

Het neutrino onder de loep: KM3NeT (2)

Het neutrino is een van de meest ongrijpbare deeltjes in de natuur. Vorige week plaatsten we op deze site een artikel waarin Michiel Rollier beschreef wat de raadsels rond het neutrino zijn, en hoe wetenschappers die raadsels met het KM3NeT-experiment proberen op te lossen. Vandaag interviewt Michiel onderzoeker Ronald Bruijn, die nauw bij het experiment betrokken is.



Afbeelding 1. Ronald Bruijn. Dr. Ronald Bruijn, onderzoeker bij de neutrinodeetector KM3NeT. Bron: Universiteit van Amsterdam (IoP).

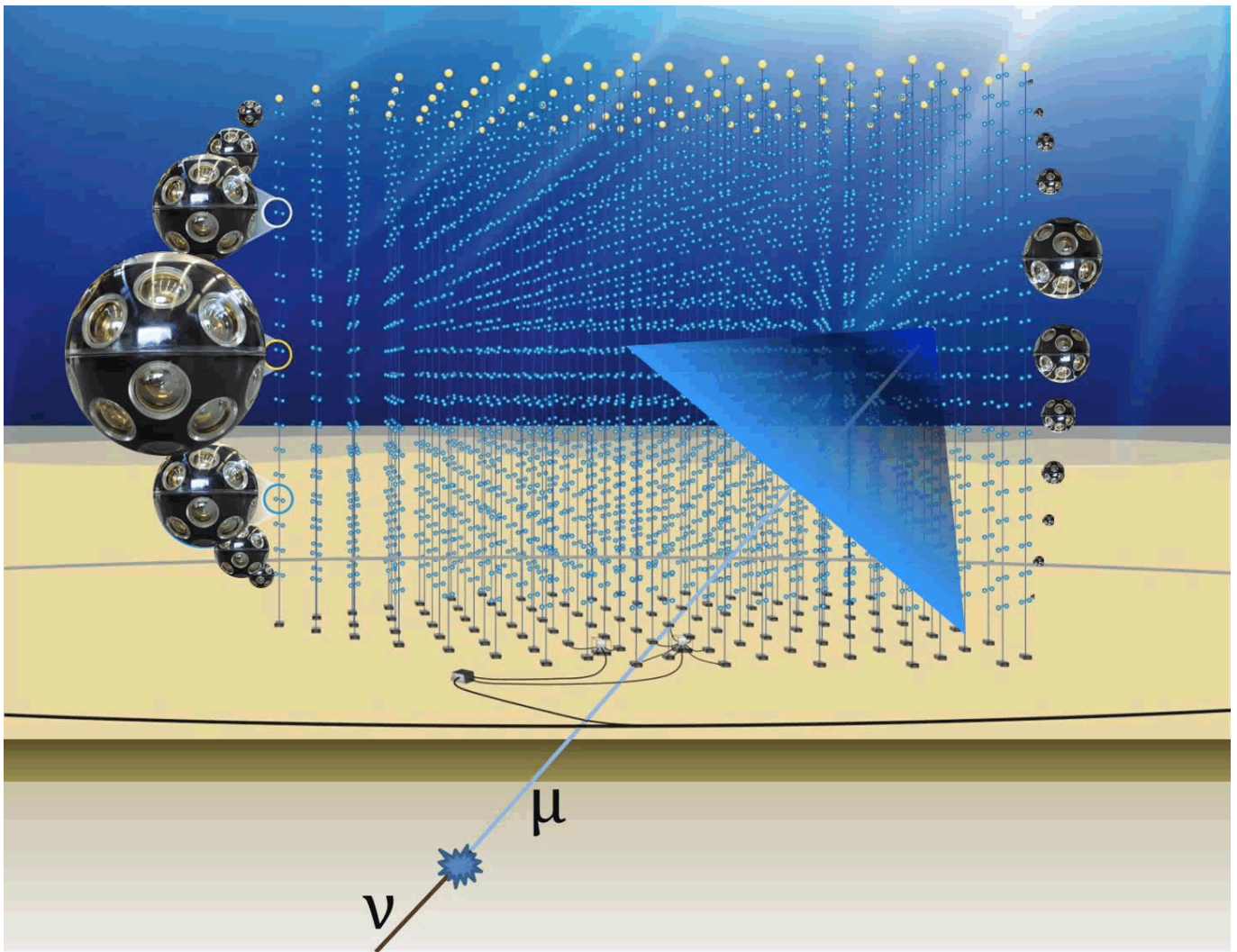
In het [eerste deel van dit tweeluik](#) werd al duidelijk dat het neutrino, waarvan de drie soorten een essentieel onderdeel van het standaardmodel uitmaken, nog een heleboel geheimen heeft voor de wetenschap. Niet alleen bevatten deze deeltjes soms interessante informatie over hoogenergetische astrofysische processen zoals supernova's, ook verbergen ze aanwijzingen over hun eigen identiteit. Het is dan ook van groot natuurkundig belang om neutrino's te detecteren; dit is een taak die onderzoekers bij de kubieke-kilometer-neutrino telescoop, in het kort: KM3NeT, vol ambitie en overgave op zich nemen.

Een van die onderzoekers is Dr. Ronald Bruijn (UvA, Nikhef). In het interview dat Quantum Universe met Roland mocht afnemen vertelt hij over het doel en de werking van dit indrukwekkende instrument. Een gesprek over bollen, flitsen, en ... potvissen?

QU - Bij KM3NeT worden zowel astrofysische neutrino's onderzocht, als neutrino's uit de atmosfeer aan de andere kant van de planeet. Kan je uitleggen waar dit gebeurt?

RB - Aan de ene kant bestudeert KM3NeT de flux van neutrino's afkomstig van astrofysische gebeurtenissen ver hier vandaan. Sinds de successen van IceCube (een beroemde neutrinodeetector op Antarctica, *red.*) weten we immers dat deze deeltjes bestaan en meetbaar zijn. De traditie van IceCube proberen we voort te zetten en naar een nieuw niveau te brengen met de KM3NeT-site voor de Italiaanse kust, genaamd ARCA - acroniem voor "Astroparticle Research with Cosmics in the Abyss".

Anderzijds hebben experimenten in bijvoorbeeld het Sudbury Neutrino Observatory aangetoond dat [neutrino-oscillaties](#) werkelijkheid zijn. Precieze waarnemingen van neutrino's in de energieregio tussen 1 en 10 GeV worden uitgevoerd door de site in Franse wateren, die "Oscillation Research with Cosmics in the Abyss" (ORCA) genoemd wordt. ARCA is groter (bijna 700 meter hoog) en ligt op een diepte van bijna drie en een halve kilometer; ORCA is compacter met een hoogte van 200 meter, en ligt op twee en een halve kilometer diepte.

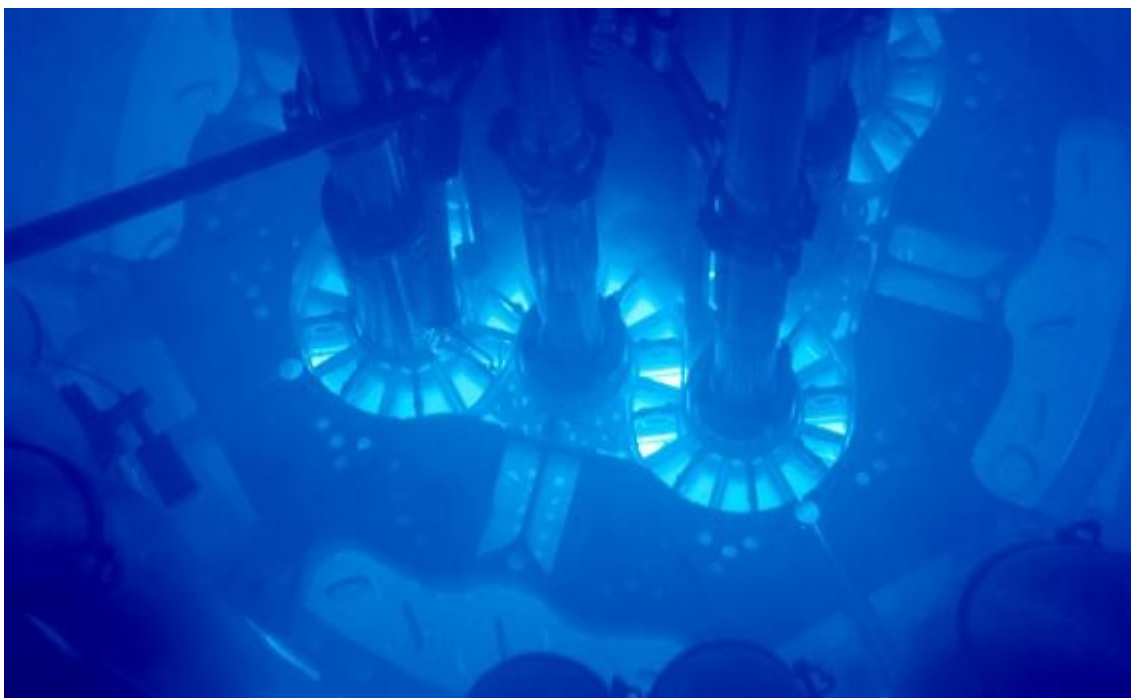


Afbeelding 2. KM3NeT. Artistieke weergave van een van de opstellingen van KM3NeT: een heel netwerk aan detectoren op de bodem van de Middellandse Zee. In dit interview legt Ronald Bruijn ons uit wat de aanpak van het experiment inhoudt. Bron: KM3NeT.

QU - Het lijken inderdaad enorme roosters met apparatuur te zijn (zie afbeelding 2). Hoe gaat de detectie van een neutrino nu precies in zijn werk?

RB – Je hebt een probleem: je wil neutrino’s meten, maar als je die wil meten, moeten ze natuurlijk iets doen met de detector. De kans is heel klein dat zo’n interactie gebeurt, dus je wil die kans vergroten door naar heel veel neutrino’s te kijken in een detector met een groot volume. Een kandidaat voor zo’n groot volume is de zee, die als bijkomend voordeel heeft dat die transparant is. Je gaat immers gebruik maken van het licht dat ontstaat wanneer neutrino’s botsen.

Hoewel zeldzaam, is een sporadische botsing van een neutrino ergens in die grote watermassa noodzakelijk. Hierbij komen geladen deeltjes vrij, die zo'n hoge energie hebben dat ze sneller bewegen dan de lokale lichtsnelheid in het water. (Die is iets lager dan de lichtsnelheid in vacuüm, *red.*) Wanneer iets dergelijks gebeurt, ontstaat een optisch schokfront - een effect dat *Cherenkovstraling* genoemd wordt: mooi blauw licht dat je bijvoorbeeld ook ziet in een kernreactor. Dit licht is erg zwak, maar kan zonder problemen door het transparante water bewegen. Dit betekent dat je geen heel lokale detectie van het neutrino hoeft te doen, maar ook vanaf een afstand kan kijken. Hierdoor wordt het bouwen van een detector met een erg groot volume relatief goedkoop.



Afbeelding 3. Cherenkovstraling.De blauwe gloed die je ziet in kernreactoren is afkomstig van Cherenkovstraling. Dit type straling wordt eveneens gebruikt om neutrino's waar te nemen bij KM3NeT. Bron: Matt Howard/Advanced Test Reactor core, Idaho National Laboratory/Wikimedia Commons.

Het waarnemen van deze straling gebeurt aan de hand van de duizenden glazen bollen waaruit KM3NeT bestaat; bollen die men “digital optical modules” (DOM's) noemt. Elk van deze bollen bevat 31 fotomultiplicatoren: apparaten waarmee via het [foto-elektrisch effect](#) een erg zwakke lichtbron waargenomen kan worden. Niet alleen kunnen de DOM's erg zwak licht detecteren, maar ze houden ook nog eens tot op de nanoseconde precies bij wanneer dat gebeurd is, en waar ze toen gepositioneerd waren. Op die manier kan je in principe aan de hand van vele detecties heel precies reconstrueren waar de fotonen van de neutrino-

interacties vandaan komen.

QU - Als je het zo uitlegt, lijkt het niet al te moeilijk te zijn. Maar dit is een enorme technische uitdaging, toch?

RB - Het gebruik van fotomultiplicatoren zelf is geen nieuwe techniek. De uitdaging zit 'm vooral in het feit dat de DOM's op zo'n enorme diepte liggen; op vijftig meter diepte wordt een colablikje al samengeperst, en deze bollen liggen kilometers diep! Bovendien is het water van de Middellandse Zee zout, wat erg onvriendelijk is voor je apparatuur. Om die redenen wordt de apparatuur in hermetisch afgesloten glazen bollen geplaatst. Het is een heel gemene omgeving, waar je ook niet zomaar bij kan komen. Je kan het vergelijken met een satelliet; alles moet de eerste keer goed zijn, want als je aan je apparatuur wil gaan sleutelen, ben je erg veel geld kwijt.



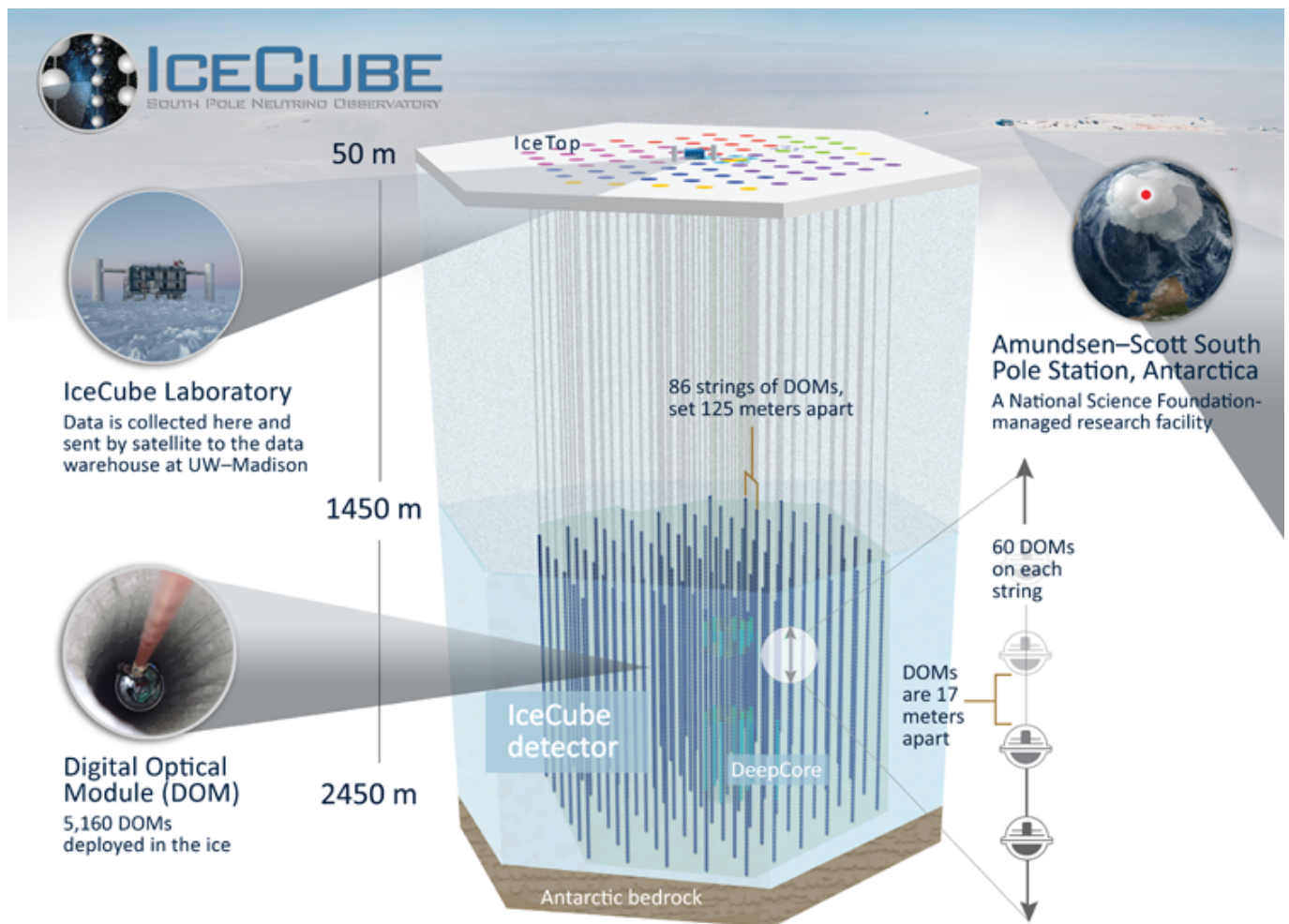
Afbeelding 4. De DOM's. Een kostbare tafel in het lab bij het Nikhef waar de DOM's geassembleerd worden, en met elkaar verbonden. Elk "oog" op de bol is een fotomultiplicator. Foto door Michiel Rollier.

De bollen zijn allemaal met elkaar verbonden via glasvezelkabels, waarover informatie gestuurd kan worden in de vorm van ethernetpakketjes (zoals ook de informatie op deze website op je beeldscherm verschijnt, *red.*). Al deze informatie wordt naar het vasteland

gestuurd en geanalyseerd. Ook bij de analyse van de data is er sprake van een groot probleem. Het overgrote merendeel van de data is immers volstrekt ongerelateerd aan neutrino-interacties. In het zeewater zit namelijk kalium-40. Dit radioactieve isotoop kan vervallen, en daarbij stuurt het ook fotonen uit in de donkere diepte van de zee. Elke fotomultiplicator in elke DOM meet 7000 van zulke fotonen per seconde, fotonen die dus helemaal niets met neutrino's te maken hebben. Dat is een heleboel niets! Gespecialiseerde data-analyse kan deze achtergronddata onderscheiden van een tweehonderdtal interessante fotonen per seconde die wél iets met neutrino's te maken hebben. Het merendeel van die neutrino's is afkomstig uit de atmosfeer, wat voor ORCA natuurlijk geen probleem is, maar voor ARCA ook weer een achtergrond geeft. Grappig genoeg is er daarnaast ook nog licht van bioluminescentie van zeedieren, wanneer deze tegen de apparatuur aanbotsen!

QU - Erg veel van de data draagt met andere woorden niet bij aan het oplossen van de grote vragen die astrofysici en neutrinowetenschappers zich stellen, en moet uitgefilterd worden. Dit zijn problemen die andere, reeds bestaande neutrinodetectoren ook ondervinden, geloof ik? Wat is de “concurrentie” van KM3NeT?

ANTARES (een soortgelijke neutrinotelescoop bij de kust van Toulon in Frankrijk, *red.*) is al online sinds 2007. Ook bijvoorbeeld de Russische neutrinodetector in het Siberische Baikalmeer heeft dergelijke doelen voor ogen. De meest bekende neutrinodetector is op dit moment waarschijnlijk IceCube, waarover we al spraken. Er zijn echter wel belangrijke verschillen. Ten eerste is het medium op de zuidpool, waar IceCube zich bevindt, geen (zout) water, maar ijs en heel erg samengeperste sneeuw. Dit materiaal is heel erg helder, maar zit vol met microscopische luchtbelletjes en is niet volstrekt homogeen. Hierdoor wordt (Cherenkov)licht afgebogen, zodat er informatie over de richting verloren gaat. KM3NeT heeft daarentegen wel een homogeen medium, en het licht kan dus ongestoord langere afstanden afleggen. Bij gelijk volume kan KM3NeT daarmee veel nauwkeuriger de oorsprongsrichting van neutrino's bepalen: er is sprake van een veel betere “resolutie”.



Afbeelding 5. IceCube. De schematische opbouw van IceCube, een neutrino telescoop op de zuidpool, verradt een grote gelijkenis met KM3NeT. Toch zijn er belangrijke verschillen, zoals de positie en het medium waarin de DOM's zich bevinden. Bron: IceCube Neutrino Observatory.

Ook de richting waarheen KM3NeT vooral kijkt, verschilt. IceCube kijkt vooral naar het noorden, vanaf de zuidpool dus dwars door de aarde heen, omdat de aarde dan fungeert als een natuurlijke filter voor atmosferische fenomenen. KM3NeT daarentegen kijkt eerder de andere richting op, en doordat de aarde draait, draait de kijkrichting bovendien rond. Vooral voor galactische neutrino bronnen is dat relevant, aangezien ook het centrum van ons sterrenstelsel in beeld komt, waar veel interessante astrofysische gebeurtenissen plaatsvinden.

Ten slotte is een niet onbelangrijk verschil dat KM3NeT gewoonweg nog zeker niet volledig operationeel is.

QU - Maar daar wordt hard aan gewerkt, en niet in het minst door inzet van een heleboel Nederlandse wetenschappers en met financiële steun van de Nederlandse Organisatie voor Wetenschappelijk Onderzoek (NWO). Om zo'n institutioneel enthousiasme te verkrijgen, is het handig om een beloftevol project te kunnen uitbouwen. Welke concrete verwachtingen zijn er voor KM3NeT?

RB - Het meten van de [massahierarchie](#) kan binnen drie jaar vanaf de afwerking van ORCA lukken. Afhankelijk van de eigenschappen van het neutrino die de natuur heeft gekozen, kan dit met een significantie van drie sigma, of zelfs met vijf of zes sigma - een "vijf-sigma"-significantie betekent bijvoorbeeld een kans van 1 op 3,5 miljoen dat het signaal eigenlijk geen fysische betekenis heeft. Ook sporadische waarnemingen bij ARCA hopen we te kunnen correleren aan bijvoorbeeld gammaflitsen uit het heelal. Een meer verrassend resultaat zou het bijdragen aan de zoektocht naar [donkere materie](#) zijn. Al met al ligt het behalen van resultaten in de nabije toekomst.

Nog ambitieuzer kunnen we hopen dat er in de verdere toekomst ook uitspraken gedaan kunnen worden over bijvoorbeeld geologie. Wanneer er immers meer informatie bekend is over neutrino-eigenschappen, kan je omgekeerd te werk gaan: neutrino-oscillaties gebruiken om de verdeling van elektronen in de aarde in kaart te brengen.



Afbeelding 6. Een potvis. Door middel van detecties met hydrofonen, die onderdeel uitmaken van de DOM's

van KM3NeT, kon een permanente aanwezigheid van potvissen in de Middellandse Zee bevestigd worden.

Bron: Gerard Soury / Oxford Scientific / Getty Images.

Daarnaast zijn er nog andere zaken van wetenschappelijk belang rond KM3NeT, die voortkomen uit de permanente aanwezigheid in de zee. Ten eerste kan bioluminescentie, waarover we eerder al spraken, onderzocht worden. Verder hebben we kunnen bevestigen dat potvissen permanent aanwezig zijn in de Middellandse Zee. Hoe we dat hebben kunnen doen? In elke DOM is een zogeheten hydrofoon geïnstalleerd, waarmee de detectoren naar elkaar kunnen “luisteren”, om op die manier hun positie in ruimte en tijd goed te kennen. Dat is belangrijk voor de reconstructie van de gedetecteerde neutrino’s, maar kan dus ook gebruikt worden om naar de zang van zeedieren te luisteren!

QU - Van supernova’s tot potvissen... Van harte bedankt voor het gepassioneerd gidsen van deze fascinerende reis!