

Universidad de San Carlos de Guatemala  
Escuela de Ciencias Físicas y Matemáticas  
Curso: Laboratorio Avanzado  
Profesor: Hector Pérez

# Dispersión de Rutherford

Proyecto

Javier de León  
201603068

Guatemala, Mayo de 2023

**Resumen**—Utilizando los datos y un script de geant4-10-06 proporcionados por el Cern. Se realizó un análisis de la dispersión de Rutherford por medio de la simulación de cien millones de partículas alfa, bajo distintas condiciones iniciales respecto de la distancia de las partículas al centro del material, proporcionadas por semillas aleatorias. Esta simulación realizó un conteo de la cantidad de partículas que eran detectadas por uno de 10 detectores, estos fueron distribuidos uniformemente en una semi circunferencia de 135 grados centrada en una plaqueta de oro. Por medio de esta configuración se estudió la probabilidad de interacción de las partículas con el núcleo y la probabilidad de que alguna de las partículas haya sido dispersada hacia alguno de los detectores. Además se realizó una comparación con el modelo teórico propuesto por el problema clásico de la dispersión de Rutherford.

Se encontró que casi 3 cuartas partes de las partículas no pudieron ser detectadas por nuestro experimento, por lo que se perdió bastante información del sistema físico. Además al realizar el fit de la distribución, se obtuvo un resultado que no concuerda en lo absoluto con el que es propuesto por la teoría, por lo que se aconseja realizar una revisión de las condiciones del experimento.

## I. OBJETIVOS

### I-A. General

1. Estudiar la Dispersión de Rutherford por medio de una Simulación

### I-B. Específicos

1. Realizar diez simulaciones distintas de de cien millones de partículas alfa para estudiar la Dispersión de Rutherford
2. Encontrar la probabilidad de interacción del núcleo con una partícula bajo las condiciones del experimento
3. Encontrar la probabilidad de que una partícula sea deflectada hacia uno de los detectores bajo las condiciones del experimento
4. Comparar la expresión encontrada con la ecuación teórica de área eficaz propuesta por el modelo de Rutherford

## II. MARCO TEÓRICO

La dispersión de Rutherford se refiere usualmente al fenómeno resultante de disparar partículas cargadas a un núcleo atómico. Esta históricamente fue una serie de experimentos asesorados por Ernest Rutherford para verificar la validez el modelo de átomo propuesto por J. Thomson.

El experimento usualmente consiste en disparar partículas cargadas hacia un material localizado el cual suele ser un elemento pesado para que exista una mayor probabilidad de interacción, este elemento se cubre de detectores usualmente en la mitad de un hemisferio para facilitar la medición y se realiza un conteo de cuantas partículas son recibidas por cada uno de estos detectores. El comportamiento resultante de la ejecución de este experimento es la aparición repentina de orbitas hiperbólicas de las partículas cargadas disparadas al material localizado, por lo cual existe cierta cantidad de partículas que son detectadas por alguno de los detectores, esto comprueba la existencia de núcleos atómicos cargados los cuales interaccionaron por medio de la fuerza eléctrica con las partículas cargadas y debido a ello sus orbitas se

vieron alteradas.

La sección eficaz del experimento mencionado anteriormente puede ser encontrada mediante la siguiente expresión.

$$N(\theta) = \frac{A}{\sin^4(\frac{\theta}{2})} \quad (1)$$

Donde A es una constante que se desea encontrar y el ángulo está definido en la región  $\theta \in [0, 180)$  grados.

## III. DISEÑO EXPERIMENTAL

### III-A. Descripción del Procedimiento

- Se realizan 10 simulaciones del lanzamiento de cien millones de partículas alfa paralelas por medio de un haz hacia una lamina de oro.
- La distancia del haz y el centro de la lamina es controlada por semillas de números aleatorios, todas las orbitas originales de las partículas son paralelas.
- Se considera la interacción de cada partícula con el material para encontrar su nueva trayectoria y se colocan 10 detectores formando una semi circunferencia de 135 grados centrada en el material para realizar el conteo de las partículas.

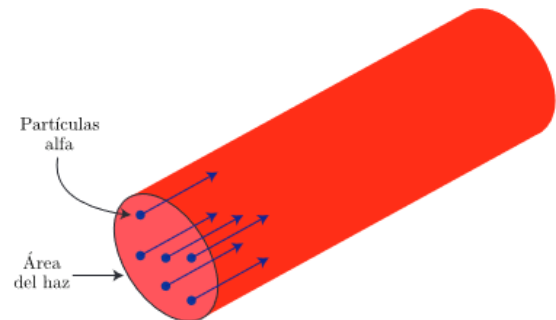


Figura 1. Haz de Partículas alfa

### III-B. Consideraciones Experimentales:

- Las partículas tienen una energía de 5.5Mev.
- Las partículas inciden perpendicularmente y tienen trayectorias paralelas al comenzar.
- La lámina de oro cuenta con  $2 \mu m$  de grosor.
- El área efectiva de cada detector es de  $4cm^2$ .
- El radio de la semi circunferencia de detectores es de  $50 cm$ .

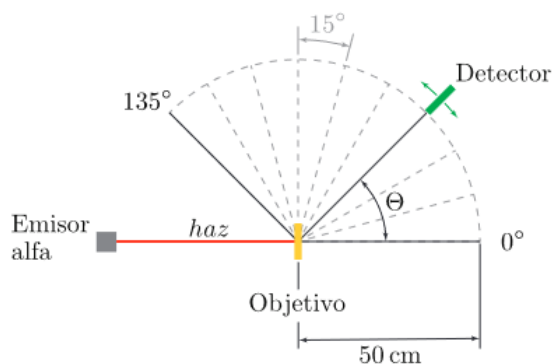


Figura 2. Diagrama Montaje Experimental

#### IV. RESULTADOS

Ángulo del Detector	# de Partículas Detectadas
0	28175018
15	5351
30	329
45	56
60	11
75	12
90	3
105	5
120	1
135	2

Cuadro I  
RESULTADOS PRIMERA SIMULACIÓN

Ángulo del Detector	# de Partículas Detectadas
0	28175018
15	5351
30	329
45	56
60	11
75	12
90	3
105	5
120	1
135	2

Cuadro II  
RESULTADOS SEGUNDA SIMULACIÓN

Ángulo del Detector	# de Partículas Detectadas
0	28191499
15	5213
30	284
45	44
60	18
75	12
90	2
105	1
120	0
135	0

Cuadro III  
RESULTADOS TERCERA SIMULACIÓN

Ángulo del Detector	# de Partículas Detectadas
0	28196063
15	5286
30	285
45	50
60	14
75	9
90	1
105	0
120	2
135	2

Cuadro IV  
RESULTADOS CUARTA SIMULACIÓN

Ángulo del Detector	# de Partículas Detectadas
0	28187010
15	5170
30	303
45	48
60	22
75	17
90	3
105	2
120	2
135	1

Cuadro V  
RESULTADOS QUINTA SIMULACIÓN

Ángulo del Detector	# de Partículas Detectadas
0	28196075
15	5333
30	305
45	63
60	26
75	7
90	6
105	1
120	2
135	1

Cuadro VI  
RESULTADOS SEXTA SIMULACIÓN

Ángulo del Detector	# de Partículas Detectadas
0	28193573
15	5223
30	318
45	57
60	21
75	10
90	0
105	2
120	4
135	0

Cuadro VII  
RESULTADOS SÉPTIMA SIMULACIÓN

Ángulo del Detector	# de Partículas Detectadas
0	28188349
15	5193
30	303
45	56
60	21
75	9
90	2
105	2
120	3
135	1

Cuadro VIII  
RESULTADOS OCTAVA SIMULACIÓN

Ángulo del Detector	# de Partículas Detectadas
0	28192468
15	5202
30	295
45	52
60	16
75	9
90	0
105	3
120	4
135	2

Cuadro IX  
RESULTADOS NOVENA SIMULACIÓN

Ángulo del Detector	# de Partículas Detectadas
0	28195150
15	5188
30	276
45	46
60	21
75	7
90	2
105	2
120	4
135	1

Cuadro X  
RESULTADOS DÉCIMA SIMULACIÓN

Ángulo del Detector	% Detección
0	28.190512
15	0.005250
30	0.000300
45	0.000054
60	0.000019
75	0.000010
90	0.000002
105	0.000002
120	0.000002
135	0.000001

Cuadro XI  
PROBABILIDAD DE DETECCIÓN POR DETECTOR

# De Experimentos Exitosos	% Detec Fallida	% Detec Exitosa
6	71.80	28.20

Cuadro XII  
RESULTADOS GENERALES

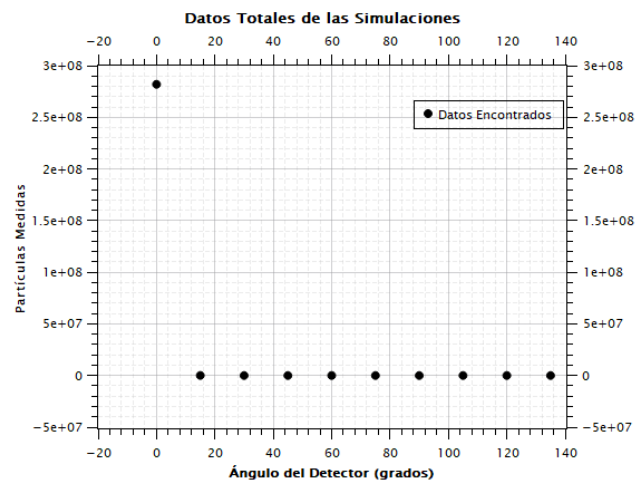


Figura 3. Datos Encontrados

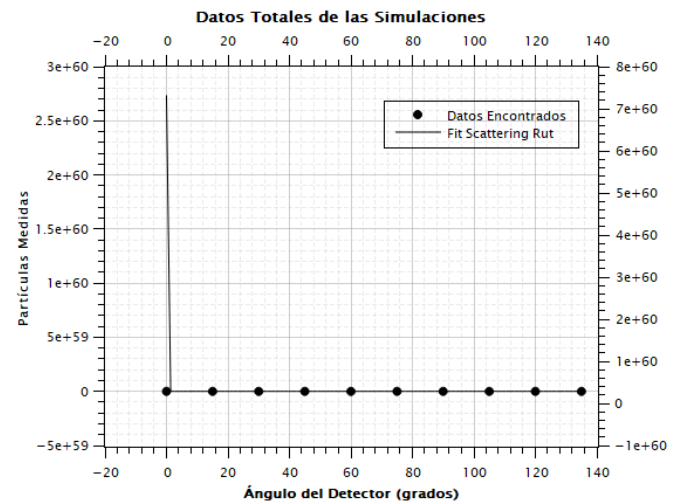


Figura 4. Fit Propuesto por la Teoría

## V. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Como podemos notar en el Cuadro XII la cantidad de detecciones fallidas supera considerablemente las mediciones exitosas de nuestro experimento, esto representa un problema considerable ya que se obtienen conteos mucho menores de los esperados por la teoría en los distintos medidores. Notamos además que bajo las condiciones aleatorias de distintas semillas la cantidad de cien millones de partículas no es suficiente bajo estas condiciones para obtener resultados en todos los medidores del experimento.

De igual manera como notamos en la Figura 4 y en los resultados de realizar el fit colocados en los anexos, o que pueden ser consultados es [2]. Encontramos que debido al problema durante la realización de la simulación en el

que casi 3 cuartas partes de las partículas no pudieron ser detectadas, se obtiene un resultado completamente al esperado por la teoría y se obtiene que el fit planteado no concuerda en lo absoluto con los datos encontrados, llegando al punto de presentar un valor de  $\chi^2/ndf$  de más de 8 cifras de magnitud. Debido a lo expuesto anteriormente, a los resultados obtenidos por distintos compañeros de clase y a cierta intuición empírica que se obtuvo por medio de la consulta de los archivos de la fuente para obtener un mejor entendimiento del sistema. Se hipotetiza que el error puede ser debido a los cambios de las versiones de Geant4 y debe ser consultada a detalle la construcción de estas simulaciones.

## VI. CONCLUSIONES

- El experimento puede identificar solamente el %28 de las partículas disparadas por el haz, por lo que el comportamiento del fenómeno físico no puede ser confirmado de manera certera.
- Nuestro modelo no produce en lo absoluto el comportamiento esperado por la teoría
- Debe ser consultado el código fuente proporcionado para verificar la causa del problema de las simulaciones.

## REFERENCIAS

- [1] Hector Pérez *Rutherford*  
<https://ecfm.usac.edu.gt/portal/mod/assign/view.php?id=6351>
- [2] Javier de León *Repositorio*.  
<https://github.com/javdlgomez/LabAvanzado/tree/main/proyecto%20dispersi%C3%B3n%20de%20Rutherford>
- [3] Symon, Classical Mechanics, Second Ed. 1964.

## VII. ANEXOS

Estos archivos pueden ser encontrados en [2]

```
[[2023-05-10 00:14:04 Gráfica: ''Gráfica1'']]
Ajuste no lineal del conjunto de datos: Tabla1_2, usando función : A/(sin(x/2)^4)
Ordenar: No
Método de Ponderación: Sin ponderación
Levenberg-Marquardt escalado algoritmo con tolerancia = 1e-06
Desde x = 0.000000000000e+00 a x = 1.350000000000e+02

Parámetro          Valor          Error
-----
A          3.6724012793835e-01  2.8011002344265e+01
-----
Los errores fueron multiplicados con sqrt(Chi^2/doF) = 1.8592373388500e+04

Estadísticas          Tabla1_2
-----
N (puntos)          9
Grados de libertad (doF)          8
Chi^2/doF          3.4567634821741e+08
RSS (Suma Residual de Cuadrados)          2.7654107857393e+09
R          nan
R^2          -1.4650157072693e-01
R^2 ajustado          -1.4650157072693e-01
RMSE (Error de la raíz cuadrada media)          1.8592373388500e+04
Iteraciones          2
Estado          cannot reach the specified tolerance in F
-----
```

Figura 5. Datos Fit