

De heersende kosmologische theorie, de oerknaltheorie, vertelt ons dat het heelal tussen de vijftien en twintig miljard jaar geleden ontstond. Na de oerexplosie verspreidden materie en energie zich in alle richtingen. De werking van de zwaartekracht op materie resulteerde daarna in de vorming van sterrenstelsels. Is deze theorie juist? Een groeiende groep kosmologen blijkt aanhanger te zijn van de plasmatheorie. In deze hypothese kent het heelal geen begin en geen einde, en is het de elektromagnetische kracht die het heelal beheerst.

EEN EINDELOZE PLASMAZEE

Het heelal bestaat vermoedelijk voor 99,999% uit plasma. In ons zonnestelsel is de zon de voornaamste bron van actief plasma. Atomen worden daar door de hoge heersende temperaturen ontdaan van hun elektronen. Tegelijkertijd worden elektronen, protonen en heliumionen uit de buitenste laag van de corona gestoten in een continue plasmastroom die de zonnewind wordt genoemd. Het noorderlicht, Aurora Borealis, ontstaat als geladen deeltjes worden ingevangen door het magneetveld van de aarde. Via langs het magnetisch veld gerichte stromen spiraliseren de deeltjes omhoog naar de magnetische polen. Door de interactie met de dampkring ontstaan de prachtige lichteffecten.

Anthony L. Peratt

*Los Alamos National Laboratory
New Mexico, V.S.*

HEELAL ZONDER KNAAL

Volgens het oerknalmodel is de materie nu op grote schaal uniform over het heelal verdeeld, hoewel er kleinere materie- en energiefluctuaties moeten zijn geweest in de oorspronkelijke samenstelling van de kosmische oersoep. Uit deze dichtheidschommelingen ontstonden onder invloed van zwaartekracht, verspreide gaswolken die uiteindelijk meenstortten onder hun eigen gewicht. Klontjes materie verdichtten zich, groeiden aan en ontwikkelden zich onder invloed van zwaartekracht tot alle objecten die we in het heelal waarnemen: planeten, sterren, sterrenstelsels en superclusters van sterrenstelsels met een doorsnee van miljoenen lichtjaren.

Bewijzen voor een oerknal

De oerknaltheorie kreeg grote aanhang in wetenschappelijke kringen omdat zij met succes een aantal lang geleden verrichte astrofysische waarnemingen verklaarde. Zo merkte in 1929 de Amerikaanse astronoom Edwin P. Hubble op dat het leek alsof de kleur van diverse sterrenstelsels was verschoven naar het rode of langgolfige deel van het spectrum. Deze roodverschuiving van een spectrum wordt veroorzaakt door het Doppler-effect en valt te vergelijken met het lager worden van de toon van een claxon van een passerende auto. Kosmologen leidden uit deze roodverschuiving af dat de sterrenstelsels zich van ons verwijderen — een verschijnsel dat volgens de aanhangers van de oerknaltheorie een gevolg is van de oorspronkelijke oerexplosie. Het model verklaart ook waarom er grotere hoeveelheden helium en andere elementen met kleine massa in het heelal worden aangetroffen dan mogelijkwijze in het hute

binnenste van de bestaande sterren kunnen zijn gevormd: deze lichte elementen ontstonden uit waterstof tijdens de eerste, intens hete ogenblikken van de oerknal.

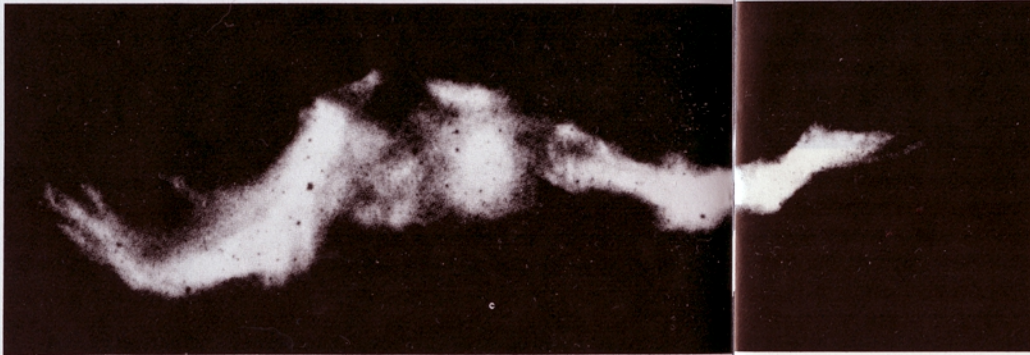
De oerknalcosmologie bleek een grote voorspellende waarde te hebben. In 1948 berekenen astronomen dat de straling die bij de oerexplosie was opgewekt, nu moest zijn afgekoeld tot straling met een temperatuur tussen de zes en de dertig kelvin en uniform verspreid door het heelal moest zijn. Zeventien jaar later ontdekten twee radiotechnici microgolffstraling bij een temperatuur die ongeveer drie graden boven het absolute nulpunt leek te liggen. Een gelijkmatige ruis uit alle richtingen van de hemel leverde het schijnbaar onweerlegbare bewijs voor de oerknal. Tegen het eind van de jaren zestig aanvaardde vrijwel iedereen de oerknaltheorie en de theorie is nu zo diep doorgedrongen, ook bij het grote publiek, dat men soms wel eens vergeet dat het hier nog steeds gaat om een hypothese.

Alhoewel de theorie veel successen heeft geboekt, moeten voorstanders van de oerknal de laatste tijd inzien dat een groeiend aantal waarnemingen niet met de theorie overeenstemt. Bovendien zijn er problemen die men met dit model nog steeds niet kan oplossen.

In al deze gevallen lijken de problemen te ontstaan door de fundamentele aanname dat in de oerknaltheorie zowel binnen sterrenstelsels als in het heelal als geheel, de zwaartekracht de enige kracht is die gewicht in de schaal legt. Zwaartekracht zal echter pas de overhand hebben wanneer sterkere krachten zijn uitgeschakeld. Elektromagnetisme is bijvoorbeeld 10^{39} maal zo sterk als de zwaartekracht. Als de overheersende materievorm wordt onderworpen aan zowel de elektromagnetische kracht als aan de zwaartekracht, dan overheersen sterkere trek- en duwkrachten van het elektromagnetisme de zwaartekracht.

Kosmologen laten niet graag een bruikbare theorie in de steek zonder dat er een beter alternatief is en we moeten toegeven dat onder as-

trofysici de oerknaltheorie nog steeds algemeen aanvaard is. Maar veel fysici die de materietoestand bestuderen die *plasma* heet, geloven nu dat ze een betere verklaring kunnen geven voor de structuur en wellicht ook het ontstaan van het heelal. Plasma's bestaan uit elektrisch geladen deeltjes en voelen dus zowel de elektromagnetische kracht als de zwaartekracht. Zij vormen ook de overheersende materievorm in het heelal. Op aarde zijn plasma's meestal verschijnselen van korte duur. In de ruimte echter zijn zij veel stabiel. Toch had vóór de tijd waarin ballonnen en raketten de bovenste lagen van de atmosfeer begonnen te onderzoeken, maar enkele wetenschappers enig vermoeden van de aanwezigheid van buitenaardse plasma's.



1. Bij het onderzoek naar plasma's in het laboratorium in Los Alamos had men 10^{12} Watt nodig om een plasmafragment met een lengte van 2,5 centimeter te verkrijgen. Deze opname van het plasma werd verkregen door belichting van een film die gevoelig was voor röntgenstraling.

Dertig jaar ruimteonderzoek heeft aangetoond dat het zonnestelsel een echte plasmazee is die, onzichtbaar voor optische telescopen, niettemin wordt doorkruist door ingewikkelde, met elkaar wisselwerkende elektrische en magnetische velden. De beweging van plasmadeeltjes in een elektromagnetisch veld noemt men nu een Birkelandstroom, naar de Noorse onderzoeker die dit verschijnsel aan het eind van de negentiende eeuw onderzocht. Houden deze plasmaverschijnselen abrupt op bij de drempel van het zonnestelsel?

De Zweedse natuurkundige Hannes Alfvén, die in 1970 de Nobelprijs voor Natuurkunde won, beweert het tegenovergestelde. Hij heeft

De plasmatoestand wordt beschouwd als een vierde aggregatietoestand; een plasma is niet vast, vloeibaar of gasvormig en lijkt nog het meest op een gas. Maar in tegenstelling tot een gas, dat uit elektrisch neutrale componenten bestaat, bestaat een plasma uit geladen deeltjes. Een plasma kan ontstaan tijdens verhitting van een gas tot zulke hoge temperaturen dat het geheel of gedeeltelijk geïoniseerd raakt: de atomen in het gas verliezen elektronen, waarna negatief geladen vrije elektronen en positief geladen ionen overblijven. De ionen zijn kale atoomkernen en kernen die nog een aantal elektronen hebben behouden.

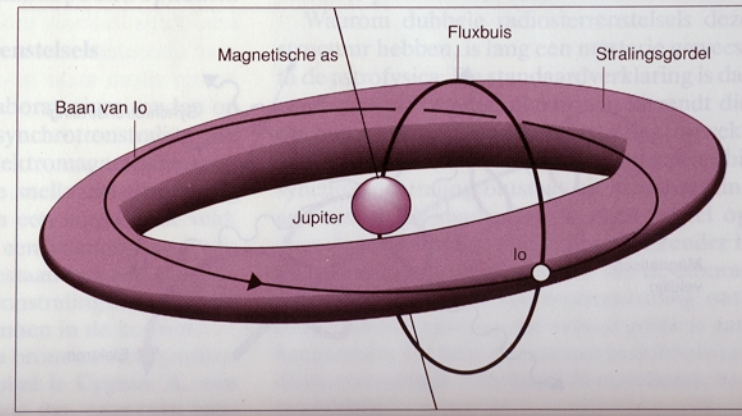
We vinden ook plasma's in metalen bij gewone temperaturen: de geleidingselektronen in het metaal, die vrij kunnen bewegen door het strakke kristalrooster van metaalatomen, vormen een plasma. Dankzij de vrije elektronen is een plasma een bijzon-

der goede elektriciteitsgeleider. Een bekend plasma is te vinden in een brandende neonlamp.

Een van de meest dramatische verschijningsvormen van een plasma is bliksem. In een opkomend onweer ontstaan gebieden met negatieve elektrische lading langs de onderkanten van de wolken. Deze negatieve gebieden veroorzaken op hun beurt langs de grond een laag positieve lading. Het elektrische veld tussen wolken en aardbodem wordt zo sterk dat het de lucht ioniseert. Vervolgens ontstaat er een geleidende baan van ionen en vrije elektronen — een plasma — waarlangs de bliksem zich ontaardt.

Plasma's worden beheerst door elektromagnetische krachten en velden; daardoor zijn de eigenschappen van plasma's veel ingewikkelder dan die van de drie andere materietoestanden. Wanneer elektronen in een plasma door een achtergrond van ionen stromen, vormt zich rond de stroom een cilindervormig magnetisch veld. In 1934 merkte Willard H. Bennett op dat het cilindrische veld de elektronenstroom focuseert tot een plasmabundel. Door dit proces, dat men het 'pinch-effect' (letterlijk: knijpeffect) noemt, vormt het plasma meervoudige draden die de stroom geleiden. Ook ontstaat, bij evenwijdig gerichte magnetische en elektrische velden in een plasma, een stroom die de richting van het magnetisch veld volgt: de stroom van vrije ionen en plasma-elektronen spiralisert als het ware rond de magnetische veldlijnen. Experimenten uit 1952 bewezen dat als men de volgens het magnetisch veld gerichte plasmastroom ombuigt tot een gesloten lus, het plasma de vorm aanneemt van een torus (een opgepompte binnenband). Deze torusgeometrie blijkt zeer bruikbaar voor het opsluiten van kernfusiereacties bij hoge temperaturen.

2. De waarnemingen aan het magnetisch veld rond de planeet Jupiter door de Voyager-1 en de Voyager-2 hebben veel onderzoekers verrast. Door het magnetisch veld ontstaat een fluxbuis tussen de planeet en de maan. De stroomsterkte in deze buis bedraagt bijna vijf miljoen ampère. De vulkanische maan Io stoot enorme hoeveelheden zwavelionen uit. Deze ionen bevinden zich in een stralingsgordel, die de vorm heeft van een binnenband.

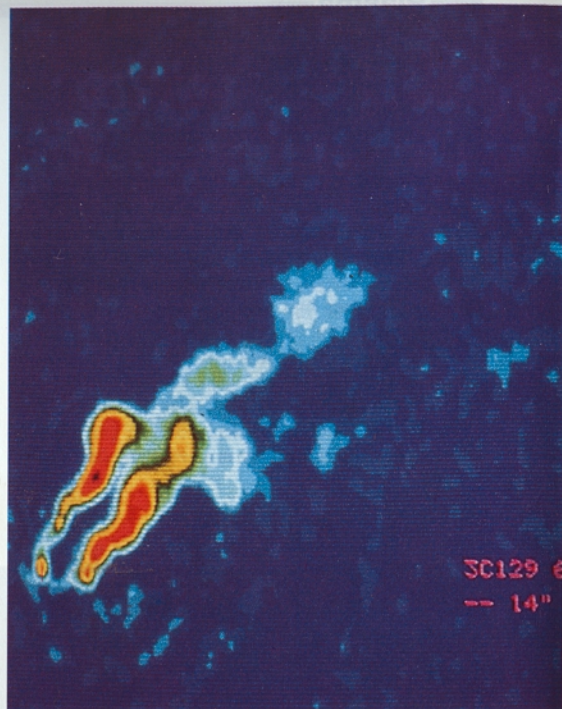


geopperd dat er misschien in het gehele heelal Birkelandstromen van onbegrensde omvang kunnen worden gevonden. Waarom zou de plasmafysica tenslotte anders werken aan het andere eind van de kosmos, op een afstand van tien miljard lichtjaren, dan in de magnetosfeer van de aarde of in de laboratoria op het aardoppervlak? Onderzoekers hebben met hun verfijnde apparatuur inderdaad laten zien dat het in de kosmos krioelt van de elektrisch geladen, subatomaire deeltjes. De schatting is nu dat 99,999 procent van de waarneembare materie in het heelal bestaat uit plasma's waarin in alle richtingen elektromagnetische velden en Birkelandstromen lopen.

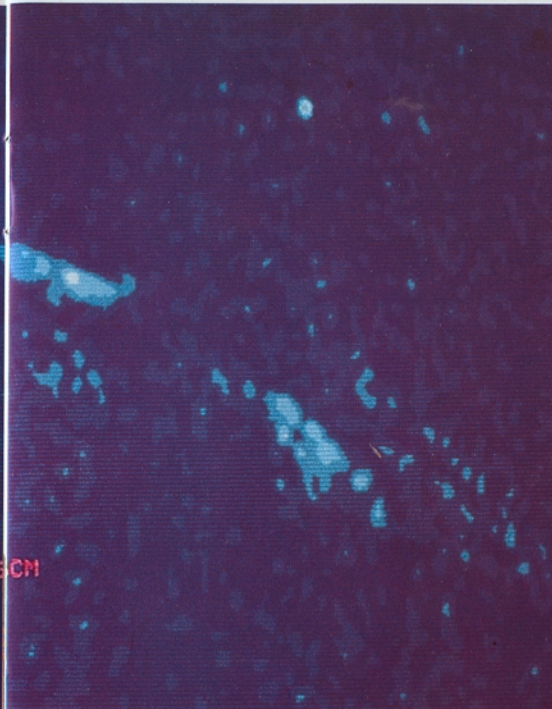
Plasmazee

Toch beginnen wetenschappers pas gedurende de laatste tien jaren de dynamica van het plasmaheelal te begrijpen en op waarde te schatten. Met behulp van supercomputers hebben natuurkundigen voor het eerst de wisselwerkingen tussen plasmastromen kunnen simuleren. In de simulaties ontstonden op sterrenstelsels gelijkende structuren die de vormen van alle bekende soorten sterrenstelsels dicht benaderen. De computersimulaties, samen met recente waarnemingen van plasma's tussen sterrenstelsels, leveren sterke aanwijzingen dat plasma's inderdaad een vooraanstaande rol spelen bij de vorming van de kosmos.

Het model voor wisselwerkingen tussen plasmadraden of -filamenten, zoals dat bij laboratoriumsimulaties wordt gebruikt, is geba-

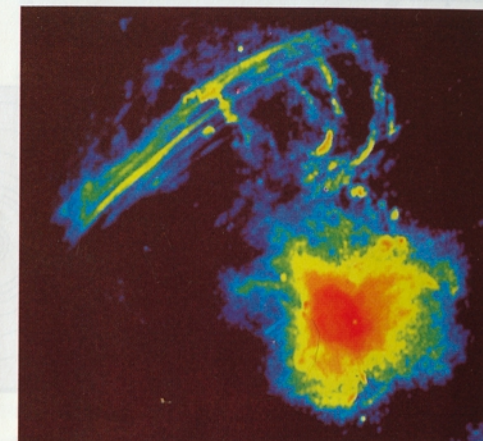


4



4. In Westerbork registreerde men de dubbele radiobron 3c 129, een kopstaartstelsel, bij een golflengte van 6 cm. Het melkwegstelsel bevindt zich hier aan het linkereinde van de bron. Men veronderstelt dat de staart hoort bij het spoor van het melkwegstelsel door het gas van een rijke cluster.

5. In 1984 ontdekte men in het centrum van ons melkwegstelsel draadvormige plasma's met een lengte van 120 lichtjaar. Het magnetisch veld had een sterkte van 10^{-7} tesla. Een maand voor deze ontdekking was het bestaan van deze structuren al voorspeld met behulp van het plasmamodel.



5

seerd op waarnemingen van veel plasmaverschijnselen in de ruimte zoals poollicht, protuberansen op de zon en de Jupiter-Io-fluxbuis. Steeds wanneer een sterke Birkelandstroom zich voordoet, ontstaan instabiliteiten langs de stroom; op deze plekken ontstaan kleine elek-

trische velden. De elektrische velden versnellen elektronen tot hoge energieën, waarbij ze een stroom opwekken die het plasma samenknijpt tot kleine wervelingen. Aangrenzende filamenten zullen naar deze punten worden toegetrokken en waar ze elkaar raken combineren de individuele wervelingen zich tot grotere spiralen. Vandaar dat er langs lange laboratoriumfilamenten periodiek plasmaspiralen optreden.

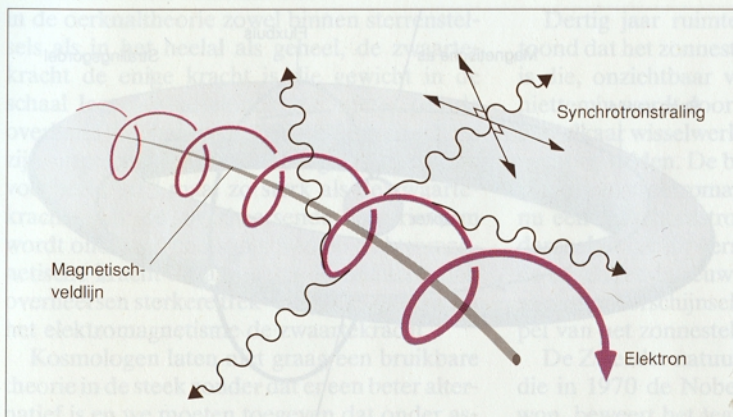
Plasma's en radiosterrenstelsels

Plasmadraden in het laboratorium zenden op hun kruispunten ook synchrotronstraling uit; dit is eenvoudigweg elektromagnetische straling opgewekt door de snelle cirkelbeweging van geladen deeltjes in een magnetisch veld. Deze ontdekking bleek een belangrijke aanwijzing te zijn voor het bestaan van een plasmaheelal, omdat synchrotronstraling ook vrijkomt uit veel natuurlijke bronnen in de kosmos.

Een van de helderste bronnen van synchrotronstraling aan de hemel is Cygnus A, een dubbel radiosterrenstelsel dat, naar men aan-

neemt, honderden miljoenen lichtjaren van ons is verwijderd. Door een radiotelescoop gezien, bestaat Cygnus A uit twee C-vormige lobben van intense synchrotronstraling die ongeveer 250 000 lichtjaren uit elkaar staan en elk een doorsnee hebben van circa 100 000 lichtjaren (ongeveer de diameter van ons Melkwegstelsel). Elke lob verzendt bovendien straling uit een hete plek aan het einde van elke arm.

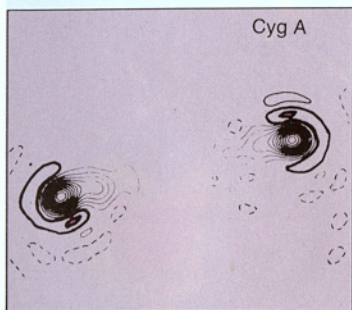
Waarom dubbele radiosterrenstelsels deze structuur hebben, is lang een mysterie geweest in de astrofysica. De standaardverklaring is dat een zwart gat bundels elektronen uitzendt die op hun beurt de synchrotronstraling opwekken. Maar laboratoriumdemonstraties waarbij synchrotronstraling ontstaat uit wisselwerkingen tussen plasmadraden, wekken twijfel op over deze verklaring. Nog indrukwekkender is dat tijdens computersimulaties van de laboratoriumexperimenten synchrotronstraling ontstaat met een patroon dat vrijwel gelijk is aan het patroon dat men waarneemt in dubbele radiosterrenstelsels — inclusief de opvallende hete plekken.



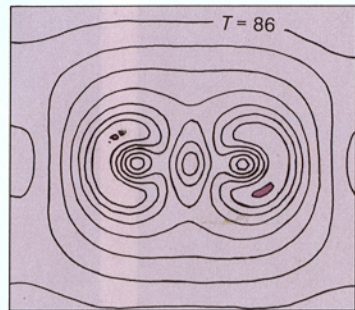
3. Synchrotronstraling werd voor het eerst waargenomen in deeltjesversnellers. Deze straling komt vrij wanneer een elektron met een snelheid van bijna de lichtsnelheid, onder een hoek een component van een magnetisch veld treft. De smalle stralingsbundel die ontstaat heeft dezelfde richting als het elektron had op het moment van uitzenden. De voornaamste golflengte is afhankelijk van de snelheid van het elektron en de sterkte van het magnetisch veld.

In de vaste overtuiging dat gesimuleerde plasma's een afspiegeling vormen van verschijnselen die zij in de verre ruimte waarnemen, zijn natuurkundigen verder gegaan met het simuleren van plasma's om te onderzoeken hoe sterrenstelsels zich uit plasmastromen kunnen vormen. Van 1979 tot 1986 gebruikten wij supercomputers voor de simulatie van de effecten op

6. Cygnus A is de sterkste bron van synchrotronstraling aan ons firmament. De straling is vooral afkomstig uit twee C-vormige lobben (6a). Een simulatie van wisselwerkende plasma's geeft na 17,5 miljoen jaar hetzelfde beeld (6b). Zelfs de berekende 'hot spots' komen met de waarneming overeen.



6a



6b



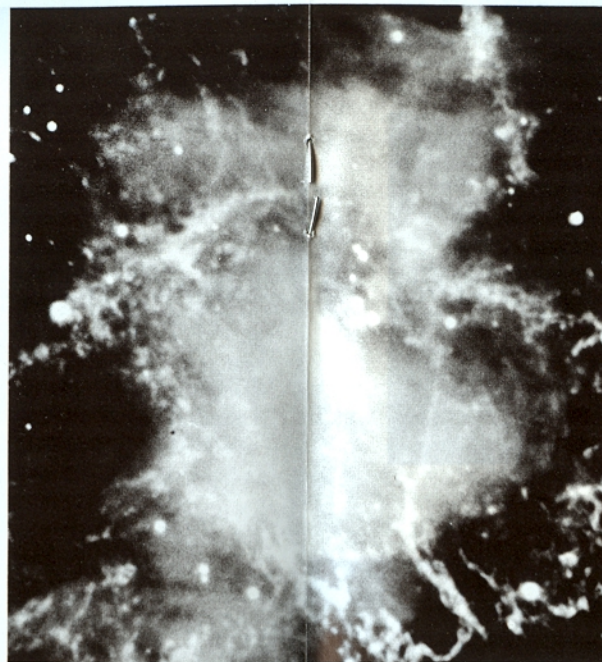
7

lange termijn van plasmakrachten op een dubbel radiosterrenstelsel met de eigenschappen van Cygnus A. Om de methode te verifiëren werden de lobstructuren die ontstonden in de computersimulatie, plaatje voor plaatje en tot in de kleinste details vergeleken met de lobstructuur van vele dubbele radiosterrenstelsels en met de structuren van bijzondere en gewone sterrenstelsels die door telescopen in kaart zijn gebracht. De resultaten van dit onderzoek waren verbazingwekkend.

De simulatie toonde hoe een dubbel radiosterrenstelsel met een doorsnee van 250 000 lichtjaren in het tijdsbestek van een miljard jaar via een aantal herkenbare stadia kan evolueren tot een balkspiraalstelsel met een doorsnee van 100 000 lichtjaren. Galactische astronomen geloven dat balkspiraalstelsels nieuwe sterren kweken en verder evolueren tot de spiraalstel-

sels en elliptische stelsels die de verzameling van soorten sterrenstelsels completeren. Met andere woorden: radiosterrenstelsels lijken de voorlopers te zijn van alle andere sterrenstelsels. Zelfs dubbele radiosterrenstelsels, die er zeer uiteenlopend uitzien, bevinden zich misschien alleen maar in verschillende stadia van gelijksoortige evolutiepaden en schelen enkel een paar miljoen jaar in leeftijd. Eigenlijk lijken bijna alle kosmologische objecten in het nabije en verre heelal, van quasars tot spiraalstelsels, leden te zijn van één enkele familie die enkel verschillen in leeftijd.

Het model van onderling wisselwerkende plasmastromen heeft, dankzij de bevestiging van een aantal van de voorspellingen van dit model, de laatste vijf jaar snel aanhang verworven. In laboratoriummodellen wekt een roterend 'sterrenstelsel' twee soorten magnetische



8

7. Op een supercomputer simuleerden onderzoekers de wisselwerking tussen radiosterrenstelsels. Een dubbel radiosterrenstelsel evolueert hier tot een balkspiraalstelsel. De werking van de zwaartekracht zou volgens het plasmamodel in dat stadium aanleiding geven tot stervorming.

8. Een opname van de krabnevel toont een draadvormige structuur die voornamelijk licht van geëxciteerde waterstofatomen uitzendt. Het diffuse licht op de achtergrond wordt veroorzaakt door elektronen die versneld worden door een magnetisch veld en daarbij synchrotronstraling uitzenden.

velden op. Het toroidale veld vormt een enorme ring om het sterrenstelsel in het galactische vlak. Daarnaast is er het verticale veld dat vanuit het galactische centrum een lus vormt boven en onder het vlak van het sterrenstelsel. De twee velden verschijnen zelfs als het magnetisch veld aanvankelijk ontbreekt. Op natuurlijke wijze voorspelt het model dat plasmadraden met een soortgelijke structuur in het centrum van ons eigen melkwegstelsel moeten voorkomen.

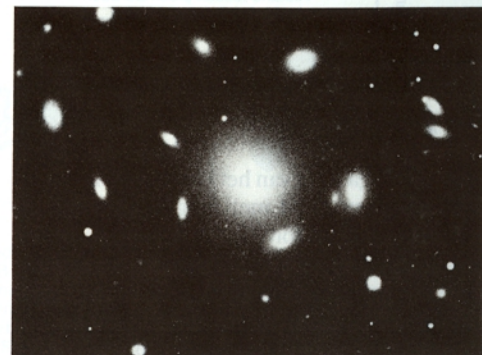
Wisselwerkende plasmafilamenten

In 1984 ontdekten radio-astronomen met behulp van de VLA-radiotelescoop in New Mexico (V.S.) een boog met een lengte van zo'n 120 lichtjaren in het centrum van de Melkweg. De boog blijkt een systeem te zijn van smalle draden met een breedte in de orde van drie lichtjaren die elk langs de hele lengte van de boog lopen. Wervelende spiralen vormen de buitenste laag van de buis. Een binnenste laag van bijna rechte draden rijgt de kernen van de spiralen aan: rond de hele buis zijn zowel verticale als toroidale magnetische velden aanwezig.

Hoewel de sterkte van het veld honderdmaal zo groot was als de waarde die astrofysici op zo'n grote schaal mogelijk achtten, bleek de sterkte vrijwel gelijk aan de waarden die volgden uit een computersimulatie die we nauwelijks een maand eerder hadden gepubliceerd.

Het model van wisselwerkende stromen heeft tot een nog veelzeggender ontdekking geleid. In het laboratorium is de breedte van een plasmadraad die synchrotronstraling uitzendt ongeveer een tienduizendste van zijn lengte. Als hetgeen astronomen waarnemen als een dubbel radiosterrenstelsel in werkelijkheid de doorsnede is van met elkaar wisselwerkende plasmadraden, dan zouden radiosterrenstelsels – en uiteindelijk alle sterrenstelsels – deel uitmaken van netwerkachtige, uit plasmadraden bestaande structuren die zich uitstrekken over een ruimtegebied met afmetingen van een miljard lichtjaren.

Radio-astronomen ontdekten drie jaar later immens grote galactische structuren met afmetingen die opmerkelijk goed met deze resultaten overeenkwamen. Het bleek dat nabije clusters van sterrenstelsels zich groeperen in een superclustercomplex met een lengte van een miljard lichtjaar, een dikte van 130 miljoen lichtjaar en een breedte van 325 miljoen lichtjaar. Binnen het complex, dat ook de Melkweg omvat, zijn de sterrenstelsels meer dan twintig maal zo dicht opeengepakt als daarbuiten.



9

9. Volgens de plasmatheorie zijn de sterrenstelsels in een cluster te zien als plaatselijke verdichtingen van de materie binnen een

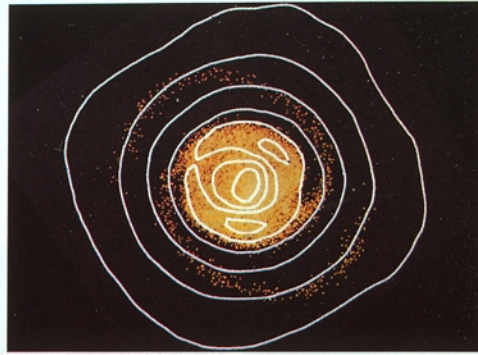
netwerk van enorme plasmafilamenten. Op hun beurt zijn deze clusters weer een deel van een superclustercomplex.

Op basis van deze ontdekkingen hebben een aantal fysici de theorie van Birkeland en Alfvén aanvaard: het heelal zit niet alleen vol met plasma's en plasmastromen, maar het is bovendien de elektromagnetische kracht, en niet de zwaartekracht, die de dynamica van het heelal beheerst. Volgens de plasmakosmologie is het heelal een ware zee van geladen deeltjes, doorweven met complexe magnetische velden en elektrische stromen en is het dit altijd geweest.

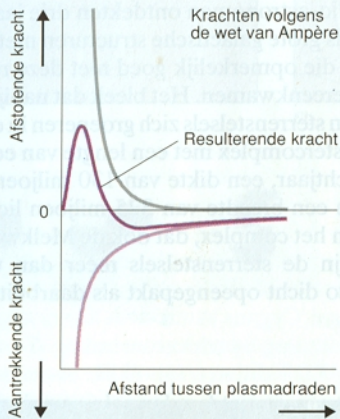
Om tot dit beeld te komen, pasten we de beginvoorwaarden in ons wisselwerkende-stromenmodel aan en lieten de supercomputer rekenen vanaf een hypothetische tijd toen er geen sterren, sterrenstelsels, quasars of superclusters waren. Op deze manier ontstond een nieuw beeld van de ontwikkeling van het heelal.

10. De emissiecontouren van waterstof bij 21 cm tonen twee waterstofpieken naast het centrum in een

gesimuleerd spiraalstelsel. Volgens de plasmatheorie hoopt waterstof zich op rond magnetische velden.



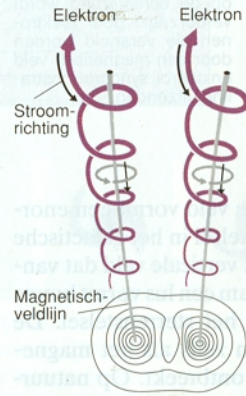
10



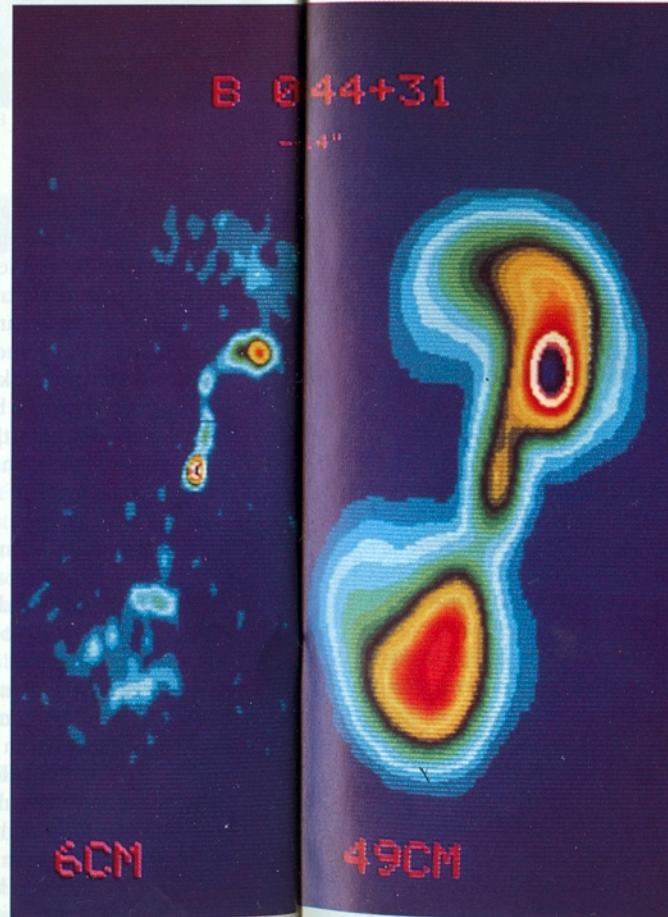
11

Een galactisch netwerk

Ons model gaat uit van het bestaan van een oneindig grote ruimte met magnetische velden waarin plasma uniform is verdeeld. Een uniforme verdeling van plasma is weliswaar niet vereist in de simulaties, maar het vereenvoudigt de beginsituatie van waaruit *plasmafilamentatie* bestudeerd kan worden. Als er nog een andere vorm van non-uniformiteit aanwezig is, zoals bijvoorbeeld variaties in de elektronentemperatuur (een maat voor de gemiddelde snelheid van de elektronen), ontwikkelen zich uitgestrekte, wervelende elektromagnetische velden die het plasma tot draden samenknij-



11. Twee naburige Birkelandstromen veroorzaken een interessant krachten spel. De parallelle componenten van de stroom zorgen voor een aantrekkelijke kracht. De componenten die daar loodrecht op staan, werken juist afstotend. De grafiek toont de resulterende kracht tussen de filamenten. Een derde kracht ontstaat als de hoeveelheid elektronen niet overeenstemt met het aantal ionen. De genoemde krachten zijn verantwoordelijk voor de vorming van draadvormige en vlakke plasmastructuren.



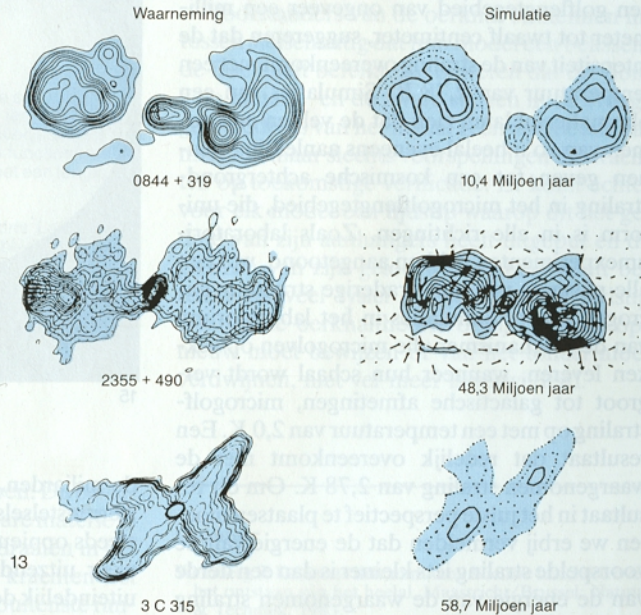
12

pen. De draden groeien aan tot de omvang van superclusters en bereiken een lengte van miljarden lichtjaren. Het plasma in deze clusters wordt verder samengeknepen tot kleinere draden van de afmetingen van sterrenstelsels, die miljarden jaren lang met elkaar wisselwerken: uiteindelijk verzamelen en neutraliseren ze zoveel massa dat zwaartekracht een belangrijke factor wordt in hun verdere ontwikkeling.

Zo worden op den duur alle bestaande soorten sterrenstelsels gevormd. Zoals dauw druppeltjes vormt op een spinnweb, condenseert de waarneembare kosmos in steeds kleinere stappen uit de plasma-achtergrond, waarbij uiteindelijk sterren en planeten ontstaan. Er is geen expansie en het heelal hoeft niet te eindigen in een eindkrak. In tegenstelling tot het

heelal volgens het oerknalmodel, ontwikkelt het plasmaheelal zich zonder dat er een begin en een einde nodig is; zonder een onbepaalde ouderdom en een onbepaalde lange levensduur.

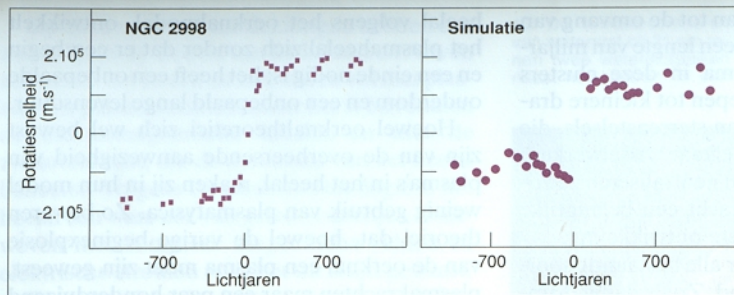
Hoewel oerknaltheoretici zich wel bewust zijn van de overheersende aanwezigheid van plasma's in het heelal, maken zij in hun model weinig gebruik van plasmafysica. Zo beweren theorieci dat, hoewel de vurige beginexplosie van de oerknal een plasma moet zijn geweest, plasmakrachten maar een paar honderduizend jaar lang bleven bestaan. Ze houden vol dat het heelal daarna is overheerst door materie en zwaartekracht. Terwijl het plasmamodel echter steeds meer ondersteuning heeft gekregen, verliest het bewijsmateriaal voor de oerknaltheorie langzaam maar zeker overtuigingskracht.



13

12. Een kenmerkende dubbele radiobron is het stelsel B 0844 + 31. Deze opnamen bij golflengten van 6 en 49 centimeter zijn gemaakt met de radiotelescoop in Westerbork, een faciliteit van de Stichting ASTRON die financieel wordt ondersteund door de NWO. Het melkwegstelsel valt samen met het piekje tussen de twee lobben. Bij een golflengte van 6 cm kan men een dun filament waarnemen dat noordwaarts loopt. Mogelijk bevat dit filament een bundel waardoor plasma stroomt van de kern naar de buitenkant van het stelsel.

13. Bij de simulatie van wisselwerkende plasmadraden ontstaan afbeeldingen van de energiedichtheid van elektrische velden op verschillende tijdstippen. Deze afbeeldingen komen verbazingwekkend goed overeen met opnamen van de synchrotronstraling die door diverse radiosterrenstelsels wordt uitgezonden. De aanhangers van de plasmatheorie zien deze simulaties als een bewijs dat ogenschijnlijk totaal verschillende radiosterrenstelsels zeer sterk verwant zijn. Ze bevinden zich slechts in verschillende ontwikkelingsstadia.



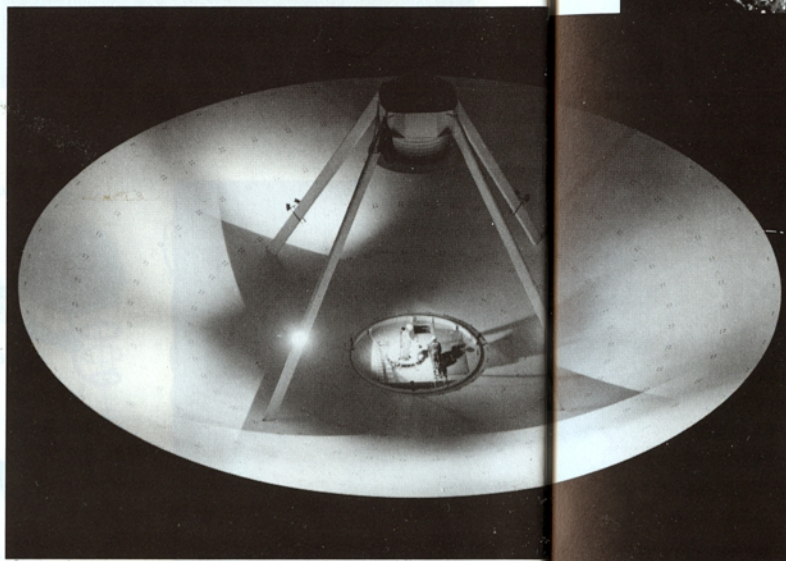
14. De draaisnelheid van het spiraalsterrenstelsel NGC 2998 komt zeer sterk overeen met de draaisnelheid die de computer berekende voor een stelsel dat zich uit een dubbel radio-sterrenstelsel ontwikkelde. Dit stelsel heeft in de simulatie een leeftijd van 356 miljoen jaar.

14

De bewijskracht van de achtergrondstraling

Het sterkste bewijs dat voorstanders van de oerknal voor hun model aanvoeren, is het bestaan van de kosmische achtergrondstraling. Waarnemingen van de achtergrondstraling, in een golfengetegebied van ongeveer een millimeter tot twaalf centimeter, suggereren dat de intensiteit van de straling overeenkomt met een temperatuur van 2,78 K. Simulaties van een plasmaheelal laten zien dat de velden en stromen van zo'n heelal eveneens aanleiding kunnen geven tot een kosmische achtergrondstraling in het microgolvengebied, die uniform is in alle richtingen. Zoals laboratoriumexperimenten hebben aangetoond, wekken alle plasma's met een draderige structuur microgolven op. Simulaties in het laboratorium van de mechanismen die microgolven opwekken leveren, wanneer hun schaal wordt vergroot tot galactische afmetingen, microgolvenstraling op met een temperatuur van 2,0 K. Een resultaat dat redelijk overeenkomt met de waargenomen straling van 2,78 K. Om dit resultaat in het juiste perspectief te plaatsen moeten we erbij vermelden dat de energie van de voorspelde straling iets kleiner is dan een derde van de energie van de waargenomen straling (omdat energie snel afneemt met afnemende temperatuur). Aan de andere kant ligt de waarde veel dichterbij de werkelijke waarde dan de schattingen volgens het oerknalmodel vòór de ontdekking en meting van de kosmische achtergrondstraling in 1965.

Meer dan twee jaar geleden werd aange-toond hoe de microgolven-achtergrondstraling homogeen kan zijn, zelfs al is de materie ongelijkmatig verdeeld over het heelal. Berekeningen laten zien dat de plasmadraden die

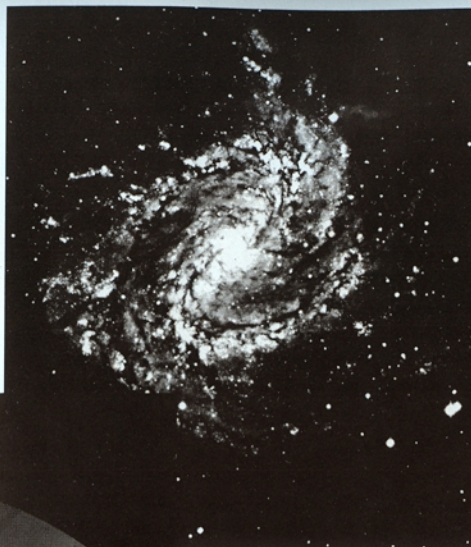


15

de miljarden, verspreid in de ruimte liggende sterrenstelsels omvatten, dergelijke straling steeds opnieuw zouden kunnen absorberen en weer uitzenden. Dit repeterende proces zou uiteindelijk de uniforme stralingszee opleveren die we nu waarnemen.

Donkere materie

Een heelaldynamica die wordt gedomineerd door plasma's kan ook de vorming van sterrenstelsels, clusters van sterrenstelsels en superclusters verklaren, die in het oerknalmodel zoveel problemen oplevert. Er is bijvoorbeeld jarenlang gediscussieerd over 'donkere materie' waarmee men de rotatie van spiraalvormige



16

15. In Cambridge staat een schotelantenne met een doorsnede van 32 meter. Zeven schotels zullen samen gaan functioneren als een telescoop met een lengte van 225 kilometer.

16. Volgens Andris Lauberts en Edwin Valentijn bevatten stelsels als NGC 5236 (M83) grote hoeveelheden stof. Daarmee zou de 'donkere materie' in de oerknal-kosmologie voor een groot deel verklaard zijn. In de plasmasimulaties speelt dit galactische stof geen belangrijke rol.

sterrenstelsels zou kunnen verklaren. De bewegingswetten bepalen dat de zichtbare materie in een sterrenstelsel snel moet ronddraaien in het centrum, waar de gravitationele krachten het grootst zijn, en langzamer aan de buitenste randen. In werkelijkheid draaien spiraalstelsels meer rond als frisbees, alsof — volgens de oerknaltheoretici — een hoeveelheid niet waarneembare materie ze bij elkaar houdt.

Zoals onze computersimulaties in 1984 echter aangaven, kan een plasmakosmologie de rotatie van sterrenstelsels verklaren zonder terug te hoeven vallen op dergelijke ad hoc verklaringen. Rekening houdend met de waarneembare massa van een gewoon sterrenstelsel (ongeveer de massa van honderd miljard zon-

nen) gaf het model met wisselwerkende plasmastromen de rotatie van sterrenstelsels weer tot in de kleinste details, tot aan de vorming van de spiraalarmen toe.

Oerknaltheorie of plasmakosmologie

Het is nog te vroeg om uit te maken of de oerknaltheorie haar bruikbaarheid heeft overleefd en of een plasmakosmologie deze theorie met succes kan vervangen. De Cosmic Background Explorer (COBE), een satelliet die in november 1989 is gelanceerd, probeert de precieze aard van de kosmische achtergrondstraling beter te bepalen. De zeer nauwkeurige waarnemingen van deze satelliet hebben tot dusver alleen maar bevestigd dat de kosmische achtergrondstraling inderdaad extreem uniform en homogeen is, zonder enige onregelmatigheid in de samenstelling ervan.

Voorstanders van de oerknal ontkennen intussen stelselmatig dat hun model een belissende fase heeft bereikt. Ze beweren dat de 'donkere materie' en de zware sterren in de vroege geschiedenis van het heelal geen ad hoc aannamen zijn maar slechts voorspellingen die wachten op toekomstige verificatie. Er komt echter voor elk model een tijdstip waarop dit het geduld van zijn aanhangers heeft uitgeput en de grenzen van zijn geloofwaardigheid heeft bereikt. En veel fysici geloven dat het tijdstip waarop de oerknaltheorie òf zijn waarde opnieuw moet bewijzen òf van het toneel moet verdwijnen, niet ver meer is verwijderd.

Literatuur

- Weinberg S. De eerste drie minuten - Nieuwe inzichten over het ontstaan van het heelal. Maastricht/Brussel: Natuur & Techniek, 1983.
 Hoyle F, Wickramasinghe C. Big bang of steady state. Natuur & Techniek 1989; 57: 6, 446-457.
 Reeves H, Van der Hulst T. Fossielen van het uur nul - de vroege fasen van het heelal. Natuur & Techniek 1990; 58: 2, 142-153.

Bronvermelding illustraties

- Hattinga-Verschure, Deventer: 772-773.
 Westerbork Telescoop, Stichting ASTRON: 4, 12.
 ESO, München: 8, 16.
 Britse ambassade, 's-Gravenhage: 15.
 De overige illustraties zijn afkomstig van de auteur.