

Memoria de Prácticas

Gael González Abal

DNI: 39488779X

Rúa San Xoán de Arcal, 35. Redondela, Pontevedra.

E-mail: `gael.gonzalez.abal@rai.usc.es`

Teléfono de contacto: +34 644340548.

1. Información sobre las prácticas

Prácticas realizadas en el IGFAE (Instuto Galego de Física de Altas Enerxías) perteneciente a la Universidad de Santiago de Compostela con página web: <https://igfae.usc.es/igfae/>, número de teléfono: +34 881814033 ext: 14033 y correo electrónico: `igfae@usc.es`, bajo la supervisión del tutor Miguel Lozano González, investigador en el IGFAE, y la tutora académica Beatriz Fernández Domínguez, responsable del grupo de Física Corpuscular y Aplicaciones (FICA).

Las prácticas fueron realizadas entre el día 5 de Junio y el 26 de Julio del 2023 en horario de 10:00 a 14:00, realizando un total de 150 horas de trabajo.

2. Memoria de Actividades

2.1. Objetivos

El objetivo principal de estas prácticas será realizar una simulación del comportamiento real de un prototipo, de menores dimensiones, del detector ACTAR TPC (*ACtive TARget and Time Projection Chamber*) y comparar los resultados obtenidos con resultados experimentales reales. La reacción a estudiar fue una colisión elástica:

$$n + p \rightarrow n + p$$

Otro de los objetivos de las prácticas era familiarizarse con el lenguaje de programación C++/ROOT el software más utilizado en física nuclear y de partículas.

2.2. Trabajo Realizado

■ Introducción a C++/ROOT.

El primer paso fue aprender la sintaxis básica de C++ y las herramientas necesarias proporcionadas por ROOT para poder realizar posteriormente los programas necesarios. La primera semana se dedicó al estudio del lenguaje de programación mediante pequeños programas a partir de los cuales se ejemplificaban todas las funciones principales de C++ y ROOT.

■ Cálculo teórico de la cinemática.

Para poder implementar el código debemos antes caracterizar la cinemática de nuestra reacción. Suponiendo una colisión general entre dos cuerpos

$$p_1 + p_2 \rightarrow p_3 + p_4$$

y asumiendo que la partícula pesada p_4 puede encontrarse en un estado excitado de manera que $m'_4 = m_4 + E_{exc}$ realizamos el cálculo teórico para obtener los valores de E_3 y θ_3 a partir de las variables en el centro de masas E_{CM} , $m_{3,4}$ y θ_{CM} . A partir de estos cálculos podemos obtener también expresiones para reconstruir la energía inicial del haz de partículas conociendo E_3 y θ_3 , expresiones que serán de mucha utilidad en la simulación.

■ Implementación de la simulación

Una vez realizados los cálculos teóricos necesarios, el siguiente paso fue establecer la geometría de nuestro prototipo del detector ACTAR TPC,. Este es un detector gaseoso de isobutano a una presión determinada al que se le colocan en los laterales unos detectores auxiliares de Silicio, esquematizado en la figura 1.

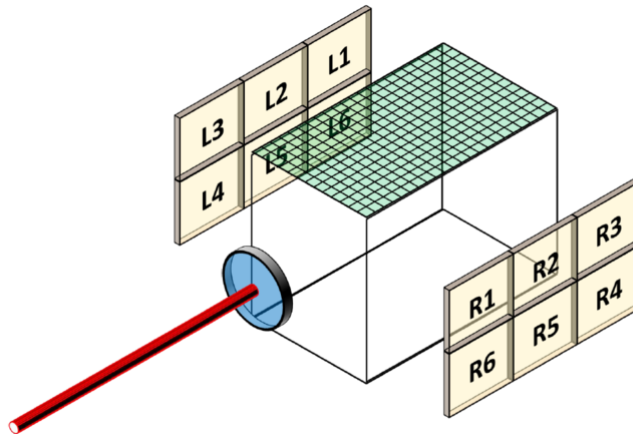


Figura 1: Disposición experimental de los detectores

Lo primero será crear vértices aleatorios y uniformes en el interior del detector y crear una

distribución angular uniforme en ϕ_{CM} y θ_{CM} . A partir de estos valores angulares, usando las expresiones cinemáticas calculadas pudimos obtener θ_{Lab} y ϕ_{Lab} y por lo tanto conocer la dirección que seguiría la partícula de manera que fue posible eliminar aquellos eventos que no impactarían en el Silicio, dándonos información acerca de la eficiencia geométrica del detector.

Una vez conocidos los eventos que siguen la dirección necesaria para impactar en nuestros detectores podemos calcular las pérdidas de energía que sufren las partículas al interaccionar con el gas del detector. Para ello hicimos uso del software SRIM que nos permite conocer cuáles son estas pérdidas según la energía del haz, su naturaleza, el gas utilizado y su presión a partir de la conocida expresión de Bethe-Bloch:

$$\frac{dE}{dx} = \frac{4\pi e^4}{m_e} \left(\rho \frac{N_A}{M} \right) \frac{z^2 Z}{v^2} \ln \frac{2m_e v^2}{I}$$

Por lo tanto conociendo las pérdidas de energía en el gas y la energía del centro de masas en el vértice pudimos calcular el rango de la partícula, definido como la distancia que podría recorrer justo antes de pararse. Por ser la interacción entre la partícula de estudio y el gas un proceso estadístico la energía depositada tendrá una desviación típica, a esto le denominaremos *straggling*. El straggling en el rango es proporcionado directamente por SRIM. Como conocemos el rango y su straggling tanto en el vértice (R_{ini}) como en el punto de impacto con los silicios (R_{left}) podemos calcular la incertidumbre en la distancia (d) recorrida por la partícula sabiendo que

$$R_{left} = R_{ini} - d \Rightarrow u(d) = \sqrt{u^2(R_{ini}) - u^2(R_{left})}$$

Estamos considerando en todo caso que $R_{left} \geq 0$ ya que si no la partícula no llegaría a los silicios y el evento sería descartado. Para aleatorizar el valor de d teniendo en cuenta el straggling creamos una nueva variable d' que siga una distribución gaussiana centrada en d y con una anchura $\sigma = u(d)$. A partir de este nuevo valor d' recalculamos R_{left} pudiendo transformar el rango a energía final usando SRIM. Siguiendo el mismo procedimiento podemos calcular la energía perdida en el silicio (ΔE_{Sil}) que deberemos aleatorizar también debido a la resolución de los detectores que sigue la relación

$$R = \frac{2,35 \sigma}{E}$$

Conocida la resolución a 5.5 MeV extrapolamos su valor al resto de energías obteniendo el valor para la anchura

$$\sigma = \frac{0,0213 \text{ MeV}}{2,35} \sqrt{E}$$

Si la energía tras atravesar los silicios sigue siendo mayor que 0, la partícula lo atravesará y diremos que en dichos eventos se produce *punchthrough*.

Con esto tendríamos caracterizada completamente la reacción a partir de un haz de neutrones de energía conocida. Realizamos distintas simulaciones variando la energía del haz y la presión a la que se encuentra el gas para observar cómo esto afecta al straggling y por lo tanto a la eficiencia del detector. Implementamos también un código que nos permitió realizar el proceso inverso de manera que, a partir de la energía depositada en los silicios podamos reconstruir las variables cinemáticas en el vértice de la reacción y obtener la energía del haz. Observaremos que debido al straggling no recuperaremos exactamente la energía del haz si no que obtendremos una distribución de energías centrada en el valor exacto.

2.3. Resultados

Mostraremos en primer lugar una comparativa de la eficiencia total obtenida en nuestra simulación y la eficiencia total experimental en función del ángulo θ_3 .

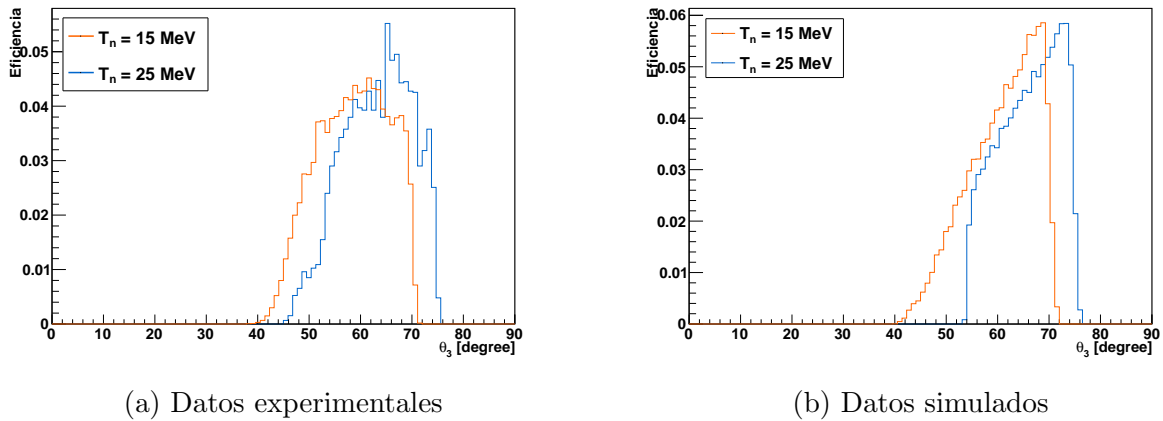


Figura 2: Eficiencia total frente a θ_3

Observamos un perfil similar en ambos casos excepto a ángulos altos, esto se debe a que en nuestra simulación no estamos teniendo en cuenta la sección eficaz de las colisiones.

En la siguiente gráfica (figura 3) mostramos las líneas cinemáticas teóricas sin tener en cuenta ni el straggling ni la eficiencia de los detectores y superponemos los datos simulados obtenidos en los que tomamos en consideración todos estos efectos. Observamos como al considerar la eficiencia se limitan los ángulos a los que es posible detectar eventos y como la implantación tanto del straggling como de la resolución de los silicios hace que las líneas adquieran cierta anchura.

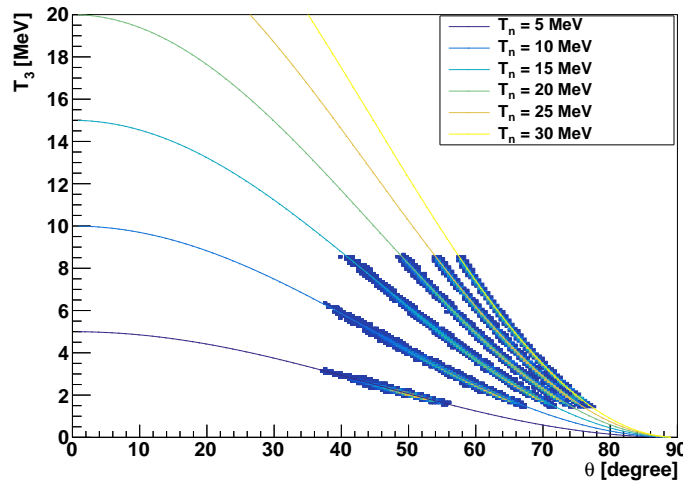


Figura 3: Líneas cinemáticas para distintas energías del beam

Mostramos también (figura 4) el plano cinemático completo obtenido a partir de los resultados experimentales.

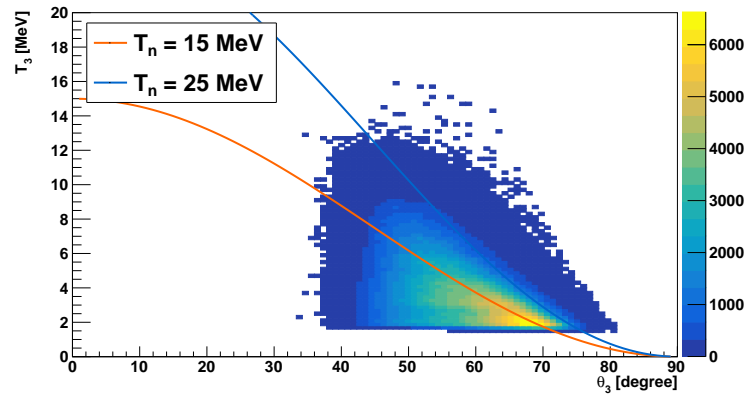


Figura 4: Plano cinemático experimental

Por último, como explicamos en el apartado anterior, tratamos de reconstruir la energía del haz a partir de la energía depositada en los silicios. Como resultado del straggling obtenemos una distribución gaussiana de energías. En la siguiente gráfica se representa la anchura de dicha gaussiana en función de la presión a la que estaba sometido el isobutano y la energía del haz. De la gráfica deducimos que la anchura aumenta con la energía y disminuye con la presión. Esto se debe a que a mayor energía (o menor presión) el rango aumenta y con él el straggling en rango. Destacamos también que para la línea a 500 mbar falta el punto a una energía de 5 MeV debido a que las pérdidas de energía son tan altas en esa situación que el número de partículas que llegaban al detector era prácticamente

nulo.

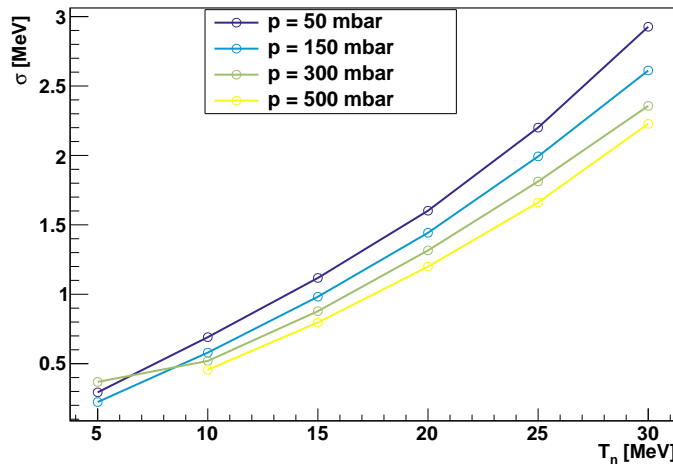


Figura 5: Anchura en función de la presión y la energía del haz

2.4. Conclusiones

Podemos concluir por lo tanto que la simulación realizada es realista, ajustándose a los resultados experimentales obtenidos. Aun así, estos resultados podrían mejorarse implementando en nuestro código la sección eficaz de la reacción. El resultado más destacable es el comportamiento de la anchura de la energía reconstruida del haz a partir de las pérdidas de energía depositadas en los silicios, aumentando esta con la energía y disminuyendo con la presión. Estos resultados nos permiten determinar cuales son las mejores condiciones experimentales para obtener mayor resolución. En el experimento real se usó isobutano a una presión de 150 mb por lo que, atendiendo a la figura 5, la mejor resolución que se podría obtener en energía es de unos 0.3 MeV para energías bajas aumentando hasta los 2.5 MeV para energías muy altas. Hay que tener en cuenta que el haz no es monoenergético si no que sigue una distribución continua en energías desde los pocos MeV hasta aproximadamente los 35 MeV. En general, los resultados son satisfactorios ayudándonos a tener un mayor conocimiento sobre el comportamiento real del experimento.

3. Conexión con el grado en física

Las asignaturas del grado con mayor relevancia para la realización de las prácticas fueron *Física nuclear y de partículas* y *Técnicas Experimentales IV*. La primera de ellas proporcionando las herramientas teóricas básicas para el correcto entendimiento de los

procesos tratados en la realización de las prácticas y estando la segunda orientada a la parte más experimental tratando conceptos tanto de detectores como de los procesos de interacción radiación-materia y su estadística. Todos estos conceptos fueron tratados en mayor detalle y ampliados durante las prácticas.

4. Valoración Personal

La experiencia de poder realizar unas prácticas en un grupo de investigación dentro del IGFAE fue completamente enriquecedora. Tanto por el aprendizaje de un nuevo lenguaje de programación de gran interés para un posible futuro trabajo en investigación como es ROOT, como por la oportunidad de conocer gente y proyectos realizados en un campo tan apasionante como es la física nuclear y de partículas.

Gael González Abal

07/08/2023