

Implementación de un modelo de detector Cherenkov en Geant4 para detectar neutrones térmicos

Jaime A. Betancourt M.^{1*}, Luis A. Nuñez¹, Christian Sarmiento Cano¹, Jesus Peña Rodriguez²

1) Escuela de Física, Universidad Industrial de Santander (UIS),

Bucaramanga - Colombia

`jaime2208002@correo.uis.edu.co`

2) Bergische Universität Wuppertal
Alemania

Resumen

Los rayos cósmicos son partículas que llegan desde el espacio exterior y bombardean constantemente la Tierra en todas las direcciones. Están compuestos por protones, partículas alfa y el resto son núcleos pesados [1]. Al interactuar con la atmósfera (oxígeno o nitrógeno) se crean cascadas de partículas secundarias entre las que se encuentran las de neutrones secundarios[2]. El espectro energético de los neutrones contiene cuatro secciones, clasificadas así; (a) neutrones de alta energía, con energía de $11MeV < E < 10GeV$. Se producen por la colisión entre protones o átomos más pesados que vienen del espacio exterior y los núcleos atmosféricos [3]. Viajan a través de la atmósfera y crean cascadas de neutrones rápidos (b), que llegan finalmente al suelo. Con energías de $100KeV < E < 11MeV$; (c) neutrones epitermicos con energías $0,5eV < E < 100KeV$ y térmicos de baja energía ($0,025eV < E < 0,5 eV$) producidos por la moderación de los neutrones rápidos mediante colisiones con núcleos atómicos (como por ejemplo los átomos de hidrógeno [4]).

La abundancia de neutrones epitérmicos es inversamente proporcional a la humedad del suelo[5]. Este fenómeno puede utilizarse para construir detectores de neutrones de rayos cósmicos con el fin de monitorear el nivel de

humedad del suelo. Los detectores gaseosos (tubos de ^3H) son los más utilizados para realizar la medición [6], debido a que en combinación con materiales moderadores (como el polietileno) son eficientes para la detección de neutrones rápidos. Para competir con los detectores de gas, se evalúan detectores de centelleo mezclados con un agente de captura de neutrones que permite su detección [7]. También se han realizado pruebas con detectores Cherenkov de agua para su uso en la detección de neutrones [8], ya que están fabricados con materiales económicos, no tóxicos y de fácil acceso.

En el presente trabajo se implementa y modifica un modelo Cherenkov en Geant4 para detección de neutrones térmicos. Evaluamos las condiciones de funcionamiento para la detección de neutrones con agua y agua más un aditivo como el NaCl. En cuanto a los resultados se observa que la reacción principal en el volumen detector es la captura del neutrón por el hidrógeno del agua emitiendo un fotón de 2,22 MeV. Además, se muestra que los gammas de 2.2 MeV provenientes de la captura del neutrón por parte del Hidrógeno tienen suficiente energía para impulsar los electrones Compton y produzcan señal Cherenkov. El aditivo mejora la eficiencia del detector para neutrones hasta de un 68% cuando se inyecta a un 2.5% de la masa de agua. De tal manera que con un dispositivo tal, nos permite relacionar la medición de neutrones con la humedad.

References

- [1] Gaisser, T., Engel, R., Resconi, E. (2016). Extensive air showers. In *Cosmic Rays and Particle Physics* (pp. 313-340). Cambridge: Cambridge University Press. doi:10.1017/CBO9781139192194.018.
- [2] M. Andreasen, K.H. Jensen, D. Desilets, T.E. Franz, M. Zreda, H.R. Bogen, M.C. Looms. 2017. Status and perspectives on the cosmic-ray neutron method for soil moisture estimation and other environmental science applications. *Vadose Zone J.* 16(8). doi:10.2136/vzj2017.04.0086
- [3] Kohli, M., M. Schron, M. Zreda, U. Schmidt, P. Dietrich, S. Zacharias (2015), Footprint characteristics revised for field-scale soil moisture monitoring with cosmicray neutrons, *Water Resour. Res.*, 51, 5772–5790, doi:10.1002/2015WR017169.
- [4] Glasstone, S. and Edlund, M. C.: *Elements of nuclear reactor theory*, 5th Edn., Van Nostrand, New York, 416 pp., 1952.
- [5] Desilets, D., Zreda, M., and Ferre, T.: Nature's neutron probe: Land-surface hydrology at an elusive scale with cosmic rays, *Water Resour. Res.*, 46, W11505, doi:10.1029/2009WR008726, 2010.
- [6] Stefaan T., 2014. *Experimental Techniques in Nuclear and Particle Physics*. (pp. 209-224). Springer; 2010 edición.
- [7] Zreda, M., W.J. Shuttleworth, X. Zeng, C. Zweck, D. Desilets, T. Franz, R. Rosolem. 2012. COSMOS: The COsmic-ray Soil Moisture Observing System. *Hydrol. Earth Syst. Sci.* 16:4079–4099. doi:10.5194/hess-16-4079-2012.
- [8] Evans, J.G., H.C. Ward, J.R. Blake, E.J. Hewitt, R. Morrison, M. Fry. 2016. Soil water content in southern England derived from a cosmic-ray soil moisture observing system: COSMOS-UK. *Hydrol. Processes* 30:4987–4999. doi:10.1002/hyp.10929Evans et al., 2016