

De zoektocht naar donkere materie (2)

Hoe zoek je naar iets dat je niet kunt zien? Michiel Rollier zocht uit hoe wetenschappers met het XENON-experiment op zoek zijn naar donkere materie. Vandaag in het slot van dit tweeluik een interview met onderzoeker Patrick Decowski.



Afbeelding 1. Deeltjesfysicus Patrick Decowski.Afbeelding van Decowski's [Nikhef-homepage](#).

Anderhalve week geleden werd in het [eerste deel van dit tweeluik](#) toegelicht waarom de wetenschap behoefte heeft aan de mysterieuze substantie die men donkere materie noemt. Wat de precieze aard van donkere materie is, blijft evenwel een erg diep vraagstuk. Een van de meest ondersteunde ideeën is de zogenaamde WIMP-hypothese: donkere materie zou bestaan uit een grote hoeveelheid microscopische deeltjes die alleen met gewone materie reageren via de zwakke kernkracht en de zwaartekracht. WIMP staat immers voor *weakly interacting massive particle*. 's Werelds voornaamste experiment dat de zoektocht naar deze donkeremateriedeeltjes leidt, heet XENON. De werking van dit experiment werd in het eerste deel toegelicht.

In dit tweede deel laat ik Patrick Decowski aan het woord. Patrick is medewerker bij het

Nationaal Instituut voor Subatomaire Fysica (Nikhef), professor aan de Universiteit van Amsterdam (UvA) en *Principal Investigator* bij XENON. Tevens is hij groepsleider van de Nederlandse delegatie van dit erg internationale experiment - XENON telt ruwweg 150 medewerkers vanuit 27 verschillende delegaties. De uitgelezen persoon, met andere woorden, om te bombarderen met vragen over een van de moeilijkste wetenschappelijke queesten van de afgelopen decennia.

QU - “Het doel van het XENON-experiment is het direct detecteren van WIMP’s, wat nog steeds niet gebeurd is. Verscheidene kosmische waarnemingen zijn een aanleiding tot de donkeremateriehypothese, maar ik begrijp dat er specifiek voor WIMP’s aanwijzingen te vinden zijn in de theorie. Kan je dat wat verder toelichten?”

Patrick - “Zoals je zegt is het doel van XENON inderdaad het detecteren van de meest voor de hand liggende hypothetische verklaring binnen de discussie rond donkere materie: WIMP’s. Deze hypothese komt voort uit uitbreidingen van het standaardmodel [het model in de deeltjesfysica dat de interacties aan de hand van de zwakke, sterke en elektromagnetische kracht op erg accurate wijze beschrijft, red.]. Dit standaardmodel werkt heel goed, maar helaas blijkt het bijna té goed te werken. Volgens de experimentele resultaten van de Large Hadron Collider [LHC, de grote deeltjesversneller van het CERN] komt alles netjes overeen met de voorspellingen van het standaardmodel. Tegelijkertijd weten we dat dit model een uitbreiding nodig heeft, als je waarnemingen van de kosmos bestudeert. Op heel hoge energieniveaus, nog hoger dan die LHC nu kan bereiken, is het standaardmodel niet meer consistent.”

STANDARD MODEL OF ELEMENTARY PARTICLES



Afbeelding 2. De deeltjes uit het standaardmodel. Afbeelding van [Dreamstime](#).

“Een bekende kandidaat voor uitbreiding van het model is [supersymmetrie](#), maar er zijn er nog vele andere. Uit zo’n uitbreiding van het model volgt dat er nieuwe deeltjes in de natuur aanwezig moeten zijn, deeltjes die heel moeilijk te detecteren zijn, bijvoorbeeld vanwege hun uiterst korte levensduur. In de vroege kosmos, en wellicht nu nog, zijn ze wel aanwezig, maar deze deeltjes zijn bovendien erg weinig reactief. Het zijn die moeilijk waarneembare deeltjes die belangrijke WIMP-kandidaten zijn.”

“Wanneer je het standaardmodel uitbreidt via supersymmetrische modellen, is de logische WIMP-kandidaat bijvoorbeeld het *neutralino*, waarvan de aannemelijke massa in de theorie varieert van 1 keer tot 10 000 keer de massa van een proton. Andere uitbreidingen van het standaardmodel leiden dan weer tot deeltjes die zelfs niet via de zwakke kernkracht waarneembaar zouden zijn, zoals bijvoorbeeld steriele neutrino’s. Indien dergelijke deeltjes de essentie van donkere materie zouden uitmaken, kan XENON ze zeker nooit detecteren.”

QU - “Precies omdat de detectiemethode van XENON steunt op de zwakke interactie, toch?”

Patrick – “Juist, dat is een aanname in ons experiment. Niet zo’n gekke aanname, trouwens. We kennen immers al deeltjes die alleen met de zwakke kernkracht en de zwaartekracht reageren, namelijk neutrino’s. Als de aard van donkeremateriedeeltjes echter toch zo blijkt te zijn dat ze alleen zwaartekracht ondervinden, wordt het wel erg moeilijk ze op subatomaire schaal te detecteren. De zwaartekracht is immers meer dan dertig grootteordes (een factor 10^{30}) zwakker dan de zwakke kernkracht. Dan zou de hoop misschien nog zijn om donkere materie te detecteren via zwaartekrachtgolven, of om terug te gaan naar de hypothese van [primordiale zwarte gaten](#).”

QU - “Stel dat donkere materie toch uit WIMP’s bestaat, dan nog is een van de grootste opgaves het onderscheiden van het signaal van donkere materie, ten opzichte van de enorme achtergrondruis die ook gedetecteerd wordt door het experiment. Hoe ga je daarbij te werk?”

Patrick – “Dat is een heel grote opgave. In 3,5 ton xenon verwachten we minder dan tien gebeurtenissen per jaar; dat is de gevoeligheid van het experiment. Tegelijkertijd meten we echter ook de effecten van radioactieve vervallen, die overal en veel vaker voorkomen. Het grootste deel van onze bezigheid is het inperken van natuurlijke radioactiviteit van bijvoorbeeld thorium en uranium. Dat gebeurt door heel pure materialen te gebruiken, de *clean rooms* heel voorzichtig te behandelen, en het experiment diep onder de grond te construeren. Daarnaast kunnen we ook simuleren wat het effect is van verscheidene radioactieve bronnen door ze in de buurt van het xenonvat te brengen. Zo worden bronnen van gammastraling en vrije neutronen naast het vat geplaatst, om te kijken hoe deze reageren met respectievelijk de xenonelektronen en de xenonkernen. Op die manier krijgen we een goed idee van wat het effect is van zo’n bron, waarna we ze weghalen en enkel WIMP’s trachten meten.”



Afbeelding 3. De bouw van Xenon1T. Om ruis te voorkomen wordt de detector in een *clean room* in elkaar gezet. Afbeelding: [XENON1T](#).

QU - “Wat achtergrondruis betreft, is er ook sprake van een soort absolute limiet, die de neutrino limiet genoemd wordt. Kan je daar meer uitleg over geven?”

Patrick – “Een erg interessante limiet is dat; bovendien eentje die pas in de zomer van 2017 voor het eerste gemeten werd. Er bestaat zoiets als een coherente botsing tussen een neutrino en de gehele atoomkern (de zogenaamde CNNS). Als een neutrino een heel lage energie heeft, zal die niet alleen met individuele protonen of neutronen reageren, maar met de gehele atoomkern. Dit geeft dan ook een duwtje aan de kern, net zoals we dat van een donkeremateriedeeltje zouden verwachten. Dit gebeurt maar heel zelden, maar op een gegeven ogenblik is dat de achtergrond die onmogelijk te onderscheiden is van het WIMP-effect. De enige manier om hier dan nog onderuit te komen, is een slimme manier te verzinnen om de richting te weten te komen waarheen de xenonkernen gekaatst worden. We verwachten immers dat, gemiddeld gezien, WIMP’s vanuit een andere richting komen dan neutrino’s. Als we echter niet in staat blijken te zijn de richting te bepalen, is de

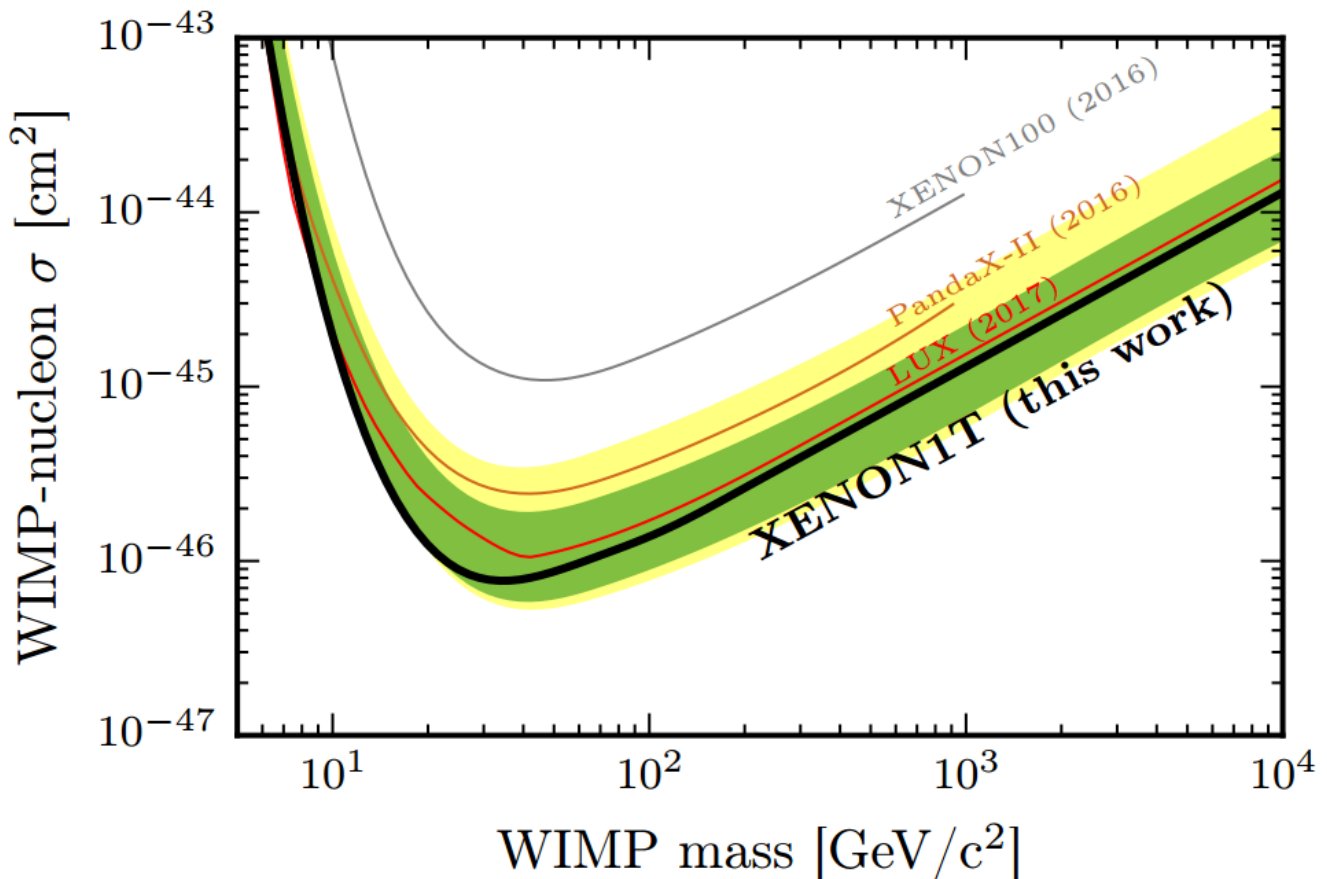
neutrinolimiet de absolute limiet van dit type experiment.”

QU - “Interessant! Dit klinkt al als toekomstmuziek. De laatste versie van het experiment dat in werking trad, was het zogenaamde XENON1T, waarbij 3,5 ton xenon gebruikt werd in het vat. Ongetwijfeld is hieromheen ook een toekomstvisie opgesteld: zijn er plannen in de maak om de gevoeligheid van het experiment nog te vergroten?”

Patrick - “Klopt, we zijn bezig een groter experiment te maken. Het zijn trouwens al meer dan abstracte plannen: het zal de naam XENONnT dragen. De ‘n’ daarin stond oorspronkelijk voor een nog onbekende massa xenon, maar we weten nu dat het ongeveer 8 ton zal zijn. Het huidige experiment kan daarvoor grotendeels hergebruikt worden, en we hopen het binnen anderhalf jaar in werking te stellen. De gevoeligheid van het experiment gaat volgens de wortel van wat we de ‘blootstelling’ noemen, gedefinieerd als de massa maal de tijd dat het experiment loopt.”

QU - “Dus van 3,5 naar 8 ton gaan, betekent slechts een verbetering in gevoeligheid van ongeveer vijftig procent?”

Patrick - “Wel, wat we daarnaast doen, is ook de achtergrondruis met een factor tien verbeteren. We hopen dan na vijf jaar data verzameld te hebben, ook een verbetering in gevoeligheid van ongeveer een factor tien te verkrijgen. XENON is gevoelig voor twee dingen: de werkzame doorsnede σ (de wisselwerking tussen WIMP’s en gewone materie) en de terugslag van de xenonkern, waaruit we de massa van het WIMP kunnen halen. Uit die metingen komt een plot voort die de limietwaarden voor beide grootheden toont. Ten slotte bestaat nog het idee naar een *nog* groter experiment te gaan, waarbij we 50 ton xenon willen gebruiken - dan zouden we echt tegen de eerder vermelde neutrinolimiet aanzitten.”



Afbeelding 4. De gevoeligheid van XENON1T. De werkzame doorsnede (verticale as) als functie van de massa van de WIMP's. Afbeelding: Purdue University.

QU - "Een wat meer persoonlijke vraag: is het niet frustrerend niets te vinden? En begrijp me niet verkeerd, want ik vind het een erg belangrijk onderwerp, maar maakt dat het niet lastig om aan budget te komen voor dit experiment?"

Patrick - "Ik denk dat donkere materie op dit moment een van de grootste vraagstukken in de natuurkunde vormt, maar wat je zegt is zeker waar. Het verlagen van een limiet, in plaats van het vinden van een deeltje, is niet mijn uiteindelijke ambitie. Bovendien spreekt het inderdaad het grote publiek meer aan wanneer je iets vindt, wat zich vaak vertaalt in een groter wetenschappelijk budget. Aan de andere kant kan je ook de parallel trekken met het [Michelson-Morleyexperiment](#), waarvan de gehele wetenschappelijke gemeenschap dacht dat het de ether [het hypothetisch medium waardoor licht zich zou bewegen, red.] ging ontdekken. In plaats van eigenschappen van de ether aan het licht te brengen, ontdekten de heren totaal geen verschil in de snelheid van het licht. Dit 'nulresultaat', zoals XENON het ook produceert tot dusver, heeft echter de gehele relativiteitstheorie in gang gezet."

QU - “Allerminst een zinloos experiment te noemen, dus, ondanks de afwezigheid van data. Ten slotte nog dit: wat denk jij over de theorie van Erik Verlinde, die donkere materie op een totaal andere manier benadert dan jij dat doet? Hij heeft het immers niet zo met de WIMP-verklaring.”

Patrick - “Hij heeft een heel eigen theorie en een sterke mening, maar ik denk dat hij in de loop van de tijd wel wat milder geworden is. Erik heeft in Nederland heel wat media-aandacht gekregen, maar als wij niets vinden, betekent dat niet automatisch dat zijn theorie klopt. Het is belangrijk dat aan het grote publiek duidelijk te maken. Bovendien is zijn werk internationaal op kritiek gestuit, onder meer [vanuit de bedenkers van een andere gemodificeerde zwaartekrachttheorie, MoND](#). We hebben voor donkere materie aanwijzingen op een hele boel lengteschalen, waarvan Eriks theorie er op dit moment slechts een kan verklaren. Bijvoorbeeld over donkere materie in de vroege kosmos kan zijn benadering ons nog vrijwel niets bijbrengen.”

“Dat gezegd zijnde is het als wetenschapper wel essentieel een open instelling te houden en ook kritisch te blijven tegenover je eigen werk. Ik wil absoluut verder durven kijken dan het domein waarin XENON zich bevindt. Op dit moment zijn er evenwel echt goede aanwijzingen voor het WIMP-model, zowel op macroscopische schaal (waarnemingen in de kosmos) als op microscopische schaal (het incomplete standaardmodel). Ik vind het daarom niet zo’n gekke aanname. Het zou best wel eens kunnen zijn dat de natuur zo in elkaar zit, en ik wil dan ook blijven zoeken.”

QU - “Dan bedank ik je voor je tijd, en wens ik je nog veel succes met de voorbereidingen voor XENONnT!”