

Investigación acerca de la fuerza sobre una carga eléctrica en movimiento a través de un campo magnético

Resumen

El propósito de esta investigación de física es demostrar la ecuación $F = qvB \sin \theta$, una ecuación que se encuentra en el *Cuadernillo de Datos de Física* del IB (primera evaluación: 2016). Fue imposible probar lo investigado por el método práctico, así que decidimos hacer una simulación por computador. Mis resultados demuestran la ecuación.

EX La pregunta de investigación está claramente dentro del currículo, y hubiera podido ser el objetivo de un buen experimento de simulación si se hubiera realizado el procesamiento suficiente como para mostrar algo que mereciera la pena.

EX y C Ni una simulación por computador, ni un experimento práctico pueden probar nunca nada.

Compromiso personal

En la física del grado 11 aprendimos acerca de los campos y de las fuerzas, de entre las cuales la magnética era un tipo. Dentro del tema de los campos magnéticos, vimos cómo las partículas cargadas (o corrientes en los cables) interactuaban con los campos magnéticos. Aprendimos la fórmula $F = qvB$, que indica que la fuerza experimentada por una partícula en un campo magnético depende de tres factores: la carga de la partícula, la velocidad de la partícula, y la intensidad de campo magnético. Sin embargo, tuve algunos problemas con este tema, y realmente no lo entendí, así que decidí usar esta investigación como una oportunidad para involucrarme más con el tema y mejorar mi comprensión del mismo.

CP El alumno indica sus motivaciones para seleccionar el tema. Comprender mejor la ecuación es un estúpido motivo, pero ni la curiosidad ni el pensamiento independiente se ponen de manifiesto en este caso.

Por lo tanto, el propósito de esta investigación es confirmar la ecuación experimentalmente. En principio, había planeado llevar a cabo una investigación práctica, pero rápidamente me di cuenta de que esto no iba a funcionar. Para configurar esta práctica de laboratorio, necesitaría primero generar un campo magnético lo suficientemente intenso como para tener realmente un efecto sobre la "partícula", lo que no era posible con el equipo de laboratorio que me resultaba asequible. A continuación, tendría que encontrar una manera de hacer un plano en el que mi "partícula" pudiera moverse, y como no estaba investigando el ángulo entre el campo y la partícula, tendría que encontrar una manera de hacer que la superficie del plano en el que la "partícula" se movería fuera perpendicular al campo. También tendría que encontrar un conjunto de bolas de metal cargadas con distintas cargas y de masa lo suficientemente pequeña como para ser afectadas por el campo y demostrar el movimiento; sin embargo, esta masa relativamente pequeña significaría que la fricción sería mucho más significativa de lo que de otro modo debería ser y por lo tanto la fuerza cambiaría en exceso. Por último, necesitaría encontrar una manera de medir la fuerza sobre las bolas, lo que no resulta fácil de hacer. Puesto que todas estas cuestiones se acumularían en las incertidumbres y errores en mi investigación, me di cuenta de que sería mejor usar una simulación.

EX y C Una simulación no es un experimento como tal, y "confirmar" la ecuación en este caso significa ejemplificarla. Como veremos, no se ha realizado procesamiento, solo una representación gráfica de la ecuación. Todo parece indicar que será una muestra poco convincente de evaluación interna.

C La digresión sobre llevar a cabo un experimento real no es pertinente, y hubiera bastado con una o dos oraciones. Por otra parte, hay experimentos para el nivel de educación secundaria que son idóneos para confirmar la ecuación, pero quizás el alumno no disponía del material adecuado.

Evaluación de posibles simulaciones

Antes de seleccionar mi simulación, consideré una selección de tres diferentes. Todas eran simulaciones basadas en Java, que he encontrado en un foro dedicado a simulaciones de física basadas en Java. La primera que me encontré se llamaba "Movimiento de partículas cargadas en un campo E/B." Esta simulación se descartó rápidamente. Contenía no sólo un campo magnético, sino también un campo eléctrico. El foco de esta simulación era el campo eléctrico más que el magnético, lo que no era adecuado para mi investigación. No había opción para introducir una velocidad inicial o para cambiar la carga (sólo la relación carga/masa, que no da resultados definitivos sobre la causa del cambio). Posiblemente el factor más importante para no elegir esta investigación era que no había ninguna medida cuantitativa de la fuerza sobre la partícula o del radio, era sólo cualitativa (consistía en mirar la trayectoria trazada por la partícula). Puesto que esta simulación no me permitía cambiar todas las variables independientes que había considerado en mi investigación, esta simulación no fue la que consideré.

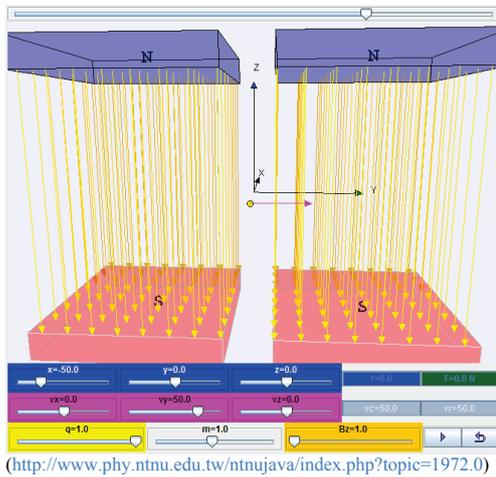
CP El alumno muestra aquí algo de iniciativa, ya que podría haberse limitado a revisar su pregunta de investigación hasta adaptarla a la primera simulación que hubiera encontrado.

La siguiente simulación que consideré era mejor que la primera, aunque todavía no era la simulación correcta para mí. La segunda simulación se llamaba "Movimiento de Partículas Cargadas en un Campo Electroestático/Campo Magnético." Tenía más parámetros cambiables de los que necesitaba, por lo que seguía sin ser adecuada. A diferencia de la anterior, me permitía introducir una velocidad inicial, y en cualquier dirección. Al igual que la otra, me permitía cambiar la intensidad de campo magnético y el módulo y dirección del campo eléctrico. Sin embargo, la simulación no daba opción a cambiar la carga, y de nuevo, al igual que la anterior, no proporcionaba resultados cuantitativos de la fuerza experimentada por la partícula. No elegí esta simulación.

C La información acerca del rechazo de simulaciones no es necesaria y desvía la atención en el desarrollo del informe. Hubiera bastado con una o dos oraciones.

La simulación correcta

La tercera simulación que consideré fue la que elegí porque tenía todo lo que necesitaba para mi investigación, sin ser demasiado complicada. La simulación se llamaba "Partícula Cargada en un Campo Magnético B Applet de Java en 3D." He aquí una imagen de la pantalla.



Esta es la simulación que finalmente elegí para usar en mi investigación. A diferencia de las dos anteriores, ésta se centra en lo relativo al campo magnético en vez del campo eléctrico. En cuanto a los parámetros modificables, podía cambiar, entre otras cosas, la velocidad inicial (en todas las direcciones), la carga de la partícula y la intensidad de campo. Además, disponía de las medidas de la fuerza sobre la partícula y del radio del movimiento de la partícula en cualquier instante. Como se tratan todas las cosas que quería cambiar/medir en mi investigación, resultó obvio que eligiera esta simulación en vez de las otras dos.

EX El alumno ha encontrado la simulación apropiada y ese es, entonces, su método (esto se infiere leyendo entre líneas). Por lo demás, no se ha prestado atención al método para utilizar la simulación.

Recogida de datos

1. Efecto de cambiar la intensidad de campo magnético sobre la fuerza experimentada por la partícula.

A Mediante la selección de la simulación apropiada, el alumno ha seleccionado los datos adecuados. En este caso no se requiere procesamiento.

Intensidad de campo (T ± 0,1T)	Fuerza (N ± 0,1N)
1,0	50,0
2,0	98,1
3,0	149,0
4,0	199,9
5,0	248,0
6,0	299,0
7,0	349,9
8,0	398,0

9,0	448,9
10,0	499,8

Las variables controladas fueron las siguientes:

- Masa de la partícula: $1,0\text{g} \pm 0,1\text{g}$
- Carga de la partícula: $1,0\text{C} \pm 0,1\text{C}$
- Velocidad inicial de la partícula: $50,0\text{m/s} \pm 0,1\text{m/s}$

2. El efecto de cambiar la velocidad inicial de la partícula sobre la fuerza experimentada por la partícula.

Velocidad (m/s $\pm 0,1\text{m/s}$)	Fuerza (N $\pm 0,1\text{N}$)
0,0	0,0
10,6	52,5
20,0	102,0
30,1	149,6
40,0	205,8
51,2	261,1
60,0	306,0
70,7	353,2
80,0	408,5
90,2	468,9
100,0	501,9

Las variables controladas fueron las siguientes:

- Masa de la partícula: $1,0\text{g} \pm 0,1\text{g}$
- Carga de la partícula: $1,0\text{C} \pm 0,1\text{C}$
- Intensidad de campo magnético: $5,0\text{T} \pm 0,1\text{T}$

3. El efecto de cambiar la carga de partícula sobre la fuerza experimentada por la partícula.

Carga (C $\pm 0,1\text{C}$)	Fuerza (N $\pm 0,1\text{N}$)
-1,0	250,9
-0,8	194,1
-0,6	153,1
-0,4	90,0
-0,2	60,9
0,0	0,0
0,2	60,9
0,4	90,0
0,6	153,1
0,8	194,1

1,0	250,9
-----	-------

Las variables controladas fueron las siguientes:

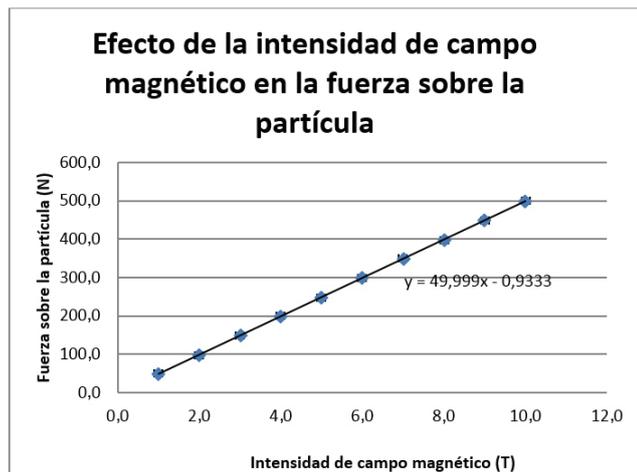
- Masa de la partícula: $1,0g \pm 0,1g$
- Velocidad inicial de la partícula: $50,0m/s \pm 0,1m/s$
- Intensidad de campo magnético: $5,0T \pm 0,1T$

Gráficos

Para probar la fórmula $F = qvB$, representé gráficamente los datos recogidos utilizando Microsoft Excel, para ver si había una relación entre las variables y, en caso de haberla, qué tipo de relación era.

A El procesamiento del alumno consiste en representar gráficamente los datos brutos. La calidad del resultado de cada gráfico se estima calculando la constante de proporcionalidad. Sólo los gráficos 1 y 3 cuentan con barras de incertidumbre. Tal vez no sean pertinentes en este caso.

Gráfico uno (datos 1): Relación entre la intensidad de campo magnético y la fuerza sobre la partícula



Como puede verse, los datos están relacionados linealmente, por lo que podemos decir que $F \propto B$ o $F = kB$. Si la fórmula es verdadera, entonces $k = qv$. En el gráfico, el valor de k sería la pendiente de la línea de tendencia; sabemos si comparamos $F = kB$ con $y = mx + b$. Para ver si este es el caso, multipliqué los valores de las variables de control (y propagué las incertidumbres asociadas) para obtener el resultado $k = 50,0C \cdot m/s \pm 5,1C \cdot m/s$. La diferencia porcentual entre el valor obtenido para la pendiente y el valor calculado es 0,0002%, que es casi totalmente despreciable. Dado que el valor de la pendiente de la línea de tendencia es

A El alumno confunde "lineal" con "proporcional", a pesar de que $y = mx + c$ tiende a sugerir que debería haber comprendido lo que estaba diciendo.

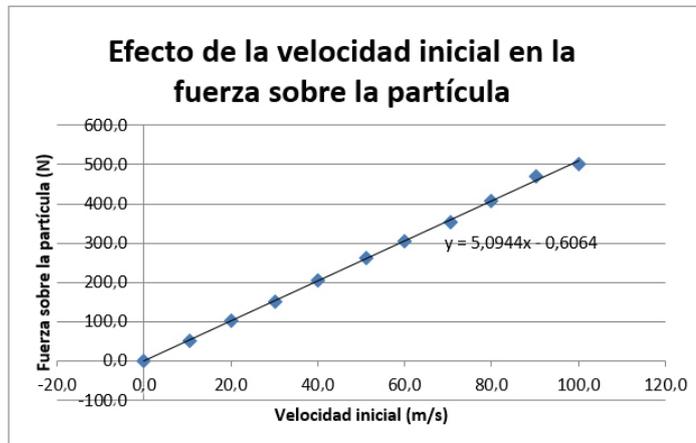
A El alumno es consciente de las incertidumbres y, por tanto, se puede llegar a una conclusión pertinente.

A ¿Cuál es el valor calculado? Esto necesita explicación.

igual al producto de las variables de control (dentro de la incertidumbre asociada), la proporcionalidad mencionada se demuestra cierta.

EV El alumno usa los datos para confirmar los datos. Un enfoque interesante, una justificación circular dentro de una simulación que, a su vez, es circular. Apparently, the student thinks that the two circles have significantly different radii. It is not easy to see what would be more appropriate in this case.

Gráfico dos (datos 2): Relación entre la velocidad inicial de la partícula y la fuerza que experimenta.

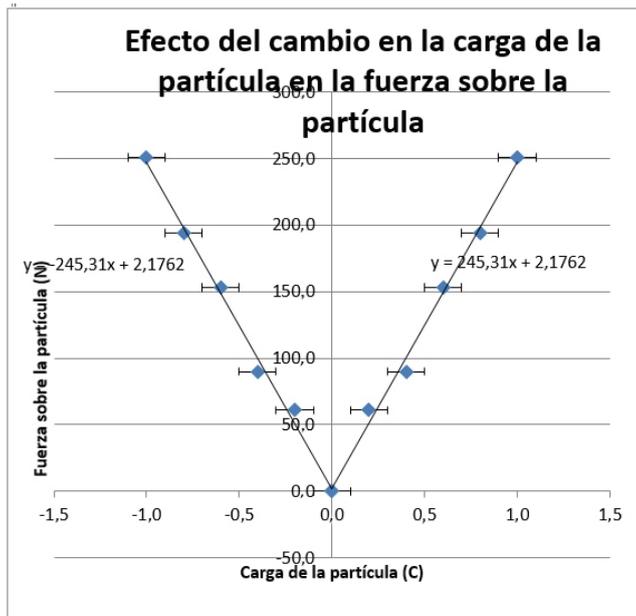


Estos datos también están relacionados linealmente, de modo que $F \propto v$ o $F = kv$. Utilizando la misma técnica que antes, podemos demostrar que la proporcionalidad es verdadera comparando el producto de las variables de control (en este caso, carga e intensidad de campo magnético) con la pendiente de la línea de tendencia en el gráfico. $k = 5,0C \cdot T \pm 0,6 C \cdot T$. La diferencia porcentual entre el valor de la pendiente de la línea de tendencia y el valor calculado es del 1,89%, lo que es de nuevo casi despreciable. Dado que la pendiente de la línea de tendencia se encuentra dentro de este rango, también se demuestra cierta la proporcionalidad.

A En este caso, el alumno debería haber dicho "proporcional".

EV En la primera investigación, ver los comentarios sobre un enfoque similar para el criterio de Evaluación.

Gráfico tres (datos 3): Relación entre la carga de la partícula y la fuerza sobre la partícula



Este último gráfico parece un poco diferente de los otros dos. Estos datos pueden representarse por la función valor absoluto, que se puede escribir en la forma $y = m |x| + b$. Lo que esto significa es que el signo del valor de x es irrelevante para el valor de y . Esto tiene sentido si tenemos en cuenta la variable independiente: la carga. La carga de una partícula puede ser negativa o positiva, pero esto no afectará a la fuerza sobre la partícula. Lo único que importa es que la partícula tenga carga. Por ejemplo, ya sea la carga de la partícula de $0,4C$ o de $-0,4C$, la fuerza que experimenta es aún $90,0N$. Podemos decir que $F \propto |q|$ o $F = kq$. Esta vez, sin embargo, el valor de k es un poco diferente; ya que la pendiente es negativa cuando la carga es negativa y positiva cuando la carga es positiva, podemos utilizar la función signo (que lleva el signo del argumento) para asegurarnos de que el valor de k es el correcto. Por lo tanto, tenemos $k = \text{sgn}(q) vB$. Luego de calcular, tenemos $k = \pm (250,0T \cdot m/s \pm 5,5T \cdot m/s)$. La diferencia porcentual entre el valor de la pendiente obtenida de la línea de tendencia y el valor calculado es del 1,88%, lo que es casi despreciable. Dado que el valor de la línea de tendencia se encuentra dentro del rango, también la proporcionalidad se demuestra cierta.

A Aquí el alumno es perspicaz, pero el texto sugiere que el gráfico que se muestra es el gráfico de valores absolutos (pero no lo es). El moderador lo comprendió y no tuvo repercusión sobre la evaluación del criterio de Análisis.

A El porcentaje de incertidumbre en los datos de la carga se considera por medio de las barras de incertidumbre del gráfico 3. Sin duda, este error no es experimental ya que los valores de la carga son simplemente valores fijados al programar los datos.

Conclusión

Ahora que hemos **demostrado** las proporcionalidades $F \propto B$ ($F = (qv)B$), $F \propto v$ ($F = (qB)v$) y $F \propto q$ ($F = (vB)q$), podemos juntarlas para obtener $F \propto qvB$. Ya que cada una de las fórmulas obtenidas anteriores son sólo reordenamientos de esta proporcionalidad, sabemos que la constante de proporcionalidad es 1 y $F = qvB$. Sin embargo, me gustaría volver a escribir la fórmula como $F = |q|vB$ ya que, sin el valor absoluto, la Fuerza sería negativa cuando la carga fuese negativa, pero en base a la investigación sabemos que esto es falso, ya que la fuerza es siempre positiva.

C y EV El lenguaje del alumno resulta inapropiado en este caso. Se espera algo de perspicacia o profundidad.

El problema al usar una simulación por computador es que está programada para trabajar en base a la regla, por lo que no es un buen sustituto para llevar a cabo realmente la práctica. Si usa una simulación, la única manera de demostrar que la simulación le ayuda a llegar a una conclusión es que usted primero acepte que las leyes en que se basa la simulación son verdaderas. En este caso, ya que estoy tratando de probar la ley sobre la cual se ha creado la simulación, **no puedo decir que la ley se cumple en el mundo real, porque no la he probado** en el mundo real. Además, las simulaciones se programan a menudo para que no tengan incertidumbres, por lo que este es otro aspecto del mundo real que (la mayoría de las simulaciones) no representan. Si esta práctica se repitiera, y se pudiera acceder a materiales mejores y más precisos, sin duda sería una gran **mejora** llevarla a cabo físicamente en lugar de utilizar una simulación.

EV Solo aquí se da cuenta el alumno de lo que ha estado haciendo. Debido a la naturaleza bastante superficial de esta investigación (que simplemente ilustra la ecuación dada), resulta difícil imaginar una conclusión y evaluación apropiadas para alguno de los descriptores.

EV Esta "mejora" es realmente una ampliación.

También, al hacer esta investigación otra vez, se podrían llevar a cabo algunas ampliaciones. Por ejemplo, la simulación que elegiría permitiría al usuario **modificar la masa de la partícula**, así como el resto de variables independientes que he cambiado. Otro factor interesante a investigar es cómo se ve afectado el radio de la trayectoria de la partícula por los cambios en las variables independientes que se han utilizado, o incluso cómo podría medirse el ángulo en que la partícula se desplaza respecto al campo. Posiblemente, usando una de las otras simulaciones, se podría ver también cómo los campos eléctricos se combinan con campos magnéticos para afectar al movimiento de la partícula.

EV Esto es, en efecto, una ampliación (como los demás ítems mencionados), pero no es diferente de lo que el alumno planteó con la ecuación. Es decir, la ampliación no es científicamente interesante.

Bibliografía

"Physics: Principle with Applications" (Prentice Hall, 5^{ta} edición) de Douglas Giancoli

"Cuadernillo de datos de Física" (Bachillerato Internacional, primera evaluación: 2016).

<http://www.phy.ntnu.edu.tw/ntnujava/index.php?topic=1972.0>