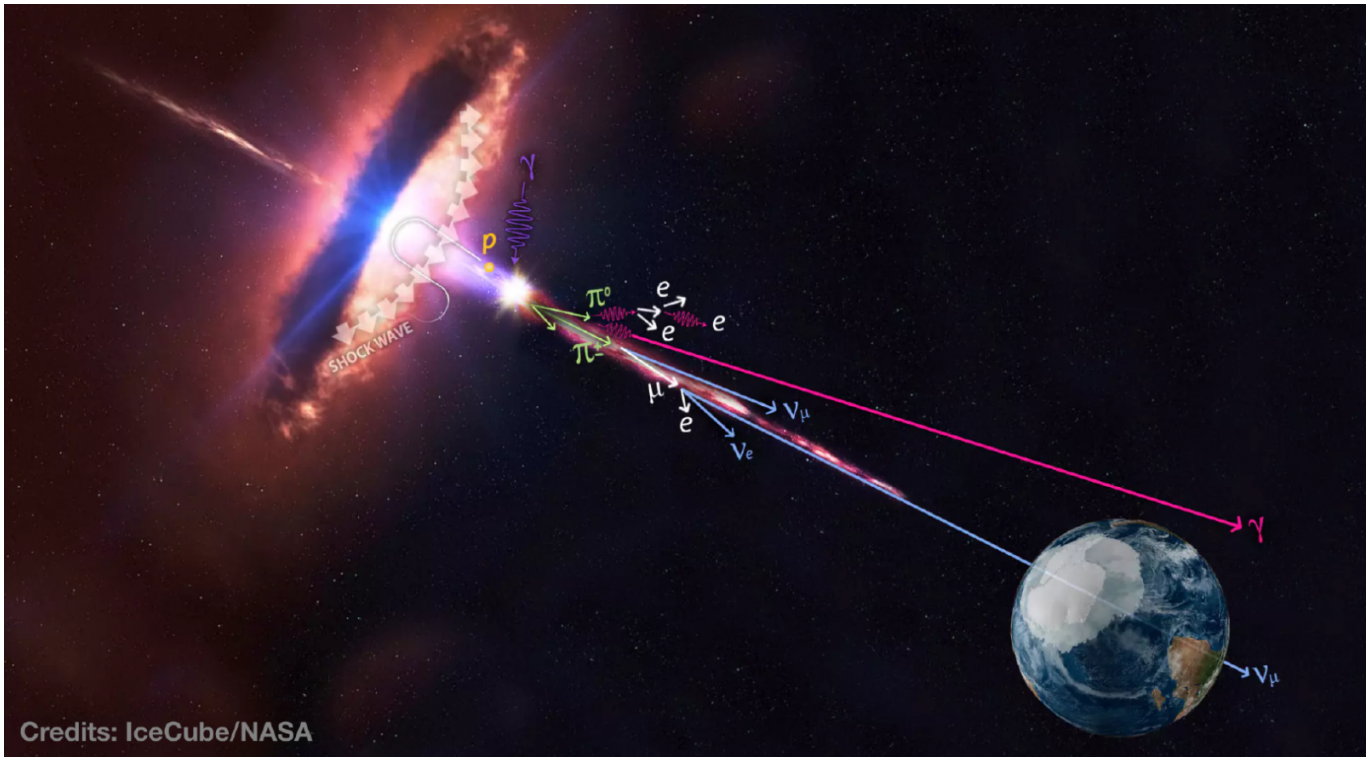
Kijken met neutrino’s

Neutrino’s zijn lichte elementaire deeltjes die nauwelijks interactie met andere materie hebben. Ze opvangen in telescopen is dus niet eenvoudig. Toch kunnen we tegenwoordig ook met behulp van neutrino’s de hemel bekijken en allerlei interessante conclusies trekken.

Neutrino’s worden geproduceerd bij extreem energetische astrofysische fenomenen in het universum. Dit gebeurt als kosmische straling tot heel hoge energieën wordt versneld en deze vervolgens tegen fotonen of protonen botst. Bij deze botsingen worden neutrino’s en gammastraling geproduceerd, zoals geïllustreerd in de afbeelding hieronder.



Afbeelding 1. Een bron van neutrino’s.Hoogenergetische deeltjes uit een blazar produceren licht en neutrino’s, die uiteindelijk op de aarde terechtkomen. Afbeelding: IceCube/NASA.

Extragalactische bronnen

Astrofysische bronnen waar dit gebeurt zijn bijvoorbeeld jets in blazars, actieve

sterrenstelsels met een superzwaar zwart gat in het centrum waar deeltjes met bijna de lichtsnelheid naar buiten schieten, gammaflitsen, en sterrenstelsels waar uitzonderlijk veel stervorming wordt gevonden zoals starburststelsels. Als we meer te weten willen komen over natuurkundige fenomenen die gebeuren bij extreme energieën (van de TeV-schaal waarbij bijvoorbeeld ook op het CERN metingen worden gedaan, tot de PeV-schaal, nog duizend keer hoger), moeten we deze extragalactische objecten bestuderen, aangezien we deze energieën niet op aarde kunnen reproduceren.

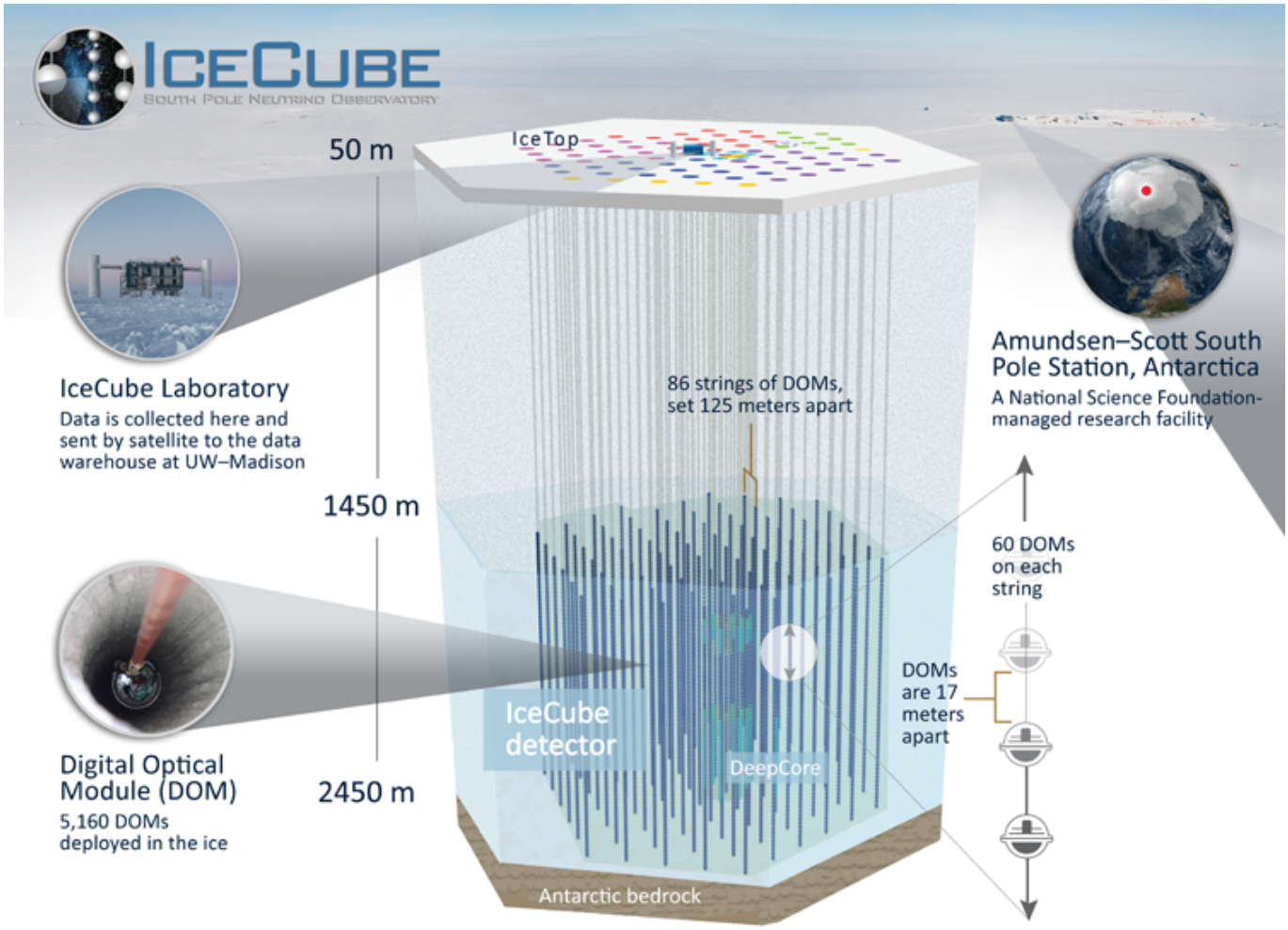
Neutrino's hebben twee eigenschappen die ze heel interessant maken om te bestuderen. Ten eerste zijn ze elektrisch neutraal, en worden ze daardoor niet afgebogen door magnetische velden tussen de bron en aarde. Dit betekent dat we, als we een neutrinodetectie hebben, precies weten waar de bron is. Kosmische straling daarentegen bestaat uit geladen deeltjes die wel worden afgebogen, waardoor we informatie verliezen over de precieze locatie van de bron.

Altijd rechtdoor

Ten tweede is de kans dat een neutrino een interactie ondergaat met materie ontzettend klein. Het effectieve botsingoppervlak σ is namelijk extreem klein: $\sigma \approx E_\nu \times 10^{-38}$ cm^2, waarbij E_ν de neutrino-energie is. Dit betekent dat neutrino's zeer lange afstanden kunnen overbruggen zonder te botsen. Dat is niet het geval voor gammastraling met energieën hoger dan 10^{15} eV, want deze fotonen botsen met de diffuse extragalactische achtergrondstraling. We zijn bij het kijken naar hoogenergetisch licht daardoor gelimiteerd tot de grootte van het galactisch centrum, terwijl we met neutrino's veel verder terug naar binnen kunnen kijken.

De kleine kans op interactie heeft echter ook een groot nadeel: hoogenergetische neutrino's zijn enorm moeilijk te detecteren. We moeten dus enorme detectoren bouwen om de kans te vergroten dat een neutrino met een kerndeeltje op aarde botst. *IceCube* is een van de neutrinodetectoren die astrofysische neutrino's observeert. De detector gebruikt een volume van een kubieke kilometer aan Antarctisch ijs. Neutrinodetectoren meten het licht dat ontstaat bij een interactie tussen een neutrino en ijs (Cherenkovstraling). In 2013 publiceerde IceCube dat er voor het eerst astrofysische neutrino's waren geobserveerd, en de detector meet sinds 2010 zo'n 10 astrofysische neutrino's met een energie boven de 30 TeV per jaar.

Een andere neutrinodetector is KM3NeT, die op het moment wordt geïnstalleerd en waar op deze website [al eerder een artikel over is verschenen](#).



Afbeelding 2. IceCube.Een schets van de IceCube-detector op de Zuidpool. Afbeelding: IceCube.

Wat is de bron?

Sinds de eerste detectie zijn onderzoekers aan het achterhalen welke astrofysische bronnen de neutrino's produceren die we observeren met IceCube. Dit wordt onder andere gedaan door een correlatie te vinden tussen de tijd en plaats van een neutrinodetectie met die van waarnemingen van gammastraling. Dit heeft geleid tot de ontdekking van een blazar (TXS 0506+056) die zowel gammastraling als neutrino's produceerde. Behalve deze ene bron, weten we van de overige neutrinowaarnemingen niet te achterhalen waar ze vandaan komen, en dit is een van de grote vragen in dit vakgebied.

De geobserveerde neutrino’s komen vanuit alle hoeken en zijn isotroop (dat wil zeggen: gelijk over alle richtingen aan de hemel) verdeeld. Dit suggereert dat de ze een extragalactische oorsprong hebben, omdat we anders meer detecties uit de richting van het galactisch centrum zouden zien. Het feit dat de neutrino’s isotroop verdeeld zijn, kunnen we gebruiken: we kunnen ons af vragen hoe helder de bronnen kunnen zijn om deze isotrope verdeling te behouden. Als de bronnen die we observeren namelijk ontzettend felle bronnen zouden zijn, dan zouden we groepen van neutrino’s observeren vanuit die bronnen. Het feit dat dat niet het geval is, kunnen we gebruiken om beter te begrijpen welk soort objecten deze hoogenergetische neutrino’s produceren. Dat hebben we gedaan (zie dit artikel) door de neutrinohemel te simuleren met theoretische en statistische modellen voor de flux van astrofysische bronnen. Deze gesimuleerde neutrinohemels vergelijken we vervolgens met de geobserveerde isotrope neutrinohemel. Deze vergelijking doen we met behulp van een zogeheten ‘angular power spectrum’-analyse.

Met de non-detectie van astrofysische bronnen en het blijven observeren van een isotrope verdeling, kunnen we met deze analyse grenzen stellen aan de bijdrage van felle bron-populaties aan de neutrinometingen. Bronnen zoals blazars kunnen bijvoorbeeld maar voor een klein deel bijdragen aan de observaties. Zodra we meer waarnemingen hebben verzameld met IceCube en KM3NeT, kunnen we met zekerheid zeggen welke bronnen de neutrinohemel domineren en hiermee beter begrijpen hoe neutrino’s worden geproduceerd in deze hoogenergetische fenomenen.