



## UvA-DARE (Digital Academic Repository)

### Track Reconstruction and Point Source Searches with Antares

Heijboer, A.J.

**Publication date**  
2004

[Link to publication](#)

#### **Citation for published version (APA):**

Heijboer, A. J. (2004). *Track Reconstruction and Point Source Searches with Antares*.

#### **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

De atmosfeer van de Aarde wordt voortdurend bestookt met zogenaamde kosmische straling, die voornamelijk bestaat uit protonen en andere atoomkernen die ergens in het heelal versneld worden tot zeer hoge energieën. Men gaat er doorgaans van uit dat deze deeltjes versneld worden doordat ze veelvuldig heen en weer 'stuiten' in de materie die met hoge snelheid wordt uitgestoten door sommige astrofysische objecten. Daarbij kan men bijvoorbeeld denken aan de uitdijende schillen die overblijven na een supernova of aan de 'jets' die worden uitgespuwd door de kernen van sommige melkwegstelsels. Hoewel dit versnellingsmechanisme veel van de waargenomen eigenschappen van de kosmische straling kan verklaren, is het echter nog niet gelukt vast te stellen welke objecten er precies verantwoordelijk zijn voor die versnelling. Dit komt onder andere doordat de elektrisch geladen deeltjes, waar de kosmische straling uit bestaat, worden afgebogen door de magnetische velden die zich in het heelal bevinden. Daardoor is de richting van de op Aarde gedetecteerde deeltjes niet gecorreleerd met de richting waarin hun bron gezocht moet worden.

Een veelbelovende manier om uit te vinden waar de kosmische straling vandaan komt is het detecteren van kosmische neutrino's. Neutrino's zijn elektrisch neutrale, elementaire deeltjes met de bijzondere eigenschap dat ze nauwelijks interacties aangaan met andere deeltjes. Als gevolg hiervan wordt hun richting niet beïnvloed door magnetische velden en kunnen ze de Aarde bereiken zonder geabsorbeerd te worden door interstellair materie of straling. Neutrino's met een hoge energie (hoger dan ongeveer 100 GeV) kunnen geproduceerd worden in interacties van hoog-energetische protonen met bijvoorbeeld fotonen. Bij zulke interacties worden geladen pionen geproduceerd die vervallen naar neutrino's. Men verwacht dat zulke processen zich afspeelen in de bronnen van de kosmische straling; daar worden immers protonen tot zeer hoge energieën versneld. Het observeren van een neutrino-bron aan de hemel zou daarom een sterke aanwijzing zijn voor de oorsprong van de kosmische straling; temeer omdat er nauwelijks andere processen denkbaar zijn waarin neutrino's met dermate hoge energie geproduceerd worden (dit in tegenstelling tot neutrino's met energieën van rond de MeV, die geproduceerd worden in sterren en supernovae).

De geringe interactie die neutrino's hebben met materie, maakt ze echter ook moeilijk te detecteren. Daarom is een zeer groot detectievolume nodig om een redelijke kans te hebben een signaal te zien. In dit proefschrift wordt de ANTARES detector beschreven, die een afmeting zal hebben van ongeveer  $200 \times 200 \times 400 \text{ m}^3$ . Deze detector wordt gebouwd op de bodem van de Middellandse Zee, zo'n 40 km uit de kust van Frankrijk, op een diepte van 2,4 km. Het neutrino zelf kan niet direct worden waargenomen, maar bij een interactie van een muon-neutrino met een atoomkern in het zeewater of in de

aarde eronder, kan een muon worden geproduceerd, dat wel waargenomen kan worden. Door de hoge impuls van het neutrino is de richting van het muon nagenoeg gelijk aan die van het neutrino, zodat de richtingsinformatie behouden blijft. Dit muon is elektrisch geladen en zendt het licht uit wanneer het zich, met bijna de lichtsnelheid, door het zeewater beweegt. De ANTARES detector zal bestaan uit 900 fotomultiplicatoren, die dit zogenaamde Cherenkov licht detecteren. Door de aankomsttijd van het licht op de verschillende fotomultiplicatoren te meten, kan de richting van het muon worden bepaald. Hiervoor is een meetnauwkeurigheid van ongeveer 1 ns nodig. Tests die zijn uitgevoerd met een prototype detector in het laboratorium hebben aangetoond dat deze nauwkeurigheid inderdaad gehaald wordt.

Een van de onderwerpen van dit proefschrift is de methode die gebruikt wordt om uit de aankomsttijden van het licht zo nauwkeurig mogelijk de richting en de positie van het muon te reconstrueren. Dit proces wordt bemoeilijkt door de aanwezigheid van achtergrond licht, dat veroorzaakt wordt door natuurlijke radioactiviteit van het zeezout en door lichtgevende organismes. Tevens moet er rekening gehouden worden met verstrooiing van het licht in het water en het licht dat veroorzaakt wordt door secundaire deeltjes. De ontwikkelde methode heeft vier verschillende stadia, die een steeds nauwkeurigere schatting geven van het muon spoor. In het laatste stadium wordt een 'maximum likelihood' methode gebruikt waarbij bovengenoemde complicaties worden meegenomen in de kansdichtheidsfunctie. Van neutrino's met een energie groter dan 10 TeV kan zodoende de richting worden bepaald met een nauwkeurigheid van ongeveer  $0,2^\circ$ . Verder blijkt het mogelijk om met een paar simpele selectiecriteria slecht gereconstrueerde muonen van de goede te scheiden. Door alleen opgaande muonen te selecteren wordt de achtergrond van neergaande atmosferische muonen, die gemaakt worden in interacties van kosmische straling in de atmosfeer boven de detector, sterk onderdrukt. Zo wordt dus vooral de zuidelijke hemel geobserveerd. De resterende achtergrond bestaat uit atmosferische neutrino's.

Een ander onderwerp dat in dit proefschrift beschreven wordt is een methode om te zoeken naar bronnen van kosmische neutrino's. Een astrofysische bron van neutrino's zal aan de hemel een puntbron lijken. De observatie van een aantal neutrino's die uit hetzelfde punt aan de hemel komen, zou een indicatie kunnen zijn voor de aanwezigheid van zo'n puntbron, maar door de eindige meetnauwkeurigheid van de detector zullen de neutrino's niet precies uit hetzelfde punt lijken te komen. We zoeken dus naar een cluster van neutrino's met ongeveer dezelfde gereconstrueerde richting. Zo'n cluster kan echter ook worden veroorzaakt door atmosferische neutrino's. Het zoeken naar een puntbron komt neer op het zo goed mogelijk onderscheiden van deze twee gevallen.

De meest gangbare methodes om naar puntbronnen te zoeken beperken zich tot het tellen van het aantal neutrino's dat zich in een cluster bevindt. De methode die in dit proefschrift beschreven wordt, gebruikt echter nog meer informatie. Zo wordt er gebruik gemaakt van informatie over de onderlinge positie van de neutrino's en van gemeten waarde van de muon-energie. Door deze informatie te gebruiken wordt de gevoeligheid van de detector om een puntbron te ontdekken vergroot met zo'n 35%. Een bijkomend voordeel is dat deze methode een nauwkeurige bepaling levert van de positie van de bron aan de hemel.

Uiteindelijk is een schatting gemaakt van de neutrino flux die nodig is voor een ontdekking. Na een jaar waarnemen zal ANTARES de bestaande bovengrenzen voor de flux

uit bronnen aan de zuidelijke hemel verbeteren met ongeveer een factor 10 en zodoende een waardevolle aanvulling zijn op de AMANDA neutrino telescoop op de zuidpool, die reeds begonnen is de noordelijke sterrenhemel te bestuderen.

