

Van de

- Een nieuwe symmetrie in de natuur?
- Wat is donkere materie?
- Bestaan er verborgen dimensies?
- Kunnen we de natuurkrachten unifiëren?
- Hoe is het universum ontstaan?
- Waar is de antimaterie?



BIG BANG

tot nu ... en terug!

Meer dan vijftien procent van het universum bestaat uit materie die niet beschreven wordt in het befaamde *Standaardmodel* van elementaire deeltjes, maar uit mysterieuze objecten die we donkere materie of donkere energie noemen. Aan het begin van de 21ste eeuw staat de fysicus voor de ultieme uitdaging om de bevindingen op micro- en macroschaal te vergelijken. Daarmee moet hij de cruciale vraagstukken over het ontstaan van het universum oplossen.

Door Jorgen D'HONDT

In de loop van de twintigste eeuw hebben fysici op revolutionaire wijze, en met behulp van steeds complexere experimenten, de elementen ontdekt waaruit onze kwantumwereld is opgebouwd. Deze inzichten in de subatomaire wereld leidden tot het formuleren van het Standaardmodel van de elementaire deeltjes.

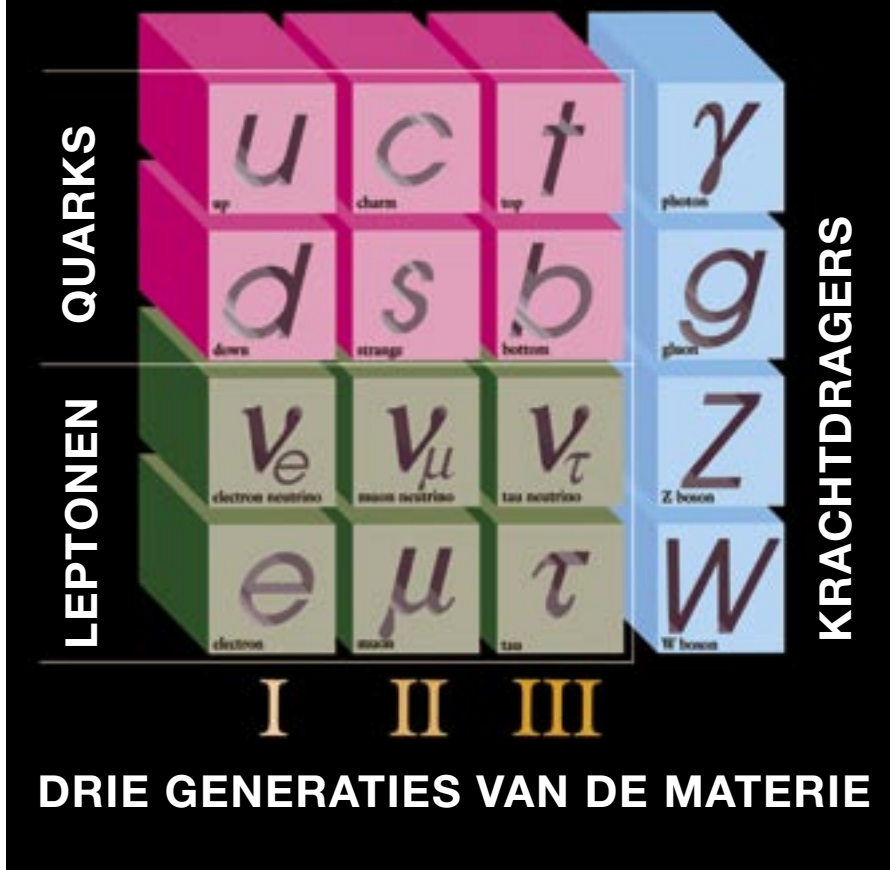
ANTIMATERIE IS GEEN SCIENCEFICTION

'Atomos' is Grieks voor 'ondeelbaar'. Sinds John Dalton in de 19de eeuw zijn atoomtheorie ontwikkelde, was het atoom het kleinste element in chemische reacties. Doorheen de 20ste eeuw hebben opmerkelijke revoluties in de kwantumfysica dit beeld grondig veranderd. De in Siberië geboren Rus Dmitri Mendelejev rangschikte in 1872 de atomen in zijn bekende tabel en fysici ontdekten drie

families van nog meer fundamentele materie-deeltjes of fermionen. Met de eerste familie bouwen we alle gewone materie op. Ze bevat het elektron, het elektron-neutrino, de up-quark (u) en de down-quark (d). De andere twee families zijn identiek, maar verschillen enkel door hun massa. Doordat ze zwaarder zijn, komen ze niet stabiel voor in de natuur, maar 'vervallen' ze tot de lichtere deeltjes van de eerste familie. Om hun eigenschappen te bestuderen, moeten we ze in het laboratorium creëren. Het Standaardmodel beschrijft deze deeltjeszoölogie en omvat ondeelbare quarks en leptonen. Deze fermionen bevinden zich in protonen, neutronen en atomen en vormen hiermee de basisbouwstenen voor het leven op aarde. Experimenten hebben aangetoond dat deze fermionen kleiner moeten zijn dan 10^{-18} meter, wat de beste resolutie is die we vandaag in ons laboratorium kunnen bereiken.

De Large Hadron Collider zoals die onder het CERN wordt geïnstalleerd.

ELEMENTAIRE DEELTJES



Het Standaardmodel van de elementaire deeltjes omvat een verzameling materiedeeltjes (fermionen) en deeltjes die krachten uitwisselen (bosonen).

Net zoals de uitlaatgassen van vliegtuigmotoren een spoor van gecondenseerde waterdamp nalaten in het koude luchtruim, detecteren we deeltjes via hun interactie met de materie waarin ze zich voortplanten. Gedurende het voorbije decennium werd grote vooruitgang geboekt op technologisch gebied. Deeltjesdetectoren kunnen nu veel nauwkeuriger de eigenschappen van deeltjes bestuderen. Ook de vooruitgang in de theoretische berekeningen en de data-analyseprogramma's – die worden door steeds krachtiger computers uitgevoerd – heeft een doorslaggevende invloed in de studie van de elementaire deeltjes.

Vele hedendaagse experimenten produceren materiedeeltjes, maar dit gaat altijd gepaard met het produceren van een gelijke hoeveelheid antimaterie. Inderdaad, ze bestaat echt, de brandstof die de motoren van de Enterprise in *Star Trek* voedde of de substantie die in Dan Browns *Het Bernini mysterie* Vaticaanstad dreigt te doen verdwijnen. In het Standaardmodel heeft elk materiedeeltje – quark of lepton – een identiek antimateriedeeltje, met tegengestelde elektrische lading. Het ne-

gatief geladen elektron is een voorbeeld van een materiedeeltje, met het positief geladen positron als zijn broertje uit de verzameling van antimateriedeeltjes. Wanneer materie en antimaterie elkaar tegenkomen, verdwijnen ze onmiddellijk in het niets. Hun massa wordt omgezet in energie volgens de welgekende formule van Einstein $E=mc^2$ (de energie van een object is gelijk aan het product van zijn massa en de lichtsnelheid in het kwadraat). De fermionen in ons universum vliegen niet willekeurig rond. Kijk maar naar ons uiterst complexe lichaam, dat een gestructureerde verzameling van ontelbare elementaire deel-

tjes is. De fermionen moeten op een of andere manier met elkaar kunnen communiceren, maar hoe doen ze dat? Als twee personen met elkaar praten, dan doen ze dit vanop een zekere afstand. Het is de lucht tussen hen in die de golvende beweging van de stembanden overneemt en naar het trommelvlies van onze gesprekspartner transporteert. Hoe verder we van elkaar verwijderd zijn, hoe moeilijker we elkaar verstaan. Door gebruik te maken van in totaal vier krachten, communiceren de fermionen op eenzelfde manier met elkaar. De elektromagnetische kracht houdt de positief geladen atoomkern en het negatief geladen elektron samen. De sterke kernkracht houdt een atoomkern samen. De zwakke kernkracht is verantwoordelijk voor het verval van radioactieve atomen. En de welgekende zwaartekracht laat de planeten rond de zon draaien. Elk van de krachten wordt overgebracht tussen de fermionen door het uitwisselen van krachtdragende deeltjes of bosonen. Hoe ze dit doen, wordt beschreven in het Standaardmodel. Strikte wetten laten de ene interactie wel toe en de andere weer niet. Krachtige behoudswetten van de natuur stellen dat sommige fysische grootheden nooit veranderen. Energie bijvoorbeeld, kan verschillende vormen aannemen, maar gaat nooit verloren. In de kwantumfysica zijn dergelijke behoudswetten verbonden met een globale symmetrie van de natuurverschijnselen. De symmetrie van de elektromagnetische kracht komt overeen met de behoudswet van elektrische lading en zorgt ervoor dat de krachtdrager van die kracht, het foton, geen massa heeft.

De ontdekking van deze symmetrieën in de natuur heeft ertoe geleid dat fysici de aard van de interacties tussen de elementaire deeltjes wiskundig hebben neergeschreven. Indien we alle symmetrieën van de gebeurtenissen op microschaal kennen, weten we exact hoe onze wereld in elkaar zit. Het ultieme doel van een deeltjesfysicus, alsook de levensdroom van Albert Einstein, is om dit te formuleren in één unieke theorie. Het Standaardmodel doet een stap in de goede richting door drie van de vier krachten samen te nemen in één consistente theorie die wiskundig als een kwantumveldentheorie wordt beschreven. De zwaartekracht is de enige fundamentele

Microwereld: de Large Hadron Collider

De Large Hadron Collider in het CERN zal van 2007 af protonen versnellen en frontaal laten botsen tot een totale energie van 14.000 GeV. Deze versneller, met een omtrek van 27 kilometer, neemt ongeveer 100 meter onder de grond de plaats in van

de oude LEP-versneller. Supergeleidende magneten zorgen ervoor dat de elektrisch geladen protonen op hun cirkelvormige baan blijven. In totaal vier experimenten zullen de botsingen onderzoeken: ALICE, ATLAS, CMS en LHC-b.

kracht die zich niet makkelijk laat beschrijven binnen dit kader. Maar geldt dit allesomvattende Standaardmodel ook op elk tijdstip doorheen de evolutie van ons universum?

DE BIG BANG ACHTERNA

Honderd jaar na de revolutionaire publicaties van Einstein worden ruimte en tijd in het universum nog altijd wiskundig beschreven door zijn algemene relativiteitstheorie. Maar hoe is dit universum ontstaan? Het was de Belg Georges Lemaître, die omstreeks 1920 stelde dat de gigantische ruimte met al zijn energie en materie erin, ontstaan was uit één enkel zéér klein punt. Lemaître, die na zijn studies priester werd, wordt nog altijd beschouwd als de vader van het zogenaamde big bang-model. De relativiteitstheorie van Einstein kon dit idee voorspellen noch weerleggen, tot uiteindelijk Edwin Hubble in 1929 experimenteel aantoonde dat het universum uitdijt. Volgens deze metingen en de moderne kosmologische opvattingen begon het draaiboek van het universum bij een hoge energiedichtheid of temperatuur. Alle materie zat in een ruimte kleiner dan een atoomkern. Er heerste volledige symmetrie tussen alle elementen van de natuur, zodat elk mogelijk elementair deeltje op eenzelfde manier kon bestaan. Doordat in de algemene relativiteitstheorie de ruimte dynamisch is, kon de ruimte zelf opeens snel uitdijen en de materie erin uit elkaar trekken. Tijdens deze inflatiespurt van de ruimte werd het universum zéér snel groter en daalde hierdoor zijn gemiddelde temperatuur. De symmetrie verdween uit het universum en steeds meer complexe structuren werden gevormd. Vandaag is het universum 13,7 miljard jaar oud en bedraagt zijn gemiddelde temperatuur 2,7 graden Kelvin.

Om dit kosmische verhaal te reconstrueren en in verschillende modellen te testen, bouwen we vandaag ruimtetelescopen en ruimtesondes. Hiermee worden de signalen opgevangen, die in de periode van het prille universum werden uitgezonden. Ook bouwen we deeltjesversnellers die enorme energiedichtheden – zoals die er kort na de big bang waren – reproduceren. De transities die tijdens de big bang plaatsvonden, komen overeen met de revolutionaire ontdekkingen in de fysica tijdens de laatste eeuwen, maar dan in omgekeerde volgorde. Terwijl na de big bang de materie steeds complexere structuren vertoont, van vrije quarks naar protonen naar atomen naar moleculen, heeft het

MACROWERELD: Wilkinson Microwave Anisotropy Probe

De big bang-theorie voorspelt dat de temperatuur in het jonge universum zéér hoog was en tijdens de inflatie van de ruimte snel afkoelde. In 1948 voorspelde George Gamov dat het huidige universum gevuld is met oud licht, afkomstig van die initiële hete periode, de zogenaamde kosmische achtergrondstraling. Het werd in 1965 door Arno Penzias en Robert Wilson ontdekt als achtergrond in de studie van radiosignalen. In big bang-modellen heeft het prille universum een uniforme materie en energieverdeling. Bijgevolg verwachten we uit alle richtingen evenveel kosmische achtergrondstraling en dit met eenzelfde golf-

lengte. Dit werd voor het eerst bevestigd door de COBE-satelliet en vandaag nog verbeterd de huidige WMAP-satelliet deze metingen. Het resultaat is een héél nauwkeurige kaart van de temperatuur van het universum, waar de rode gebieden warmer zijn dan de donkere gebieden. De sterren in ons melkwegstelsel zien we als een warme band in het midden. Met deze gegevens kunnen we de basisparameters van de big bang-modellen bepalen. De WMAP-satelliet is 3,8 meter hoog, 5 meter breed en weegt 840 kilogram. In de toekomst zal ook de Planck-satelliet deze gegevens sterk verbeteren.

wetenschappelijk onderzoek het omgekeerde traject doorlopen. Steeds meer deelstructuren en symmetrieën tussen krachten werden ontdekt, om uiteindelijk te komen tot het Standaardmodel van de elementaire deeltjes. Met behulp van deeltjesversnellers, zoals de Large Electron Positron (LEP)-versneller die op het einde van de 20ste eeuw operationeel was in het Europees Centrum voor Nucleair Onderzoek (CERN) nabij Genève, hebben we de eigenschappen van de massieve kracht-dragende W- en Z-bosonen (de kracht-dragende deeltjes van de gecombineerde elektrozwakke kracht, wier massa 80 of 90 keer zo hoog is als die van het proton) bestudeerd. De LEP-versneller creëerde botsingen tussen elektronen en positronen met een totale energie van 210 GeV (Giga elektron Volt). Omdat massa evenredig is met energie, vergelijken we 1 GeV met de rustmassa van één proton. De Tevatron-versneller in Fermilab nabij Chicago produceert vandaag verschillende top-quarks (t) in botsingen tussen protonen en antiprotonen met een totale energie van ongeveer 2000 GeV.

De energiedichtheden die we vandaag met dergelijke versnellers produceren, komen overeen met die in het zéér jonge universum, ongeveer 10^{-12} seconden na de big bang. Door het creëren van een mini-big bang in ons laboratorium, keren we als het ware terug in de tijd. Al onze waarnemingen in deze botsingen komen nog altijd overeen met de voorspellingen van het Standaardmodel. Mag men bijgevolg beweren dat ons werk af is? Zeker niet! Met de aanvang van de 21ste eeuw

blijven er véél vragen onbeantwoord en moet de fysicus alweer zijn creativiteit aanspreken.

HISTORISCHE TEST

Een eerste probleem bevindt zich binnen het Standaardmodel zelf. Het zogenaamde Higgs-mechanisme, parallel ontworpen door Peter Higgs en de Belgen François Englert en Robert Brout, zorgt ervoor dat zowel de fermionen als de bosonen een massa kunnen hebben. Dit mechanisme postuleert het bestaan van een tot op heden niet ontdekt deeltje, het Higgs-deeltje, en is essentieel voor de consistentie van het Standaardmodel. Hoewel het Higgs-deeltje nog niet ontdekt is, kan zijn virtuele aanwezigheid wel een invloed hebben op onze metingen. Wiskundige vergelijkingen geven weer hoe het Higgs-deeltje moet interageren met de andere deeltjes van het Standaardmodel en dus hoe de eigenschappen van de Standaardmodel-deeltjes afhangen van de massa van het Higgs-deeltje. Dus kunnen we ook omgekeerd redeneren. Via nauwkeurige metingen van de eigenschappen van bijvoorbeeld de W- en Z-bosonen, alsook van de top-quark, kunnen we een voorspelling maken van de massa van het Higgs-deeltje. Zijn massa is net te hoog om het deeltje te creëren met de LEP-versneller, en het is ook moeilijk om het waar te nemen bij de Tevatron. De Large Hadron Collider (LHC), die in opbouw is in het CERN, zal vanaf 2007 protonen in botsing brengen bij een energie tot 14.000 GeV. Met deze energiedichtheid produceren we – indien het bestaat – met zekerheid het Higgs-deeltje. Ook

De LHC zal zeker genoeg energie samenbrengen om de supersymmetrie te ontdekken of te weerleggen

bepalen de gigantische CMS- en ATLAS-experimenten, die deze botsingen bij de LHC zullen onderzoeken, de eigenschappen van de top-quark veel nauwkeuriger. Dit zal leiden tot een historische test waar we de door ons vooropgestelde verbanden in het Standaardmodel tussen de massa's van bijvoorbeeld het W-boson, de top-quark en het Higgs-deeltje kunnen verifiëren.

Met hoogenergetische botsingsexperimenten hebben we de unificatie van de elektromagnetische kracht en de zwakke kernkracht bevestigd. De volgende stap terug in de tijd is de unificatie met de sterke kracht. De sterkte van een fundamentele kracht verandert met de energie die zijn kracht dragers moeten overbrengen. De metingen van de sterkte van de krachten bij verschillende botsingsenergieën leren ons dat alle fundamentele krachten – behalve de zwaartekracht – ongeveer even sterk worden bij hogere energieën. Om deze unificatie exact te maken, voorspellen theoretici één nieuwe symmetrie in de natuur, namelijk de supersymmetrie. Deze postuleert voor elk gekend deeltje in het Standaardmodel een nieuw superdeeltje met dezelfde massa, maar met enkele verschillende kwantum eigenschappen.

Geen enkel experiment heeft tot op heden een direct signaal gevonden van deze superdeeltjes. Bijgevolg kan deze symmetrie niet volledig juist zijn in de natuur en moet die

op een of andere manier spontaan 'geschonden' worden om zo de superdeeltjes een veel hogere massa te geven ten opzichte van de Standaardmodel-deeltjes. In het KEK-laboratorium in Japan wordt het Belle-experiment uitgevoerd, en in het Stanford Linear Accelerator Center (SLAC) het BaBar-experiment. Beide onderzoeken de vervaleigenschappen van gebonden bottom-quark (b)-systemen of B-mesonen (mesonen zijn gebonden systemen van een quark en een antiquark, zoals atoomkernen gebonden systemen zijn van protonen en neutronen). Deze gegevens, alsook die van het toekomstig LHC-b experiment in CERN, laten toe de aard van de schending van supersymmetrie in de natuur te bestuderen. Ook wordt er met de huidige Tevatron-versneller gezocht naar directe signalen van de superdeeltjes. Indien het resultaat negatief is, zal de LHC zeker genoeg energie samenbrengen om deze deeltjes te produceren en hiermee ofwel de supersymmetrie te ontdekken of te weerleggen.

THEORIE VAN ALLES

Uiteindelijk willen natuurkundigen ook de zwaartekracht samenbrengen met de overige fundamentele krachten in één enkele theorie. Hiervoor moet men de theorieën omtrent gravitatie binnen het kader van de kwantummechanica plaatsen. Modellen zoals de snaartheorie omvatten deze mogelijkheid en pos-

tuleren buiten de drie gekende ruimtedimensies verschillende extra dimensies. De idee van extra dimensies werd voorgesteld in 1919 door Kaluza en Klein. De snaartheorie heeft deze extra dimensies nodig omdat de deeltjes voorgesteld worden als snaren die wiskundig beschreven worden in een 9- of 10-dimensionale ruimte. Deze extra dimensies worden bevolkt door nieuwe deeltjes die we zoeken in onze experimenten. Hun effect op onze driedimensionale ruimte is afhankelijk van de vorm en de grootte van de extra dimensies. Bij de LHC kunnen we de signalen van deze nieuwe fysische concepten observeren, en eventueel dimensies waarnemen die miljarden keer kleiner zijn dan een atoom.

Het blijkt dat het Standaardmodel, dat zo goed de gewone materie beschrijft, dit niet kan voor de kosmologische waarnemingen. We observeren dat het universum samengehouden wordt door een soort donkere materie en dat het tegelijkertijd uiteengerek wordt door een hoeveelheid donkere energie. Door het meten van de snelheid van rond elkaar draaiende melkwegstelsels, berekenen we met behulp van de eenvoudige wetten van Newton de massa die in deze melkwegstelsels aanwezig moet zijn. Deze massa blijkt veel groter dan degene die we effectief observeren. Bijgevolg is er een grote hoeveelheid onzichtbare of donkere materie aanwezig in deze melkwegstelsels die niet verklaard wordt

DE EVOLUTIE VAN ONS UNIVERSUM

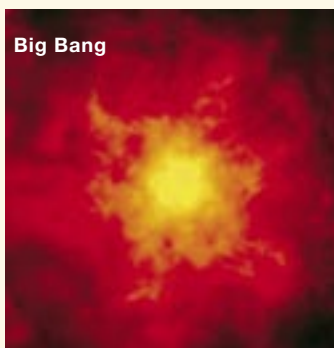
De big bang-modellen postuleren in het begin een temperatuur van 10^{32} K (Kelvin). Toen werd een eerste symmetrie gebroken. De zwaartekracht begon zich anders te gedragen dan de toen nog identieke elektromagnetische, zwakke en sterke kracht. Tot 10^{-32} seconden was er een korte periode van inflatie, waardoor het universum in totaal 10^{50} keer groter werd. Daarna ging ook de sterke kracht

zich anders gedragen. De symmetrie tussen materie en antimaterie werd toen, om nog mysterieuze redenen, een héél klein beetje geschonden. Voor een miljard antimateriedeeltjes waren er een miljard en één materiedeeltjes. Na 10^{-10} seconden was de temperatuur gedaald tot 10^{15} K en kon men de vier fundamentele krachten onderscheiden.

Omdat de snelheid van de deeltjes kleiner werd, verdween ook de antimaterie met de

materie en overheerst vandaag de materie in ons universum. Het was pas na 10^{-4} seconden dat protonen en neutronen gevormd werden, en pas na drie minuten konden heliumkernen ontstaan.

Na deze tijd ziet het universum er net zo uit als het binnenste van een ster, waar de temperatuur één miljard graden is. Stabiele atomen werden voor het eerst mogelijk na 370.000 jaar, toen het universum koud

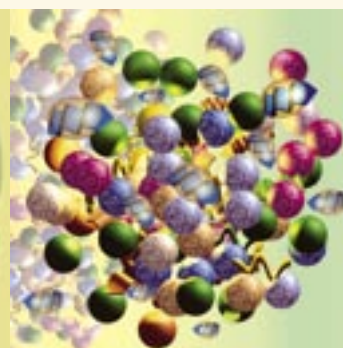


Big Bang

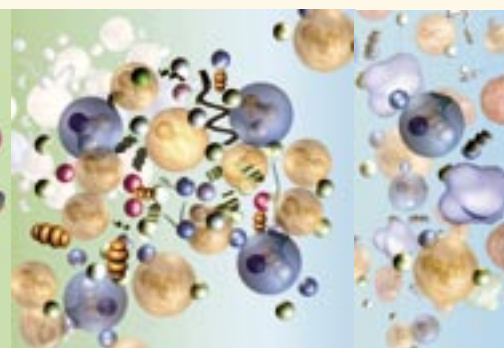
tijd = 10^{-43} seconden
temperatuur = 10^{32} Kelvin



tijd = 10^{-35} seconden
temperatuur = 10^{27} Kelvin



tijd = 10^{-10} seconden
temperatuur = 10^{15} Kelvin



tijd = 10^{-4} seconden
temperatuur = 10^{13} Kelvin

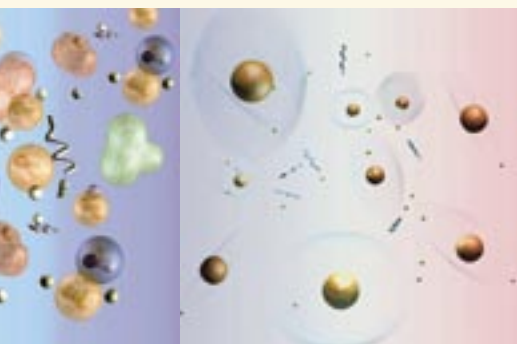
Ze bestaat echt, de substantie die in Dan Browns *Het Bernini mysterie* Vaticaanstad dreigt te doen verdwijnen

door de deeltjes van het Standaardmodel. De meest nauwkeurige informatie over de hoeveelheid donkere materie bekomen we door de kosmische achtergrondstraling te bestuderen. Dat is het eerste licht dat na de big bang uit de oersoep van materie kon ontsnappen. Met behulp van dit licht, dat miljarden jaren gereisd heeft, gaan we na wat de inhoud van het piepjonge universum was en hoe het sindsdien veranderd is. De in 2001 gelanceerde Wilkinson Microwave Anisotropy Probe (WMAP) meet het kosmologische patroon van dit licht vanuit elke hoek in de ruimte. De energieverdeling en homogeniteit van dit portret leren ons, met een nauwkeurigheid van één procent, dat het universum 13,7 miljard jaar oud is. De theorieën omtrent de inflatie van het jonge universum blijken juist te zijn. Het experiment geeft duidelijk aan dat slechts vier procent van de in het universum aanwezige materie door het Standaardmodel wordt beschreven. In totaal 23 procent materie is donker.

FYSICI GAAN ONDERGRONDS

De meest gangbare kandidaatdeeltjes voor de mysterieuze donkere materie zijn de zogenaamde *Weakly Interacting Massive Particles*

genoeg was. Licht kan zich vanaf nu vrij voortplanten doorheen het universum van gemiddeld 6.000 K. Pas na één miljard jaar beginnen zich melkwegstelsels te vormen en zwaardere atomen, zoals ijzeratomen. Vandaag is het universum ongeveer 13,7 miljard jaar oud en is de gemiddelde temperatuur door het uitdijen gedaald tot 2,7 K. Uiteraard begint de mens zich af te vragen waar het allemaal vandaan komt.



tijd = 100 seconden
temperatuur = 10^9 Kelvin

tijd = 370.000 jaar
temperatuur = 6.000 Kelvin

of WIMP's. Supersymmetrische theorieën, alsook modellen met extra dimensies, impliceren het bestaan van WIMP's, zoals het lichtste superdeeltje of neutralino. Dit zijn deeltjes die zo zelden interageren dat duizenden per seconde door ons lichaam vliegen zonder dat we het beseffen. Om de WIMP-effecten te onderscheiden van de gekende kosmische straling, moeten we onze experimenten diep in de aardbodem plaatsen. Met het Cryogenic Dark Matter Search (CDMS)-experiment meten we hoe deeltjes interageren met een silicium of germanium kristal, zoals een zonnecel of een transistor. Het neutralino zou wel energie afgeven in deze kristallen, maar geen elektrisch signaal. Op die manier kan het onderscheiden worden van de Standaardmodel-deeltjes. Twee gelijksoortige voorbeelden zijn het EDELWEISS-experiment, dat 1.600 meter onder de rotsen zit in de Fréjus-tunnel, en het DAMA-experiment in Gran Sasso. Door de jaargetijden in het aantal van de zon afkomstige neutrino's te observeren, heeft DAMA een eerste indicatie gevonden voor het bestaan van WIMP's. Onderzoekers verwachten jaargetijden in de gemeten deeltjesflux doordat 's zomers de snelheid van de aarde verhoogd wordt met de snelheid waarmee ons zonnestelsel in de melkweg draait. De aarde draait immers rond de zon in eenzelfde richting. Bijgevolg vangen we in de zomer meer WIMP's op dan in de winter, wanneer beide draaiingen tegengesteld zijn. Deze veelbelovende signalen moeten uiteraard onafhankelijk geverifieerd worden in een ander, en meestal beter experiment.

Indien de ruimte vol zit met neutralino's, moeten ze af en toe wel botsen met de gewone materie en hierdoor vertragen. Zijn de neutralino's voldoende vertraagd, dan kunnen ze gevangen worden in het zwaartekrachtsveld van sterren zoals de zon. Dit verhoogt de kans dat neutralino's met elkaar botsen in de kern van de zon en overgaan in fotonen of neutrino's. Door het meten van deze vervalproducten kunnen we de eigenschappen van de WIMP's bestuderen. De Gamma Ray Large Area Space Telescope (GLAST), die in 2006 gelanceerd wordt, kan de hoogenergetische fotonen waarnemen. Op de zuidpool neemt de 1 kubieke kilometer grote IceCube-detector de neutrino's waar, die interageren in het Antarctische ijs. Zowel IceCube in ijs als ANTARES en NESTOR in de Middellandse Zee, zullen door het detecteren van neutrino's de topologie van het universum in kaart brengen. Neutrino's hebben het voordeel dat ze tijdens hun ruimtereis niet geabsorbeerd

worden door de materie in het universum. Hierdoor geven ze informatie over nieuwe gebieden van het universum, gebieden die de gewoonlijke foton- of lichttelescopen niet bereiken.

REVOLUTIONAIRE TIJDEN

De huidige evolutie van het universum bestuderen we door ontploffende sterren, zogenaamde supernova's, te observeren. Bij de ontploffing van één type supernova komt altijd eenzelfde enorme hoeveelheid energie vrij onder de vorm van licht. Daardoor is de waargenomen lichtintensiteit een maat voor de afstand tot de ster. Ze neemt af wanneer de ster zich verder bevindt, omdat het licht tijdens zijn reis kan interageren met de materie in het universum. Het bestuderen van deze afstanden, gecombineerd met de gemeten snelheden van deze sterren, leert ons dat het universum snel uitdijt. Enkel een mysterieuze donkere energie kan hiervoor zorgen. Door de resultaten van de WMAP-satelliet weten we dat dit 73 procent van de materie of energie in het universum is. Met verschillende experimenten gaan we in de nabije toekomst na of we de donkere energie kunnen verklaren door een kosmologische constante in de algemene relativiteitstheorie en of er een verband is met de overal aanwezige Higgs-deeltjes. De kosmologische constante, ingevoerd door Einstein zelf, associeert een energiedichtheid met de lege ruimte – een leeg universum zou een vacuüm moeten zijn, maar doordat er door kwantumeffecten een zekere energie aanwezig kan zijn, is dit niet zo – en kan hierdoor een effect hebben op het uitdijen van het universum.

Het zijn revolutionaire tijden in de fysica van de elementaire deeltjes. In het volgende decennium zullen we experimentele gegevens verzamelen, die de verschillende theoretische ideeën uit de 20ste eeuw zullen bevestigen of weerleggen. Uiteindelijk moeten we twee soorten inzichten combineren: inzichten die we bekomen uit hoogenergetische botsingsexperimenten in onze laboratoria en uit waarnemingen uit de ruimte over de overblijfselen van de big bang. Enkel door beide extreme benaderingen samen te brengen, kunnen we tot een begrijpbaar beeld van ons universum komen. Door deze studies van de geschiedenis van het universum zullen we ook een blik in de toekomst krijgen.

Jorgen D'Hondt is onderzoeker in de deeltjesfysica aan de Vrije Universiteit Brussel.