

Cover Page



Universiteit Leiden



The handle <http://hdl.handle.net/1887/32966> holds various files of this Leiden University dissertation.

**Author:** Visser, Erwin Lourens

**Title:** Neutrinos from the Milky Way

**Issue Date:** 2015-05-12

## SAMENVATTING

---

Als je omhoog kijkt naar de nachtelijke hemel, en je bevindt je ver genoeg van de lichtvervuiling van steden, dan kun je een flauwe “melkachtige” band van licht zien: de Melkweg. De zichtbaarheid is het beste vanaf het zuidelijk halfrond, omdat het centrale deel van de Melkweg daar hoger boven de horizon zichtbaar is. De melkachtige band komt overeen met het vlak van onze Melkweg en is relatief helder omdat er zich het grootste deel van de sterren bevindt.

Sinds de oudheid is het heelal onderzocht met behulp van licht in het golflengtegebied dat zichtbaar is voor het menselijk oog. Tegenwoordig worden er ook waarnemingen verricht met behulp van licht van andere golflengtes, variërend van laag-energetische radiogolven tot hoog-energetische  $\gamma$ -stralen. Ook bij deze golflengtes is de Melkweg duidelijk zichtbaar. In waarnemingen met hoog-energetische  $\gamma$ -stralen of met infrarood licht is de Melkweg zelfs nog duidelijker te onderscheiden, omdat het stof in ons sterrenstelsel deze fotonen minder absorbeert dan de fotonen in het golflengtegebied van zichtbaar licht.

Met de ontdekking van kosmische stralen door Victor Hess in 1912 ontstond een nieuwe manier om het heelal waar te nemen: de astrodeeltjesfysica. Kosmische stralen zijn volledig geïoniseerde atoomkernen (van onder andere waterstof en ijzer) die vanuit alle richtingen de atmosfeer van de aarde bestoken. De oorsprong van kosmische stralen is nog onduidelijk. Aangezien kosmische stralen geladen zijn, worden ze in de (extra-)galactische magneetvelden afgebogen. Op het moment dat ze op de aarde aankomen wijzen ze dan niet meer terug naar hun bron. Eén van de belangrijkste kandidaten voor de bronnen van galactische kosmische stralen zijn supernovaresten, die overblijven nadat een zware ster via een supernova aan zijn einde is gekomen. Het identificeren van de bronnen van kosmische stralen is één van de belangrijkste doelen in de astrodeeltjesfysica.

Tijdens hun reis door de Melkweg gaan de kosmische stralen interactie aan met de interstellaire materie. In deze interacties worden instabiele deeltjes gecreëerd die vervallen naar andere stabiele deeltjes zoals fotonen (i. e.  $\gamma$ -stralen), elektronen en neutrino's. Deze neutrino's zijn het onderwerp van dit proefschrift. Ondanks dat deze flux van neutrino's gegarandeerd is, is hij nog niet waargenomen. Het enige resultaat dat tot nu is gepubliceerd,

is een bovengrens voor de flux van neutrino's geplaatst door de AMANDA-II collaboratie, welke een neutrinotelescoop op de Zuidpool bediende.

Neutrino's kunnen worden gedetecteerd door te kijken naar de deeltjes die vrijkomen bij een interactie van een neutrino met materie in de nabijheid van de detector. De lijst van interactieproducten omvat in het algemeen verschillende geladen deeltjes. Wanneer de snelheid van een geladen deeltje groter is dan die van het licht in een medium, ontstaat een soort elektromagnetische schokgolf, welke wordt aangeduid als Čerenkov licht (het effect is vergelijkbaar met de akoestische schokgolf die ontstaat wanneer een vliegtuig sneller gaat dan de geluidssnelheid). Neutrinotelescopen zijn daarom gebouwd in transparante media zoals water of ijs. Het Čerenkov licht kan dan worden waargenomen met behulp van een matrix van lichtsensoren. Omdat neutrino's slechts zwak reageren met materie, is een groot geïnstrumenteerd volume van water of ijs vereist. Een groot voordeel van neutrino's is dat ze geen lading hebben, zodat ze niet worden afgebogen in de (extra-)galactische magneetvelden. Wanneer kosmische stralen een interactie ondergaan in de nabijheid van hun bron en dus neutrino's produceren, zal de richting van het neutrino terugwijzen naar de bron van de kosmische stralen.

Er bestaan drie generaties (of smaken) neutrino's: het elektron-neutrino, het muon-neutrino en het tau-neutrino. Het deeltje dat wordt geproduceerd in de interactie van een neutrino is afhankelijk van de smaak van het neutrino. Omdat neutrino's tussen de generaties kunnen oscilleren (een verschijnsel waarbij een neutrino spontaan overgaat van de ene generatie naar de andere), zullen neutrino's van alle drie de smaken op aarde aankomen. Traditioneel richt de neutrino-astronomie zich op het muon-neutrino, omdat een interactie hiervan een muon (een zwaardere versie van het elektron) produceert. Het voordeel van het detecteren van een muon is dat deze een grote afstand kan afleggen in een medium voordat het stopt. Dit verschaft een lange hefboomarm, zodat de richting van het neutrino met goede nauwkeurigheid kan worden bepaald.

De belangrijkste achtergrond voor neutrinotelescopen bestaat uit muonen die worden gecreëerd in de interactie van kosmische stralen met moleculen in de atmosfeer van de aarde. Om deze achtergrond te verminderen, worden neutrinotelescopen onder een dikke laag van water of ijs gebouwd, wat zorgt voor een natuurlijke afscherming. Omdat neutrino's zo zwak met materie reageren, zijn neutrino's de enige deeltjes die door de hele aarde kunnen reizen. Het gezichtsveld van een neutrinotelescoop is dus

over het algemeen naar beneden gericht, in plaats van naar boven zoals bij een (foton)telescoop. Hierdoor kan de achtergrond van atmosferische muonen effectief gereduceerd worden tot een aanvaardbaar niveau. Neutrino's, die ook worden geproduceerd in de interactie van kosmische stralen in de atmosfeer van de aarde, vormen een *a priori* niet te verminderen achtergrond, omdat zij niet op dezelfde manier kunnen worden verworpen.

Zoals het geval is voor  $\gamma$ -stralen, zal de Melkweg naar verwachting ook duidelijk te onderscheiden zijn door het waarnemen van neutrino's. Omdat neutrinotelescopen vooral naar beneden kijken (door de aarde heen), zal een detector op het noordelijk halfrond het meest geschikt zijn om het signaal te observeren (in tegenstelling tot wanneer licht gebruikt zou worden). De ANTA-RES neutrinotelescoop, gelegen op ongeveer 40 km uit de kust van Toulon, Frankrijk ligt op een uitstekende locatie. De ANTA-RES detector bevindt zich op een diepte van 2475 m en bestaat uit in totaal 885 lichtsensoren, verdeeld over 12 verticale lijnen. Alle signalen die door de lichtsensoren worden waargenomen worden verstuurd naar land, alwaar de interessante signalen worden geselecteerd in een proces dat *triggering* wordt genoemd. De geselecteerde signalen worden offline verwerkt om de richting en de energie van het neutrino dat de interactie heeft veroorzaakt vast te stellen. Er bestaan diverse algoritmes voor de bepaling van de richting van het neutrino. Voor dit werk is een nieuw algoritme (GRIDFIT) ontwikkeld. Vergeleken met bestaande algoritmes biedt het een 20% hogere efficiëntie voor laag-energetische neutrino's.

Om het gewenste neutrinosignaal van de achtergrond van atmosferische neutrino's te onderscheiden, kunnen twee aspecten worden gebruikt. Ten eerste wordt het sterkste signaal verwacht in het binnenste gebied van het galactische vlak, omdat de materiedichtheid daar het hoogst is. Met behulp van een simulatie van de detectorreactie voor neutrino's, is gebleken dat het optimale gebied zich  $39^\circ$  in galactische lengtegraad en  $4.5^\circ$  in galactische breedtegraad uitstrekt aan weerszijden van het galactisch centrum. Als tweede onderscheidende aspect kan de energie van de neutrino's beschouwd worden. De typische energie van het neutrinosignaal zal naar verwachting hoger zijn dan dat van de achtergrond van atmosferische neutrino's. Dit verschil komt door de lagere materiedichtheid in de Melkweg vergeleken met die in de atmosfeer. De instabiele deeltjes die in de atmosfeer van de aarde worden geproduceerd kunnen met de atomen in de atmosfeer botsen voordat ze vervallen, terwijl de deeltjes die in de Melkweg geproduceerd worden allemaal zullen vervallen zonder

te botsen. Aangezien de effectieve levensduur van de instabiele deeltjes toeneemt met de energie vanwege relativistische effecten, zal het energiespectrum van de achtergrond steiler zijn dan dat van het signaal.

Door het gemeten aantal neutrino's te vergelijken met wat er verwacht wordt van alleen de achtergrond, kan bepaald worden of er een signaal aanwezig is. Meestal wordt de verwachting van de achtergrond verkregen met behulp van een model. Om te voorkomen dat het achtergrondmodel de werkelijkheid vertekend weergeeft, wordt in plaats hiervan een meting van de achtergrond uitgevoerd. Hiervoor zijn acht extra gebieden gedefinieerd, waarin geen signaal wordt verwacht. Deze gebieden zijn zo gekozen dat ze dezelfde grootte hebben als het signaalgebied, en dat de dekkingsgraad door de detector ook hetzelfde is. Met behulp van de meetgegevens van ANTARES vanaf het begin van 2007 tot het einde van 2012, is een gemiddelde achtergrond van 166 gebeurtenissen gevonden, terwijl er 177 gebeurtenissen zijn gemeten in het signaalgebied. De statistische significantie van dit overschot is  $0.8\sigma$ , wat compatibel is met een fluctuatie van de achtergrond (de ontdekking van een nieuw signaal kan pas geclaimd worden als een overschot van  $5\sigma$  of meer is waargenomen).

Aangezien er geen significant overschot van neutrino's is waargenomen, kunnen bovengrenzen voor de flux van neutrino's worden geplaatst. De verkregen bovengrenzen kunnen worden gevonden in tabel 5.14. Ze zijn slechter dan die verkregen door de AMANDA-II detector. De hier geplaatste bovengrenzen zijn echter voor het binnengebied van de Melkweg en zijn dus het meest strikt.

De huidige bovengrenzen voor de flux zijn meer dan een factor tien boven de verwachte flux. Daarom is een krachtigere neutrino telescoop nodig om het signaal te kunnen waarnemen. De geplande opvolger van ANTARES, de KM3NeT detector, is hier bij uitstek geschikt voor. De detector zal zich ook in de Middellandse Zee bevinden, maar zal ongeveer een factor 100 groter zijn dan de ANTARES detector. Met meetgegevens verkregen binnen een jaar van gebruik van de KM3NeT detector, zijn de verwachte bovengrenzen die voor de flux verkregen kunnen worden bijna een factor zeven beter dan die verkregen met ANTARES. Door het gebruik van alle drie de neutrinosmaken en met meetgegevens van ongeveer drie jaar van gebruik van de KM3NeT detector, kan men de verschillende modellen voor de flux van neutrino's beperken en misschien zelfs een eerste bewijs verkrijgen voor het verwachte signaal.