



## 1. DATOS BÁSICOS DEL TFG:

**Título:** Dilatación temporal relativista usando muones atmosféricos

**Descripción general** (resumen y metodología):

La enseñanza, desde la Física experimental, de fenómenos que ocurren fuera de la escala antropocéntrica, como los relativistas, siempre es complicada. Con una práctica docente que demuestra la dilatación temporal, se pretende consolidar el aprendizaje teórico de la Cinemática relativista (manejo de tiempos propio e impropio) y en segundo plano, promover un acercamiento a la instrumentación científica, la ley de desintegración radiactiva y la Física de partículas.

Los muones son partículas elementales relativistas que se producen a una altitud de 15 km por la interacción de la radiación cósmica con la atmósfera. Los muones se desintegran a la vez que se dirigen hacia la superficie terrestre (bajo incidencia normal). Despreciando el frenado con la atmósfera, a menor altitud la población de muones es menor conforme su naturaleza radiactiva. La lectura estadísticamente significativa de cuentas de muones en cada altitud es relativamente estable, según las condiciones atmosféricas (evitando tormentas eléctricas). Conocidas la vida media de los muones ( $\sim 2.2 \mu\text{s}$ ) y su velocidad promedio ( $(2.99 \pm 0.15) \times 10^8 \text{ m/s} = 0.99c$ ), se puede calcular la razón entre cuentas en dos altitudes diferentes usando el lapso entre ambas lecturas como el tiempo de recorrido de los muones según un observador inercial terrestre. Existe un desacuerdo con las cuentas medidas porque para la estimación se utilizan tiempos impropio y propio en la ley de desintegración. En cambio, si se utiliza la vida media impropia de los muones, a través de la dilatación temporal de Lorentz, teoría-experimento encajan. La corrección también se puede enfocar usando el tiempo propio para los muones en el que la superficie terrestre se acerca a ellos, es decir, a través del espesor impropio de atmósfera que atraviesan los muones durante su vuelo.

La experiencia consistirá en la medida, con un equipo portátil y autónomo CosmicWatch, de la población de muones atmosféricos en diferentes altitudes: Pico Veleta (3396m), OSN (2900m), Albergue Universitario de Sierra Nevada (2500m), estación de Sierra Nevada (2500m), Cerro Poyos (1830m), Ermita Vieja de Dílar (1380m), Ermita Nueva de Dílar (945m), Granada Ciudad (738m) y Granada costa (1m). La toma de datos se hará en experiencias de campo de día y noche y, además, se instalará un par de detectores permanentes en la estación de Sierra Nevada del Grupo de investigación Física de la Atmósfera (RNM119) (<https://atmosphere.ugr.es/informacion/presentacion/instalaciones/cp-sns>) con el que se pretende tener una lectura remota via web. Especial atención se pondrá en la orientación vertical local de los detectores para evitar el efecto angular del flujo incidente de muones. La altitud se medirá con altímetros barométricos o de smartphones. Un teléfono móvil permitirá determinar las coordenadas GPS del lugar, alinear los detectores perpendiculares al cielo y validar la altitud por gravimetría. Los datos registrados por los detectores móviles se guardarán en memorias micro-SD para su posterior análisis. Los datos registrados por los detectores de muones de laboratorio se analizarán mediante la web: <http://www.cosmicwatch.lns.mit.edu/measure> o con un script de Python a través de PC. Los detectores de muones de laboratorio se conectarán a osciloscopios para visualizar la secuencia temporal de pulsos.

**Tipología:** Elaboración de guías prácticas clínicas o de laboratorio.

**Objetivos planteados:**

Ilustración experimental de la Teoría de la Relatividad Especial.

**Bibliografía básica:**

1. Experimentos con un detector de muones portátil, Miguel Rios Martin, Revista Española de Física, Vol 37, No 3 (2023)
2. The CosmicWatch Desktop Muon Detector: a self-contained, pocket sized particle detector, S.N. Axani et al 2018 JINST 13 P03019
3. Relativistic Effect of Cosmogenic Muons, Efrain Covarrubias, Comunicación privada. [https://www.csustan.edu/sites/default/files/2022-07/dis\\_efraincovarrubias\\_muonrelativity.pdf](https://www.csustan.edu/sites/default/files/2022-07/dis_efraincovarrubias_muonrelativity.pdf)
4. <https://www.ukraa.com/store/categories/cosmic-rays/two-detectors>

**Recomendaciones y orientaciones para el estudiante:**

Habilidades experimentales, Conocimientos de Mecánica y Ondas, Radioactividad, Física Nuclear y de Partículas y Técnicas Experimentales Básicas. Disponibilidad para salidas de campo.

**Plazas:** 1

**2. DATOS DEL TUTOR/A:**

**Nombre y apellidos:** MIGUEL ÁNGEL RODRÍGUEZ VALVERDE

**Ámbito de conocimiento/Departamento:** FÍSICA APLICADA

**Correo electrónico:** marodri@ugr.es

**3. COTUTOR/A DE LA UGR (en su caso):**

**Nombre y apellidos:** PATRICIA SÁNCHEZ LUCAS

**Ámbito de conocimiento/Departamento:** FÍSICA TEÓRICA

**Correo electrónico:** patriciasl@ugr.es

**4. COTUTOR/A EXTERNO/A (en su caso):**

**Nombre y apellidos:**

**Correo electrónico:**

**Nombre de la empresa o institución:**

**Dirección postal:**

**Puesto del tutor en la empresa o institución:**

**Centro de convenio Externo:**

**5. DATOS DEL ESTUDIANTE:**

**Nombre y apellidos:** JOEL NAVARRO PUGA

**Correo electrónico:** jonavarro03@correo.ugr.es