

Práctica de ordenador 1.**Movimiento de cargas en campos electromagnéticos**

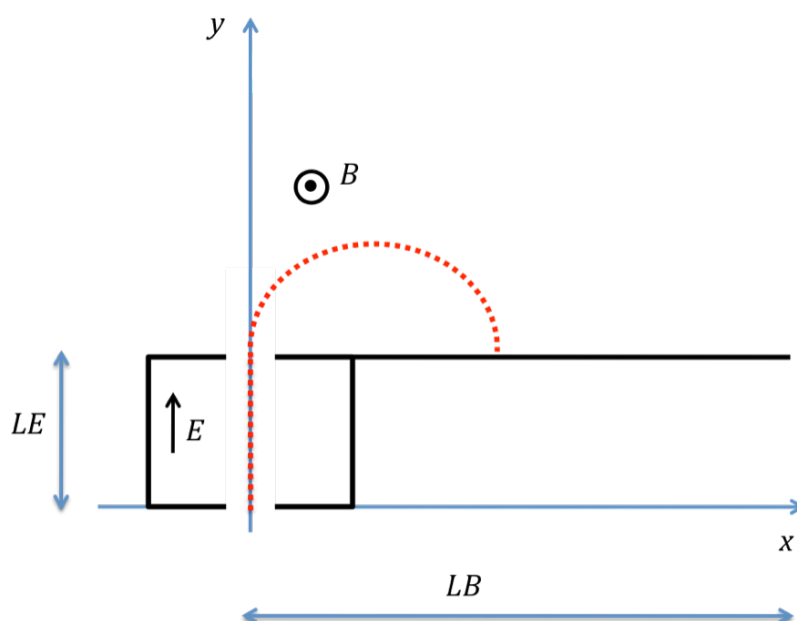
En esta práctica de ordenador vamos a estudiar mediante el uso de programas en el lenguaje python el movimiento de cargas en campos electromagnéticos. Para ello resolveremos las ecuaciones de movimiento mediante el uso de algoritmos. Los resultados los presentaremos mediante gráficas de algún parámetro en función del tiempo así como gráficas de las trayectorias seguidas por las partículas. Analizaremos distintos instrumentos basados en la acción de campos electromagnéticos sobre partículas cargadas como el espectrómetro de masas, el selector de velocidades o el ciclotrón.

Tanto los cálculos analíticos que realicemos, como las gráficas y los cálculos de comparación con los resultados previstos se deberán presentar en un informe.

La primera parte de la práctica la dedicaremos a la obtención de las ecuaciones de movimiento de una partícula cargada en un campo eléctrico y magnético. En la segunda parte resolveremos las ecuaciones de movimiento y analizaremos los resultados numéricos obtenidos para cada caso.

Espectrómetro de masas:

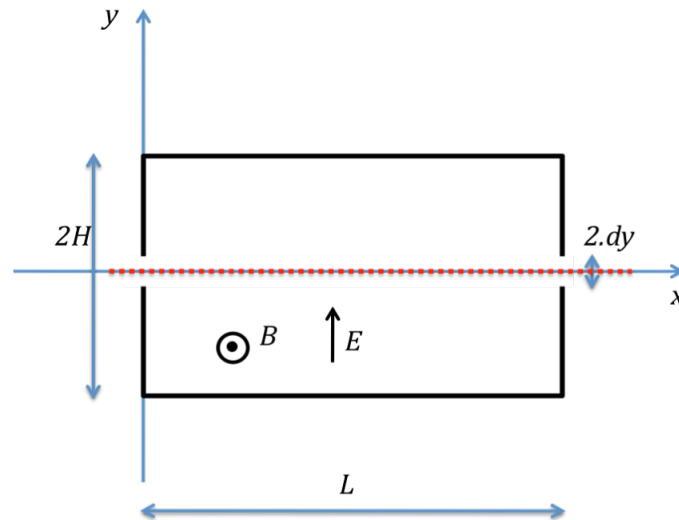
Iones procedentes de una fuente que suponemos inicialmente en reposo son acelerados mediante un campo eléctrico y entran en una región con un campo magnético perpendicular que los desvía. Se elige una muestra de iones dando la masa y carga de cada uno y se obtienen mediante simulación numérica las posiciones en las que inciden. Se debe comprobar, mediante las expresiones vistas en clase que los resultados numéricos coinciden con lo esperado.



Para comprobar que el programa funciona se pueden elegir valores arbitrarios de los parámetros (masa, carga , campos electromagnéticos). Una vez comprobado que el programa funciona debemos elegir una muestra real de iones. Las muestras de iones propuestas son las siguientes. a) Isótopos del hidrógeno: $^1\text{H}^+$, $^2\text{H}^+$, $^3\text{H}^+$, b) Isótopos del oxígeno: $^{16}\text{O}^+$, $^{17}\text{O}^+$, $^{18}\text{O}^+$, c) Isótopos del cloro: $^{35}\text{Cl}^+$, $^{36}\text{Cl}^+$, $^{37}\text{Cl}^+$, d) Isótopos del azufre: $^{32}\text{S}^+$, $^{33}\text{S}^+$, $^{34}\text{S}^+$. Se deben tomar valores de potencial de aceleración aleatorios entre 10 a 30 V (redondear el valor sorteado al segundo decimal), así como también campos magnéticos aleatorios de entre 10^{-2} y 2×10^{-2} T. Debemos comprobar mediante cálculos analíticos que el tamaño requerido para el espectrómetro sea razonable, en torno al decímetro y que así podamos separar los iones de la muestra. En el caso en que no ocurra esto podremos cambiar el valor de V o de B o ajustar el tamaño a las dimensiones requeridas. Debemos también evaluar el tiempo de integración requerido. Estos cálculos se deben realizar previamente a la realización del programa a partir de expresiones estudiadas en la asignatura y se deben presentar en un informe. Una vez realizado el programa y obtenido los resultados (puntos de incidencia de los iones) debemos comprobar que lo obtenido con el programa corresponde a lo predicho mediante los cálculos analíticos. En el informe deberán figurar los cálculos analíticos de la posición adonde llegarán los iones en el espectrómetro y el cálculo de los valores numéricos para los iones, campos y dimensiones elegidos. También se presentará un gráfico con la trayectoria de los tres iones con los parámetros elegidos.

Selector de velocidades:

Iones procedentes de una fuente entran, con velocidades diferentes, en una región donde hay un campo eléctrico perpendicular a la dirección de entrada y un campo magnético perpendicular al eléctrico y a la dirección de entrada. Regulando los valores de los campos seleccionamos sólo las partículas con una determinada velocidad, de manera que, sólo ellas, realizarán un movimiento rectilíneo y acabarán saliendo por una pequeña abertura en la pared del selector de velocidades. Se elige un valor de la carga y masa de los iones (alguno de los mencionados en el espectrómetro), así como de la velocidad (considerar energías cinéticas aleatorias entre 10 y 50 eV) y se va cambiando el valor del campo magnético, a campo eléctrico fijo (el correspondiente a una diferencia de potencial aleatoria entre la placa superior y la inferior de 20 a 30 V), hasta que la partícula salga por la abertura. Comprobar que el campo obtenido coincide con el valor teórico. Las dimensiones deben ser del orden del decímetro. Se debe presentar en el informe tanto los cálculos analíticos como los de comparación con los resultados obtenidos para los parámetros elegidos. Presentar además una grafica con la trayectoria de un ion que tenga la velocidad adecuada para salir por el detector y también las trayectorias de dos iones iguales al anterior pero con una velocidad 10 % superior y 10 % inferior a la adecuada, respectivamente.



Se pide también estudiar el movimiento de partículas relativistas en campos magnéticos, es decir, teniendo en cuenta el efecto que la teoría de la relatividad especial sobre el movimiento. Este efecto se traduce en que aparece un factor de Lorentz γ en la ecuación de movimiento de una carga en un campo magnético: La ecuación de movimiento pasa a ser

$$m\gamma \frac{d\vec{v}}{dt} = q\vec{v} \times \vec{B}$$

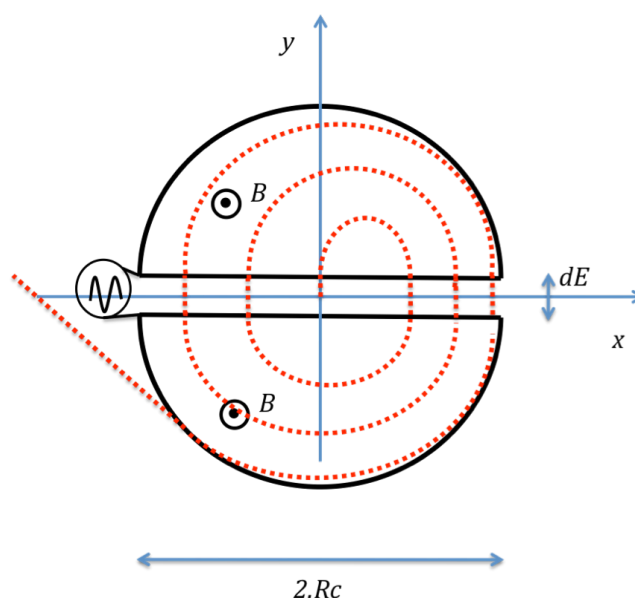
$$\text{donde } \gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2}},$$

siendo v el módulo de la velocidad y c la velocidad de la luz. Estudiar, mediante el programa, cómo varía la frecuencia del movimiento circular de una partícula que se mueve en un campo magnético homogéneo en función de la velocidad. Para ello usaremos el mismo programa python del selector de velocidad, quitando el campo eléctrico y extendiendo el rango en el cual actúa el campo magnético a todo el espacio y modificando las ecuaciones de movimiento. Utilizar electrones, positrones o protones con velocidades que vayan desde 10^2 m/s a 10^8 m/s. Representar los resultados obtenidos en una gráfica mostrando la frecuencia en función de la velocidad, así como de la energía cinética. Deducir teóricamente estas expresiones, y hacer una gráfica en la que se comparen los resultados del programa con lo teórico. Todos estos cálculos deben presentarse en el informe así como las gráficas de la frecuencia en función de la velocidad y de la energía cinética.

Ciclotrón:

Una partícula cargada (inicialmente en reposo en el origen) es acelerada mediante la acción de un campo eléctrico en la región comprendida entre dos regiones en forma de D. En estas regiones en forma de D hay un campo magnético perpendicular que les produce un movimiento circular, cuyo radio depende, claro está, de la velocidad de la partícula. El campo eléctrico debe

variar de manera periódica con el fin de que en cada paso por la región entre Des se produzca una ganancia de de velocidad. Eligiendo un valor de la carga y masa del ion, así como de la distancia entre las Des, campo eléctrico y campo magnético, se hace variar la frecuencia a fin de que las partículas se aceleren. Analizar lo que ocurre si esta frecuencia la hacemos variar alrededor del valor teórico. Estudiar el caso de una señal cuadrada. Estudiar el caso de la aceleración de protones, núcleos de deuterio, tritio o partículas α hasta energías del orden del MeV. Usar campos magnéticos del orden del Tesla, voltajes entre las Des del orden de los 5000 V y con un radio de cada D en torno a los 25 cm. Hacer representaciones en las que se muestre la ganancia de energía e interpretar los resultados. Estudiar cómo afecta la separación entre las Des al resultado. De acuerdo a lo que has visto de la frecuencia de ciclotrón de una partícula relativista. ¿Como crees que afectará al funcionamiento del ciclotrón el hecho de que los iones alcancen velocidades relativistas? ¿Como se podría solucionar?



El informe debe contener el cálculo teórico de la trayectoria y energía cinética de los iones, así como una comparación con los valores obtenidos de la simulación. También se debe presentar una gráfica de la trayectoria del ion en el ciclotrón así como de la variación de la energía cinética en el tiempo. Se presentará las mismas gráficas pero cuando la frecuencia del voltaje alterno es un 50% mayor y un 50 % menor del valor óptimo. También debes comentar los inconvenientes que hayan surgido para conseguir que la simulación funcione correctamente y como crees que afectará el movimiento de partículas relativistas.