

Abstract

Understanding the nature of dark matter is one of the major challenges in modern physics. Many effects caused by this mysterious matter have been seen, but until today, there is no clear idea on what this dark matter is made of. The current best model to describe our Universe, the Lambda Cold Dark Matter model, incorporates a dark matter component, which makes up about 27% of all the energy in the Universe and roughly 80% of all the matter.

In the most popular models, the dark matter consists of particles which are stable, slowly moving (cold), heavy and only interact weakly and gravitationally with ordinary baryonic matter. These particles are therefore called Weakly Interacting Massive Particles (WIMPs). An excellent candidate for the WIMP is the hypothetical neutralino, the Lightest Supersymmetric Particle (LSP), arising in supersymmetric theories beyond the Standard Model of particle physics.

Heavy celestial bodies, such as the Earth, could capture these WIMPs and accumulate them. Over time the WIMPs will self-annihilate and may produce standard model particles, including neutrinos. The dark matter annihilation rate in the center of the Earth, and thus the resulting neutrino flux depend on the local Dark Matter density and the mass of the Dark Matter particle. The neutrino flux could be within reach of a large scale neutrino telescope like the cubic kilometer ICECUBE Neutrino Observatory located at the South Pole. ICECUBE would indirectly observe the presence of Earth WIMPs as an excess of neutrinos from the center of the Earth.

In this thesis, the first search for Earth WIMPs with the ICECUBE detector is presented. No significant excess from the direction of the center of the Earth has been found in one year of ICECUBE data. As a result, upper-limits have been set on the annihilation rate of the WIMPs, the muon flux caused by Earth WIMP-induced neutrinos and the spin-independent component of the WIMP-nucleon cross-section. The obtained upper-limits are the current best limits on the annihilation rate of Earth WIMPs and on the muon flux caused by Earth WIMP-induced neutrinos.

*Writers make national literature, while translators
make universal literature.*

José Saramago

Samenvatting

Uit verscheidene experimenten blijkt dat ons heelal doordrongen moet zijn van een onbekende soort materie. Deze zogenaamde *donkere materie* is één van de grote mysteries in de moderne fysica. Volgens recente waarnemingen zou de donkere materie zorgen voor maar liefst 27% van de totale energie-dichtheid in ons Universum, terwijl de zichtbare materie slechts ongeveer 5% bijdraagt. Een tot nog toe onbekend deeltje, met de eigenschappen dat het massief en zwak interagerend is, het zogeheten WIMP, zou een mogelijke oplossing bieden voor dit mysterie.

De Minimale Supersymmetrische uitbreiding van het Standaard Model (MSSM) is een hypothetische theorie waarin elk deeltje uit het Standaard Model een supersymmetrische partner heeft. Deze theorie postuleert dus verscheidene nieuwe (tot vandaag ongeobserveerde) deeltjes, waaronder het neutralino. Dit neutralino, χ , is één van de meest populaire WIMP kandidaten op dit ogenblik.

Als deze WIMPs bestaan, zullen zij gravitationeel aangetrokken worden door massieve objecten, zoals de aarde. Hierdoor zal een ophoping aan WIMPs ontstaan in de kern van de aarde. Eens de dichtheid van deze WIMPs groot genoeg is, zullen zij paarsgewijs annihileren en Standaard Model deeltjes produceren. Deze Standaard Model deeltjes kunnen in hun verval onder andere neutrino's produceren. Aangezien neutrino's heel zwak interagerende deeltjes zijn, zullen de geproduceerde neutrino's ontsnappen uit de kern van de aarde. Heel af en toe zal één van de neutrino's toch interageren, en kan het dus gedetecteerd worden door een neutrinotelescoop zoals bijvoorbeeld ICECUBE.

IceCube is een detector met een volume van één kubieke kilometer en ligt begraven op de geografische Zuidpool onder anderhalve km ijs. IceCube heeft een hexagonale vorm en bestaat uit 5160 optische sensoren die verspreid zijn over 86 kabels. Wanneer een neutrino interageert in de omgeving van de detector, ontstaat het bijhorende geladen lepton van het neutrino (e, μ, τ), hetgeen een lichtspoor achterlaat in het ijs. Dit lichtspoor wordt dan gedetecteerd door de optische sensoren en via deze detectie kan het originele neutrino vervolgens geanalyseerd worden.

De meeste deeltjes die ICECUBE meet, zijn echter atmosferische muonen en neutrino's. Deze zijn geproduceerd na de interactie van kosmische deeltjes in de atmosfeer. ICECUBE detecteert ongeveer 4000 van deze *atmosferische* deeltjes per seconde ($\mathcal{O}(10^{11})$ /jaar), terwijl de meest optimistische modellen slechts een WIMP-annihilatieflux van enkele

μHz ($\mathcal{O}(10^3)/\text{km}^2/\text{jaar}$) voorspellen in ICECUBE. De atmosferische achtergrond moet dus sterk onderdrukt (of *gefilterd*) worden, zonder dat hierbij teveel signaal verloren gaat. Een heel groot deel van het beschreven werk in deze thesis, bestaat uit het ontwikkelen van een *filter* die specifiek deeltjes selecteert met de verwachte eigenschappen van neutrino's die geproduceerd zijn ten gevolge van de annihilatie van WIMPs in de aarde. Aan het einde van deze specifieke selectie, is het aantal deeltjes verminderd met zowat zeven grootteordes naar $\mathcal{O}(10^4)/\text{jaar}$, terwijl ongeveer 15% van de mogelijke signaal overblijft.

In deze finale dataset, die voornamelijk bestaat uit atmosferische neutrino's, wordt dan gezocht naar een mogelijke bijdrage van de neutrino's die afkomstig zijn van de WIMPs in de aarde. Dit gebeurt aan de hand van een statistische analyse, waarbij er nagegaan wordt of de experimentele data al dan niet overeenkomen met de gesimuleerde, atmosferische achtergrond neutrino's en -muonen. In het geval dat deze niet overeenkomen, is er mogelijk een bijdrage van signaalneutrino's, hetgeen een sterke indicatie zou zijn van de aanwezigheid van WIMPs in het centrum van de aarde. In het andere geval, wanneer de data wél overeenkomen met de achtergrond simulatie, kan er besloten worden dat indien er een signaal zou zijn, dit niet sterk genoeg is om zichtbaar te zijn in de experimentele data. In dit laatste geval kunnen dus limieten gezet worden op de mogelijke neutrinoflux die de WIMPs veroorzaken, en kunnen er dus theoretische modellen uitgesloten worden.

In de analyse die beschreven wordt in deze thesis hebben we één jaar van de data, gemeten door ICECUBE geanalyseerd. Uit onze analyse blijkt dat deze gemeten data volledig overeenkomen met de verwachte, atmosferische achtergrondflux. Aan de hand van deze niet-observatie van neutrino's die gecreëerd zijn na de annihilatie van WIMPs, hebben we met deze analyse de tot dusver beste limieten gezet op de mogelijke neutrinoflux veroorzaakt door WIMPs in het centrum van de aarde.