gelijk aan een positieve lading die vooruit in de tijd beweegt. De omkering van de tijd zorgt ervoor dat de eigenschappen van het elektron ook omgekeerd worden. Een negatief geladen elektron met omgekeerde eigenschappen is een positron (het anti-materie-equivalent van het elektron).



6

Hoewel je dus begint met één elektron en eindigt met één elektron, zoemden er gedurende een korte periode eigenlijk drie deeltjes rond!



Zolang de periode van tijd tussen de positroncreatie en -vernietiging zo kort is, dat we de deeltjes niet kunnen meten (de Plancktijd waarin alles mogelijk is) worden er geen regels gebroken – het deeltje kan de lichtsnelheidslimiet overtreffen en uit het niets kan materie verschijnen.

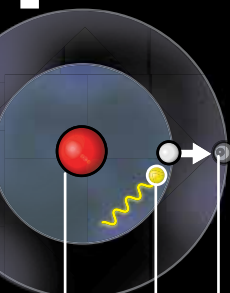
Deeltjes die op deze wijze voorkomen worden virtuele deeltjes genoemd.

VIRTUELE REALITEIT

Op het eerste gezicht is het voorspellen van de spontane verschijning van iets dat je, per definitie, nooit direct zal kunnen meten net zo zinloos als het denken dat een ongeopende kast onzichtbare olifanten zou kunnen bevatten. Maar natuurkundigen hebben virtuele deeltjes indirect ontdekt door te kijken naar hun effecten op meer meetbare dingen.

1

Dit is een waterstofatoom bestaande uit één proton en één elektron.



Als een elektron wordt getroffen door een lichtfoton absorbeert het zijn energie, wordt opgewonden en springt naar een hogere energiebaan.

Als het weer kalmeert, zendt het elektron een foton uit en zakt terug naar zijn oorspronkelijke baan.

Proton Foton Elektron



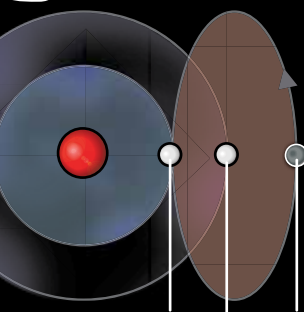
Het straalt licht uit met een vaste combinatie van frequenties die kan worden gemeten als lichtspectra.

2

Natuurkundigen hebben vergelijkingen die de frequenties van het geabsorbeerde en uitgezonden licht kunnen voorspellen, maar ze werken niet altijd. Soms verschillen de gemeten frequenties enigszins van de voorspellingen.

3

Maar dit kan worden opgelost door het toevoegen van die virtuele deeltjes aan het model.

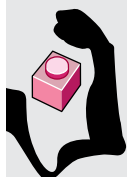


Wanneer natuurkundigen een kortstondig levend virtueel elektron en positron aan het systeem toevoegen, komen de spectravoorspellingen overeen met een nauwkeurigheid van één op een miljard, waardoor het de meest accurate voorspelling in de hele wetenschap is.

Virtueel elektron Elektron Virtueel positron

Dit betekent dat het op elk moment nauwkeuriger is om een atoommodel te tonen met virtuele deeltjes dan zonder.

Hoe bizar het misschien ook klinkt, virtuele deeltjes bestaan echt en (zoals we zullen ontdekken) vormen ze eigenlijk het grootste deel van de massa van een atoom. Daarom bestaat het grootste deel van jouw massa (en het heelal) uit virtuele deeltjes!



DE ZWAKKE KERNKRACHT

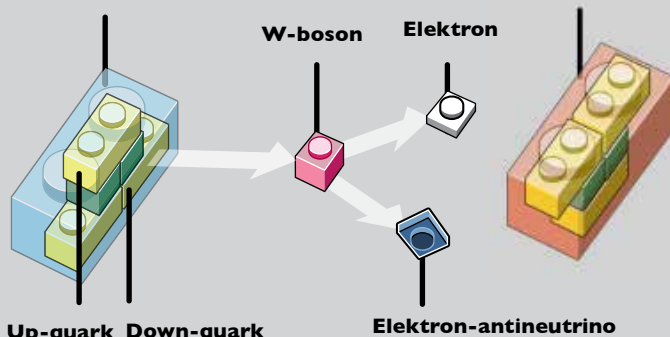
De zwakke kracht is verantwoordelijk voor radioactief verval. Zijn krachtdragers zijn de W- en Z-bosonen.

Door het veranderen van het aantal protonen en neutronen in het atoom heeft de zwakke kracht een geheel nieuw element gemaakt. Bijvoorbeeld: een atoom koolstof-14, met acht neutronen en zes protonen, vervalt naar een atoom stikstof-14, met zeven neutronen en zeven protonen (dit wordt gebruikt bij koolstof-14-datering).

De zwakke kracht kan het iets zwaardere neutron binnen een atoom laten vervallen tot een iets lichtere proton.

Neutron (één up- en twee down-quarks)

Proton (twee up- en één down-quark)



Een down-quark in het neutron zendt een W-boson uit

Het W-boson is erg zwaar en daardoor erg onstabiel, zodat het bijna onmiddellijk vervalt tot een elektron en elektron-antineutrino.

Door de 'smaak' van één van de quarks te veranderen wordt de neutron een proton.

een heel dun boek zijn, geschreven op niet-bestaand papier door een man die niet bestaat in een universum dat er nooit zou zijn.

Maar hoewel hij enorm krachtig is, werkt de sterke kernkracht alleen over een heel (heel, heel, heel) korte afstand. Als de twee protonen meer dan de breedte van een proton worden gescheiden, vallen ze buiten het bereik van de sterke kracht en kunnen ze worden beïnvloed door andere krachten (met name de elektromagnetische kracht, die de protonen toch al wilde scheiden). Belangrijker is dat de protonen dicht genoeg bij elkaar moeten komen om sowieso door de sterke kracht te worden 'gegrepen', wat betekent dat ze hun natuurlijke afstoting op een andere manier moeten zien te overwinnen. Dit zal later in het boek belangrijk worden als we ons universum gaan bouwen.

Nogal treffend voor een kracht die deeltjes aan elkaar plakt, is de krachtdrager (of boson) van de sterke kernkracht de gluon.

DE ZWAKKE KERNKRACHT



Ondanks zijn naam is de zwakke (kern)kracht of zwakke wisselwerking niet minder belangrijk dan de sterke kracht. De zwakke kracht is de kracht waardoor de zon (en alle sterren) branden. Hij is verantwoordelijk voor radioactief verval, waardoor atomen van aard kunnen veranderen door het opnemen of verliezen (uitstralen) van deeltjes.

Hij heet de zwakke kracht omdat hij veel zwakker is dan de sterke kracht en de elektromagnetische kracht. Ondanks de relatieve zwakte kan de zwakke kracht een dramatisch effect hebben over korte afstanden (zelfs kortere dan bij de sterke kracht).

In radioactieve elementen is hij sterk genoeg om de banden die de kernen bij elkaar houden te breken. In zijn meest eenvoudige vorm kan hij er de oorzaak van zijn dat neutronen in de kern vervallen tot protonen, doordat ze een elektron (of positron) verliezen. Daardoor is het mogelijk dat een atoom verandert in een ander element.

Bij radioactief verval verliest het atoom energie en (aangezien energie en massa uitwisselbaar zijn) wordt het een lichter element (een die minder massa heeft).

Maar de zwakke kracht maakt ook kernfusie mogelijk – het mechanisme dat de zon aandrijft – door lichte elementen samen te smelten tot zwaardere elementen en wat reserve-energie op te wekken. Zonder de zwakke kracht zouden de nucleaire ovens die de sterren aandrijven nooit tot leven zijn gekomen en zou het universum een donkere plaats zijn gebleven.

De zwakke kernkracht heeft twee krachtdragers: de W- en Z-bosonen, die zware deeltjes zijn met ongeveer 100-maal de massa van een proton.

DE ELEKTROMAGNETISCHE KRACHT



De sterke en zwakke kernkrachten werken op atomair niveau en hebben, tenminste op het eerste gezicht, heel weinig invloed op ons dagelijks leven. Nu gaan we het hebben over krachten die je feitelijk ziet en voelt.

WOORDENLIJST

ANTIMATERIE Het spiegelbeeld van de materie waarbij elektrische eigenschappen zijn omgekeerd, maar andere eigenschappen identiek. Zo is het antideeltje van de negatief geladen elektron de positief geladen positron. Als een deeltje zijn antideeltje ontmoet, vernietigen ze elkaar en al hun massa wordt omgezet in energie.

ASTRONOMISCHE EENHEID (AE) Eenheid van afstand die wordt gebruikt door astronomen en gelijk is aan de gemiddelde afstand tussen de aarde en de zon – ongeveer 149 miljoen km.

ATOOM Van het oude Griekse woord *atomos*, dat ‘ondeelbaar’ betekent. Het atoom is de basiseenheid van gewone materie en bestaat uit een kern van protonen en neutronen omringd door een wolk van ronddraaiende elektronen.

BARYON Een deeltje samengesteld uit drie quarks. Protonen en neutronen zijn baryonen. Astronomen gebruiken de term ‘baryonische materie’ voor het spul dat sterren, planeten maakt en jou en mij onderscheiden van donkere materie.

BLAUWE REUS Een zware, hete ster, met vele keren de massa van de zon.

BLAUWVERSCHUIVING Een verschuiving in de straling uitgezonden door een object in de richting van de waarnemer. De golflengte wordt ingedrukt en beweegt zo naar het korte, blauwe deel van het elektromagnetische spectrum.

BOSON Soms ‘krachtdager’ genoemd. Bosonen zijn boodschappersdeeltjes die de wisselwerkingen tussen de fundamentele krachten en materie overbrengen.

CEPHEÏDE Een ster die in helderheid (pulsen) varieert gedurende een tijdsperiode. De duur van de pulsatie is direct gerelateerd aan de helderheid van de ster, waardoor ze een krachtig hulpmiddel zijn bij het bepalen van afstand. Ook wel bekend als een ‘standard candle’.

CMB (KOSMISCHE ACHTERGRONDSTRALING)
De straling is de ‘nagloed’ van de oerknal. De CMB is gemaakt van het eerste licht, ongeveer 380.000 jaar na de oerknal uitgezonden na het recombinatietijdperk. Nu is hij over de gehele hemel zichtbaar als een zwakke gloed van microgolfstraling.

DONKERE ENERGIE Een hypothetische vorm van energie die het universum doordringt en staat voor 68,3 procent van de totale massa-energie-inhoud van het universum. Donkere energie heeft een anti-zwaartekrachteffect waarvan men denkt dat dat het tempo van de uitdijning van het universum versnelt.

DONKERE MATERIE Een mysterieuze vorm van materie die alleen samenwerkt met ‘normale’ of baryonische materie door middel van de zwaartekracht. Hoewel het niet direct kan worden gezien, zijn het bestaan en de eigenschappen afgeleid uit hoe zijn zwaartekracht zichtbare materie en straling beïnvloedt. Donkere materie maakt 26,8 procent van de totale massa-energie-inhoud van het universum uit.

DONKEMANS GANG Een term die wordt gebruikt om de beweging van een foton te beschrijven binnen dicht plasma, zoals dat bestond in het vroege universum (vóór de recombinitie) en binnen de sterren. In een dichte, hoogenergetische omgeving worden fotonen continu geabsorbeerd en weer uitgestraald door andere deeltjes.

ELEKTROMAGNETISCHE KRACHT Een van de fundamentele krachten. De elektromagnetische kracht beïnvloedt elk elementair deeltje dat een lading draagt. Zijn krachtdrager is het foton.

ELEKTROMAGNETISCHE STRALING Een vorm van energie die zich voortplant in het hele universum als elektrische en magnetische golven. Zichtbaar licht is maar een deel van dit spectrum dat zich uitstrekt van hoogenergetische gammastraling met een korte golflengte, via röntgenstraling, ultraviolet-, infrarood-, zichtbaar licht en microgolven helemaal tot laag-energetische radiogolven met een lange golflengte. Gewoonlijk afgebeeld als een golf, maar elektromagnetische straling kan ook worden beschreven als een stroom van fotonen.

ELEKTRON Een negatief geladen elementair deeltje dat rondom de kern van een atoom cirkelt.

ELEMENTAIR DEELTJE Ook bekend als een fundamenteel deeltje. Dat zijn deeltjes die, in tegenstelling tot baryonen of fermionen, niet zijn opgebouwd uit kleinere deeltjes en dus niet kunnen worden gesplitst. Quarks en elektronen zijn voorbeelden van elementaire deeltjes.

ENTROPIE Een maat voor de wanorde in een systeem. In principe betekent dit dat een georganiseerd systeem van energie inherent instabiel is en stabiliteit zal zoeken door ongeorganiseerd te raken.

FERMION De naam van de familie van elementaire deeltjes, zoals quarks en

REGISTER



- aardbevingen 179
- aarde 170, 182, 183, 192
 - en de zon 10, 40, 43, 48, 178
 - het einde van de zon 190
 - meten van afstanden 21–2
- leeftijd van 27
- leven op 189–93, 211
- vorming 171–84
 - atmosfeer en oceanen 178, 184
 - en elektromagnetische kracht 173–4, 176–7
 - kern 178–84
- alfadeeltjes 59–60
- aminozuren 191
- Andromedastelsel 26, 27, 28, 157
- antibosonen 63
- antimaterie 36, 38, 39, 60, 63
- antiquarks 63, 81
- asteroïdegordel 167, 182
- asteroïden 178, 182, 189, 192
- astronomische eenheid (AE) 21–2, 26
- atomen 34, 52–49
 - de ondeelbare atoom 54–5
 - en de kosmische temperatuur 206
 - en elektromagnetische kracht 77
 - en kwantummechanica 61–9
 - en neutronensterren 123
 - en planeten bouwen 171–5
 - geboorte van het universum 37, 39, 41, 42
 - koolstof- 191
 - modellen van 56–61
 - oeratoomtheorie 16, 17, 207
 - radioactief verval 75
 - stabiel 39, 42, 51
 - zie ook* helium; zuurstof
- atoomkern 34, 37, 41, 56–7, 62
 - delen 59–60
 - en fundamentele krachten 72–3, 76
- B-mode-polarisatie 35
- Baade, Walter 27–8
- baryonen 62, 63
- beryllium 8
 - kern 114, 115
- Bessel, Friedrich 26
- BICEP2 (Background Imaging of Cosmic Extragalactic Polarization-experiment) 35
- Bohr, Niels 57–8, 65, 68, 82
- Bondi, Hermann 17
- bosonen 62, 63, 72, 74, 75
 - zie ook* higgsboson
- Boyle, Robert 54
- Bradley, James 26
- Broglie, Louis de 68
- Brout, Robert 78
- bruine dwergen 112, 113
- Carinanevel 163
- Cassini, Giovanni Domenico 21
- Centaurus A 154
- Cepheïde-maatstaf 23–6
- Chadwick, James 59–60
- CMB (cosmic microwave background) 17–18, 35, 42–3, 44–5
 - en het uitdijende universum 206
 - en kosmische inflatie 46, 49
 - en kwantumschuim 50–1
 - en temperatuur 48–9
 - fluctuaties in 158
 - ontdekking van 46, 47
- CNO (carbon-nitrogen-oxygen)-keten 119
- Coulombgrens 100, 101
- Dalton, John 54, 55
- deeltjes 68
 - elementaire 62–3, 78–9
 - en energie 69
 - en het nieuwe universum 91
 - en modellen van het atoom 56–61
 - golf-deeltjesdualiteit 65
 - massa en het higgsveld 78–81
 - Standaardmodel van deeltjesfysica 60–1, 62, 63, 68
 - tweespletenexperiment 64–5
 - virtuele deeltjes 66–7, 81
 - zie ook* bosonen
- Demokritos 54, 55
- deuterium 39, 41, 100–2, 110
- Dicke, Robert 47
- diprotonen 101
- Dirac, Paul 68
- DNA 191, 193
- donkere energie 50, 200–1, 204–5, 207
- donkere materie 10, 50, 94–6, 97
 - distributie 158
 - en donkere energie 204
 - en protosterrenstelsels 98, 99
 - en zwarte gaten 142, 144

OVER DE AUTEUR

Ben Gilliland is een prijswinnende wetenschapspublicist en -illustrator die daar eigenlijk nooit op uit is geweest. Hij begon in 2005 zijn populaire wetenschapscolumn 'MetroCosm' in de Britse krant *Metro*, omdat hij er genoeg van had om wetenschap aan journalisten uit te leggen en het daarom beter zelf kon opschrijven. Tot zijn grote verrassing kan hij er tegenwoordig goed van leven.

DANKWOORD

Ik wil graag de volgende personen bedanken (zonder specifieke volgorde): mijn ouders Alan en Pauline, die me kregen en me inspireerden een leven lang te leren; mijn vrouw Charlotte, voor haar steun, geduld en ronduit beminnelijke karakter; mijn dochter Jasmine, die ervoor zorgde dat ik volwassen werd (maar niet te veel); Kenny Campbell, die een waardeloze beeldredacteur een eigen wetenschapspagina gaf; Dave Monk, die al die foute apostrofs wegving; Heather MacRae, voor haar onvermoeibare energie en steun.

Acquirerend redacteur: Hannah Knowles

Eindredacteur: Ellie Smith

Uitgever: Pollyanna Poulter

Vormgeving: Jonathan Christie

Ontwerp: The Oak Studio

Productie: Peter Hunt

FOTOVERANTWOORDING

Alle illustraties door Ben Gilliland.

Blz. 4: Krabnevel (in het hele boek) NASA/ESA/Hubble; blz. 10–11, tijdlijnelementen (in het hele boek), NASA en ESA; blz. 11: Aarde (in het hele boek), NASA; blz. 12: Cambridge University; blz. 14: sterrenstelsel (in het hele boek), NASA; blz. 15: deep space, NASA/Hubble; blz. 24: NASA; blz. 29, hoofdfoto en inzet, Mt. Wilson Observatory; blz. 42: zon, NASA, Alpha Centauri, ESO, GRB 090429B NASA/Swift; blz. 44–45: CMB (ook blz. 46) ESA/Planck; blz. 46: Holmdel Horn Antenna NASA; blz. 48: NASA/Hubble; blz. 64: Niels Bohr, Baron/Stringer/Getty Images, Erwin Schrödinger en Richard Feynman, Bettmann/Corbis; blz. 85: zon (in het hele boek), NASA; blz. 86: eclips, Philosophical Transactions of the Royal Society of London; blz. 93: Max-Planck Institute for Astrophysics; blz. 95: gravitatielens, NASA/ESA Hubble; blz. 112–113: NASA/ESA; blz. 122: boven (SN 1572) NASA/SAO/CXC, JPL-Caltech/MPIA, rechtsonder (LMC N 49) NASA/ESA/Hubble; blz. 126: B, NASA/Chandra en NASA/Hubble, C, NASA/Chandra; blz. 137: Arp 142 NASA/ESA/Hubble; blz. 138: vorming sterrenstelsel, NASA/ESA/Hubble; blz. 139: boven, NASA/ESA/Hubble, onder, NASA/ESA/Hubble; blz. 140: NASA/ESA/ESO; blz. 144: A, Max-Planck Institute for Astrophysics; blz. 145: Ohio State University; blz. 147, kaart, Google Earth, Jupiter, NASA; blz. 154: 1, ESO/VLT, 2, NASA/Galex, 3, NASA/Spitzer, 4, NASA/Chandra; blz. 155: 5, ESO/VLA, onder, NASA/ESA/ESO; blz. 156: NASA; blz. 157: galactische buurt, Andrew Z Colwin (onder Wikipedia Commons-licentie), galactisch vlak, NASA; blz. 158: boven, 2MASS/Caltech, midden, Virgo/Max Planck Society, onder, ESA/Planck; blz. 163–164: NASA/ESA/Hubble; blz. 169: boven, NASA; midden, NJIT; onder, NASA/Soho; blz. 182: NASA/Dawn; blz. 186: onder, NASA/JPL; blz. 190: Jupiter en Saturnus, NASA; blz. 198–199: Deep Field, NASA/ESA/Hubble, maan, NASA.

EEN KIJKJE IN DE KEUKEN VAN DE KOSMOS

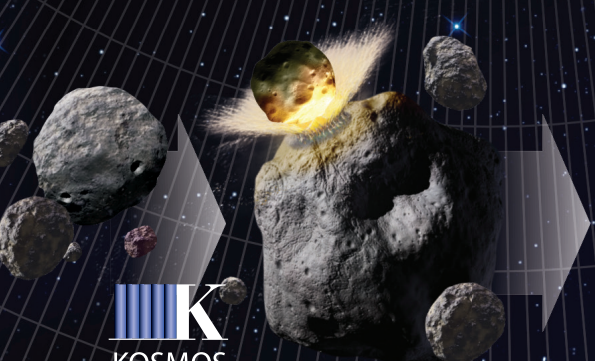
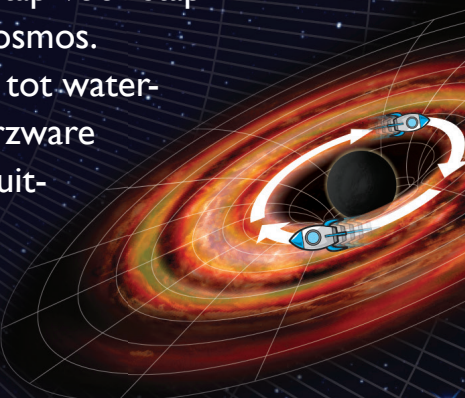
Hoe maak je een kosmos? Verklaart een oerknal het bestaan van de wereld en het heelal, zoals we die nu kennen?

Ben Gilliland legt uit hoe het idee van de geboorte van het universum ontstond en geeft een stap-voor-stap-handleiding voor het maken van een kosmos.

Vanaf de eerste atomaire bouwstenen, tot waterstoffusie, grote sterrenstelsels en superzware zwarte gaten, krijg je door zijn heldere uitleg en mooie illustraties zicht op hoe het allemaal in elkaar grijpt – en op de verdere ontwikkeling en eindigheid ervan.

Speels, onderhoudend én informatief, voor leken en ‘ingewijden’. Met alle belangrijke thema’s in de sterrenkunde, de laatste wetenschappelijke inzichten en allerlei leuke feiten om alles aan elkaar te plakken, is dit echt een unieke gids om antwoord te vinden op de vraag: Waarom draait de wereld door?

“Het mooie is dat Gilliland de stippen van wat we weten en niet weten verbindt.”



K
KOSMOS

NUR 410
Kosmos Uitgevers, Utrecht/Antwerpen

