

Los paquetes de programas ondas, óptica, rayos X, fotones, átomos y núcleos y sus aplicaciones en la enseñanza asistida por computadora (EAC)

ALEJANDRO FONSECA DUARTE

*Departamento de Física, Universidad de Camagüey
Camagüey 74650, Cuba*

Recibido el 8 de octubre de 1991; aceptado el 3 de febrero de 1993

RESUMEN. Se presentan seis paquetes de programas y su metodología de empleo para el estudio de temas de oscilaciones y ondas, óptica, física cuántica, física atómica, física nuclear y difracción de rayos X. Versiones sucesivas de los paquetes se vienen aplicando en centros de educación superior de Cuba desde hace más de cuatro años. Son partes del proyecto *Physics* que abarca desde la mecánica hasta la física del estado sólido. En la metodología, la computación resulta el medio para que el estudiante *descubra* regularidades y leyes, y desarrolle, entre otras, las habilidades de cálculos, interpretación, análisis, síntesis y generalización. Se reserva al profesor el nivel de conductor de la intensificación de la enseñanza y de la individualización del aprendizaje. Los programas usan la simulación, la tabulación y las representaciones, mediante el movimiento, el color según su significación física y los gráficos hasta en tres dimensiones. Un sistema de ayudas sobre los temas y para la operación facilitan la interacción con los programas. Los paquetes se programaron en lenguaje Pascal, corren bajo el DOS en micro-computadoras XT, AT y superiores, equipadas con tarjetas VGA, EGA (y también CGA). Se recomienda usar más de 300 Kb de RAM.

ABSTRACT. In this work six program packages and their methodology of use are shown. The subjects of study are oscillatory and wave motions, optics (including X-ray diffraction), quantum, physics, atomic physics and nuclear physics. Several versions of the program packages have been in use in many institutes and universities of Cuba during the last four years ago. These packages belong to the project named *Physica*, that covers from mechanics to solid state physics. Methodologically, computers are a mean by which students discover and study regularities and laws to develop abilities like those related to calculations, interpretation, analysis and generalization. On the other hand the teachers have the opportunity to intensify and/or modify the learning processes according to each individual. The packages are based on numerical calculations, simulations and graphical representations, where the included menus do ease the selection of topics and operations with programs. The packages were written in Pascal for PC XT/AT and others, running under DOS. The requirements to take full advantage of the programs are VGA, EGA or CGA graphics cards and at least 300 Kbytes of RAM.

PACS: 01.50.Ht

1. INTRODUCCIÓN

La existencia de las computadoras personales y la tendencia al uso de esta tecnología en la educación superior, hacen necesaria una aproximación a la labor docente desde el punto de vista de las posibilidades que se abren. En primer lugar, hay que considerar que

se vuelve a la individualización de la enseñanza, facilitada por el logro de una disposición y una motivación más alta en los estudiantes. Estos son beneficios que, en particular, la enseñanza asistida por computadora brinda [1,2].

Para alcanzar estos beneficios, con base en los paquetes *Physica*, se concibe el diálogo *Profesor ↔ Estudiante ↔ Máquina*: intercambio de información entre el estudiante y la máquina tras el cual se transparenta más o menos la orientación y el control del profesor. Las acciones alrededor del intercambio de información permiten que el estudiante adquiera conocimientos y habilidades apoyado en la comprobación de regularidades y leyes mediante la asistencia de la computadora. Según criterios de tipos de *software* educativo y modelos de aprendizaje [3], este diálogo pudiera clasificarse dentro de las *simulaciones y micromundos*.

Así, el intercambio de información entre el estudiante y la máquina se da mediante el planteamiento de situaciones físicas por el estudiante; *e.g.*, valores de parámetros y variables, y las respuestas de simulación que ofrece la máquina según las situaciones planteadas. De esta manera se ilustran los conceptos mediante la animación, y como complemento se dan representaciones gráficas y la posibilidad de obtener valores resultantes de cálculos útiles para la realización de tablas, gráficos y otras elaboraciones.

La elegancia y rigor de las respuestas, la repetición igual o modificada en dependencia de las condiciones físicas elegidas, el control individual del ritmo de la asimilación de quien interacciona para aprender, son elementos difíciles de igualar con un libro o en el pizarrón [4].

Sobre la base de lo que se ha ido expresando en esta Introducción, descansa el proyecto de los paquetes de programas. Su propósito es el de abarcar desde la motivación de los estudiantes hasta el logro de habilidades de interpretación deducción, cálculos, tabulación de datos y resultados, graficación, solución de problemas y tratamientos complementarios de la información bibliográfica [5-9]. Finalmente, el desarrollo de las habilidades de síntesis y generalización de conceptos.

Abundando acerca de la labor del profesor en la EAC, puede decirse que su responsabilidad en la orientación y control son, en esencia, diferentes a como se practica en la enseñanza tradicional. En esta última, generalmente el énfasis está puesto en transmitir contenidos temáticos a los estudiantes, mientras que en la EAC el énfasis se traslada a plantear y describir objetivos temáticos para que el estudiante mediante sus propias acciones logre conocimientos y habilidades en relación con el tema.

Como los temas que pueden tratarse en cada uno de los paquetes de programas son muchos, las descripciones que siguen son sólo algunos ejemplos de aplicación metodológica.

2. PAQUETE DE PROGRAMAS ONDAS

Incluye oscilaciones mecánicas y electromagnéticas, composición de movimientos armónicos, amortiguación y resonancia.

Se estudia la ecuación diferencial

$$\frac{d^2 x}{dt^2} + \omega_0^2 x = 0$$

con el apoyo de la simulación de un movimiento armónico simple (MAS). En la ecuación, t es el tiempo, x es la magnitud física cuya dependencia temporal define el MAS y ω_0 depende del caso considerado (péndulo simple, cuerpo-resorte, circuito LC, etc.)

El valor de las magnitudes: frecuencia angular ω_0 , amplitud A y constante de fase inicial α , pueden cambiarse para observar e interpretar cómo influyen en el movimiento periódico. Un objetivo en la solución de problemas puede ir dirigido a la descripción de las características del MAS. Otros pueden estar relacionados con la tabulación de datos y la realización de gráficos con el fin de deducir, comprobar y encontrar resultados que pueden llegar a incluir la ley de conservación de la energía mecánica.

La simulación del MAS contempla además su descripción mediante un vector rotatorio. Ello permite, por ejemplo, satisfacer objetivos relacionados con la notación compleja.

La composición de dos MAS puede ser otro objetivo de estudio, tanto en una dimensión como en dos dimensiones (direcciones mutuamente perpendiculares) para componentes de igual y de diferente frecuencia. Con los resultados generados se realiza la animación para las condiciones que determinan los casos de batimientos (pulsaciones), y casos que más adelante tendrán que ver, por ejemplo, con los estados de polarización de la luz, y los casos más generales de las figuras de Lissajous.

Para las oscilaciones amortiguadas se considera la ecuación

$$\frac{d^2x}{dt^2} + \frac{\omega_0}{Q} \frac{dx}{dt} + \omega_0^2 x = 0,$$

donde $Q = \frac{\omega_0}{\gamma}$ es el factor de calidad y γ es la magnitud que caracteriza el amortiguamiento.

Según los efectos que determinan el amortiguamiento, en el caso de las oscilaciones mecánicas y electromagnéticas, se obtiene el comportamiento gráfico del sistema, el cual se caracteriza por el valor de

$$\omega^2 = \omega_0^2 - \frac{\gamma^2}{4},$$

que comprende los movimientos de tipo sobreamortiguado $\omega_0^2 < \gamma^2/4$, subamortiguado $\omega_0^2 > \gamma^2/4$ y críticamente amortiguado $\omega_0^2 = \gamma^2/4$. Para el estudio es posible confeccionar tablas, otros gráficos además de los representados, hacer deducciones y generalizaciones como pudiera ser la consideración de aplicar al sistema oscilante un efecto externo periódico, del tipo $F_0 \cos(\omega t)$, para investigar la forma general de la curva de resonancia.

En el estudio de las ondas mecánicas transversales se simula el mecanismo de la propagación de la onda armónica, puede detenerse la imagen del movimiento y, luego de una pausa, continuarlo. Estas pausas permiten una mejor interpretación y descripción.

En el caso electromagnético, se posibilita estudiar además la composición de dos ondas en las que, respectivamente, la intensidad del campo eléctrico E varía en planos mutuamente perpendiculares. Para estas ondas deben ser iguales la frecuencia, la dirección y el sentido de la propagación.

En todos los casos se permite la modificación de los valores de los parámetros que influyen en las características del movimiento ondulatorio. Dadas estas posibilidades, un

objetivo de investigación puede ser estudiar los distintos estados de polarización de la luz en dependencia de las diferencias de fases entre las ondas componentes.

3. PAQUETES DE PROGRAMAS OPTICA Y RAYOS X

Incluyen principalmente interferencias (por dos rendijas, y varias rendijas), difracción de Fraunhofer (por una rendija, y varias rendijas), polarización (leyes de Brewster, Malus, dispositivos de polarización), análisis de fases en la difracción de rayos X (registro continuo, registro por puntos).

Con estos paquetes se posibilita la simulación de las condiciones para obtener la distribución de intensidades propia de las experiencias de interferencia de Young, de otros arreglos del tipo, de interferencia por N rendijas y, por otra parte, de la difracción de Fraunhofer.

Las variables que se pueden modificar de una experiencia a la otra son: para la interferencia, longitud de onda (λ) de la luz, separación entre las rendijas (d) y cantidad de rendijas (N); adicionalmente, para la difracción, ancho (b) de las rendijas.

A partir de tales modificaciones, se trazan los objetivos para investigar. Como ejemplo se tienen las regularidades en la influencia de las variables sobre la distribución de intensidades en una pantalla de observación situada a conveniencia. Se motivan las deducciones, la solución de problemas, confección de gráficos, de tablas, teniendo en cuenta criterios sobre diferencia de recorrido (Δr), diferencia de fases ($\Delta\Phi$), o cualesquiera otras magnitudes de localización lineal o angular de los máximos y mínimos de intensidad I en la pantalla de observación. Las expresiones involucradas en los análisis son

$$I = I_0 \frac{\text{sen}^2(N\beta)}{\text{sen}^2 \beta},$$

$$I = I_0 \frac{\text{sen}^2 \alpha}{\alpha^2},$$

$$I = I_0' \frac{\text{sen}^2(N\beta)}{\text{sen}^2 \beta} \frac{\text{sen}^2 \alpha}{\alpha^2},$$

además de otras, donde $\alpha = \pi d \text{sen}(\varphi)/\lambda$ y $\beta = \pi b \text{sen}(\varphi)/\lambda$ son dos parámetros de localización. La variación continua del ángulo φ , a ambos lados del centro de la pantalla de observación, determina la distribución de intensidades sobre la pantalla.

Con el objeto de realizar el análisis de fases presentes en un sólido, mediante difracción de rayos X, se emplean la ley de Bragg, las formas cuadráticas de los índices de Miller y la serie de razones $\text{sen}^2(\Theta_i)/\text{sen}^2(\Theta_1)$, donde Θ_1 y Θ_i son los ángulos de Bragg de la primera línea y de la línea i -ésima en el registro continuo para un tipo de red, con simetrías, como la cúbica centrada en el cuerpo o la cúbica centrada en las caras.

Para el análisis por puntos se considera la división angular del perfil de la línea de difracción (HKL) en n intervalos Δx_i a los que corresponden las intensidades $I_i(x_i)$.

La posición del centro de gravedad de la línea se calcula por

$$x_{c.g.} = \frac{\sum_{i=1}^n I_i(x_i)x_i\Delta x_i}{N \sum_{i=1}^n I_i(x_i)\Delta x_i},$$

de donde, a través del cálculo del ángulo de Bragg correspondiente $\Omega_{c.g.}$, se obtiene los siguientes parámetros estructurales: distancia interplanar d_{HKL} , semi-ancho angular β , intensidad integral I , y constante de la red para estructuras cúbicas [10]. En el análisis se tiene en cuenta los valores de fondo de la intensidad del haz difractado de rayos X a ambos lados del perfil de la línea con el fin de eliminar el efecto Hooke. Las investigaciones a realizar pueden comprender las variaciones estructurales provocadas en los sólidos bajo distintas influencias de importancia técnica.

4. PAQUETE DE PROGRAMAS FOTONES

Incluye leyes de la radiación térmica y del efecto fotoeléctrico según la teoría de Einstein.

Las tabulaciones de datos se obtienen directamente a partir de la ley de desplazamiento de Wien,

$$\lambda = \frac{b}{T};$$

de la ley de Stefan-Boltzmann

$$R = \sigma T^4;$$

de la segunda ley de Wien y de la fórmula de Planck.

Con este paquete, en relación con las leyes de la radiación térmica, se posibilita la comprobación gráfica y analítica de las mencionadas leyes, así como elaboraciones complementarias fundamentadas en ellas [11].

Para la investigación de las regularidades acerca de la teoría de Einstein del efecto fotoeléctrico, se simula un circuito típico para experimentar sobre las dependencias i vs. I , i vs. V , $|eV_c|$ vs. ν , y otras.

Estas magnitudes son intensidad de la fotocorriente, intensidad de la luz, voltaje entre cátodo y ánodo de la celda fotoeléctrica, voltaje de corte y frecuencia de la luz. En el circuito se pueden escoger, a conveniencia, el material metálico del cátodo de entre 20 elementos, la longitud de onda de la luz visible o ultravioleta y el voltaje entre cátodo y ánodo (+ o -). Como respuesta a cada medición se determina si ocurre o no el efecto fotoeléctrico, la densidad de la fotocorriente en el circuito y la energía cinética máxima ($E_{k\max} = |eV_c|$) de los fotoelectrones.

Los resultados de cada serie de experimentos deben tabularse con el fin, por ejemplo, de graficar las dependencias que se estudian para la aplicación y la comprobación de la teoría de Einstein del efecto fotoeléctrico.

5. PAQUETES DE PROGRAMAS ATOMOS Y NUCLEOS

Estos paquetes incluyen teoría de Bohr del átomo (valores característicos para el electrón en sus órbitas, series espectrales), introducción a la mecánica cuántica (pozo de potencial bidimensional), estructura del núcleo atómico, desintegraciones nucleares, series radiactivas, reacciones de fusión y de fisión, clasificación de las partículas elementales y leyes de conservación.

En el estudio del átomo se simula la ocurrencia de transiciones electrónicas en la absorción y en la emisión de energía para dar lugar a líneas de las series espectrales del hidrógeno.

Los cálculos sobre valores orbitales del electrón permiten la tabulación como base para la realización de gráficos relativos al átomo de hidrógeno y la elaboración de otros resultados aplicables a átomos hidrogenoides. Esos cálculos tienen que ver con diferentes estados cuánticos ($n = 1, 2, 3, \dots$) y se relacionan con energías E_n , radios r_n , frecuencias de revolución f_n , longitudes de onda de De Broglie λ , así como con diferencias de energía entre estados ($\Delta E = h\nu$). Los objetivos del estudio pueden incluso admitir el establecimiento y la comprobación del principio de correspondencia de Bohr.

El tratamiento mecánico-cuántico del pozo de potencial bidimensional (2D) de paredes infinitas ofrece, según la elección de los números cuánticos n_x y n_y , las representaciones gráficas de la función de onda $\Psi(x, y)$ y de su cuadrado $|\Psi(x, y)|^2$ para la interpretación probabilística. También se pueden considerar combinaciones de estados cuánticos.

Con respecto al núcleo atómico, tanto las simulaciones de mediciones como las representaciones de niveles de energía, así como los cálculos relacionados con energía de enlace, masa de los núcleos, ley exponencial de desintegración y otros, crean la base para la aplicación de las leyes de desplazamiento de Fajans y Soddy en los casos de desintegraciones α , β^\pm y captura- K ; y, por ejemplo, para determinar la disminución de la actividad de una muestra radiactiva al transcurrir el tiempo. En este aspecto particular se cuenta para ello con 48 "isótopos radiactivos" de período de semi-desintegración relativamente corto, un contador del tiempo y un contador de la actividad.

A lo antes expuesto se añade que el programa incluye una tabla periódica, datos sobre isótopos, representación de los procesos de reacciones de fusión y de fisión, y un esquema animado de la reacción en cadena. Se representa la curva de energía de enlace por nucleón E_c/A contra número de nucleones A , la cual puede constituir un objetivo de construcción a partir de los cálculos permitidos en la tabulación.

Finalmente se presentan datos, tablas y planteamientos de ejercicios sobre transformaciones entre partículas elementales. Se introducen algunas leyes de conservación propias del mundo de las partículas elementales para su aplicación y comprobación en cuanto a la posibilidad de ocurrencia de las transformaciones.

6. VALIDACIÓN PRIMARIA DE LAS APLICACIONES

Las aplicaciones de la EAC según *Physica* se han extendido por muchos institutos y universidades de Cuba y los indicadores recogidos sugieren que se continúe con las experiencias. Se puede hablar de que se aprecia:

- a) desde el punto de vista del estudiante,
 - aumento de la motivación;
 - aumento de la dedicación a la solución de ejercicios y problemas;
 - aumento del aprovechamiento docente;
- b) desde el punto de vista del profesor,
 - mayor facilidad en la comunicación con los estudiantes;
 - ahorro de tiempo y esfuerzo en la preparación de las clases;
 - aumento del tiempo dedicado al control del aprovechamiento.

Estas apreciaciones están en relación con los resultados primarios obtenidos recientemente en la Universidad de Camagüey.

En el curso 1989-90 se aplicó la metodología de EAC según *Physica* al estudio de la asignatura Óptica y Física Moderna en un grupo de 20 alumnos de segundo año de la carrera de Ingeniería Termoenergética. El 100% de los alumnos promovió satisfactoriamente. En otros dos grupos, tomados en condiciones similares, pero que no recibieron la asignatura según la EAC, se obtuvo una promoción inferior.

Desde el curso 1990-91, paralelamente a las aplicaciones exploratorias, se dedicó gran tiempo a la calificación de profesores para la introducción más amplia de la EAC.

En el curso 1991-92 se introdujo la metodología EAC según *Physica* a ser aplicada en el desarrollo de la asignatura Física Moderna en todos los grupos de segundo año de la carrera de Ingeniería Mecánica, aproximadamente 120 estudiantes. La promoción alcanzada fue de 96.5% y antes, por los métodos tradicionales, estuvo regularmente por debajo de 90%.

Estos datos no son concluyentes y sólo se dan como ilustración. Una investigación estadística derivará de los resultados de varios años, además de tener en cuenta algunas variables que inciden en el proceso de enseñanza-aprendizaje como, por ejemplo, la personalidad del estudiante, en relación con lo cual otros autores ya han reportado resultados [12].

7. CONCLUSIONES

Con los paquetes de programas y el diálogo *Profesor ↔ Estudiante ↔ Máquina*, cuyas generalidades y algunos ejemplos de aplicación se han descrito aquí, se pretende dotar al profesor y al estudiante de una manera de desarrollar la enseñanza y el aprendizaje propias de la EAC convencional. En suma, contribuir a la intensificación del proceso de enseñanza y aprendizaje (posibilitar la asimilación de más información y de mayor calidad) y a su individualización (permitiendo de alguna manera que el estudiante aprenda a su propio ritmo de entendimiento y por su propia interacción de búsqueda).

Se persigue que el profesor conduzca el cumplimiento de los objetivos instructivos a través de la orientación y de la motivación para que el estudiante experimente, investigue “descubra”, compruebe por sí mismo las regularidades, los comportamientos y las leyes. La participación del estudiante se asegura durante su estudio extraclases —que incluye la preparación del laboratorio y la elaboración de los resultados de mediciones físicas— y en las sesiones de ejercitación y discusiones conceptuales con la asistencia de la computadora. Los recursos que ofrece el intercambio de información entre la computadora y quien la usa son la simulación, los cálculos y las representaciones.

En la implementación metodológica de estos recursos hay que tener en cuenta la necesidad de desarrollar las más diversas habilidades en los estudiantes en relación con la solución de problemas y el uso de la literatura imprescindible y de consultas. De manera que no se sustituyen, ni hay que renunciar, al empleo de otros recursos tradicionales que contribuyen al logro de los objetivos, como pueden ser las demostraciones en conferencias. Este aspecto es de subrayar porque, las experiencias, la percepción de los instrumentos de medición, de los objetos de investigación, *e.g.*, de los comportamientos térmicos, acústicos y otros, son la realidad misma evidenciada clásica o cuánticamente, macroscópica o microscópicamente, pero insustituible por cualquier modelo, representación o simulación.

Las experiencias de utilización de estos paquetes de programas en la docencia superior de la física han permitido tener en cuenta sugerencias de profesores y estudiantes para el perfeccionamiento de las versiones sucesivas y fundamentar una continuidad en esa ruta y en la incorporación de otros recursos didácticos (como video-cintas), otros temas y otros enfoques en el proyecto *Physica* según la evolución de la EAC y de las nuevas tecnologías en la educación.

REFERENCIAS

1. L.C. MacDemott, *Am J of Phys* **58** (1990) 452.
2. S.M. Allesi, Sr. Trollip, *Computer-based Instruction*, Prentice-Hall, New Jersey (1985).
3. A. Vaquero Sánchez, “Fundamentos pedagógicos de la Enseñanza Asistida por Computadora”, *ADIE, Boletín de Nuevas Tecnologías Educativas y Recursos Didácticos*, Madrid (1992) 14.
4. R.P. Gladwin, P. Margerison, S.M. Walker, *Education in Chemistry* **27**, No. 3 (1990) 67.
5. G.B. Arfken, D.F. Griffing, D.C. Kelly y J. Priest, *University Physics*, AP, Florida (1984).
6. M. Alonso y E.J. Finn, *Fundamental University Physics*, Addison Wesley Publishing Co. Massachusetts (1983).
7. D. Halliday y R. Resnick, *Fundamentals of Physics*, John Wiley & Sons, Nueva York (1981).
8. A. Fonseca Duarte y J.M. Pons Espinosa, *Physica III: Optica*, Ed. UC, Camagüey (1991).
9. A. Fonseca Duarte y R. Brito Melgarejo, *Physica III: Física Moderna*, Ed. UC, Camagüey (1991).
10. A. Fonseca Duarte, *Rev. Construcción de maquinaria* **8** (1983), 7.
11. R.D. Larsen, *J. of Chemical Education* **62** (1985).
12. K.F. Matta, G.M. Kern, *Int. J. of Man-Machine Studies*, **35**, 541 (1991).