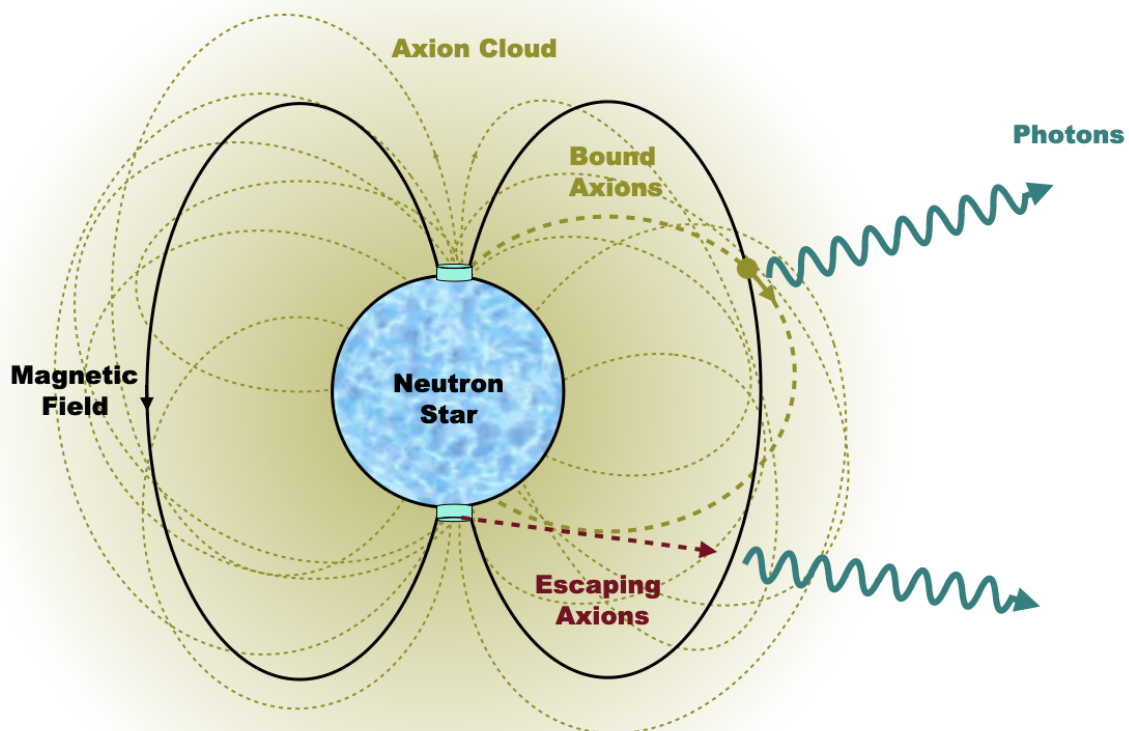


Gehuld in axionen

Een team van natuurkundigen heeft aangetoond dat extreem lichte deeltjes, axionen, in grote wolken rond neutronensterren kunnen voorkomen. Deze axionen kunnen een verklaring vormen voor de ongrijpbare donkere materie waar kosmologen naar op zoek zijn - en bovendien is het misschien niet heel moeilijk om ze waar te nemen.



Een axionenwolk rond een neutronenster. Waar sommige axionen ontsnappen aan de zwaartekracht van de ster, blijven vele andere aan de ster gebonden en vormen ze na verloop van tijd een wolk om de ster heen. De interactie met het sterke magnetische veld van de neutronenster zorgt ervoor dat axionen kunnen worden omgezet in fotonen - licht dat we uiteindelijk met onze telescopen op aarde kunnen detecteren.

Eerder deze week werd het nieuwe onderzoek gepubliceerd in het tijdschrift Physical Review X. Het artikel is een vervolg op [eerder werk](#), waarin de auteurs ook axionen en neutronensterren bestudeerden, maar vanuit een heel ander perspectief. Waar ze in hun vorige werk de axionen onderzochten die aan de neutronenster ontsnappen, richten de onderzoekers hun pijlen nu op de axionen die achterblijven – de axionen die worden ingevangen door de zwaartekracht van de ster. Naarmate de tijd verstrijkt, zouden deze deeltjes geleidelijk een wolk rond de neutronenster moeten vormen, en het blijkt dat zulke axionenwolken wellicht in onze telescopen kunnen worden waargenomen. Maar waarom zouden astronomen en natuurkundigen zo geïnteresseerd zijn in wazige wolken rond verre sterren?

Axionen: van zeep tot donkere materie

Protonen, neutronen, elektronen, fotonen – de meesten van ons kennen de namen van in elk geval enkele van deze kleine deeltjes. Het axion is minder bekend, en met een duidelijke reden: op dit moment is het slechts een hypothetisch type deeltje – een dat nog niemand heeft ontdekt. Vernoemd naar een merk zeep, werd het bestaan ervan voor het eerst gepostuleerd in de jaren 70, om een smet weg te werken – vandaar de verwijzing naar zeep – in ons begrip van een ander deeltje dat we heel goed konden waarnemen: het neutron. Hoewel theoretisch gezien heel mooi, zouden deze axionen, als ze zouden bestaan, echter extreem licht zijn, waardoor ze heel moeilijk te detecteren zouden zijn in experimenten of waarnemingen.

Tegenwoordig staan axionen ook bekend als een van de voornaamste kandidaten voor het verklaren van [donkere materie](#), een van de grootste mysteries in de hedendaagse natuurkunde. Veel verschillende aanwijzingen suggereren dat ongeveer 85% van de materie in ons universum ‘donker’ is, wat simpelweg betekent dat het niet gaat om enig type materie dat we kennen en momenteel kunnen waarnemen. In plaats daarvan wordt het bestaan van donkere materie alleen indirect afgeleid via de zwaartekrachtinvloed die wordt uitgeoefend op zichtbare materie. Gelukkig betekent dit niet automatisch dat donkere materie helemaal geen andere interacties heeft met zichtbare materie, maar als zulke interacties bestaan is hun kracht noodzakelijkerwijs klein. Zoals de naam al doet vermoeden, is elke realistische kandidaat voor donkere materie dus ongelooflijk moeilijk om direct waar te nemen.

De gevolgtrekking lag voor de hand: natuurkundigen beseften dat het axion misschien wel precies is wat ze zoeken om het probleem van donkere materie op te lossen. Een deeltje dat nog niet is waargenomen, dat extreem licht zou zijn en zeer zwakke interacties met andere deeltjes zou hebben... zouden axionen niet op zijn minst een deel van de verklaring voor donkere materie kunnen zijn?

Neutronensterren als vergrootglazen

Het idee van het axion als een donkeremateriedeeltje is mooi, maar in de natuurkunde is een idee pas echt geslaagd als het waarneembare gevolgen heeft. Kon er een manier bestaan om axionen te observeren, vijftig jaar nadat hun mogelijke bestaan voor het eerst werd voorgesteld?

De verwachting is dat axionen, wanneer ze worden blootgesteld aan elektrische en magnetische velden, kunnen worden omgezet in fotonen – lichtdeeltjes – en vice versa. Licht is iets wat we kunnen observeren, maar zoals gezegd: de bijbehorende interactiesterkte zou erg klein moeten zijn, en daarmee ook de hoeveelheid licht die axionen over het algemeen produceren. Althans... tenzij je een omgeving vindt die een werkelijk enorme hoeveelheid axionen bevat, en die idealiter heel sterke elektromagnetische velden heeft.

Dit bracht de onderzoekers ertoe om neutronensterren te bekijken: de sterren in ons heelal met de grootste dichtheid. Deze objecten hebben massa's die vergelijkbaar zijn met die van onze zon, maar samengeperst in sterren van 12 tot 15 kilometer groot. Zulke extreme dichtheden creëren een even extreme omgeving die, opmerkelijk genoeg, ook enorme magnetische velden bevat, miljarden keren sterker dan de velden die we op aarde vinden. Recent onderzoek heeft aangetoond dat deze magnetische velden, als axionen bestaan, ervoor zorgen dat neutronensterren die deeltjes massaal kunnen produceren nabij hun oppervlak.

De achterblijvers

In hun eerdere werk richtten de auteurs zich op de axionen die na productie aan de ster ontsnapten: ze berekenden de hoeveelheden waarin deze axionen zouden worden geproduceerd, welke trajecten ze zouden volgen, en hoe hun omzetting in licht zou kunnen leiden tot een zwak maar potentieel waarneembaar signaal. Ditmaal bestuderen ze de

axionen die er níét in slagen te ontsnappen – degene die, ondanks hun kleine massa, gevangen worden gehouden door de immense zwaartekracht van de neutronenster.

Als gevolg van de zeer zwakke interacties van het axion blijven deze deeltjes rondhangen, en op tijdschalen tot miljoenen jaren verzamelen ze zich rond de neutronenster. Dit kan resulteren in de vorming van zeer dichte wolken van axionen rond neutronensterren – wolken die verstrekkende nieuwe mogelijkheden bieden voor axionenonderzoek. In hun artikel bestuderen de onderzoekers de vorming, de eigenschappen en de verdere evolutie van deze axionenwolken, en wijzen ze erop dat die wolken zouden kunnen bestaan, en in veel gevallen zouden móéten bestaan. De auteurs betogen zelfs dat axionenwolken, als axionen bestaan, *generiek* zouden moeten zijn (voor een breed scala aan axioneigenschappen zouden ze zich rond de meeste, misschien zelfs alle, neutronensterren moeten vormen), ze zouden over het algemeen *zeer dicht* moeten zijn (en een dichtheid vormen die mogelijk twintig ordes van grootte groter is dan de lokale dichtheid van donkere materie), en ze zouden daarom ook moeten leiden tot *krachtige observationele signalen*. Die signalen komen mogelijk in vele soorten voor, waarvan de auteurs er twee bespreken: een continu signaal dat wordt uitgezonden gedurende grote delen van de levensduur van een neutronenster, maar ook een eenmalige lichtflits aan het einde van de levensduur van zo'n ster, wanneer die stopt met het produceren van elektromagnetische straling. Beide signatures kunnen worden waargenomen en gebruikt om voorbij de huidige limieten de interactie tussen axionen en fotonen te onderzoeken, zelfs al met bestaande radiotelescopen.

Hoe nu verder?

Hoewel er tot nu toe geen axionenwolken zijn waargenomen, weten we dankzij de nieuwe resultaten heel precies waarnaar we moeten zoeken, waardoor een grondige zoektocht naar axionen veel haalbaarder wordt. Het eerste punt op de to-do-lijst is daarom 'zoeken naar axionenwolken', maar het werk opent ook verschillende nieuwe theoretische richtingen om te verkennen.

Zo is een van de auteurs al bezig met vervolgwerk dat onderzoekt hoe de axionenwolken de dynamiek van neutronensterren zélf kunnen veranderen. Een andere belangrijke toekomstige onderzoeksrichting is het numeriek modelleren van axionenwolken: het huidige artikel toont een groot ontdekkingspotentieel, maar er is meer numerieke modellering nodig om nog

preciezer te weten wat we moeten zoeken en waar. Tot slot zijn de huidige resultaten allemaal voor enkelvoudige neutronensterren, maar veel van deze sterren komen voor als componenten van dubbelsterren – soms samen met een andere neutronenster, soms samen met een zwart gat. Het begrijpen van de fysica van axionenwolken in dergelijke systemen, en mogelijk ook het begrijpen van hun observationele signalen, zou zeer waardevol zijn.

Het huidige onderzoek vormt daarmee een belangrijke stap in een nieuwe en opwindende onderzoeksrichting. Een volledig begrip van axionenwolken vereist aanvullende inspanningen van meerdere takken van wetenschap, waaronder (astro-)deeltjesfysica, plasmafysica en observationele radioastronomie. Het artikel opent een deur voor dit nieuwe, interdisciplinaire gebied, met veel mogelijkheden voor toekomstig onderzoek.

Publicatie

[*Axion Clouds around Neutron Stars*](#), Dion Noordhuis, Anirudh Prabhu, Christoph Weniger en Samuel J. Witte, *Physical Review X* 14, 041015 (2024).