

Pulsars kunnen donkere materie doen oplichten

De hamvraag als het gaat om de jacht op donkere materie is: waar bestaat die materie uit? Eén mogelijk antwoord is dat donkere materie zou kunnen bestaan uit deeltjes die natuurkundigen ‘axionen’ noemen. Een team van astrofysici, onder leiding van onderzoekers van de universiteiten van Amsterdam en Princeton, heeft nu laten zien dat donkere materie, als die inderdaad uit axionen bestaat, zich zou kunnen tonen in de vorm van een subtiele extra gloed rond pulserende sterren.



De Krabnevel. De Krabnevel – een overblijfsel van een supernova-explosie met daar middenin een pulsar. De pulsar zorgt ervoor dat de gewone materie in de vorm van gas in de nevel oplicht. De onderzoekers hebben nu laten zien dat de pulsar datzelfde zou doen met donkere materie in de vorm van axionen, met als resultaat een subtiele extra gloed die gemeten moet kunnen worden. Afbeelding: NASA/CXC/ASU/J. Hester et al.

[Donkere materie](#) is waarschijnlijk het meest gezochte bestanddeel van ons heelal. Er wordt aangenomen dat deze mysterieuze vorm van materie, die natuurkundigen en astronomen tot nu toe niet hebben kunnen detecteren, een verrassend groot deel uitmaakt van alles waaruit

het heelal bestaat. Maar liefst 85% van de materie in het heelal zou 'donker' moeten zijn – momenteel alleen meetbaar aan de hand van de zwaartekracht die het uitoefent op andere astronomische objecten. Begrijpelijkerwijs willen wetenschappers meer: ze willen donkere materie echt kunnen *zien*, of op zijn minst de aanwezigheid ervan rechtstreeks kunnen aantonen zonder te hoeven afgaan op indirecte zwaartekrachtseffecten. En natuurlijk willen ze weten *wat* donkere materie is.

Twee problemen, één oplossing

Eén ding is duidelijk: donkere materie kan niet uit precies dezelfde deeltjes bestaan als wij zelf. Als dat wel zo was, zou donkere materie zich ook hetzelfde gedragen als 'gewone' materie: het zou objecten zoals sterren vormen, die zouden oplichten en dus helemaal niet 'donker' zouden zijn. Wetenschappers zijn dus op zoek naar iets echt nieuws – een soort deeltje dat niemand ooit nog heeft kunnen detecteren, en dat waarschijnlijk maar heel zwak wisselwerkt met de soorten deeltjes die we wel kennen. Dat zou verklaren waarom dit bestanddeel van onze wereld tot nu toe zo onvindbaar is gebleken.

Er zijn allerlei aanwijzingen voor waar we moeten zoeken. Een populaire aanname is dat donkere materie wel eens uit *axionen* zou kunnen bestaan. Dat hypothetische deeltje werd in de jaren zeventig voor het eerst ingevoerd om een probleem op te lossen dat helemaal niets met donkere materie te maken had. De scheiding tussen positieve en negatieve lading in het neutron, een van de bouwstenen van gewone atomen, bleek onverwacht klein te zijn. Wetenschappers wilden natuurlijk weten waarom dat zo was. Het bleek dat de aanwezigheid van een tot dan toe ongedetecteerd soort deeltje, dat heel wak zou wisselwerken met de bouwstenen van het neutron, precies zo'n effect kon verklaren. De latere Nobelprijswinnaar Frank Wilczek bedacht alvast een naam voor het nieuwe deeltje: het *axion* – niet alleen naar analogie met namen als proton, neutron, elektron en foton, maar ook geïnspireerd op een wasmiddel met die naam. Het axion moest immers de theorie opschonen.

En hoewel het axion nooit werd gevonden, zou het zelfs twee theorieën kunnen opschonen. Verschillende modellen van elementaire deeltjes – waaronder de snaartheorie, een van de voornaamste kandidaten voor het samenbrengen van alle natuurkrachten die we kennen – leken te voorspellen dat axion-achtige deeltjes wel degelijk kunnen bestaan. Als er inderdaad nauwelijks waarneembare axionen in ons heelal voorkomen, zouden die dan niet ook een

deel van, of zelfs alle, donkere materie kunnen vormen? Misschien wel, maar dat bracht natuurlijk weer de vraag naar boven die voor alle soorten donkere materie geldt: als axionen bestaan, hoe kunnen we ze dan waarnemen? Hoe maak je iets 'donkers' zichtbaar?

Licht op donkere materie geworpen

Gelukkig lijkt het erop dat dit raadsel voor axionen niet onoplosbaar is. Als de theorieën die zulke deeltjes voorspellen het bij het rechte eind hebben, zouden axionen in het heelal namelijk niet alleen in enorme aantallen geproduceerd moeten worden, maar zou een deel van die deeltjes ook omgezet moeten worden in licht als ze door sterke elektromagnetische velden bewegen. En zodra iets licht geeft kunnen we het zien. Zou dit de sleutel kunnen zijn tot het waarnemen van axionen – en dus van donkere materie?

Om die vraag te kunnen beantwoorden, moesten de wetenschappers zich eerst afvragen waar in ons heelal we de sterkste elektrische en magnetische velden tegenkomen. Het antwoord: in de gebieden rondom snel rondtollende neutronensterren, ook wel bekend als *pulsars*. Zulke pulsars – een samentrekking van het Engelse 'pulsating stars' – zijn enorm dichte objecten, in massa grofweg gelijk aan onze zon, maar met een straal die zo'n 100.000 keer kleiner is: maar zo'n 10 km groot. Omdat ze zo klein zijn draaien pulsars enorm snel om hun as, en zenden daarbij langs die draai-as heldere bundels van radiostraling uit. Vergelijkbaar met een vuurtoren kunnen zulke bundels langs de aarde zwiepen, waardoor de pulserende ster duidelijk zichtbaar wordt.

Het enorm snel rondtollen van de pulsar heeft echter nog meer gevolgen. De hele neutronenster verandert erdoor in een extreem sterke elektromagneet. Dat kan er op zijn beurt weer voor zorgen dat de pulsar een efficiënte axionenfabriek wordt. Het aantal axionen dat een gemiddelde pulsar elke seconde zou kunnen produceren, is een getal van maar liefst 50 cijfers. Het sterke elektromagnetische veld rond de pulsar zou vervolgens een deel van die axionen in zichtbaar licht moeten omzetten. Dat alles natuurlijk alleen als axionen ook echt bestáán – maar nu kan het bovenstaande mechanisme gebruikt worden om precies die vraag te beantwoorden. Je hoeft alleen maar naar pulsars te kijken en te zien of ze extra licht uitzenden; als ze dat doen kun je bepalen of dat extra licht afkomstig is van axionen.

Een subtiele gloed simuleren

Zoals vaak in de wetenschap is het daadwerkelijk uitvoeren van zo'n waarneming nog niet zo eenvoudig. Het licht dat axionen rond pulsars uitzenden – detecteerbaar in de vorm van radiogolven – zou maar een heel klein deel uitmaken van al het licht dat die heldere kosmische vuurtorens in onze richting stralen. Je moet dus eerst heel nauwkeurig weten hoe een pulsar *zonder* axionen eruit zou zien en hoe een pulsar *met* axionen eruit zou zien, om het verschil te kunnen waarnemen – al helemaal als je dat verschil zo nauwkeurig wilt meten dat je ook de hoeveelheid donkere materie kunt bepalen.

Dat is precies wat een team van natuurkundigen en astronomen nu heeft gedaan. In een samenwerkingsverband tussen Nederland, Portugal en de Verenigde Staten heeft het team een uitgebreid theoretisch raamwerk opgesteld dat het mogelijk maakt om in detail te begrijpen hoe axionen zouden worden geproduceerd, hoe ze kunnen ontsnappen aan de zwaartekracht van de neutronenster, en hoe ze dan tijdens die ontsnapping worden omgezet in laag-energetische radiostraling.

Die theoretische resultaten werden in de computer gestopt om zo de productie van axionen rond pulsars te modelleren, met behulp van de allernieuwste numerieke plasmasimulaties – oorspronkelijk ontwikkeld om de natuurkunde achter het uitzenden van radiogolven bij pulsars beter te begrijpen. Na het virtueel produceren van de axionen werd hun beweging door de elektromagnetische velden van de neutronenster gesimuleerd. Daarmee konden de onderzoekers de daaropvolgende productie van radiogolven kwantitatief begrijpen en modelleren hoe dit proces tot een extra radiosignaal bovenop dat van de pulsar zelf zou leiden.

Axionmodellen getest

De resultaten van de theorie en de simulaties werden direct aan een eerste observationele test onderworpen. De onderzoekers vergeleken waarnemingen van radiogolven van 27 nabije pulsars met de modellen, om te zien of een meetbaar 'overschot' al aanwijzingen voor het bestaan van axionen kon geven. Helaas was het antwoord 'nee' – of misschien optimistischer: 'nog niet'. Axionen springen niet onmiddellijk uit de waarnemingen naar voren, maar misschien was dat ook niet te verwachten. Als donkere materie haar geheimen zo gemakkelijk zou opgeven, was het waarschijnlijk al lang geleden rechtstreeks

waargenomen.

De hoop op een overtuigende detectie van axionen is daarom gericht op toekomstige waarnemingen. Intussen is het niet waarnemen van radiosignalen van axionen in de huidige test een interessant resultaat op zichzelf. Deze eerste vergelijking tussen de simulaties en echte pulsars legt beperkingen op – de sterkste tot nu toe – aan de wisselwerking die axionen met gewoon licht kunnen hebben.

Natuurlijk is het uiteindelijke doel meer dan alleen het opleggen van beperkingen: de wetenschappers willen ofwel aantonen dat axionen inderdaad in het heelal voorkomen, ofwel laten zien dat het extreem onwaarschijnlijk is dat axionen überhaupt een bouwsteen van donkere materie vormen. De huidige test is nog maar een eerste stap in die richting – een begin van wat zou kunnen uitgroeien tot een multidisciplinaire onderzoeksrichting die de zoektocht naar axionen veel verder kan helpen.

Publicatie

[*Novel Constraints on Axions Produced in Pulsar Polar-Cap Cascades*](#), Dion Noordhuis, Anirudh Prabhu, Samuel J. Witte, Alexander Y. Chen, Fábio Cruz en Christoph Weniger. *Physical Review Letters* **131** (2023) 111004.