

SIMULACION DE PROCESOS FISICOS ASISTIDOS POR ORDENADOR: MOVIMIENTO DE CARGAS EN CAMPOS ELECTROMAGNETICOS

ÁNGEL NEIRA, JOSÉ RAMÓN MENÉNDEZ Y MARTA FERNÁNDEZ DE ARRIBA*

Los ordenadores constituyen un excelente soporte y complemento de las prácticas de Física que se realizan en los laboratorios, tanto en los estudios de Bachillerato como Universitarios. En esta línea, simulamos en un computador personal movimientos de cargas en el seno de campos eléctricos, utilizando un lenguaje de programación de alto nivel y propósito general. Con esto pretendemos captar la atención del alumnado de primeros cursos universitarios, en procesos de difícil realización en el laboratorio, pero de gran interés didáctico; proporcionándoles, también, un software de fácil generalización a cualesquiera otros procesos físicos de interés.

1. Introducción

Una línea de investigación, muy prometedora dentro del campo educativo, consiste en tratar de buscar una síntesis operativa entre las herramientas de tipo informático, propiamente dicho, y su utilización concreta.

La Física, como ciencia experimental enormemente versátil, tanto en sus conceptos e ideas como en sus posibilidades de múltiples aplicaciones prácticas, de interés puntero, nos parece un campo enormemente adecuado para ser soporte de tales técnicas informáticas.

Así, a la hora de seleccionar las herramientas y metodología para desarrollar SIPROFI, los criterios que han pesado fundamentalmente han

* ÁNGEL NEIRA, JOSÉ RAMÓN MENÉNDEZ y MARTA FERNÁNDEZ DE ARRIBA son Profesores de la Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Informática (Gijón) de la Universidad de Oviedo.

sido los de tipo pedagógico y de motivación al alumno, frente a los puramente informáticos y de optimización de recursos.

Además, se han tenido también muy en cuenta las características particulares del colectivo de personas hacia las que va dirigido el proyecto; en este caso, alumnos de primeros cursos universitarios; así como aquellos recursos pedagógicos que pensamos que nos pueden resultar muy útiles a la hora de optimizar los resultados perseguidos.

2. Criterios pedagógicos

El primer aspecto que pensamos que se debe considerar, en aras a la optimización de los resultados que, desde una perspectiva didáctica se pretenden conseguir, es el colectivo de alumnos a los que va enfocado SIPROFI. Debemos tener en cuenta, en términos generales, que:

a) es preciso captar su atención y, en definitiva, motivarlos¹ frente al estudio de procesos físicos, muchas veces no suficientemente comprendidos ni reconocida su importancia, respecto a futuros expertos profesionales, no necesariamente en el campo de la Física, que esperan llegar a ser.

b) es fundamental proporcionarles un sistema al que puedan acceder y profundizar en el mismo de manera asequible e inmediata, de forma que capten la utilidad de los conocimientos que están adquiriendo² en las diversas disciplinas que componen su curriculum y puedan ver, asimismo, su aplicación inmediata. Una ciencia experimental, como la Física, llena de procesos muy atractivos para su visualización, se puede prestar especialmente a ello.

c) es importante ofrecerles, además, un producto final que reúna las características básicas de todo desarrollo informático; es decir: ha de ser robusto, fiable, claro, tanto en el desarrollo como en la presentación y eficiente.

Las prácticas elegidas poseen un elevado interés didáctico, aunque presentan un montaje experimental ciertamente complicado y/o económicamente costoso de llevar a cabo en laboratorios de Física general. De ahí que resulte interesante que los alumnos puedan acceder a ellas de alguna forma. Es, fundamentalmente en procesos de este tipo, donde el apoyo de las técnicas informáticas a ciencias experimentales,

como la Física, se hace especialmente relevante. Esto nos ha animado a abrir líneas de investigación en temas como el que nos ocupa.

En todos los procedimientos empleados se ha procurado prestar especial atención a los esquemas y algoritmos utilizados³, que garanticen claridad, tanto en el desarrollo como en los resultados y una metodología didáctica básica⁴. En esta línea, se hace importante también el diseño modular de la aplicación y la definición y utilización de librerías separadas para su posible estudio en forma individual. El software empleado se corresponde con un lenguaje claro, fácil de aprender, de alto nivel, de propósito general y con amplias posibilidades.

A partir de la validación de SIPROFI, sometiéndolo al colectivo de alumnos, hemos podido constatar una aceptación muy buena por su parte y su adecuación, por tanto, a los objetivos pedagógicos y de motivación perseguidos⁵. Esto nos incentiva a continuar en esta línea de trabajo, así como a perseverar en sus posibilidades de ampliación y mejora.

3. Análisis teórico del problema

3.1. Introducción

Tratando, pues, de utilizar una serie de herramientas informáticas para la visualización de determinados procesos físicos, presentamos la simulación de varias experiencias de alto interés didáctico, correspondientes al movimiento de cargas eléctricas en el seno de campos eléctricos y magnéticos uniformes, como una muestra de las grandes aplicabilidades potenciales existentes en el ámbito que nos ocupa. Obviamente, el montaje experimental de este tipo de fenómenos es inabordable en los laboratorios existentes y a los niveles educativos a que nos estamos ciñendo; no obstante, la simulación informática nos permite lograr que, al menos de alguna forma, los alumnos capten los mecanismos reales que gobiernan tales procesos.

Así, una vez que los educandos se han familiarizado con el concepto de carga puntual y demás leyes y conceptos asociados al mismo, parece oportuno avanzar hacia el estudio, lo más sistematizado posible, de los movimientos de cargas puntuales, tanto en el interior de campos eléctricos como en el de campos magnéticos.

En esta línea, analizamos primeramente el movimiento de cargas puntuales en el interior de un campo eléctrico uniforme perpendicular al movimiento de las mismas; en segundo lugar, el desplazamiento de dichas cargas en el seno de campos eléctricos uniformes paralelos a su movimiento y, finalmente, el movimiento de cargas puntuales en el seno de campos magnéticos uniformes y perpendiculares a la velocidad de las cargas. El primer tipo de análisis nos va a permitir comprender el proceso de separación de isótopos de un determinado elemento mediante la utilización de campos eléctricos. La separación de isótopos también se puede lograr mediante la acción sucesiva de un campo eléctrico y de otro magnético, para lo que se hace preciso el análisis teórico indicado en tercer lugar. Por otra parte, la experiencia de Millikan, relativa al movimiento de cargas en el seno de campos eléctricos uniformes y paralelos a la velocidad de tales cargas, fue un punto crucial en la determinación de la cuantización de la carga eléctrica.

3.2. Aspectos básicos

Para facilitar los desarrollos teóricos⁶, consideraremos el movimiento de cargas puntuales en el interior de campos eléctricos uniformes. Este tipo de campos se logra, en muy buena aproximación, entre dos placas próximas paralelas con igual carga en valor absoluto pero de signo contrario; como sucede, por ejemplo, entre las armaduras de un condensador.

3.3. Movimiento de una carga perpendicular a la intensidad del campo

Cuando una carga llega con una determinada velocidad inicial a una zona en la que existe un campo eléctrico uniforme de intensidad normal a la misma, se detecta que sigue una trayectoria curvilínea hasta que sale de la zona de influencia del campo, a partir de cuyo instante sigue de nuevo una trayectoria rectilínea.

Sean v_0 y E la velocidad inicial y la intensidad del campo, respectivamente. Las fuerzas que actúan sobre la carga, en cualquier instante de su movimiento, son: su peso mg y la fuerza electrostática qE . Visualizamos el proceso en la figura adjunta.

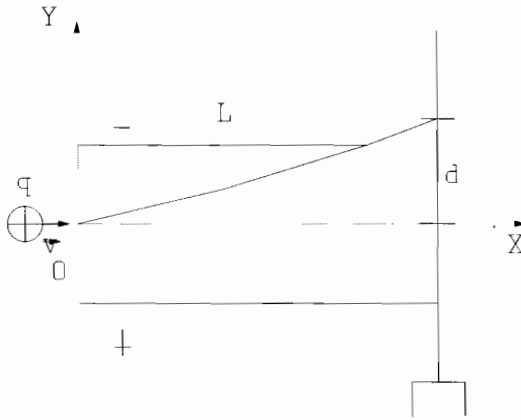


Fig. 1. Movimiento perpendicular a la intensidad del campo.

Utilizando ideas de Dinámica resulta que, midiendo en una pantalla la ordenada del punto de impacto "d", se puede hallar la carga específica de la carga en movimiento. Se obtiene que:

$$\frac{q}{m} = \frac{2dv_0^2}{L^2E}$$

3.4. Movimiento de una carga paralela a la intensidad del campo: experiencia de Millikan

El físico estadounidense R. Millikan (1869-1953), llevó a cabo el experimento conocido como **de la gota de aceite**, que no es más que un movimiento de partículas cargadas en el seno de un campo de intensidad paralela a su movimiento. Visualizamos el proceso en el esquema adjunto:

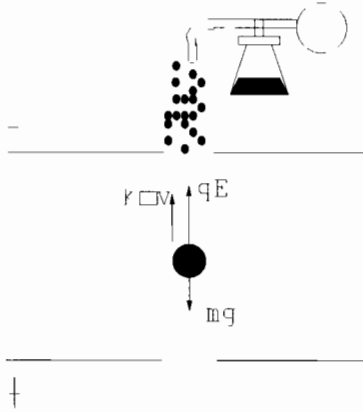


Fig. 2. Movimiento paralelo al campo:
experiencia de Millikan.

Entre las placas cargadas se puede activar o desactivar, a voluntad, un campo eléctrico con ayuda de un interruptor. Las únicas fuerzas actuantes sobre la gota son: su peso, la fuerza electrostática y el rozamiento con el fluido. Esta fuerza de rozamiento se puede asimilar, en buena aproximación, a una fuerza de Stokes, proporcional a la velocidad de la gota y opuesta a la misma. Las gotas de aceite se cargan por fricción con el orificio de entrada entre placas.

Conectando y desconectando el interruptor, se consigue un movimiento hacia arriba y hacia abajo de la gota de aceite. Operando adecuadamente, utilizando asimismo ideas de Dinámica, se tiene finalmente que:

$$q = \frac{6\pi r \eta (v_1 + v_2)}{E}$$

Se puede, entonces, hallar el radio de la gota midiendo v_1 . Entonces la carga "q" se obtiene midiendo v_2 . En la práctica, se sigue un procedimiento algo diferente. El movimiento de vaivén de la gota, al suprimir y aplicar el campo externo, se observa varias veces. La velocidad v_1 permanece obviamente invariable, pero la velocidad v_2 cambia, ocasionalmente, sugiriendo un cambio en la carga de la gota de aceite.

Los cambios en las velocidades y las cargas están entonces relacionados así:

$$\Delta q = \frac{6\pi r\eta}{E} \Delta v_2$$

3.5. Movimiento de cargas en el interior de campos magnéticos uniformes y perpendiculares a su velocidad

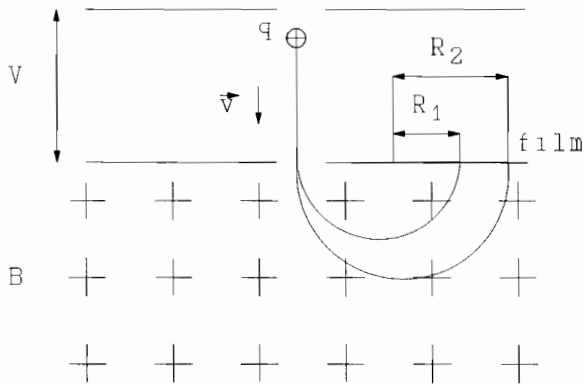


Fig. 3. Espectrógrafo de masas.

Cuando el campo magnético es uniforme y actúa perpendicularmente a la trayectoria de la carga; a partir de las pertinentes consideraciones derivadas de la expresión de Lorentz para la fuerza magnética, se llega

a que la trayectoria de la partícula es circular, con su radio dado por la siguiente expresión:

$$R = \frac{mv}{qB}$$

donde:

R = radio de la trayectoria circular.

m = masa de la partícula cargada (supondremos condiciones no relativistas).

q = valor de la carga.

B = módulo del vector inducción magnética.

v = módulo del vector velocidad de la partícula cargada (que, como se sabe, permanece constante durante su movimiento en el interior del campo magnético).

La carga es acelerada en un campo eléctrico, que podemos suponer generado entre dos placas planas y paralelas, cargadas con la misma carga en valor absoluto pero de distinto signo. Al tratarse de un tipo de campo conservativo, la carga llegará al final de la zona de influencia del campo eléctrico con una velocidad, cuyo módulo calculamos a través de la siguiente cadena de relaciones:

$$qV = \frac{1}{2}mv^2 \Rightarrow v = \sqrt{\frac{2qV}{m}}$$

Teniendo en cuenta que esa velocidad se mantiene constante, en módulo, mientras la carga se mueva en el seno del campo magnético, podemos escribir para la expresión del radio de la correspondiente trayectoria circular:

$$R = \frac{1}{B} \sqrt{\frac{2mV}{q}}$$

siendo:

V = diferencia de potencial entre las placas creadoras del campo eléctrico.

Se aprecia, de forma clara, que esta última relación depende de la carga específica de la partícula y, por tanto, el proceso esquematiza también la separación de diferentes isótopos de determinados elementos; estando en la génesis de los instrumentos conocidos como espectrógrafos de masas.

4. Principios informáticos del proceso

La herramienta hardware a utilizar deberá basarse, necesariamente, en elementos de programación elemental, dado el colectivo de alumnos a los que va enfocado el prototipo. En este sentido, la opción actualmente más apropiada está en un PC de amplio espectro, sin requisitos especiales de memoria principal ni secundaria, ni de velocidad, ni tan siquiera de tarjetas gráficas, pudiendo ser utilizado incluso en monocromo de baja resolución.

Para la selección del software también se ha debido tener en cuenta el colectivo de alumnos a los que va dirigido, por lo que se ha buscado un lenguaje de programación claro, fácil de aprender, de alto nivel, de propósito general y con amplias posibilidades. Del abanico de lenguajes con estas características, se ha optado por el PASCAL.

En cuanto a la metodología a emplear, hemos de pensar esencialmente en las características iniciales del problema:

a) se trata de simular una serie de procesos físicos, en principio diferentes e independientes, pero muy relacionados tanto en materia de cálculos matemáticos como de estrategias de presentación. Por tanto, el uso del diseño top-down para la identificación de subproblemas y la modularización se hacen vitales.

b) al intentar, por una parte, simular procesos físicos con modelos matemáticos y, por otra, representar de forma gráfica y animada en la pantalla los resultados, las rutinas y fenómenos numéricos deben ser también otro punto de especial atención en el desarrollo. Los redondeos y la falta de precisión en los cálculos, la transmisión y acumulación de errores, la adaptación de los cálculos obtenidos a una forma visual y coherente, son aspectos que deben ser cuidados especialmente, señalados y documentados⁷.

c) finalmente, para constituir un entorno abierto, robusto y eficiente, se deberán definir las rutinas adecuadas para, por ejemplo, integrar menús y mecanismos de selección e introducción de datos que permitan una fácil y cómoda interacción hombre-máquina, así como ventanas de ayuda y explicación de conceptos para guiar al alumno de forma más cómoda en toda la sesión.

Naturalmente, es indispensable que todo el entorno sea fácil de manejar por personal, no necesariamente demasiado experto en las

técnicas y usos de tipo informático, encargado de tutelar la realización de estas simulaciones de procesos físicos.

5. Resultados obtenidos

5.1. Movimiento perpendicular a la intensidad del campo

Una aplicación interesante de este proceso consiste en la separación de isótopos de diferentes elementos, de acuerdo con las variaciones de sus cargas específicas. Existe una pantalla de presentación en la que se le plantean al alumno una de las dos opciones siguientes:

- visualizar el comportamiento de los isótopos correspondientes.
- intentar determinar de que elemento base se trata.

A continuación, aparece el mensaje "Introduce la opción deseada", que puede ser elegida por el usuario.

Se facilita una lista de isótopos de diversos elementos, de forma que el usuario observa en pantalla la trayectoria parabólica que describen las diferentes cargas hasta impactar en la pantalla. El programa calcula, asimismo, la distancia que separa los puntos de la pantalla donde han incidido. Con estos datos, si el usuario ha elegido la segunda opción, el programa le pregunta "¿quiere saber de que isótopo se trata? (S/N)" y, tras pulsar su elección, aparece finalmente "¿desea realizar más cálculos? (S/N)". (Figura 4).

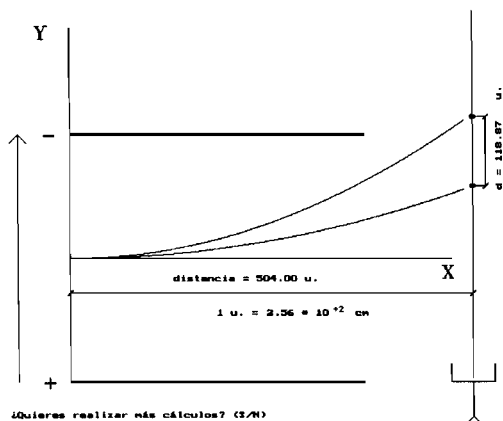


Fig. 4. Separación de isótopos de un elemento mediante la acción de un campo eléctrico.

5.2. Movimiento paralelo a la intensidad del campo

El alumno deberá seleccionar el medio en que desea introducir la gota de aceite y, automáticamente, el programa nos muestra cual es la densidad del aceite y la viscosidad, a temperatura ambiente, del medio seleccionado.

A continuación, se debe introducir la diferencia de potencial asociada al campo eléctrico uniforme, existiendo asimismo la posibilidad de modificar las dimensiones verticales de la pantalla del ordenador y desactivar el sonido que se produce cuando la gota de aceite no ha adquirido aún su velocidad límite.

Seguidamente, visualizamos el movimiento de la gota, tanto si el campo eléctrico está activado como si no lo está, pudiéndose determinar la velocidad límite en ambos casos.

Finalmente, el programa muestra la posibilidad de comprobar los resultados obtenidos y de realizar más cálculos si así se desea. (Figura 5).

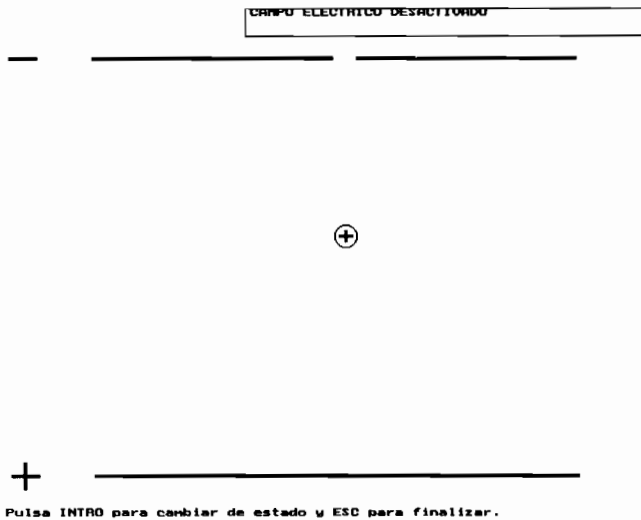


Fig. 5. Experiencia de Millikan: movimiento de una carga en el seno de un campo eléctrico paralelo a su trayectoria.

5.3. Movimiento perpendicular al campo magnético

Visualiza, de una forma algo más sofisticada que la planteada en el apartado 5.1., al presentar la acción combinada de campos eléctricos y magnéticos, la separación de isótopos de determinados elementos. La mecánica operativa es similar a la del apartado antes mencionado, planteándose la doble posibilidad al alumno de que vea en pantalla y en el film impresionado, los puntos de impacto de diferentes isótopos de un cierto elemento, bajo las dos opciones siguientes:

a) visualizar la separación de diferentes isótopos de un elemento dado.

b) viendo los puntos de impacto de los mismos en pantalla, tratar de determinar de que elemento proceden tales isótopos. (Figura 6).

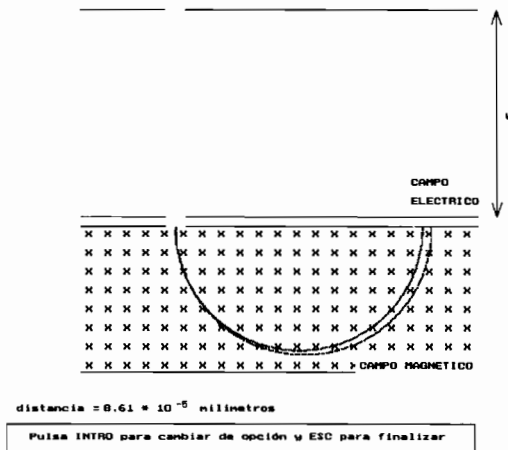


Fig. 6. Separación de isótopos de un elemento mediante un espectrógrafo de masas.

6. Conclusiones

a) Los métodos y procedimientos utilizados son fácilmente generalizables a cualesquiera otros procesos. De esta forma, pretendemos complementar las prácticas de Física realizadas en laboratorios,

enfocadas tanto para alumnos de Bachillerato como de primeros niveles universitarios.

b) En las simulaciones hemos trabajado de forma gráfica con procesos animados, pudiendo detectarse sobre la pantalla mediciones reales.

c) Se trata de una línea de trabajo que puede resultar especialmente atractiva para cualesquiera tipo de alumnos, en general con conocimientos elementales de programación, donde encuentran como las herramientas de tipo informático sirven de apoyo a la visualización simulada de procesos físicos. Además, pensamos que abre unas amplias y prometedoras posibilidades de desarrollo en futuras ampliaciones.

Referencias Bibliográficas

- Castro, J., Cucker, F., Messeguer, X., Rubio, A., Solano, Ll. y Valles, B. (1993) *Curso de Programación*. Madrid: McGraw-Hill.
- Díaz Ramajos, T. (1986) *Física por ordenador*. Madrid: Alhambra.
- Lucas, M., Peyrin, J.P. y Scholl, P.C. (1990) *Algorithmique et Representation des Donnés. 1. Files, automates d'états finis*. París: Masson.
- Keller, J.M. (1983) Motivational Design of Instruction, en Reigeluth, C.M. (Ed.) *Instructional Design Theories and Models*. Hillsdale, N.J.: Lawrence Erlbaum.
- Soler, E., Álvarez, L., García, A., Hernández, J., Ordóñez, J.J., Albuérne, F. y Cadrecha, M.A. (1982) *Teoría y Práctica del Proceso de Enseñanza-Aprendizaje*. Madrid: Narcea.
- Tipler, P.A. (1993) *Física (I y II)*. Barcelona: Reverté.
- Johnston, H. (1985) *Learning to Program*. U.K.: Prentice-Hall International.