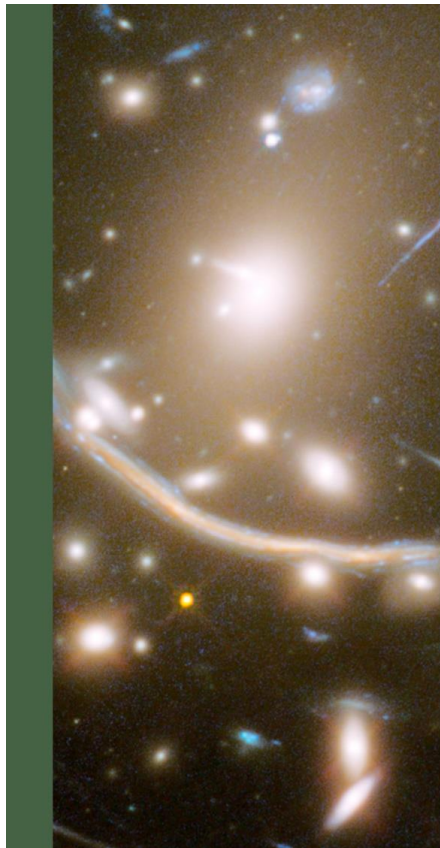


Bijlage bij het hoorcollege *Donkere materie*



DONKERE MATERIE

EEN HOORCOLLEGE OVER
HET GROOTSTE RAADSEL
IN DE ASTRONOMIE

door Govert Schilling

Inhoudsopgave

[Govert Schilling](#)

[Bob Kommer](#)

[H1. De pioniers](#)

[H2. Hoe zwaar is het heelal?](#)

[H3. Roterende sterrenstelsels](#)

[H4. De evolutie van het heelal](#)

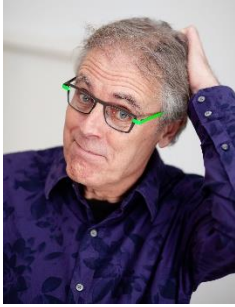
[H5. De jacht op mysterieuze deeltjes](#)

[H6. Bestaat donkere materie wel?](#)

[Aanbevolen literatuur](#)

[Colofon](#)

Govert Schilling



Govert Schilling is freelance wetenschapsjournalist en publicist. Hij schrijft over sterrenkunde en ruimteonderzoek voor kranten en tijdschriften in binnen- en buitenland, o.a. voor de Volkskrant, Eos magazine, Science, New Scientist, Sky & Telescope en BBC Sky at Night. Hij publiceerde tientallen boeken over uiteenlopende sterrenkundige onderwerpen, waaronder Handboek sterrenkunde, De kosmos en ik en De olifant in het universum. Regelmatig geeft hij op radio en tv toelichting op ontwikkelingen in de astronomie. Daarnaast verzorgt hij publiekslezingen en cursussen, en is hij eindredacteur van de populaire website: <http://www.allesoversterrenkunde.nl>

Bij Home Academy verschenen eerder van hem de hoorcolleges [Evoluerend Heelal](#), [De geschiedenis van de sterrenkunde](#) en [Speuren naar buitenaards leven](#).

Opgenomen i.s.m. Bob Kommer Studio's

Bob Kommer Studio's, opgericht in 1952, is één van de oudste geluidsstudio's van Nederland. Naast het verzorgen van geluid voor diverse natuur- en animatiefilms, doet Bob Kommer Studio's al meer dan 20 jaar het 6-kanaals surround geluid van Omniversum en andere IMAX-theaters in Europa. De studio wordt ook gebruikt voor o.a. het inspreken van luisterboeken en het opnemen van hoorcolleges.

Kijk voor meer informatie op <http://www.bobkommer.com>

Synopsis van het hoorcollege *Donkere materie*

H1. De pioniers

85 procent van alle massa in het heelal bestaat uit mysterieuze deeltjes. Alle planeten, sterren, gaswolken en sterrenstelsels bij elkaar – en dat zijn er heel wat – vormen samen niet meer dan de top van een kolossale, onzichtbare ijsberg, en niemand kent de ware aard van die donkere materie. Donkere materie bestaat niet uit ‘gewone’ atomen en moleculen, zoals de zichtbare wereld om ons heen, en zendt geen enkele vorm van straling uit. De enige manier waarop zij haar bestaan verraadt, is via de zwaartekrachtwerking. De eerste aanwijzingen voor het bestaan van donkere materie dateren al uit de eerste helft van de twintigste eeuw. De Nederlandse astronoom Jacobus Kapteyn introduceerde het idee voor het eerst in 1922. Zijn student Jan Oort kwam tien jaar later met de eerste schatting van de hoeveelheid donkere materie in ons eigen Melkwegstelsel, en de Zwitsers-Amerikaanse sterrenkundige Fritz Zwicky toonde een jaar later aan dat ook grote clusters van sterrenstelsels enorme hoeveelheden donkere materie moeten bevatten. Het duurde echter tot begin jaren zeventig voordat het mysterie echt serieus werd genomen.

H2. Hoe zwaar is het heelal?

De Amerikaanse astronomen Jim Peebles en Jerry Ostriker toonden in 1973 aan dat schijfvormige sterrenstelsels zoals ons eigen Melkwegstelsel niet stabiel kunnen zijn, tenzij ze worden omgeven door kolossale, min of meer bolvormige halo’s van onzichtbare materie. Op basis daarvan berekenden ze de gemiddelde massadichtheid van het heelal; die zou overeen moeten komen met ongeveer één waterstofatom per kubieke meter – een veel hogere dichtheid dan je zou verwachten op basis van alle zichtbare materie. Maar als de huidige dichtheid van het heelal zo hoog is, moet de dichtheid in de eerste paar minuten na de oerknal óók veel hoger zijn geweest dan altijd is aangenomen. En wanneer al die materie baryonisch was (oftewel ‘gewone’ materie bestaande uit atoomkernen), zouden er bij de kernfusiereacties in het pasgeboren heelal veel minder deuteriumatomen (zwaar waterstof) zijn gevormd. Metingen van de Amerikaanse Copernicus-kunstmaan aan het deuteriumgehalte van sterren toont aan dat het heelal onmogelijk zoveel baryonische materie kan bevatten. Dat betekent dat de overvloedige donkere materie niet uit atoomkernen kan bestaan. Het moet dus om onbekende, niet-baryonische deeltjes gaan.

H3. Roterende sterrenstelsels

Dankzij het pionierswerk van de Amerikaanse sterrenkundigen Vera Rubin en Kent Ford lukte het in de jaren zeventig echter om de zogeheten rotatiekromme van het nabijgelegen Andromedastelsel te bepalen: de grafiek waarin de rotatiesnelheid van sterren en gaswolken wordt uitgezet als functie van de afstand tot het centrum. Op basis van de zichtbare materie in het stelsel zou je verwachten dat die rotatiesnelheden geleidelijk afnemen naarmate je verder van het centrum komt. De metingen van Rubin en Ford lieten echter een vlakke rotatiekromme zien: ook ver van het centrum blijven de rotatiesnelheden hoog. Hun resultaten werden op overtuigende wijze bevestigd en aangevuld door waarnemingen met radiotelescopie, onder andere verricht door de Nederlandse astronoom Albert Bosma met de radiotelescopie in het Drentse Westerbork. De vlakke rotatiekrommen van spiraalvormige sterrenstelsels vormen een onweerlegbaar bewijs voor het bestaan van grote hoeveelheden donkere materie in de buitengebieden van deze stelsels.

H4. De evolutie van het heelal

Begin jaren tachtig kon niemand meer om het bestaan van donkere materie heen en was tevens duidelijk dat dit mysterieuze bestanddeel van het heelal niet uit gewone atoomkernen kon bestaan. Jim Peebles liet bovendien zien dat donkere materie een doorslaggevende rol gespeeld moet hebben in het ontstaan van de grote-schaalstructuur van het heelal. Zonder de extra zwaartekrachtinvloed van donkere materie valt die huidige structuur, met gigantische clusters en superclusters van sterrenstelsels, niet te rijmen met de opmerkelijk gelijkmatige kosmische achtergrondstraling. Die 'echo van de oerknal' laat namelijk zien dat de baryonische materie in het heelal zo'n 380.000 jaar na het ontstaan nog zeer gelijkmatig was verdeeld. Zo ontwikkelde Peebles zijn model van de koude donkere materie (*Cold Dark Matter*, CDM). De term 'koud' betekent dat de mysterieuze deeltjes relatief zwaar moeten zijn en betrekkelijk lage snelheden moeten hebben. CDM is nu een niet meer weg te denken onderdeel van het zogeheten kosmologische concordantiemodel, waarin naast die koude donkere materie ook de raadselachtige donkere energie een grote rol speelt. Geavanceerde computersimulaties kunnen op basis van dat model de evolutie van het heelal nauwkeurig nabootsen, van de minuscule temperatuurvariaties in de kosmische achtergrondstraling tot het ontstaan van de huidige grote-schaalstructuur van het universum.

H5. De jacht op mysterieuze deeltjes

Het idee van koude donkere materie sloot naadloos aan bij een indertijd populaire theorie in de deeltjesfysica. Volgens die theorie van de supersymmetrie zouden er relatief zware elementaire deeltjes moeten bestaan die slechts een zeer zwakke wisselwerking vertonen met 'gewone' materie. Die *Weakly Interacting Massive Particles* (WIMPs) leken de perfecte kandidaat voor de donkere materie te vormen. Sinds de jaren tachtig en negentig wordt op verschillende manieren jacht gemaakt op deze onbekende deeltjes; tot nu toe echter zonder succes. Experimenten bij deeltjeslaboratorium CERN in Genève, sterrenkundige waarnemingen met behulp van telescopen voor gammastraling, en extreem gevoelige ondergrondse xenon-detectors hebben het bestaan van WIMPs nog steeds niet onomstotelijk weten aan te tonen. Onlangs zijn nieuwe, grotere detectors in gebruik genomen, en misschien zullen die wél gevoelig genoeg zijn om WIMPs te detecteren. Maar langzaam maar zeker begint de theorie van de supersymmetrie uit de gratie te raken, en daarmee komt de oplossing van het donkere-materieraadsel bepaald niet dichterbij.

H6. Bestaat donkere materie wel?

Als de donkere materie in het heelal niet uit WIMPs bestaat, gaat het misschien om totaal andersoortige deeltjes, die toch passen binnen het populaire CDM-model. Mogelijke alternatieven zijn zogeheten steriele neutrino's (veel zwaarder dan 'gewone' neutrino's en met nog minder wisselwerking), axionen (hypothetische deeltjes die een verklaring zouden kunnen bieden voor de waargenomen asymmetrie tussen gewone materie en antimaterie), en oer-zwarte gaten – kleine zwarte gaatjes die heel kort na de geboorte van het heelal ontstaan zouden kunnen zijn. Daarnaast denken sommige astronomen – onder aanvoering van de Israëlische natuurkundige Mordehai Milgrom – dat donkere materie helemaal niet bestaat, en dat we in plaats daarvan onze huidige ideeën over de zwaartekracht drastisch moeten herzien. Milgroms MOND-theorie (*Modified Newtonian Dynamics*) kent nog veel haken en ogen, maar biedt bijvoorbeeld wel een sluitende verklaring voor de vlakke rotatiekrommen van sterrenstelsels. Ook in de theorie van de emergente zwaartekracht van de Amsterdamse natuurkundige Erik Verlinde speelt donkere materie geen rol. De toekomst zal moeten uitwijzen in welke richting de oplossing van het grootste raadsel in de astronomie gezocht moet worden.

Aanbevolen literatuur

De olifant in het universum: donkere materie, mysterieuze deeltjes en de samenstelling van ons heelal
Govert Schilling
Fontaine, 2021

Op zoek naar het recept van het universum
Harry Cliff
Nieuw Amsterdam, 2021

Tussen twee oneindigheden
Gianfranco Bertone
Veen Media, 2021

Dark matter and dark energy
Brian Clegg
Icon Books, 2019

The cosmic cocktail: Three parts dark matter
Katherine Freese
Princeton University Press, 2016

Donkere materie en de dinosaurussen
Lisa Randall
Nieuwezijds, 2015

Achter de schermen van het heelal
Gianfranco Bertone
Prometheus, 2014

Heart of darkness
Jerry Ostriker en Simon Mitton
Princeton University Press, 2013

The 4% universe
Richard Panek
Houghton Mifflin Harcourt, 2011

The dark matter problem: A historical perspective
Robert Sanders
Cambridge University Press, 2010

In search of dark matter
Ken Freeman en George McNamara
Springer, 2006

Colofon

Home Academy geeft hoorcolleges uit voor thuis en onderweg. Direct te downloaden of onbepikt te beluisteren in de Home Academy Club. Interessante onderwerpen, van geschiedenis tot natuurwetenschappen, voorgedragen door boeiende sprekers. Zo kan je kennis opdoen in de auto, in de trein, op de fiets of thuis op de bank. Download de Home Academy app voor het beluisteren van onze hoorcolleges op een mobiel of tablet.

Kijk verder op www.home-academy.nl

Uitgave Home Academy Publishers
Middelblok 81
2831 BK Gouderak
Tel: 0182 – 370001
E-mail: info@home-academy.nl

Afbeelding cover: Hubble Space Telescope <https://hubblesite.org>

Opname	Frits de Bruijn (Den Haag, december 2021)
Stem Inleiding	F.C. van Nispen tot Sevenaer
Muziek Intro	Cok Verweij
Mastering	Bob Kommer Studio's
Vormgeving	Floor Plikaar

© Hoorcollege Copyright 2022 Home Academy Publishers B.V.
ISBN 978 90 8530 230 8
NUR 917, 77, 78

Alle rechten voorbehouden. Behoudens de in of krachtens de Auteurswet van 1912 gestelde uitzonderingen, mag niets uit deze uitgave worden veeveelvoudigd, uitgeleend, verhuurd, uitgezonden, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand, of openbaar gemaakt, in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, door (foto)kopieën, opnamen of enig andere manier, zonder voorafgaand schriftelijk toestemming van de uitgever.