

ABSTRACT

DESIGN OF MUON DETECTOR BASED ON PLASTIC SCINTILLATOR FOR THE COSINE-100 DARK MATTER EXPERIMENT

By

Hafizh Prihtiadi

NIM : 30214010

Doctoral Program in Physics

Number of astronomical observations suggest that the dominant matter in the universe is non-baryonic dark matter. However, the searches for dark matter has been one of the most challenging research topics in physics. Weakly Interacting Massive Particles (WIMPs) are promising candidates of dark matter, supporting by many astronomical considerations and theoretical predictions. Many of direct dark matter experiments are looking for WIMP dark matter by using various detection techniques and technologies. But one exceptional, DAMA group reported over 20 years of annual modulation signal using NaI(Tl) crystal scintillation detectors. They claim that this signal is WIMP-like signal in their detectors. However, no experiments can prove the signal with set limits which are incompatible with DAMA result. An experiment is needed with same target material detector to resolve both result without conflict. COSINE-100 is a joint effort experiment by the KIMS-NaI (Korean Invisible Mass Search) and the DM-Ice with a goal to reproduce or refute the annual modulation signature reported by DAMA group using Sodium Iodide crystal scintillations. COSINE-100 experiment is operating and located at the Yangyang Underground Laboratory (Y2L) in South Korea. The construction and assembly process was completed in the Summer of 2016 and the detector is currently collecting physics data. During the operation, several things needed to be considered are backgrounds level including from the cosmic-ray showers. In rare event searches, cosmic-ray muons can produce seasonal modulation of event which can mimic weakly interacting massive particle (WIMP) signal in nuclear recoils. To tag the muon-events and study the correlations between muon and crystal-events, COSINE-100 has installed the muon detectors in the outside shielding structure. An array of 3-cm thick plastic scintillator panels surrounds

the crystal detector in all sides. This work focuses on the design, construction and assembly process, data analysis of the COSINE-100 detector, with particular emphasis on muon-modulation. Muons, identified by a selection criteria, are developed with a coincidence technique and time difference between two panels. A coincidence and threshold are used to remove γ -backgrounds at low energy and showed the muon-like events in high energy region. The threshold is set to be different for each side detector. A time difference cut has been developed to reduce fake-event in signal area. The muon coincident signal should be in close time-range of the gap. The time correlation observed for the muon candidate events, a signal range of $-100\text{ns} \leq \Delta T \leq -115\text{ns}$. Considering the background distribution, the background contamination in the signal region is calculated to be 0.3%. Furthermore, the muon selection efficiency was estimated to be $99.9 \pm 0.1\%$ when the charge threshold cuts are applied. A similar muon selection technique is applied for all pairs of different sides to tag muon candidate events. Muon events were found with direct or prompt energy deposition $\geq 4\text{MeV}$. Muons can also induce low energy phosphorescence event in crystals which can mimic WIMP signal with a confined modulation signature. A event selection for crystal study has been used by rejecting 30ms from a muon hit in plastic scintillator. It gives approximately 0.1 % dead-time in the detector. This rejection is used in crystal analysis to prevent large number of accidental events. With 2 years of physics data, an annual modulation behaviour has been observed with an amplitude of $(0.51 \pm 0.24)\%$ and a phase of $(182 \pm 25)\text{d}$ corresponding to a maximum on the 30st of June. Using the atmospheric temperature data, we studied the correlation between muon and temperature modulation with a positive correlation. With an effective coefficient $\alpha_T = 0.815 \pm 0.097$. This result represents the study of the muon flux modulation for Y2L site and is in good agreement with theoretically expectations.

Key words: cosine-100 experiment, dark matter searches, plastic scintillator detector

ABSTRAK

PERANCANGAN MUON DETEKTOR BERBASIS PLASTIK SINTILATOR UNTUK EKSPERIMEN COSINE-100 MATERI GELAP

Oleh

Hafizh Prihtiadi

NIM : 30214010

Program Studi Doktor Fisika

Sejumlah pengamatan astronomi menunjukkan bahwa penyusun materi di Semesta didominasi oleh materi gelap *non-baryonic*. Namun, pencarian materi gelap telah menjadi salah satu topik penelitian paling menantang dalam fisika. *Weakly Interacting Massive Particles (WIMPs)* telah menjadi kandidat materi gelap yang menjanjikan, didukung oleh banyak pertimbangan dari para astronom dan prediksi teoritis. Banyak eksperimen berusaha mengungkap misteri dari materi gelap dengan berupaya mengoperasikan pencarian langsung materi gelap dengan berbagai teknik dan teknologi deteksi. Tapi hal yang luar biasa, kelompok DAMA melaporkan lebih dari 20 tahun sinyal modulasi tahunan (*annual modulation effect*) yang teramati oleh detektor mereka menggunakan bahan target NaI(Tl) *Sodium-Iodide* seperti yang diharapkan dari kandidat materi gelap bernama *weakly interacting massive particle (WIMP)*. Namun, tidak ada percobaan lain yang dapat membuktikan sinyal dengan batas sensitivitas yang ditetapkan tidak sesuai dengan hasil DAMA. Eksperimen sejenis mutlak diperlukan dengan detektor bahan target yang sama untuk menyelesaikan kedua hasil tanpa konflik. COSINE-100 adalah eksperimen bersama oleh KIMS-NaI (*Korea Invisible Mass Search*) dan DM-Ice dengan tujuan untuk mereproduksi atau menyangkal adanya modulasi tahunan yang dilaporkan oleh kelompok DAMA menggunakan kristal *Sodium Iodide*. COSINE-100 eksperimen beroperasi dan berlokasi di *Yangyang Underground Laboratory (Y2L)* di Korea Selatan. Proses konstruksi dan perakitan selesai pada musim panas 2016 dan detektor saat ini sedang mengumpulkan data fisika. Selama operasi, beberapa hal yang perlu dipertimbangkan diantaranya adalah tingkat *background* dari sinar kosmik. Dalam pencarian materi gelap, muon sinar kosmik dapat menghasilkan modulasi tahunan yang dapat meniru sinyal seperti

partikel masif (WIMP) yang berinteraksi lemah dalam recoil nuklir. Untuk menandai kejadian muon dan mempelajari korelasi antara muon dan *crystal-event*, COSINE-100 telah memasang detektor muon dalam struktur pelindung luar. Susunan panel plastik sintilator setebal 3 cm mengelilingi detektor di semua sisi. Penelitian ini berfokus pada proses desain, konstruksi, dan perakitan, analisis data detektor COSINE-100, dengan penekanan khusus pada modulasi muon. Muon dapat diidentifikasi oleh kriteria seleksi, dikembangkan dengan *coincidence technique* dan perbedaan waktu antara dua panel. Sebuah *coincidence technique* dan ambang batas (*threshold*) digunakan untuk mengurangi γ -backgrounds pada energi rendah dan dapat menunjukkan sinyal muon pada wilayah energi tinggi. Ambang batas yang berbeda diterapkan untuk setiap sisi detektor. Sebuah *timing cut* telah dikembangkan untuk mengurangi adanya *fake-events* pada daerah sinyal. Muon harus berada dalam jeda waktu yang dekat. Korelasi waktu diamati untuk mencari kandidat muon, daerah sinyal $-100\text{ns} \leq \Delta T \leq -115\text{ns}$. Mempertimbangkan distribusi *backgrounds*, kontaminasi dari *backgrounds* di wilayah ambang batas sinyal dihitung 0.3%. Selain itu, efisiensi seleksi muon dihitung sebesar $99.9 \pm 0.1\%$ ketika ambang batas diterapkan. Teknik pemilihan muon yang serupa diterapkan untuk semua panel dari sisi yang berbeda untuk menandai kandidat muon. *Muon-events* pada kristal detektor dengan energi deposisi $\geq 4\text{MeV}$. Muon juga dapat menginduksi *low energy phosphorescence event* pada kristal yang dapat meniru bentuk dari sinyal WIMP. Sebuah teknik seleksi event pada studi kristal telah digunakan dengan meniadakan 30ms dari sinyal muon pertama pada plastik sintilator. Hal ini memberikan efek dengan perkiraan 0.1% *deadtime* pada detektor. Teknik ini digunakan untuk menghindari jumlah besar dari *accidental events*. Dengan 2 tahun dari data, muon menunjukkan perilaku modulasi tahunan dengan amplitudo sebesar $(0.51 \pm 0.24)\%$ dan sebuah fase (182 ± 25) d sesuai dengan maksimum pada 30st Juni. Dengan menggunakan data atmosfer temperature, kami melakukan studi korelasi antara modulasi muon dan temperatur yang menunjukkan positif korelasi. Dengan nilai koefisien efektif $\alpha_T = 0.815 \pm 0.097$. Hasil ini menunjukkan studi modulasi muon dan temperature pada Y2L dan menunjukkan hasil sesuai prediksi teoritis dan ekspektasi.

Kata kunci: eksperimen cosine-100, pencarian materi gelap, detektor plastik sintilasi