

Inleiding voor de poster

Sara Porta Etssam

13 Juni 2025

GROEP	4
BEGELEIDER	...
VAK	Project Natuur- en Sterrenkunde
EXPERIMENT	Measurement of the Asymmetry of the Cosmic Ray Muon Flux
VERSIE	...
STUDIE	Natuur- en sterrenkunde

Inleiding

De aanwezigheid van het magnetisch veld van de aarde veroorzaakt een asymmetrie in de oost-west kosmische muonflux. Wanneer een geladen deeltje door het magnetisch veld van de aarde beweegt, ondergaat het een afbuiging als gevolg van de Lorentzkracht. De richting en grootte van deze afbuiging worden beschreven door de Lorentzkrachtvergelijking:

$$\vec{F} = q(\vec{v} \times \vec{B}) \quad (1)$$

waarbij \vec{F} de kracht op het deeltje is, q de elektrische lading ervan, \vec{v} de snelheid van het deeltje en \vec{B} de magnetische veldvector.

Positieve muonen worden naar het oosten afgebogen en dus vanuit het westen gedetecteerd. Negatieve muonen worden daarentegen naar het westen afgebogen en vanuit het oosten gedetecteerd.

Door de vorm en richting van het magnetisch veld van de aarde is deze afbuiging sterker in de buurt van de magnetische evenaar en neemt deze af naarmate men zich naar de magnetische polen begeeft. Toch kan op relatief hoge breedtegraden, zoals in Amsterdam, de asymmetrie in de oost-west muonflux worden gemeten. Kosmische straling, die voornamelijk bestaat uit hoogenergetische protonen en heliumkernen (geïoniseerde waterstof en helium), bombardeert voortdurend de aarde. Deze primaire kosmische straling gaat een interactie aan met kernen in de bovenste atmosfeer, voornamelijk stikstof en zuurstof. Deze interacties zijn hoogenergetische nucleaire botsingen, die resulteren in de fragmentatie van het primaire deeltje of de atmosferische kern en secundaire deeltjes produceren. [1]

De meest interessante bijproducten van deze reactie zijn geladen pionen (π^\pm). Ze hebben een korte levensduur, met een eigen levensduur van ongeveer $2,6 \times 10^{-8} s$ [1]. Door hun relativistische snelheden ondergaan ze echter een aanzienlijke tijddilatatie, waardoor ze kunnen reizen voordat ze vervallen. Geladen pionen vervallen tot muonen:

$$\pi^+ \rightarrow \mu^+ + \nu_\mu \quad (2)$$

$$\pi^- \rightarrow \mu^- + \bar{\nu}_\mu \quad (3)$$

Hoewel muonen (μ^\pm) een rustlevensduur hebben van ongeveer $2,2 \times 10^{-6} s$ [1], kunnen ze door hun relativistische snelheden het aardoppervlak bereiken. In deze studie richten we ons op de detectie en analyse van de oost-west asymmetrie van muonische oorsprong.

Detectiesysteem

De metingen werden uitgevoerd met detectoren van MuonLab [2]. Ons experiment bestond uit twee opstellingen, elk bestaande uit twee detectoren.

De muonen worden gedetecteerd door de scintillatoren. In ons geval hebben we plastic scintillatoren gebruikt met een effectief volume van $40 \times 9 \times 5 \text{ cm}^3$ [2],

elk gekoppeld aan een Hamamatsu R6094 fotomultiplicatorbuis (PMT). Scintillatoren zijn gemaakt van luminescerende materialen; met andere woorden, ze zenden licht uit nadat ze ioniserende straling van binnenkomende deeltjes hebben geabsorbeerd. Dit licht wordt vervolgens geabsorbeerd door de PMT, die het opnieuw uitzendt in de vorm van elektronen, wat resulteert in een elektrische puls die wordt gebruikt om het signaal te registreren. [3]

Plastic scintillatoren bevatten fluorescerende emitters die zijn gesuspenseerd in een vaste polymatrix. Een van de belangrijkste voordelen van plastic scintillatoren is hun snelle lichtrespons, in combinatie met een relatief hoge lichtopbrengst. [3]

Wiskundige achtergrond

De berekening van de ruimtehoek die door een rechthoekige plaat wordt ingesloten, werd analytisch uitgevoerd. Aangezien de oppervlakte-normale vector in Cartesiaanse coördinaten constant blijft over de plaat, hebben we gekozen voor een wiskundige oplossing in dit coördinatensysteem. Dit leidde tot de volgende integraaluitdrukking [4]:

$$\Omega = \iint_A \frac{\frac{h}{2}}{(x^2 + y^2 + (\frac{h}{2})^2)^{3/2}} dx dy \quad (4)$$

We hebben deze dubbele integraal opgelost met behulp van verschillende trigonometrische substituties, wat resulteerde in de volgende gesloten formule:

$$\Omega = 4 \arctan \left(\frac{wl}{\frac{h}{2} \sqrt{w^2 + l^2 + (\frac{h}{2})^2}} \right) \quad (5)$$

waarbij w en l de halve lengtes van de zijden van de rechthoekige plaat zijn, en h de loodrechte afstand tussen beide detectoren is.

De algemene formule voor de solid angel is:

$$\Omega = 4 \arctan \left(\frac{(w \times \cos(\theta)) \times l}{\frac{h \times \sec(\theta)}{2} \sqrt{(w \times \cos(\theta))^2 + l^2 + (\frac{h \times \sec(\theta)}{2})^2}} \right) \quad (6)$$

Referenties

- [1] Spencer N. Axani. *The Physics Behind the CosmicWatch Desktop Muon Detectors*. 2019. arXiv: 1908.00146 [physics.ins-det]. URL: <https://arxiv.org/abs/1908.00146>.
- [2] *MuonLab* — *nikhef.nl*. <https://www.nikhef.nl/muonlab/>. [Accessed 14-06-2025].
- [3] *Scintillator* - *Wikipedia* — *en.wikipedia.org*. <https://en.wikipedia.org/wiki/Scintillator>. [Accessed 14-06-2025].

- [4] Guo Jun e.a. „The Spherical Shock Factor Theory of a FSP with an Underwater Added Structure”. In: *Shock and Vibration* 2019 (jan 2019), p. 1–12. DOI: 10.1155/2019/7080941.