

Script voor de Animatie

Sara Porta Etssam

21 juni 2025

| | |
|---------------|--|
| STUDENTNUMMER | ... |
| GROEP | 4 |
| BEGELEIDER | ... |
| VAK | Project Natuur- en Sterrenkunde |
| OPDRACHT | Measurement of the Asymmetry of the Cosmic Ray Muon Flux |
| VERSIE | Eerste Versie |
| STUDIE | Natuur- en sterrenkunde |

Inleiding

Eerste versie, tweetalig voor de animatie. De basis hiervoor zijn de tekeningen van Sude-Lara Bildirici, de scriptie. [1] en andere bronnen die in de tekst worden genoemd.

Eerste Scene

In het eerste scene, zien we een kosmische straal die erg snel naar het scherm ga.

English: The Earth's atmosphere is constanly bombarded by cosmic rays travelling at relativistic speeds through space. [2] When these cosmic rays (or high energy particles[choice of words]) collide with nuclei in the upper atmosphere, they trigger a cascade of secondary particles. The main byproduct are charged pions.

These particles are subject to the Earth's magnetic field, their motion is governed by the Lorents force.

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

This creates an asymmetry that we will measure with the detectors.

Nederlands: De atmosfeer van de aarde wordt voortdurend gebombardeerd door komische straling die met relativistische snelheden door de ruimte reizen. [2]

Wanneer deze kosmische straling botst met atoomkernen in de bovenste lagen van de atmosfeer, veroorzaakt dat een cascade van secundaire deeltjes. Het belangrijkste bijproduct zijn geladen pionen.

Deze deeltjes staan onder de invloed van het magnetische veld van de aarde; hun beweging wordt bepaald door de Lorentzkracht:

$$\vec{F} = q(\vec{E} + \vec{v} \times \vec{B}) \quad (2)$$

Dit veroorzaakt de asymmetrie die we met de detectoren zullen meten.

Tweede Scene

English: The main byproduct of cosmic rays are chaged pions quickly decay into muons and neutrinos or antineutrinos.

$$\pi^+ \rightarrow \mu^+ + \nu_\mu \quad (3)$$

$$\pi^- \rightarrow \mu^- + \bar{\nu}_\mu \quad (4)$$

Muons are relatively stable and can reach the Earth's surface.

Nederlands: Het belangrijkste bijproduct van kosmische straling zijn geladen pionen, die snel vervallen in muonen, neutrino's en antineutrino's.

$$\pi^+ \rightarrow \mu^+ + \nu_\mu \quad (5)$$

$$\pi^- \rightarrow \mu^- + \bar{\nu}_\mu \quad (6)$$

Muonen zijn relatief stabiel en kunnen het aardoppervlak bereiken.

Derde Scene

Deeltjes worden afgebogen en bereiken vervolgens de scintillatoren van het Muonlab detectoren

English: Positively charged particles: As they enter Earth's magnetic field, they are deflected eastward, so we detect them coming predominantly from the west. Negatively charged particles: These are deflected westward, so we detect them coming predominantly from the east.

Nederlands: Positief geladen deeltjes worden afgebogen naar het oosten, waardoor we ze voornamelijk vanuit het westen detecteren. Negatief geladen deeltjes worden afgebogen naaar het west, waardoor we ze voornamelijk vanuit het oosten detecteren.

Vierde Scene

Focussen op wat er gebeurt wanneer een muon een scintillator raakt.

English: When a muon hits a scintillator, it interacts electromagnetically via Coulomb force with electrons in the material. This excites the atoms, raising electrons to a higher energy level. When the electrons return to their original state. They release photons, typically in the visual spectrum causing the material to emit a flash of light. [3]

Nederlands: Wanneer een muon een scintillator raakt, interageert het elektromagnetisch via de Coulombkracht met de elektronen in het materiaal. Dit exciteert de atomen en brengt elektronen naar een hoger energieniveau. Wanneer de elektronen terug keren naar hun oorspronkelijke toestand, geven ze fotonen af, meestal in het zichtbare spectrum, waardoor het materiaal een lichtflits uitzendt.

Vijfde Scene

Focus op de photomultipliers [4]

English: This light enters a photomultiplier tube which contains multiple amplification stages. The incoming photon releases an electron from a photocathode. This electron is accelerated toward the next electrode, releasing additional electrons upon impact. This process repeats through several stages, amplifying the original signal unit until it can be recorded by our electronics. [4]

Nederlands: Dit licht komt terecht in een photomultiplierbus, die meerdere versterkingsstadia bevat. De binnenkomende foton bevrijdt een elektron uit de fotocathode. Dit elektron wordt versneld naar de volgende elektrode, waar bij de impact extra elektronen vrijkomen. Dit proces herhaalt zich door verschillende stadia, waarbij het oorspronkelijke signaal wordt versterkt totdat het door onze elektronica kan worden geregistreerd.

Zesde Scene

Focus op het Python programma op het scherm

English: The signal from the photomultiplier is converted into a digital format by an Analog-to-Digital Converter (ADC). This digital data is then processed by software and further analyzed using the data analysis tools we developed in Python.[5]

Nederlands: Het signaal van de fotomultiplier wordt omgezet in een digitaal formaat door een analoog naar digitaalconverter. Deze digitale data wordt vervolgens verwerkt door software en verder geanalyseerd met behulp van de data analysetools die we in Python hebben ontwikkeld.

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] *Cosmic ray - Wikipedia* — [en.wikipedia.org. https://en.wikipedia.org/wiki/Cosmic_ray](https://en.wikipedia.org/wiki/Cosmic_ray). [Accessed 20-06-2025].
- [3] *Scintillator - Wikipedia* — [en.wikipedia.org. https://en.wikipedia.org/wiki/Scintillator](https://en.wikipedia.org/wiki/Scintillator). [Accessed 14-06-2025].
- [4] *Photomultiplier Tubes - an overview* — *ScienceDirect Topics* — [science-direct.com. https://www.sciencedirect.com/topics/earth-and-planetary-sciences/photomultiplier-tubes](https://www.sciencedirect.com/topics/earth-and-planetary-sciences/photomultiplier-tubes). [Accessed 21-06-2025].

- [5] *Analog-to-digital converters basics*. Apr 2023. URL: <https://www.arrow.com/en/research-and-events/articles/engineering-resource-basics-of-analog-to-digital-converters#:~:text=ADCs%20follow%20a%20sequence%20when,its%20sampling%20rate%20and%20resolution..>