



UvA-DARE (Digital Academic Repository)

The Antares neutrino telescope : performance studies and analysis of first data

Bruijn, R.

Publication date
2008

[Link to publication](#)

Citation for published version (APA):

Bruijn, R. (2008). *The Antares neutrino telescope : performance studies and analysis of first data*.

General rights

It is not permitted to download or to forward/distribute the text or part of it without the consent of the author(s) and/or copyright holder(s), other than for strictly personal, individual use, unless the work is under an open content license (like Creative Commons).

Disclaimer/Complaints regulations

If you believe that digital publication of certain material infringes any of your rights or (privacy) interests, please let the Library know, stating your reasons. In case of a legitimate complaint, the Library will make the material inaccessible and/or remove it from the website. Please Ask the Library: <https://uba.uva.nl/en/contact>, or a letter to: Library of the University of Amsterdam, Secretariat, Singel 425, 1012 WP Amsterdam, The Netherlands. You will be contacted as soon as possible.

Samenvatting

Sterren kijken is niet iets nieuws. Sterren, oftewel de grote verscheidenheid aan processen en objecten in het heelal, worden sinds mensenheugenis bestudeerd aan de hand van het licht dat ze uitzenden. Echter, de verschillende kosmische processen zenden waarschijnlijk meer uit dan alleen fotonen (zichtbaar licht of andere golflengtes van electro-magnetische straling). De belangrijkste aanwijzing hiervoor is de waarneming van zogenaamde kosmische stralen. In het begin van de 20^e eeuw werd ontdekt dat de aarde bestookt wordt met geladen deeltjes van buitenaf. De kosmische stralen blijken ongelooflijk hoge energieën te kunnen hebben, tot wel 10^{20} eV. Er zijn veel vragen omtrent de kosmische stralen. De exacte samenstelling is onbekend, en bovenal hun oorsprong. Doordat de kosmische stralen elektrisch geladen zijn, worden ze afgebogen door (extra-)galactische magnetische velden. Hierdoor reizen ze niet langs een rechte lijn naar ons toe en gaat de informatie over hun oorsprong verloren, behalve bij de allerhoogste energieën. Fotonen behouden wel hun richting. Echter zij gaan reacties aan met de in het heelal aanwezige microgolf, radio en infra-rood achtergrond. Hierdoor zijn ze van beperkte waarde in het achterhalen van de oorsprong van hoog energetische kosmische stralen. Interacties van hoog energetische protonen kunnen leiden tot de productie van neutrinos, zo ook op de plaatsen waar kosmische stralen hun energie krijgen. Neutrinos zijn neutrale deeltjes welke alleen wisselwerken via de zwakke kernkracht met een zeer kleine werkzame doorsnede. Door deze eigenschappen worden neutrinos noch afgebogen door magnetische velden, noch makkelijk geabsorbeerd door de materie in het heelal. Kortom, neutrinos zijn goede sondes om astrofysische processen te bestuderen.

De Antares collaboratie bouwt een telescoop voor de waarneming van neutrinos. Om deze neutrinos te detecteren moeten ze een reactie aangaan. Wanneer een neutrino een interactie aangaat, kunnen er deeltjes geproduceerd worden die licht uitzenden in een transparant medium. Hiervoor is zeewater bij uitstek geschikt, omdat het mogelijk is een groot volume van dit doorzichtige medium met licht-gevoelige detectie apparatuur uit te rusten. Een groot volume is nodig omdat neutrinos een lage kans hebben om een reactie aan te gaan. De Antares telescoop richt zich in het bijzonder op neutrinos van het muon type. Wanneer een muon-neutrino wisselwerkt met materie, kan er een muon ontstaan. Bij hoge energieën, kan het muon lange afstanden door rots of zeewater afleggen. Het

Samenvatting

muon, een geladen deeltje, zal licht uitzenden wanneer het zich sneller voortbeweegt dan de lichtsnelheid in het medium. Dit zogeheten *Cherenkov* licht kan zich ver voortplanten in het water voordat het geabsorbeerd wordt. De Antares telescoop maakt van deze eigenschappen gebruik en bestaat uit een rooster van licht-gevoelige fotomultiplicatoren in het zeewater om dit licht te detecteren. De volledige detector zal bestaan uit 12 verticale lijnen waarvan ongeveer 350 meter is uitgerust met fotomultiplicatoren. Op elke lijn bevindt zich om de 14.5 meter een verdieping met 3 fotomultiplicatoren, elk gehuisd in een drukkbestendige glazen bol. Een complete lijn heeft 25 van deze verdiepingen. De twaalf lijnen zijn in totaal dus behangen met 900 fotomultiplicatoren. De detector bevindt zich op ongeveer 2.5 kilometer diepte in de Middellandse Zee, 40 km uit de kust van Toulon, Frankrijk. Het grondoppervlak van de detector beslaat ongeveer 180 bij 180 meter.

Het licht van een muon dat is geregistreerd door de fotomultiplicatoren verschaft informatie waaruit de richting van het muon kan worden bepaald. De richting van een muon is sterk gecorreleerd met dat van het oorspronkelijke neutrino. Dus wanneer de richting van het muon bepaald is, is de richting van het neutrino ook bekend. Dit is het principe van de neutrino telescoop. Eén van de onderwerpen beschreven in dit proefschrift is een methode om de richting van muonen, die door de detector passeren, te bepalen uit het gemeten licht. Dit proces wordt *muon spoor reconstructie* genoemd.

Helaas zijn muonen uit interacties van kosmische neutrinos is niet de enige bron van licht in de diepzee. Een fractie van de muonen die gecreëerd worden in de interacties van kosmische stralen met atomen in de atmosfeer bereikt de detector. Deze *atmosferische* muonen vormen een belangrijke achtergrond voor de waarneming van muonen geproduceerd door interacties van *kosmische* neutrinos. Aangezien muonen niet door de aarde kunnen komen, worden atmosferische muonen alleen van boven verwacht. Zodoende kunnen ze onderscheiden worden van neutrinos. Hiervoor is het wel nodig dat ze wel herkend worden als neergaand. Door verscheidene versturende invloeden is het namelijk ook mogelijk dat een neergaand muon ten onrechte voor opgaand wordt aangezien. In de interacties van kosmische stralen in de atmosfeer worden ook neutrinos gemaakt. Gebeurtenissen veroorzaakt door deze *atmosferische* neutrinos kunnen niet van gebeurtenissen door kosmische neutrinos onderscheiden worden en vormen een achtergrond bij het zoeken naar kosmische neutrinos. Daarnaast zorgt de (natuurlijke) aanwezigheid van radioactief kalium en biologische activiteit in het zeewater voor een andere achtergrond. Zowel het verval van het kalium als de biologische activiteit zorgen ervoor dat er continu licht door de fotomultiplicatoren wordt gedetecteerd dat gescheiden moet worden van het licht van muonen. Daarvoor wordt een filter gebruikt dat volledig in software is geïmplementeerd. Verder kan dit licht het signaal van muonen vervuilen. Hier moet tijdens de muon spoor reconstructie rekening mee worden gehouden.

Het reconstrueren van een muon spoor wordt niet alleen bemoeilijkt door het

achtergrond licht. Naast het continu uitgezonden Cherenkov licht worden er ook nog via andere processen fotonen uitgezonden. Een hoog-energetisch muon (> 1 TeV) verliest een deel van zijn energie door stochastische processen. Dit manifesteert zich onder andere door electro-magnetische cascades. Deze cascades lijken op puntbronnen van licht langs het spoor. Door de stochastische aard van de cascades is het moeilijk deze in rekening te nemen. Het reconstrueren van muon sporen kan op verschillende manieren worden aangepakt. Een methode is om de voortbeweging van muonen zo volledig mogelijk te modelleren. Hierbij worden cascades en bijvoorbeeld de eigenschappen van de detector en het medium in rekening gebracht. Een nadeel hiervan is de afhankelijkheid van de nauwkeurigheid van het model. Een andere methode is om het muon te benaderen door een deeltje waarvan alleen direct Cherenkov licht wordt gemeten. In dit geval is het noodzakelijk dat er een selectie plaatsvindt van de geregistreerde fotonen die waarschijnlijk direct van het muon afkomstig zijn. Deze methode is minimaal afhankelijk van de parameters die de detector respons beschrijven. Zodoende is deze methode in het bijzonder geschikt voor de beginperiode van de telescoop. De spoor reconstructie methode beschreven in dit proefschrift combineert de twee verschillende manieren van aanpak.

Op 2 maart 2006 werd de eerste lijn van de Antares detector aangesloten. Dit luidde het begin in van neutrino astronomie met de Antares telescoop. Het muon spoor reconstructie algoritme zoals beschreven in dit proefschrift, werd gebruikt om de eerste muon sporen te reconstrueren. Inmiddels zijn er al 10 lijnen geïnstalleerd. Eén van de onderwerpen in dit proefschrift is een uitgebreide analyse van de data vergaard in de periode dat de eerste lijn alleen opereerde. Uit deze periode werd een totaal van 9.3 dagen aan gegevens geselecteerd, waarin 75621 gebeurtenissen waren gevonden. Muon spoor reconstructie en analyse met een enkele lijn heeft zijn eigen beperkingen. Door de rotatie-symmetrie rond de lijn is het niet mogelijk om de azimuth hoek te bepalen. Ook kan er een ambiguïteit optreden wanneer slechts een deel van het Cherenkov licht van een muon wordt gezien. Dit leidt tot zogenaamde 'spook' oplossingen, die twee keer de Cherenkov hoek (de hoek waaronder het Cherenkov licht wordt uitgezonden) van de juiste oplossing verschillen. Een analyse met een enkele lijn is in het bijzonder gevoelig voor de versturende werking van electro-magnetische cascades die langs een muon spoor kunnen optreden. Deze cascades kunnen gezien worden als puntbronnen van licht en lijken daarmee op muonen die zich horizontaal langs de lijn voortbewegen. Een aantal resultaten worden gepresenteerd. De simulatie blijkt de aankomsttijden van fotonen goed te beschrijven. De telsnelheid van muonen als functie van de gereconstrueerde zenith hoek is bepaald. Deze verdeling komt binnen de onzekerheden over een met de verdeling zoals verwacht van simulatie. De voornaamste onzekerheid komt van relatieve acceptantie van de fotomultiplicatoren als functie van de hoek van inval van de fotonen. Na bepaling van de acceptantie van de detector, kan de afhankelijkheid van de muon intensiteit van de diepte in water bepaald worden.

Samenvatting

Deze komt overeen met gepubliceerde resultaten van andere experimenten. De nauwkeurigheid waarmee de richting van muon bepaald kan worden is bestudeerd met gebruik van die gegevens, welke voornamelijk toe te schrijven zijn aan atmosferische muonen. De bepaling is gedaan door de lijn op te delen in sub-detectors. Het blijkt dat de nauwkeurigheid waarmee de zenith hoek kan worden bepaald beter kan zijn dan 0.5° voor een enkele lijn. Om neutrinos te vinden worden alleen gebeurtenissen gebruikt waarvan is bepaald dat het muon opwaarts beweegt. De voornaamste achtergrond komt van atmosferische muonen die foutief worden gereconstrueerd als omhoog gaand. Door onder andere een eis te stellen op het minimale aantal verdiepingen van de lijn waarop fotonen zijn geregistreerd, kan deze achtergrond onderdrukt worden. De zoektocht resulteert in één neutrino, wat overeenkomt met de voorspelling door middel van simulatie.

Het laatste onderwerp van dit proefschrift betreft een studie van de prestaties van de Antares telescoop wanneer deze compleet is. Bij deze studie is gebruik gemaakt van de in dit proefschrift beschreven muon spoor reconstructie. Deze studie is gedaan aan de hand van simulaties. Een aspect van de studie is het onderdrukken van de achtergronden van voornamelijk verkeerd gereconstrueerde atmosferische muonen. Om deze achtergrond te onderdrukken wordt gebruik gemaakt van snedes op verschillende parameters, die zijn gebaseerd op de geschatte lengte van het muon spoor en de waarschijnlijkheids waarde die door de spoor reconstructie methode berekend wordt. De waarden van de snedes hangen af van de telsnelheid veroorzaakt door achtergrond. De achtergrond van verkeerd gereconstrueerde atmosferische muonen kan gereduceerd worden tot ongeveer 1 per dag (vóór de snedes worden per seconde ongeveer 3 atmosferische muonen gereconstrueerd, waarvan ongeveer 5 % onjuist als opgaand). Twee grootheden welke belangrijk zijn voor neutrino astronomie zijn bestudeerd, deze zijn het oplossend vermogen en de efficiëntie van de detector. De hoekresolutie wordt uitgedrukt in de mediaan van de verdeling van de hoek residuen. Bij een telsnelheid van 60 kHz, wat een realistische waarde is, door de achtergrond, is de hoekresolutie 0.26° . De hoekresolutie als functie van neutrino-energie is onafhankelijk van de achtergrond-telsnelheid. De effectiviteit van de detector om neutrinos te detecteren kan uitgedrukt worden door het *effectieve oppervlak* voor neutrinos. Dit is gedefiniëerd als de grootte van een oppervlak dat honderd procent efficiënt is voor de detectie van neutrinos. De in dit proefschrift ontwikkelde muon spoor reconstructie, samen met de gekozen snedes om de achtergrond te onderdrukken leiden tot een verbetering van het effectieve oppervlak van de Antares detector. Bij een achtergrond telsnelheid van 60 kHz is de verbetering bijna een factor 2 bij 10 TeV neutrino energie en 40 % bij 100 GeV neutrino energie.