

El Principio de acción y reacción y las interacciones no instantáneas

Nieves N. Baade, María E. Lavagna y Viviana A. Costa

Universidad Nacional de La Plata. Facultad de Ingeniería. Departamento de Fisicomatemática. IMApEC
1 y 47. 1900. La Plata. Argentina. nbaade @volta.ing.unlp.edu.ar

Resumen

Se presenta el desarrollo de un applet, utilizando el programa EJS, Easy Java Simulations. . En el mismo se analizan las fuerzas de interacción entre dos partículas cargadas para verificar si se cumple el principio de acción y reacción de Newton cuando la velocidad de propagación de la interacción es: I) infinita; II) finita.

En ambos casos (velocidades: infinita, y finita) se visualiza el movimiento de dos partículas cargadas (de distinto signo) que están limitadas a moverse sobre el eje de coordenada y.

En el caso de propagación instantánea (caso I), la carga 2 comenzará instantáneamente a oscilar pudiéndose verificar que se cumple el principio de acción y reacción.

Cuando la propagación es no instantánea (caso II), la carga también comenzará a oscilar, pero con cierto retraso. Debido a este retraso, la fuerza que la primera carga ejerce sobre la segunda no esta acompañada por una fuerza igual y opuesta ejercida por la segunda carga sobre la primera, lo que significa una aparente violación de la Ley de acción y reacción.

Introducción

El reconocimiento que sólo la comunicación de los conceptos y de las leyes de una ciencia como es la Física, no basta para que el alumno pueda modificar sus estructuras conceptuales intuitivas que va creando a partir del discurso académico, es que actualmente se promueve priorizar en la tarea docente, la elaboración de materiales didácticos que permitan incentivar a que el alumno forme parte activa de la construcción de su propia conceptualización.

Esta aseveración está en concordancia con la tendencia actual, en la enseñanza de la ciencia, de devolverle el protagonismo a las experiencias en el laboratorio. En ciertos temas nos enfrentamos a la imposibilidad de:

- a) reproducir el fenómeno en el laboratorio,
- b) contar con el número adecuado de instrumental para las experiencias realizables, en cursos masivo.

Esta última dificultad, esta siendo solucionada por el avance tecnológico que ha permitido incorporar a la PC para la adquisición y análisis de datos. El beneficio de utilizar las interfaces y los diversos tipos de sensores, es que la adquisición de los datos se la realiza en un corto tiempo, por lo cual se puede aumentar el número de experiencias a realizar con los alumnos, trabajando con módulos temáticos y con una rotación eficiente en relación instrumento - alumno.

Por lo tanto el desafío docente, es hoy producir material didáctico que satisfaga, de alguna manera las premisas enunciadas.

Un camino es recurrir a simulaciones que se basan en modelos que se construyen basándose en las leyes físicas que gobiernan los fenómenos a estudiar, aún cuando los valores utilizados no sean los reales. Esto último en función de presentar una mejor visualización

Esto es hoy posible para docentes y alumnos, porque se cuenta con programas de cálculos y para la realización de software, por ejemplo con un programa relativamente accesible como lo es el generador de código llamado EJS (Easy Java Simulations) ⁽²⁾ creado por Francisco Esquembre de la Universidad de Murcia (España) y miembro del grupo COLOS.

Propuesta

En este trabajo presentamos una simulación realizada utilizando el EJS. En el mismo se analizan las fuerzas de interacción entre dos partículas cargadas para verificar si se cumple el principio de acción y reacción de Newton cuando la velocidad de propagación de la interacción es: I) infinita; II) finita.

El sistema a estudiar está formado por dos partículas cargadas (de distinto signo) que interactúan entre sí y que están limitadas a moverse sobre el eje coordenadas y . Los carriles están separados una distancia d . La carga 1, cuando aún no se ha colocado la otra carga, se mueve con un movimiento oscilatorio armónico. En el instante en que se encuentra en el extremo negativo de su trayectoria, se deja en reposo la carga 2 sobre el otro carril.

La interfaz EJS ha sido seleccionada por la particular simplicidad que presenta para el desarrollo de aplicaciones Java (applets) compatibles con el diseño de páginas WEB. Las mismas facilitan el acceso, por parte de los alumnos, a la simulación creada. Esta consta de una ventana principal que muestra la evolución temporal del fenómeno junto con un panel de control de parámetros, y de otra que suministra la gráfica de las funciones asociadas con él.

Fundamento particular de la elección del tema para producir una simulación como material didáctico

En los cursos de electromagnetismo clásico, el alumno se enfrenta con una nueva representación, la de la Teoría de Campo, donde la interacción como se entendía hasta este momento deja de ser directa, por ejemplo carga – carga y se comienza a desarrollar la idea que la interacción es ahora en etapas, es decir carga-campo-carga.

Cuando se intenta argumentar, frente a los alumnos, el por qué de la introducción del concepto de Campo, surge hablar de la propagación finita de las interacciones. Si bien se estudia el electromagnetismo clásico (velocidad infinita), es el momento de mencionar que la Teoría de la Relatividad de Einstein postula que "La velocidad de propagación no puede superar en ningún caso la velocidad de la luz". Es decir que en la realidad no existen las interacciones instantáneas. Es en este marco, que el texto de física ⁽²⁾ de Eisberg R – Lerner L, plantea:

"La Ley de Coulomb describe las fuerzas eléctricas que se ejercen entre sí dos cargas separadas. Recordaremos que este tipo de fuerzas de "acción a distancia" no cumple con la Ley de Acción y Reacción de Newton cuando existe una variación repentina en alguna característica de una de las cargas que sea importante para la interacción entre las dos. Tal es el caso si una carga recibe una secuencia de aceleraciones que le dan un movimiento oscilatorio. Cuando esto sucede, por la interacción con la otra carga, dicha carga también comenzará a oscilar, pero con cierto retraso. Debido a este retraso, la fuerza que la primera carga ejerce sobre la segunda no está acompañada por una fuerza igual y opuesta ejercida por la segunda carga sobre la primera, lo que significa una violación de la Ley de acción y reacción. Esto muy serio, ya que tal ley es una consecuencia de la ley fundamental de la conservación del momento lineal y de la definición fundamental de la fuerza como la razón de variación del momento lineal respecto al tiempo.

Esta dificultad se elimina al pasar de la idea de cargas que interactúan a distancia, a la idea que ellas actúan indirectamente mediante un campo. En este proceso, en dos etapas, la carga oscilante interactúa con su propio campo y produce una oscilación en el campo. La oscilación se propaga en el campo y eventualmente llega donde está localizada la otra carga. Allí ocurre entonces una interacción entre el campo y dicha carga que la hace oscilar. En cada etapa la interacción tiene lugar en un punto específico y existe un par de fuerzas entre una carga y el campo que sí satisfacen el principio de acción y reacción.

La oscilación se propaga en el campo con velocidad finita. Si desaparecen las cargas de la distribución que origina el campo, éste desaparece un tiempo después

Al introducir tanto el concepto de campo eléctrico como el procedimiento relacionado en dos etapas para la situación simple que estamos tratando, se están dando los elementos especiales para la comprensión de situaciones complicadas que se tratan más tarde"

Al discutir esta idea con los alumnos, durante años, reiteradamente llegábamos a la conclusión de que muy pocos lograban asimilarla, lo que pone en evidencia la ausencia de la abstracción necesaria para su comprensión.

Este es el motivo por el cual se diseña este material didáctico, buscando contribuir a generar las imágenes necesarias que faciliten el aprendizaje.

Características del material didáctico

- El fenómeno en estudio es imposible de reproducir en el laboratorio
- Su principal relevancia para ser estudiado se debe a la dificultad por parte de los alumnos de alcanzar la abstracción, en esta etapa de formación, necesaria para interpretar modelos tales como la teoría de campo.
- La importancia de que los alumnos trabajen con la representación de los campos eléctricos y magnéticos, cuando comienzan a estudiar su comportamiento estático, es que se establecen las bases para poder conceptualizar posteriormente la electrodinámica y en particular la generación de las OEM.
- Puede ser utilizado por los alumnos tanto en clases presenciales como a distancia. Esto colabora en el aprendizaje, ya que el alumno no se ve limitado con los tiempos de clase para trabajar con los mismos.
- Puede ser utilizado como una simple visualización del problema o como un material interactivo, puesto que se tiene la posibilidad de modificar los parámetros y requerir la gráfica de las distintas variables que describen la dinámica del proceso.
- Permite ser colocado en un ambiente virtual de aprendizaje, formando parte de un hipertexto de campo eléctrico, donde se intenta dar un nuevo enfoque, basado en los resultados de nuestras investigaciones educativas ⁽³⁾, para dar solución a las dificultades de conceptualización.
- También puede ser colocado, para cursos no presenciales, en una plataforma educativa como lo es el Sistema de Gestión Moodle. El cual se destaca por la facilidad que brinda al docente, cuando organiza un curso a través de la misma, de añadir actividades que facilita al alumno el uso de material elaborado por la cátedra, applets y material seleccionado de Internet

Descripción

Los applet desarrollados permiten simular el movimiento de las partículas cargadas del sistema en los casos planteados, donde se tiene en cuenta la velocidad de propagación.

En ambos casos (velocidades infinita, y finita) se visualiza el movimiento de dos partículas cargadas (de distinto signo) que están limitadas a moverse sobre el eje de las y . Los carriles están separados una distancia d . La carga 1 (roja), cuando aún no se ha colocado la otra carga, se mueve con un movimiento oscilatorio armónico. En el instante en que se encuentra en el extremo negativo de su trayectoria, se deja en reposo la carga 2 (azul) sobre el otro carril. También se obtienen las gráficas de posición y fuerza en función del tiempo

En el caso de propagación instantánea (caso I), la carga 2 comenzará instantáneamente a oscilar pudiéndose verificar que se cumple el principio de acción y reacción.

Cuando la propagación es no instantánea (caso II), la carga también comenzará a oscilar, pero con cierto retraso. Debido a este retraso, la fuerza que la primera carga ejerce sobre la segunda no está acompañada por una fuerza igual y opuesta ejercida por la segunda carga sobre la primera, lo que significa una aparente violación de la Ley de acción y reacción.

Resolución matemática del problema

Las siguientes ecuaciones diferenciales de segundo orden ordinarias, describen el fenómeno físico del movimiento de las dos partículas cargadas:

Caso I: sin retardo

$$m_1 \ddot{y}_1(t) = -ky_1(t) - \frac{Kq^2(y_1(t) - y_2(t))}{((y_1(t) - y_2(t))^2 + d^2)^{3/2}}$$
$$m_2 \ddot{y}_2(t) = \frac{Kq^2(y_1(t) - y_2(t))}{((y_1(t) - y_2(t))^2 + d^2)^{3/2}}$$

con condiciones iniciales: $y_1(0)$, $y_2(0)$, $\dot{y}_1(0)$ e $\dot{y}_2(0)$ y donde las variables $y_1(t)$, $y_2(t)$, miden el desplazamiento, respecto a la posición de equilibrio, de las partículas en sentido vertical, respecto del tiempo t .

Dado que este sistema de ecuaciones diferenciales de segundo orden, con condiciones iniciales no es posible resolverlo exactamente por un método analítico, se procedió a la aproximación de la solución del problema, mediante un método numérico.

Se transforma el sistema de ecuaciones de segundo orden en un sistema de ecuaciones diferenciales de primer orden. A este sistema de primer orden se lo resuelve por el método de Runge-Kutta de cuarto orden (N=4).⁽³⁾

Los métodos de Runge-Kutta, se construyen a partir de un Método de Taylor de orden N, de modo que el error global final sea del mismo orden $O(h^N)$. El método de Runge-Kutta de cuarto orden es el más popular y también es muy preciso y estable.

Se halló la solución $y_1(t)$, $y_2(t)$, utilizando el propio programa EJS. Los valores de los parámetros utilizados no son coincidentes con los de las posibles situaciones reales. Esto fue necesario para facilitar la visualización, ya que la velocidad de propagación es la de la luz $c = 3 \cdot 10^8$ m/s.

Caso II: con retardo

Las mismas ecuaciones diferenciales describen el fenómeno, con la diferencia que ahora se reemplaza $y_2(t)$ por la función posición con retardo $y_2(t+tr)$, introduciéndose así una nueva variable, $(t+tr)$. Para hallar el nuevo sistema de ecuaciones numéricas fue necesario desarrollar por Taylor la función y_2 en la variable $(t+tr)$

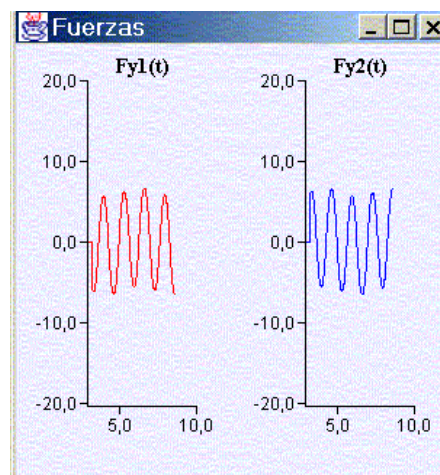
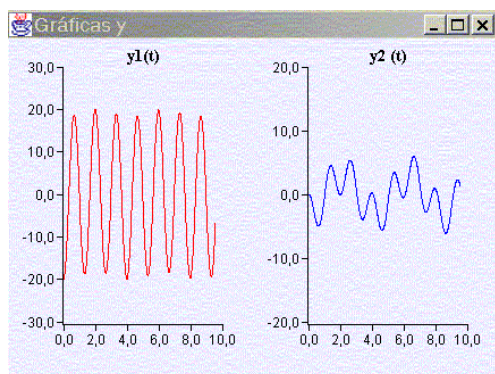
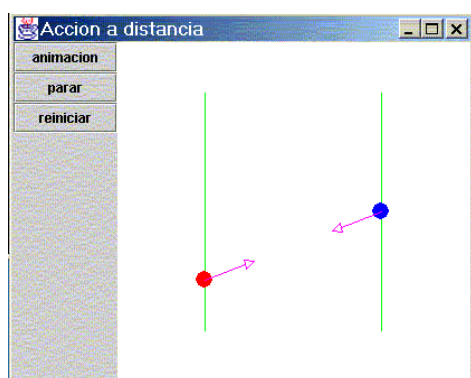
Material Didáctico

El applet desarrollado permite:

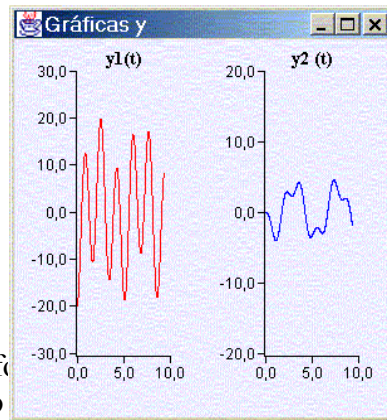
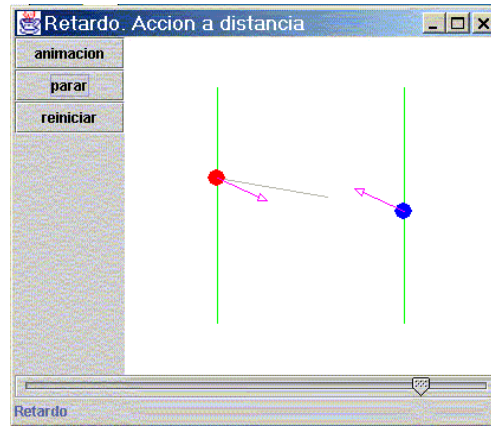
- visualizar que se cumple la ley de acción y reacción en el caso de interacciones instantáneas y su aparente falta de cumplimiento en el caso de las interacciones con retardo
- estudiar, en ambos casos, el movimiento de la partículas a través de las gráficas de posición en función del tiempo.
- analizar, en ambos casos, las fuerzas que actúan sobre las partículas a través de las gráficas de la fuerza en función del tiempo
- modificar, en el caso II, el tiempo de retardo utilizando un cursor preparado para tal fin. De esta manera se puede estudiar el efecto del retardo sobre las fuerzas.
- modificar los parámetros que gobiernan la simulación, pudiendo así el alumno generar diferentes situaciones.

Se muestran pantallas representativas:

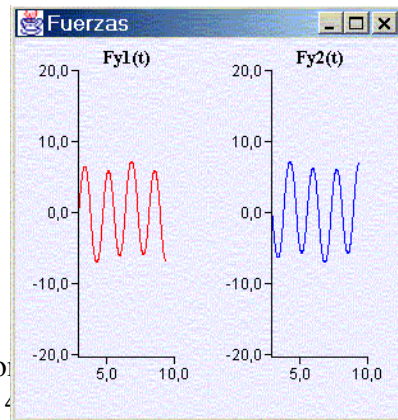
Caso I (sin retardo)



Caso II (con retardo)



Este applet f
del concepto



e tiene co
situación 4

ación

Índice

- [Introducción](#)
- [Acción a distancia](#)
- [Campo](#)

Campo

Introducción

Situación para pensar

- Situación 1
- Situación 2
- Situación 3
- Situación 4

Bibliografía

- (1) http://www.um.es/fem/Ejs/Ejs_es/index.html
- (2) Eisberg - Lerner. Física. Fundamentos y aplicaciones, Volumen II. Mc Graw. Hill 1981
- (3) Baade N.N. Lavagna M.E y Mercader, 2002. *Tutoriales, una propuesta de "flexibilización"*. Libro de Actas INTERTECH 2002 (VII Encuentro Internacional de Educación en Ingeniería y Tecnología). 18 al 21 de marzo 2002. Santos. Brasil. Edición electrónica.
- (4) N. Baade, M. Lavagna y F. Prodanoff. "*¿Cuándo y cómo calculamos con el Principio de Superposición campos electromagnéticos?*". VIII Conferencia Interamericana sobre Educación en la Física. La Habana- Cuba del 7 al 11 de julio de 2003.
- (5) Burden R.y Faires J. "Análisis Numérico".