



## شبیه‌سازی برد و انرژی به جای گذاشته شده میون در آشکارساز سوسوزن پلاستیک

علیپور، زهرا<sup>۱</sup>، دوست محمدی، وحید<sup>۲</sup>، براتی دوین، حسین<sup>۳</sup>

<sup>۱</sup> دانشگاه زنجان، دانشکده علوم پایه، گروه فیزیک

<sup>۲</sup> دانشگاه امیر کبیر، دانشکده فیزیک و مهندسی انرژی

<sup>۳</sup> دانشگاه شهید بهشتی، گروه کاربرد پرتوها

### چکیده:

با استفاده از کد *MCNPX* برد ذره میون با انرژی‌های مختلف در آشکارساز سوسوزن پلاستیک محاسبه شد. میزان انرژی بر جای گذاشته میون و طیف پالس میون در ضخامت‌های مختلف آشکارساز سوسوزن پلاستیک بدست آمد. بر اساس نتایج محاسبه شده، میون‌های کم انرژی در هر سانتی‌متر آشکارساز سوسوزن پلاستیک انرژی بیشتری از دست می‌دهند و میون‌های پر انرژی به طور میانگین در هر سانتی‌متر،  $2\text{ MeV}$  انرژی به جای می‌گذارند.

کلمات کلیدی: میون، سوسوزن پلاستیک، *MCNPX*

## Simulation of stopping range and energy deposition of muons in the plastic scintillator detector

Alipoor, Zahra<sup>1</sup>; Doostmohammadi<sup>2</sup>, Vahid; Barati, Hossein<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Department of Physics, University of Zanjan, Zanjan

<sup>2</sup> Department of Energy Engineering and Physics, Amirkabir University of Technology, Tehran

<sup>3</sup> Department of Radiation Application, Shahid Beheshti University, Tehran

### Abstract:

Using *MCNPX* code, the stopping range of muon particles with different energies were calculated in the plastic scintillator detector. The energy loss and pulse height distribution for muons were obtained in different thicknesses of the plastic scintillator detector. According to the calculation results, energy loss of low energy muons in 1 cm of plastic scintillator is more than 2 MeV while high energy muons (GeV) deposit about 2 MeV in 1 cm plastic scintillator detector.



*Keywords: Muon, plastic scintillator, MCNPX*

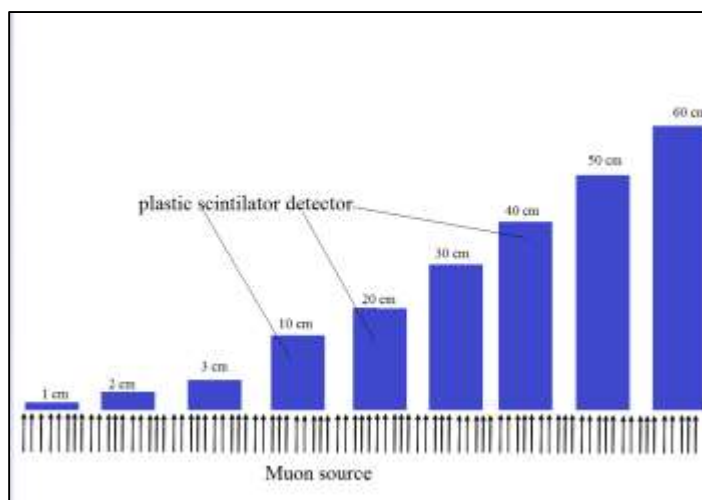
#### مقدمه:

میون‌ها ذرات بارداری هستند که حدود ۱۰۷ برابر الکترون جرم دارند. میون‌ها در ارتفاع حدود ۱۵ km جو زمین در اثر اندرکنش پرتوهای کیهانی، اغلب توسط پروتون‌های پر انرژی کیهانی، تولید می‌گردند. میون‌ها دارای بار مثبت و منفی بوده که به طور متوسط میانگین عمر آنها  $2.2 \mu s$  می‌باشد. میون‌ها با عبور از جو به سطح زمین رسیده و طیف انرژی آنها تا چند GeV نیز می‌رسد [۱]. این ذرات باردار پر انرژی، علاوه بر اندرکنش با مواد مختلف در محیط آزمایشگاه، در آشکارساز نیز انرژی به جای گذاشته و سبب افزایش طیف ناخواسته زمینه خواهند شد. به دلیل پر انرژی بودن آنها، حفاظ‌سازی بسیار پیچیده برای کاهش اثر آنها نیاز است. همچنین استفاده از مواد حفاظ سبب تولید ذرات ثانویه نظیر، الکترون، گاما، نوترون و ... می‌گردند که طیف زمینه را افزایش می‌دهند. لذا لازم است اثر این ذرات در طیف آشکارساز مورد توجه قرار گیرد. این موضوع در پژوهش‌هایی نظیر آشکارسازی آنتی‌نوترینو که سطح مقطع اندرکنش بسیار پایینی دارند، دارای اهمیت بالایی می‌باشد. در آشکارسازی آنتی‌نوترینو، غالباً از آشکارسازهای سوسوزن پلاستیک و یا سوسوزن مایع به عنوان محیط آشکارسازی استفاده می‌شوند [۲، ۳، ۴]. همچنین در سیستم‌های پایش مواد رادیواکتیو، به دلیل مقرون به صرفه بودن از آشکارسازهای سوسوزن پلاستیک بزرگ استفاده می‌گردد [۵]. اندرکنش میون با سوسوزن پلاستیک (یا مایع) علاوه بر تولید ذرات ثانویه، می‌تواند سبب ایجاد زمینه در طیف ارتفاع پالس گردد. بنابراین لازم است سهم انرژی به جای گذاشته شده این ذره در طیف مورد توجه قرار گیرد. در این تحقیق با استفاده از کد MCNPX، انرژی به جای گذاشته شده میون‌های تک انرژی و طیف انرژی میون، در آشکارساز سوسوزن پلاستیک محاسبه گردید و برد برون‌یابی شده [۶] و انرژی به جای گذاشته شده میون در محیط این آشکارساز تعیین شد.

#### روش کار:

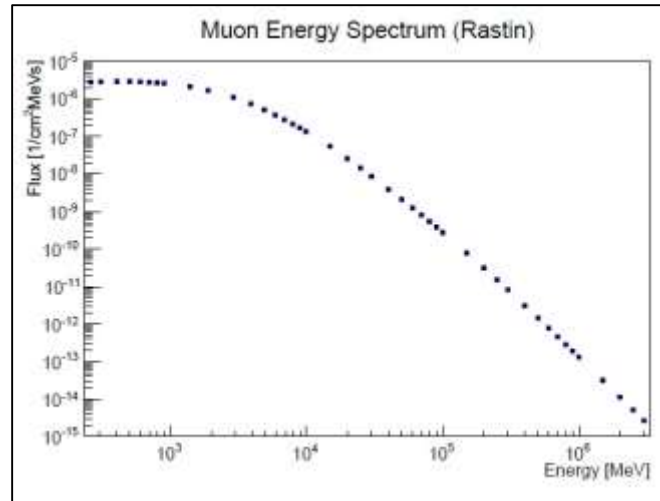
از کد شبیه‌سازی مونت کارلو MCNPX برای انجام محاسبات استفاده شد و اتلاف انرژی میون در عبور از آشکارسازهای پلاستیک بر اساس دو روش شبیه‌سازی مورد بررسی قرار گرفت. در مرحله اول، یک بلوک سوسوزن

پلاستیک به طول و عرض  $10\text{ cm} \times 10\text{ cm}$  متشکل از چندین لایه با ضخامت یکسان شبیه‌سازی شد. ضخامت هر سوسوزن مورد شبیه‌سازی، در جدول ۱ ذکر شده است. طیف انرژی و تعداد ذرات میون که از هر لایه عبور می‌کند با تالی F1 محاسبه شد و میانگین انرژی هر لایه بدست آمد. سپس اختلاف آن با میانگین انرژی لایه بعد و در نتیجه مقدار انرژی که میون در هر لایه از دست داده محاسبه شد. با استفاده از این محاسبات، ضخامت سوسوزن پلاستیک برای توقف کامل میون با انرژی مشخص به عنوان برد میون بدست آمد. در مرحله دوم، چندین بلوک سوسوزن پلاستیک با ضخامت مختلف با طول و عرض  $10\text{ cm} \times 10\text{ cm}$  شبیه‌سازی شد (شکل ۱) و با استفاده از تالی F8، طیف ارتفاع پالس حاصل از عبور میون از هر بلوک آشکارساز بدست آمد. نتایج محاسبات با خطای کمتر از یک درصد گزارش شده است.



شکل ۱. هندسه شبیه‌سازی شده برای محاسبه ارتفاع پالس در ضخامت‌های مختلف آشکارساز سوسوزن پلاستیک

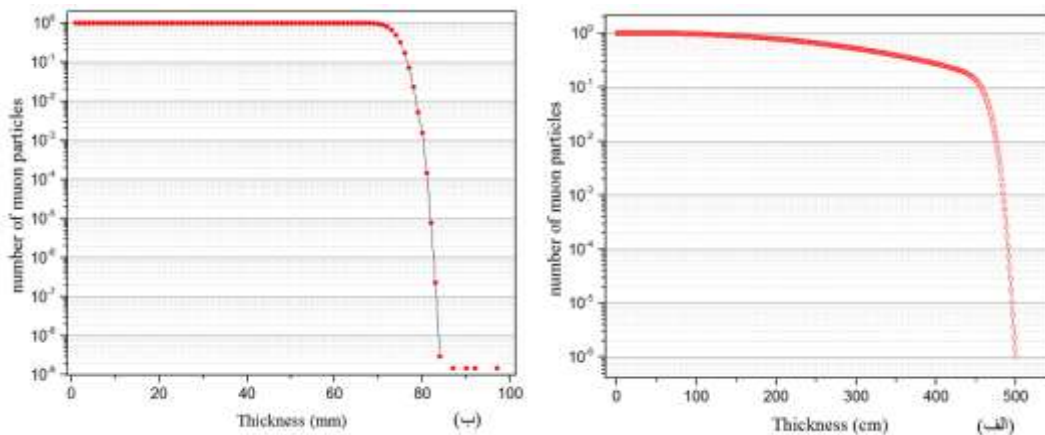
برای بررسی تاثیر انرژی میون فرودی بر نتایج، علاوه بر آنکه طیف انرژی میون در سطح دریا [۲] به عنوان چشمه تعریف شد (شکل ۲)، ذره فرودی به صورت میون تک انرژی با انرژی‌های مختلف انتخاب شد تا تفاوت رفتار میون بر اساس انرژی فرودی آن بررسی شود. چشمه میون به صورت موازی به سطح آشکارساز تابانده شد. برای شبیه‌سازی ذرات پر انرژی، کارت فیزیک ذرات نظیر میون، تغییر داده شده تا امکان تریبرد آنها میسر گردد.



شکل ۲. طیف انرژی میون در سطح زمین [۷]

### نتایج:

روند کاهش تعداد ذرات عبوری میون از لایه‌های مختلف یک بلوک سوسوزن پلاستیک در شکل ۳ مشاهده می‌شود. مطابق شکل ۳، برد میون‌های با انرژی ۴۰ MeV، در سوسوزن پلاستیک حدود ۸٫۹ cm است. در حالیکه برد میون‌های با انرژی ۱۰۰۰ MeV، در این آشکارساز حدود ۵۰۰ cm می‌باشد.



شکل ۳. تعداد میون در ضخامت‌های مختلف سوسوزن پلاستیک (الف) با انرژی ۱۰۰۰ MeV (ب) با انرژی ۴۰ MeV



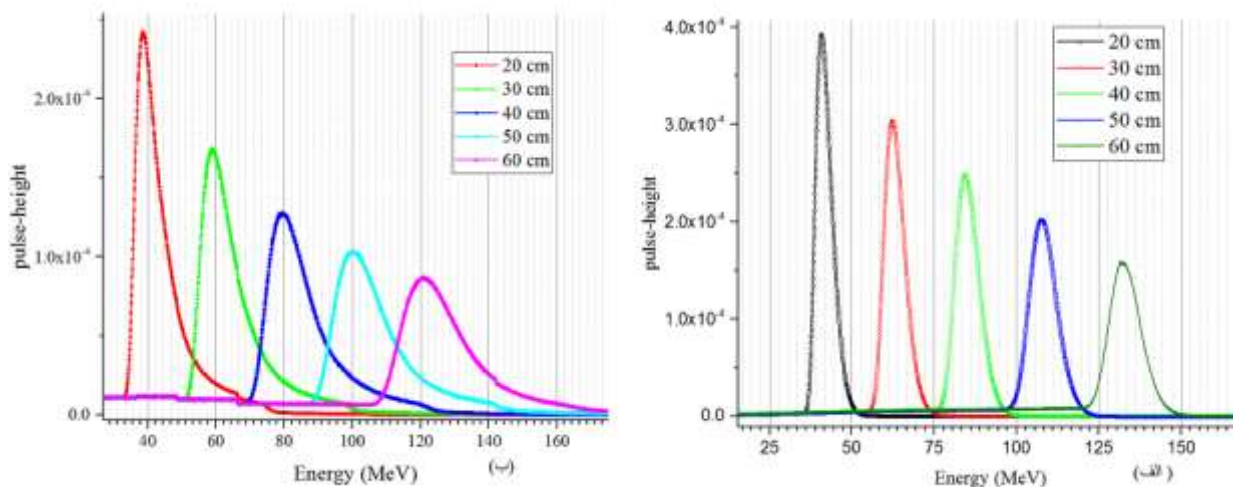
در جدول ۱ نتایج بدست آمده بر اساس محاسبه تعداد میون عبوری از هر لایه پلاستیک بر اساس انرژی‌های مختلف میون مشاهده می‌شود.

جدول ۱. برد میون‌ها با انرژی مختلف در لایه‌های سوسوزن پلاستیک

انرژی میون فرودی (MeV)	ضخامت کل پلاستیک (cm)	ضخامت هر لایه	اتلاف انرژی در هر لایه (MeV)	اتلاف انرژی میون در هر 1 cm پلاستیک (MeV)	ضخامت لازم برای توقف میون (cm)
40	10	1 mm	0.4551	4.49	8.9
80	75	5 mm	1.622	3.193	25
120	75	5 mm	1.352	2.69	44
500	600	1 cm	2.037	2.037	245
1000	600	1 cm	2	2	500

مطابق نتایج ارائه شده در جدول ۱، میون‌های کم انرژی به ازای ۱ cm آشکارساز سوسوزن پلاستیک انرژی بیشتری از دست می‌دهند و در ضخامت کمتری از آشکارساز سوسوزن پلاستیک متوقف می‌شوند و با افزایش انرژی میون ضخامت لازم برای توقف میون در آشکارساز پلاستیک افزایش می‌یابد. میون‌های پر انرژی به ازای ۱ cm آشکارساز سوسوزن پلاستیک ۲ MeV انرژی از دست می‌دهند

طیف ارتفاع پالس میون عبوری از آشکارسازهای پلاستیک با ضخامت‌های مختلف در شکل ۴ مشاهده می‌شود. به عنوان مقایسه بین نتایج، قله طیف انرژی به جای گذاشته شده میون با انرژی فرودی ۲۰۰ MeV و طیف انرژی در سطح دریا، در سوسوزن با ضخامت ۴۰ cm، به ترتیب دارای انرژی ۸۴/۵۸ MeV و ۷۹/۵ MeV می‌باشد.



شکل ۴. انرژی از دست رفته میون در ضخامت‌های مختلف پلاستیک الف) با انرژی ۲۰۰ MeV ب) با انرژی طیف میون در سطح دریا

در جدول ۲ بر اساس ضخامت‌های مختلف آشکارساز پلاستیک، میانگین انرژی از دست رفته میون و همچنین انرژی قله پالس بر جای گذاشته در آشکارساز ذکر شده است. در این جدول، ستون دوم مربوط به هر انرژی میون فرودی، میانگین انرژی به جای گذاشته شده در سوسوزن پلاستیک می‌باشد.

جدول ۲ انرژی به جای گذاشته شده میون در ضخامت‌های مختلف

انرژی میون فرودی (MeV)						ضخامت آشکارساز پلاستیک (cm)
طیف میون در سطح دریا		200		20		
میانگین انرژی از دست رفته میون (MeV)	قله ارتفاع پالس (MeV)	میانگین انرژی از دست رفته میون (MeV)	قله ارتفاع پالس (MeV)	میانگین انرژی از دست رفته میون (MeV)	قله ارتفاع پالس (MeV)	
2.2	1.67	2.132	1.8	5.55	5.42	1
4.34	3.51	4.177	3.65	13.642	13.397	2
6.46	5.35	6.247	5.57	20	20	3
21.38	18.79	20.8	19.67	20	20	10
42.05	38.71	41.488	40.67	20	20	20
81.84	79.5	84.43	84.58	20	20	40
119.5	120.94	131.61	131.55	20	20	60



بر اساس نتایج جدول ۲، قله ارتفاع پالس حاصل از عبور میون از ضخامت‌های مختلف آشکارساز سوسوزن پلاستیک بر اساس انرژی از دست رفته میون در هر  $1\text{ cm}$  آشکارساز سوسوزن پلاستیک بدست می‌آید. به عنوان مقایسه بین نتایج، میون کیهانی موجود در سطح دریا، از یک آشکارساز سوسوزن پلاستیک به ضخامت  $2\text{ cm}$  و  $40\text{ cm}$  عبور کند انرژی قله طیف به ترتیب  $3.5\text{ MeV}$  و  $79.5\text{ MeV}$  خواهد بود.

### نتیجه گیری:

بر اساس نتایج ذکر شده در جدول ۱ و جدول ۲، با افزایش انرژی میون فرودی، به ازای هر سانتی‌متر سوسوزن پلاستیک، میون به طور میانگین  $2\text{ MeV}$  انرژی از دست می‌دهد که با نتایج به دست آمده توسط دیگران تطابق دارد [۴]. همچنین بر اساس نتایج بدست آمده، برای طیف انرژی میون کیهانی که به سطح دریا می‌رسد، میون در عبور از آشکارساز پلاستیک  $2\text{ MeV}$  انرژی در هر سانتی‌متر از دست می‌دهد. نتایج حاصل از این بررسی در تعیین مکان قله انرژی میون در طیف ارتفاع پالس با توجه به ضخامت آشکارساز سوسوزن پلاستیک، مورد استفاده قرار خواهد گرفت. بر اساس روش این تحقیق، می‌توان قله انتظاری میون را در طیف ارتفاع پالس سایر آشکارسازها نیز به دست آورد.

### منابع:

- [1] Prashant Shukla “Energy and angular distributions of atmospheric muons at the Earth”, arXiv:1606.06907vP2, 23 Jun 2016.
- [2] M. Battaglieri, et al., “An anti-neutrino detector to monitor nuclear reactor’s power and fuel composition”, Nuclear Instruments and Methods A 617 (2010) 209-213.
- [3] Y. Kuroda, et al., “A mobile antineutrino detector with plastic scintillators”, Nuclear Instruments and Methods A 690 (2012) 41-47.
- [4] Danielle Norcini, “Development of PROSPECT detectors for precision antineutrino studies” PROSPECT collaboration at DPF 2015: 5 August 2015.
- [5] D. V. Jordan, et al., “Advanced large-area plastic scintillator project (ALPS): Final report, PNNL-(7305)-July 2007.
- [6] N. Tsoulfanidis, S. Landsberger, “Measurement and detection of radiation”, 3<sup>rd</sup> edition, 2011.
- [7] B. C. Rastin, “An accurate measurement of the sea level muon spectrum within the range  $4\text{-GeV}/c$  to  $3000\text{-GeV}/c$ ”. J. Phys., G10:1609–1628, 1984.
- [8] Ewart W. Blackmore, Matthew Stukel, Michael Trinczek, Charles Slayman, Shi-Jie Wen, and Richard Wong, “Terrestrial Muon Flux Measurement at Low Energies for Soft Error Studies”, IEEE TRANSACTIONS ON NUCLEAR SCIENCE, 62 (2015).