



Final Discover the COSMOS Demonstrators

2.6. Experimentos con un telescopio de rayos cósmicos

Nombre de la Institución: Universidad de Birmingham

Título de la plantilla del escenario educativo: la enseñanza basada en la indagación

Título del escenario educativo: Detectar rayos cósmicos con contadores de centelleo

Versión: 1,0

Problema educativo:

En nuestra experiencia cotidiana, nos son ajenos al entendimiento los rayos cósmicos que atraviesan nuestros hogares y nuestros cuerpos. Estas partículas, sobre todo desde el espacio exterior, son detectables sólo cuando interactúan. Las partículas cargadas dejan rastros de ionización de partículas neutras y pasar a través de materia no causa ningún efecto hasta que interactúan para producir partículas cargadas: estas son detectadas a través de su ionización. A pesar de esta aparente intangibilidad, las partículas cargadas pueden ser detectados en contadores de centelleo de plástico y así determinar características básicas de estos rayos cósmicos. Podemos investigar fenómenos que parecerían a primera vista fuera de nuestro alcance.

Los objetivos educativos de escenarios:

En este escenario educativo, los participantes podrán:

1. investigar el origen de los rayos cósmicos (rayos cósmicos primarios)
2. darse cuenta de que los rayos cósmicos primarios interactúan a un nivel elevado en la atmósfera de la Tierra, produciendo una lluvia de partículas secundarias



Final Discover the COSMOS Demonstrators

3. apreciar que estos rayos cósmicos secundarios incluyen principalmente *muones* (200 veces más pesado que el electrón y con una duración de poco más de $2\mu s$)
4. entender cómo las partículas cargadas interactúan a medida que pasan a través de la materia, en particular la forma en que puede ser detectadas por los senderos de ionización que producen
5. discutir cómo estos senderos de ionización, que constituyen pequeñas cantidades de carga eléctrica, se pueden detectar
6. entender cómo una partícula cargada se puede detectar mediante el uso de un contador de centelleo es decir, un *centelleador* y tubo fotomultiplicador combinado.
7. convencerse a sí mismos de los principios básicos de la detección electrónica: aunque la mayoría de las señales de los tubos fotomultiplicadores comprenden impulsos de ruido, se puede detectar partículas exigiendo una coincidencia de dos o más contadores de centelleo.
8. utilizando varios contadores de centelleo, establecer un telescopio de rayos cósmicos y medir la velocidad de los rayos cósmicos incidentes
9. con los contadores montados verticalmente uno encima de otro, determinar cómo la velocidad medida varía con la separación de los contadores. ¿Cómo se puede definir con precisión la dirección de las partículas entrantes?
10. con los contadores en un plano, medir la tasa de coincidencia y determinar cómo los cambios en la tasa como la separación horizontal de los contadores aumenta
11. diseñar un programa de experimentos, por ejemplo, repetir las mediciones en diferentes momentos del día, en interiores y al aire libre, en diferentes partes del edificio



Final Discover the COSMOS Demonstrators

12. buscar correlaciones de la velocidad medida con factores externos, como la temperatura del aire y la presión
13. mediante la medición de coincidencias retardadas entre los contadores en una pila vertical, determinar el tiempo de vida del *muón*.
14. discutir cómo estas mediciones dconcuerdan (o no) con las propiedades conocidas de los rayos cósmicos
15. resumir sus datos, describir a otros grupos lo que han hecho y, si es posible, comparar los resultados
16. entender la conexión entre sus estudios de rayos cósmicos y los actuales experimentos de física de partículas

Características y necesidades de los estudiantes:

En etapas escolares tempranas, la física de partículas (y en menor medida la astronomía) parece un tema muy remoto a los estudiantes. Las partículas se producen aparente y misteriosamente en interacciones a altas energías; la mayoría son inestables y se descomponen antes de viajar una distancia significativa; aquellas partículas a las cuales no se puede hacer de forma instantánea la descomposición, se observan sólo indirectamente. Las partículas son demasiado pequeños verlas a simple vista y directamente. Al presentar a los estudiantes con un telescopio de centelleo y animándoles a diseñar sus propios experimentos, pueden empezar a apreciar cómo podemos investigar este mundo sub-atómico.

Los estudiantes pueden estar familiarizados con la radiación alfa, beta y gamma y con las posibles fuentes de radiación, pero puede estar menos acostumbrados a otra fuente de radiación de fondo: los rayos cósmicos. Este flujo de partículas procedentes del espacio exterior es intrigante. Los



Final Discover the COSMOS Demonstrators

estudiantes rápidamente suponen que la razón por la que no son conscientes de estas partículas es que son tan pequeñas que pasan a través de sus cuerpos sin interactuar. Pero si éstas no producen ningún efecto, ¿cómo pueden ser detectadas? Y, si lo fueran, ¿podrían estas partículas tener algún impacto en sus cuerpos? Tales preguntas inmediatamente despiertan el interés de los estudiantes.

Mediante el uso de contadores de centelleo, los estudiantes entenderán cómo funcionan los dispositivos, podrá apreciar la diferencia entre la señal y el ruido y la forma de suprimir el último -conceptos aparentemente esotéricos pero bastante sencillos cuando se puede tener acceso al equipo directamente-. Pueden alterar la configuración de los contadores de centelleo al seguir su propio programa de mediciones. Los resultados se analizarán y discutirán par después acordar los siguientes pasos. En cada etapa, los estudiantes describen lo que han hecho, hablan de la importancia de lo que han observado y acuerdan cómo proceder.

La comunicación es esencial en la investigación y las actividades ilustran esto muy bien a los estudiantes. Al comparar sus resultados con los datos existentes, los estudiantes podrán acceder a los datos publicados y apreciar la importancia de estimar las incertidumbres, y señalar cuidadosamente las condiciones exactas de sus mediciones. Después de haber visto cómo su propia configuración simple puede producir resultados significativos, los estudiantes podrán apreciar la importancia de experimentos con rayos cósmicos mucho mayores (por ejemplo TRACER, KASCADE, Auger, HESS y CTA).

<http://tracer.uchicago.edu/>

http://www-ik.fzk.de/KASCADE/KASCADE_welcome_Grande.html

<http://www.auger.org/>

<http://www.mpi-hd.mpg.de/hfm/HESS/>



Final Discover the COSMOS Demonstrators

<http://www.cta-observatory.org/>

Justificación del enfoque educativo y parámetros que garantizan su puesta en práctica:

Este escenario permite a los estudiantes adquirir experiencia en el trabajo con detectores de partículas reales y diseñar sus propios experimentos así como comparar sus resultados directamente con los datos existentes. Aunque los estudiantes no construyen los detectores de sí mismos, la ganancia de experiencia a través del trabajo en equipo es notoria. La alteración de la configuración física de los contadores, la determinación de los puntos óptimos de alta tensión de funcionamiento de los tubos pm y medir los índices de los contadores, de manera individual y en las coincidencias son algunas de las actividades que realizan. Creemos que la experiencia práctica de interactuar con el aparato es clave para la comprensión de los estudiantes y establece un nivel de confianza que les permite diseñar sus experimentos originales.

Aunque un profesor estará a su disposición para ofrecer consejos, los alumnos determinarán después de la discusión la mejor manera de seguir adelante con sus investigaciones. Debido a que algunos estudiantes prefieren trabajar directamente con los detectores, mientras que otros podrán disfrutar de más detalles investigando en la web, el profesor puede dirigir suavemente sus actividades de manera que los estudiantes puedan experimentar con todos los aspectos de la misma.

Las investigaciones plantearán cuestiones que atraigan a los estudiantes en áreas no exploradas de la física. Por ejemplo, el hecho de que el principal componente de los rayos cósmicos secundarios consta de *muones* es una ilustración directa de la dilatación del tiempo y de la importancia de la Relatividad Especial. (Como el *muón* tiene una vida útil de $2.2\mu s$, viajará en



Final Discover the COSMOS Demonstrators

promedio $660m$ antes de desintegrarse, incluso si se mueve a la velocidad de la luz. Por lo tanto hay una posibilidad insignificante de un muón sobreviva desde su punto de producción en la atmósfera superior a la superficie de la Tierra ... (¡a menos que se invoque la Relatividad Especial!).

Actividades de aprendizaje:

Fase 1: Actividades que suscitan cuestiones

Los debates, dirigidos por el maestro, versarán sobre los siguientes temas

- ¿con qué formas de radiación estamos familiarizados? (*la luz del sol, alfa, beta y rayos gamma; los rayos cósmicos (?)*)
- ¿qué son los rayos cósmicos y de dónde han venido? (*partículas cargadas, protones, principalmente partículas de baja energía procedentes del Sol, mayor energía principalmente de estrellas en explosión; más alta energía de los agujeros negros*)
- lo que ocurre cuando una partícula cargada pasa a través de la materia? (*ionización*)
- la forma de detectar esta débil rastro de ionización? (*gotitas de vapor -> cámara de niebla, burbujas en el líquido hirviendo -> cámara de burbujas, chispas a lo largo de camino ionizado -> cámara de chispas; destello de luz en centelleador-> señal eléctrica producida por un tubo fotomultiplicador*)
- las propiedades de los rayos cósmicos, ¿pueden medirse con un conjunto de contadores de centelleo? (*dirección - la precisión y la forma en que podría mejorarse; llegada simultánea de varias partículas - mediante el establecimiento de varios contadores de lado a lado*)
- discusión de decaimiento de partículas y consultar cuáles son las normas podrían regir estas desintegraciones (*el concepto de estados energéticos en descomposición a estados de menor energía se pueden desarrollar y*



Final Discover the COSMOS Demonstrators

las leyes de conservación diferentes introducido, abriendo la puerta a la física de partículas).

Fase 2: Investigación Activa

Investigaciones críticas sobre los siguientes temas:

- ¿cómo detectan los contadores de centelleo las partículas cargadas? (*ionización-> flash de luz de centelleo; fotones de dispersión óptica, principalmente a través de la reflexión total interna en el tubo pm -> toneladas de electrones expulsadas del fotocátodo -> avalancha electrones en el tubo pm - pulso -> carga medible*)
- ¿Qué es el flujo esperado de los rayos cósmicos? (*por lo general, cómo este número debe ser modificado para tener en cuenta el rango angular aceptado por el telescopio contrario; la introducción del concepto de ángulo sólido*)
- ¿hasta qué punto los rayos cósmicos aparecen como partículas individuales o como una lluvia de partículas? (*comparar las tasas con contadores colocados verticalmente y dispuestos horizontalmente*)
- medición del tiempo de vida del muón (*mediante la medición de las diferencias de tiempo entre un muón en dejar de centellear y el momento de su decadencia a un electrón, más neutrinos, su vida útil se puede determinar*).

Fase 3: Creación

Los estudiantes usan el telescopio de rayos cósmicos y en cada etapa comparar los resultados con las expectativas. El telescopio de rayos cósmicos está descrito en el enlace siguiente, así como una guía de posibles actividades para realizar:

<http://www.ep.ph.bham.ac.uk/twiki/bin/view/General/QuarkNet>



Final Discover the COSMOS Demonstrators

La configuración y detalles de los experimentos posibles se describen en:

<http://www.ep.ph.bham.ac.uk/twiki/bin/view/General/WorkSheets>

- inicialmente seguir los ejercicios descritos en las hojas de trabajo
- discutir juntos en cada etapa lo que debe hacer
- anotar los ajustes del equipo y los tipos de medidas. (Los gastos se pueden medir directamente en un escalador o registrarlos automáticamente en un ordenador)

Fase 4: Discusión

Los estudiantes describen sus datos a los compañeros y analizan críticamente sus resultados.

- ¿Sus resultados experimentales concuerdan con las expectativas? (Por ejemplo, si el flujo de rayos cósmicos se midió como una función del ángulo, hora, altura, presión de aire, al hacer estas mediciones concuerdan **cualitativamente** con lo que se espera a partir del estudio inicial de los rayos cósmicos)
- A continuación, comienza el diálogo interesante: ¿cuáles son las incertidumbres involucradas en la medición y en la predicción? ¿Son compatibles los dos **cuantitativamente**?
- ¿Son los resultados compatibles con los aportados por otros grupos locales e internacionales (ya sea publicados o presentados en otros sitios web).



Final Discover the COSMOS Demonstrators

Fase 5: Reflexión

Los estudiantes aprecian la implicación de sus resultados y comienzan a ver una conexión con la investigación científica. Este es el elemento clave de la investigación: el progreso científico se realizará mediante la comparación y la experimentación con la teoría en busca de consistencia o defectos).

- ¿Los resultados sugieren que nuestra imagen de los rayos cósmicos (es decir, su origen y producción) es la correcta?
- Puede que la imagen estándar deba ser modificada? ¿Hay alguna evidencia que apoya tal movimiento?
- Los rayos cósmicos observados en el telescopio de centelleo puede ser producidos como parte de duchas de aire extensas: se está estudiando, por ejemplo, en el proyecto Auger en Argentina:

<http://www.auger.org/>



Final Discover the COSMOS Demonstrators

Roles de participación:

Los estudiantes

- Adquirir experiencia en el uso de detectores de partículas
- Familiarizarse con la toma de datos, con juzgar cuánto tiempo se debe ejecutar y cuándo cambiar las condiciones
- Evaluar las incertidumbres (tanto estadística como sistemáticamente)
- Estimar qué resultados se pueden esperar y comparar con las mediciones
- Considerar las implicaciones de sus resultados. ¿Sus medidas concuerdan con las de otros grupos? (Consulte en la página web arriba).
- Producir un resultado y resumirlo en carteles. Esto puede ser usado para describir la actividad a otros grupos.

El/la Profesor/a

- Explica los principios básicos de la detección de partículas
- Aconseja cómo trabajar con los contadores de centelleo
- Guía el trabajo de los estudiantes a través de las hojas de trabajo de laboratorio
- Activa la discusión entre los estudiantes y alienta a seguir sus propias líneas originales de investigación
- Sugiere investigaciones paralelas en la web con el fin de cotejar los resultados
- Ayuda a los estudiantes en la evaluación de sus resultados
- Guía del estudiante para referirse a los trabajos de investigación donde se tomaron datos similares
- Permite a los estudiantes repetir las medidas si es necesario (es decir, permite una investigación muy abierta)

Herramientas, servicios y recursos:



Final Discover the COSMOS Demonstrators

Parte de una habitación o de laboratorio en el que se utilice el telescopio de centelleo.

El telescopio de rayos cósmicos comprende un conjunto de contadores de centelleos, cuyas señales son leídas por la placa electrónica Quarknet que almacena los datos y permite el análisis de las señales. Se logra simplemente mediante la conexión de la placa Quarknet a un PC u ordenador portátil

<http://quarknet.fnal.gov/>

La placa Quarknet está equipado para leer las señales GPS que permite la información de tiempo y lugar que se grabará automáticamente. El sitio web a continuación señala el Rayo Cósmico E-Lab, que contiene una gran cantidad de ideas y herramientas con las que analizar los datos. Por ejemplo:

<http://www.i2u2.org/elab/cosmic/home/project.jsp>

El contador de centelleo consiste en un contador de centelleo de plástico conectado a un tubo fotomultiplicador (PMT) que se mantiene a una tensión de trabajo alta, a través de una tensión de control de LV. Por lo tanto, los contadores son completamente seguros de usar y no hay peligro de alto voltaje. (La construcción de los contadores se describe en la referencia anterior).

El aparato, que comprende el telescopio y tabla Quarknet, pueden ser prestados por la Universidad de Birmingham:

<http://www.ep.ph.bham.ac.uk/twiki/bin/view/General/QuarkNet>

Otros grupos de investigación (por ejemplo en la Universidad de Dresden en Alemania) tienen un esquema compatible muy similar, al igual que otras instituciones.



Final Discover the COSMOS Demonstrators

Se necesita:

- PCs con acceso a Internet.
- Una pizarra en la que se pueden anotar las discusiones, las estimaciones y describir los resultados.