

Práctica: Espectrómetro de Masas

Alejandro Restrepo Giraldo y Juan Sebastián Ramírez Quintero

Instituto de Física, Universidad de Antioquia

Agosto, 2022

1. Objetivo

El objetivo de esta práctica es analizar la interacción de cargas eléctricas con campos magnéticos en el contexto de la aplicación tecnológica del espectrómetro de masas. Se utiliza la simulación para desarrollar intuición acerca del concepto de la fuerza de Lorentz y su dependencia con las variables de campo magnético B , carga eléctrica q , masa m y radio de la trayectoria circular r .

2. Instrucciones

2.1. Interfaz de usuario y uso

La interfaz se muestra en la figura 1. Se compone de un fondo que indica la orientación del campo magnético, un cañón desde el cual se disparan las partículas y una ventana de control de parámetros. Desde esta última se pueden ajustar los valores de la carga, masa, campo magnético y velocidad inicial de disparo. La fijación de estas se puede lograr ajustando con el mouse los controles o mediante las flechas del teclado \leftarrow y \rightarrow . Los valores actuales de los parámetros se muestran constantemente en las ventanas de texto debajo de cada uno.

2.2. Botones

El botón "disparar" se utiliza para disparar una partícula con las especificaciones actuales de los parámetros. Varias acciones de este botón se muestran en la figura 3. Aparece entonces un vector de posición y se marca la trayectoria de esta. Al colisionar con la pantalla se indica su radio en una ventana de texto. El botón "borrar" elimina las trayectorias y reestablece el programa a su configuración inicial.

2.3. Fondos

Se tienen tres fondos posibles para las orientaciones del campo magnético. Con el campo entrante ($B > 0$) se tiene el fondo de cruces, el saliente con circunferencias ($B < 0$) y cuando el campo es nulo ($B = 0$) desaparece toda marca de campo magnético. Los tres posibles fondos se muestran en la figura 5.

2.4. Extracción de datos de trayectoria

Con el botón "Guardar Datos" se extrae un documento Particulai.csv con la información de posición y velocidad por partícula en donde i indica la partícula generada de manera cronológica.

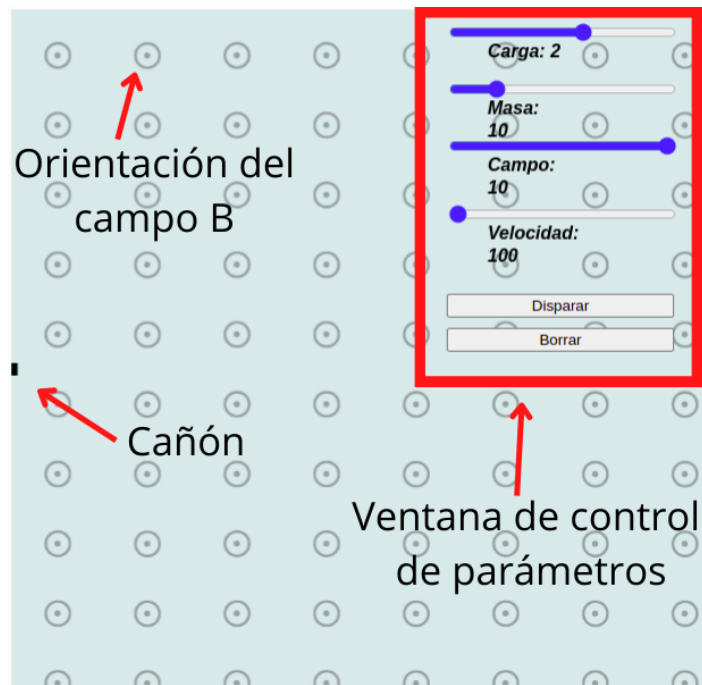


Figura 1: Interfaz de usuario.



Figura 2: Botones

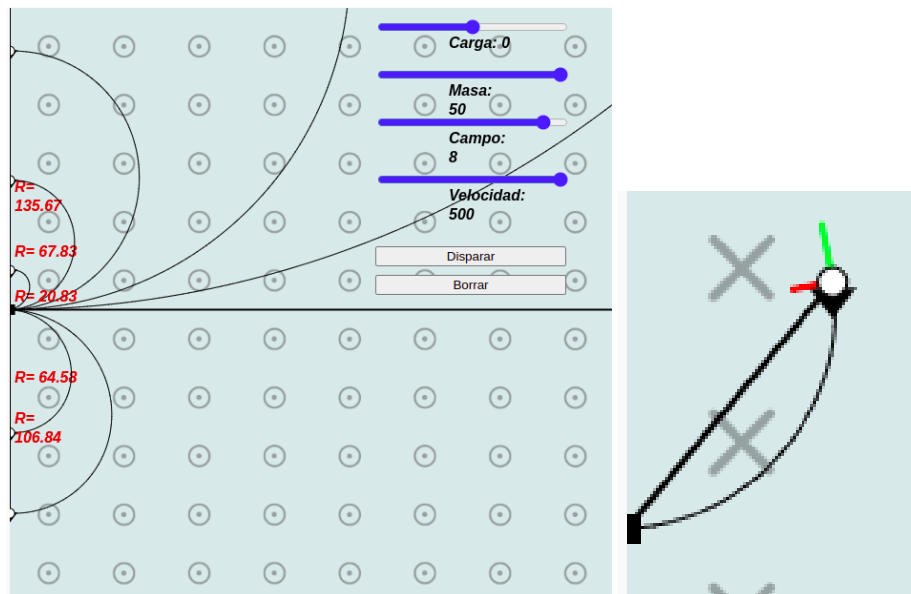


Figura 3: Izquierda: Disparos de partículas con diferentes parámetros. Derecha: Vectores de velocidad y fuerza.

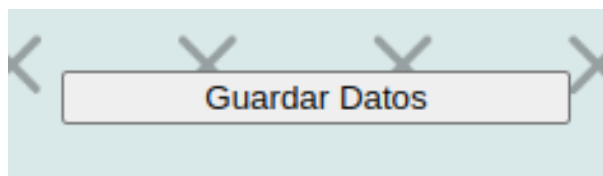


Figura 4: Botón para guardar datos.

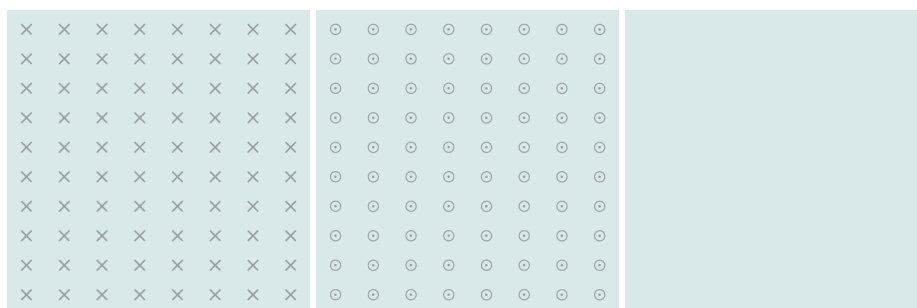


Figura 5: Izquierda: Campo magnético entrante ($B < 0$). Centro: Campo magnético saliente ($B > 0$). Derecha: Campo magnético nulo ($B = 0$).

3. Actividades

Como se ha discutido bajo argumentos teóricos la interacción de una partícula cargada eléctricamente con un campo magnético produce una fuerza sobre esta, la cual desvía a la partícula. La trayectoria dependerá de cuatro parámetros que estudiaremos a continuación. La masa, carga y velocidad de la partícula y la magnitud y dirección del campo con el que interactúa. Es de anotar que asumiremos en todo momento que la partícula se mueve perpendicular al campo y que la dirección estará dada por el signo de este (positivo saliendo de la página).

Usted un entusiasta estudiante de física, quiere comprender como estas características afectan el movimiento de una partícula a través de un campo magnético, para esto y con ayuda de la simulación desea inicialmente visualizar la trayectoria de esta y como se ve afectada con las variaciones de los parámetros.

- Inicialmente observemos el comportamiento de la partícula bajo las condiciones iniciales establecidas en la simulación (Masa: 10, Campo: 10, Carga: 2, Velocidad: 100), de clic en "Detener" ¿Que tipo de trayectoria observa?

Es importante observar que la rapidez inicial de la partícula no cambia a lo largo de la trayectoria, por tanto, la fuerza resultante de la interacción solo cambia la dirección de está. ¿Qué dirección debe tener una fuerza actuando sobre una partícula respecto a su velocidad para solo afectar su dirección? A partir de la expresión de la ley de Lorentz $F = q\vec{v} \times \vec{B}$ ¿qué crees que permite garantizar la dirección de la fuerza respecto a la velocidad?

Ahora veamos cómo afectan los parámetros a la trayectoria:

- Primero cambiemos el valor de la carga a -2 , ¿Qué cambios observa sobre la trayectoria, ¿Varía el valor del radio de la trayectoria?
- Ahora mueva el valor del campo a -10 ¿Porque cree que se describe la misma trayectoria inicial? ¿Qué relación observa entre el signo de la carga y el campo con la dirección de la trayectoria que describe?
- Posteriormente aumentemos el valor de la masa a 20, dispare y ahora disminuya este a 5, dispare nuevamente, en ambos casos guarde el radio y compárelos con el correspondiente al

ítem anterior, ¿Qué relación observa entre la masa y el radio, son proporcionales o inversamente proporcionales?

- Luego cambie la masa a 10 nuevamente y varíe la velocidad a 200 y 400, ¿Qué relación observa entre la velocidad y el radio de la trayectoria?
- Regrese nuevamente la velocidad a 100 y ahora varíemos primero el campo a 2 y posteriormente a 4, retorne el campo a -10 y ahora análogamente varíe la carga a 2 y 4 ¿Qué relación observa entre el campo y el radio, la carga y el radio?
- Por último surge el interrogante de que ocurre cuando la carga o el campo es nulo, para esto en primer lugar haga la carga nula y deje los otros parámetros estáticos. ¿Qué observa? ¿esto tiene sentido, por qué?

Repita el mismo análisis haciendo la carga 2 y el campo nulo y pregúntese nuevamente ¿por qué ocurre esto?

A partir de lo descubierto bajo estos experimentos, podemos determinar que las trayectorias descritas por las partículas bajo la acción de un campo magnético son circulares a excepción de la ausencia de campo magnético o carga de la partícula. Sin embargo, usted quedó intrigado al respecto e investigando el contexto teórico de los espectrometros de masa, encontró que hay una relación entre el radio y los parámetros estudiados dado por $r = \frac{mV}{qB}$, donde m es la masa, B el campo, V la velocidad y q la carga. Investigue la validez de dicha relación, para esto varíe 5 veces los parámetros en la simulación y a partir de estos calcule el radio, observe si estos coinciden con los observados.

Por último, usted continuó leyendo y observo que este tipo de espectrómetros a partir de una velocidad inicial de las partículas y un campo magnético dado, permiten encontrar la relación carga-masa ($\frac{m}{q}$) de las partículas, proponga a partir de lo estudiado como podría hallar esta relación. Sugerencia, use la relación encontrada con el radio.

Ahora tome los valores fijos de campo -5 y velocidad 100, y en un primer disparo tome una masa de 10 y carga de 2, ahora en un segundo disparo tome una masa de 20 y una carga de 4, ¿qué relación observa entre los radios de ambas trayectorias, a que cree que se deba esto?

Para finalizar, de click en el botón Borrar y posteriormente en el botón Disparar. Descargue los datos correspondientes a esta partícula dando click en el botón Guardar Datos y con estos, gráfique la posci

Referencias

- [1] D. L. Eggleston, "Basic Electronics for Scientists and Engineers", Cambridge University Press, (2011).
- [2] Young, Hugh D. "Sears y Zemansky física universitaria." (2013).
- [3] Beynon, John Herbert and Brown, Louis. "mass spectrometry". Encyclopedia Britannica, 24 Mar. 2020, <https://www.britannica.com/science/mass-spectrometry>. Accessed 4 August 2022.
- [4] Franco García, A. (2000). El espectrómetro de masas. Física con ordenador. <http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica/electromagnet/espectrometro/espectro.html>