

UNIVERSIDAD DE CUENCA
FACULTAD DE FILOSOFÍA, LETRAS Y CIENCIAS DE LA EDUCACIÓN
ESPECIALIDAD DE MATEMÁTICAS Y FÍSICA



**“APRENDAMOS CONCEPTOS RELATIVISTAS
MEDIANTE MODELLUS”**

**Tesis previa a la obtención
del título de Licenciadas
en Ciencias de la Educación
en la especialidad de
Matemáticas y Física**

***DIRECTOR:* Dr. ALBERTO SANTIAGO AVECILLAS JARA**

***AUTOR:* ROSA MARGARITA MORQUECHO GUAMÁN
MAYRA VALERIA PELÁEZ GUZMÁN**

**CUENCA-ECUADOR
2013**

R E S U M E N

El presente proyecto de graduación es un compendio de animaciones relacionadas con la unidad didáctica “Conceptos Relativistas” perteneciente a la Física Moderna. Mediante el uso del programa Modellus se han elaborado varias animaciones, las mismas que se han clasificado en: Conceptuales, Ejercitativas y Lúdicas. Las primeras presentan al usuario toda la parte teórico-conceptual correspondiente al tema de una manera clara, precisa y concreta; las segundas le permiten al usuario la interacción entre el computador y él, poniendo de manifiesto de una forma recreada el conocimiento adquirido a través de las animaciones conceptuales; mientras que las últimas permiten demostrar habilidades de tipo mental y manual ya que las mismas serán puramente interactivas. Como parte complementaria, hemos elaborado una guía que contiene un resumen adecuado de cada tema, el cual irá con los códigos de sus respectivas animaciones y una animación de muestra con su respectiva descripción, para que de esta forma el usuario pueda utilizarlo correctamente y pueda facilitar su comprensión. Además presentamos un resumen muy operativo acerca del programa informático Modellus, para que los usuarios lo conozcan y aprendan.

A B S T R A C T

This graduation project shows animations in which the topic “Relativistic Concepts” are developed. It is part of Modern Physics.

Using the program Modellus, we have developed a series of animations which are divided in: Conceptual, Practical and Ludic. The conceptual animations give the user the theoretical-conceptual part on each of the topics in a simpler form, concrete, summarized, different and fun.

The Practical animations are built in a way that the user expresses the acquired knowledge in the conceptual part, allowing the interaction between the user and the program.

The Ludic animations show certain activities and games which will allow the user to show their psychomotor skills, because they are interactive only.

To complement this project, we have created a didactical guide which describes the components and the functioning of each of the elements that are part of Modellus, it also serves as a theoretical-practical support for the user.

Í N D I C E

Resumen.....	2
Índice.....	3
Palabras clave.....	4
Certificados.....	5
Dedicatorias.....	10
Agradecimiento.....	11
Introducción.....	12
Descripción de cada tema.....	13
Introducción a Modellus.....	15
Presentación.....	26
Introducción a conceptos relativistas.....	27
Transformaciones de Lorentz.....	33
Consecuencias de las transformaciones de Lorentz.....	39
La Mecánica Relativista.....	45
El Efecto Fotoeléctrico.....	50
Rayos X.....	57
El Efecto Compton.....	63
Interacción Radiación Materia.....	69
Corrimiento Gravitacional hacia el rojo.....	75
Ondas de De Broglie.....	81
El Principio de Incertidumbre.....	89
Conclusiones.....	96
Recomendaciones.....	97
Bibliografía.....	98

**UNIVERSIDAD DE CUENCA**

Fundada en 1867

Yo, ROSA MARGARITA MOPRQUECHO GUAMAN, autor de la tesis "APRENDAMOS CONCEPTOS RELATIVISTAS MEDIANTE MODELLUS", reconozco y acepto el derecho de la Universidad de Cuenca, en base al Art. 5 literal c) de su Reglamento de Propiedad Intelectual, de publicar este trabajo por cualquier medio conocido o por conocer, al ser este requisito para la obtención de mi título de Licenciada en Ciencias de la Educación en la especialidad de Matemáticas y Física. El uso que la Universidad de Cuenca hiciere de este trabajo, no implicará afección alguna de mis derechos morales o patrimoniales como autor.

Cuenca, 18 de julio de 2013



ROSA MARGARITA MOPRQUECHO GUAMAN
0104177944

Cuenca Patrimonio Cultural de la Humanidad. Resolución de la UNESCO del 1 de diciembre de 1999

Av. 12 de Abril, Ciudadela Universitaria, Teléfono: 405 1000, Ext.: 1311, 1312, 1316
e-mail cdjbv@ucuenca.edu.ec casilla No. 1103
Cuenca - Ecuador



UNIVERSIDAD DE CUENCA

Fundada en 1867

Yo, ROSA MARGARITA MORQUECHO GUAMAN autor de la tesis "APRENDAMOS CONCEPTOS RELATIVISTAS MEDIANTE MODELLUS", certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autor/a.

Cuenca, 18 de julio de 2013



ROSÁ MARGARITÁ MORQUECHO GUAMAN
0104177944

Cuenca Patrimonio Cultural de la Humanidad. Resolución de la UNESCO del 1 de diciembre de 1999

Av. 12 de Abril, Ciudadela Universitaria, Teléfono: 405 1000, Ext.: 1311, 1312, 1316
e-mail cdjbv@ucuenca.edu.ec casilla No. 1103
Cuenca - Ecuador

**UNIVERSIDAD DE CUENCA**

Fundada en 1867

Yo, MAYRA VALERIA PELÁEZ GUZMÁN, autor de la tesis "APRENDAMOS CONCEPTOS RELATIVISTAS MEDIANTE MODELLUS", reconozco y acepto el derecho de la Universidad de Cuenca, en base al Art. 5 literal c) de su Reglamento de Propiedad Intelectual, de publicar este trabajo por cualquier medio conocido o por conocer, al ser este requisito para la obtención de mi título de Licenciada en Ciencias de la Educación en la especialidad de Matemáticas y Física. El uso que la Universidad de Cuenca hiciere de este trabajo, no implicará afección alguna de mis derechos morales o patrimoniales como autor.

Cuenca, 18 de julio de 2013



MAYRA VALERIA PELÁEZ GUZMÁN
0104841051

Cuenca Patrimonio Cultural de la Humanidad. Resolución de la UNESCO del 1 de diciembre de 1999

Av. 12 de Abril, Ciudadela Universitaria, Teléfono: 405 1000, Ext.: 1311, 1312, 1316
e-mail cdjbv@ucuenca.edu.ec casilla No. 1103
Cuenca - Ecuador



UNIVERSIDAD DE CUENCA

Fundada en 1867

Yo, MAYRA VALERIA PELÁEZ GUZMÁN, autor de la tesis "APRENDAMOS CONCEPTOS RELATIVISTAS MEDIANTE MODELLUS", certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autor/a.

Cuenca, 18 de julio de 2013



MAYRA VALERIA PELÁEZ GUZMÁN
0104841051

Cuenca Patrimonio Cultural de la Humanidad. Resolución de la UNESCO del 1 de diciembre de 1999

Av. 12 de Abril, Ciudadela Universitaria, Teléfono: 405 1000, Ext.: 1311, 1312, 1316

e-mail cdjbv@ucuenca.edu.ec casilla No. 1103

Cuenca - Ecuador

PALABRAS CLAVE

Introducción

Modellus

Conceptos Relativistas

Transformaciones de Lorentz

Consecuencias de las transformaciones de Lorentz

Acrecentamiento de la masa

Dilatación del tiempo

Contracción de la longitud

Mecánica Relativista

Efecto Fotoeléctrico

Cuerpo negro

Rayos X

Efecto Compton

Interacción Radiación Materia

Corrimiento Gravitacional hacia el Rojo

Ondas De Broglie

Principio de Incertidumbre

Física cuántica

CERTIFICADOS

**Yo, Rosa Margarita Morquecho Guamán
certifico que todo el contenido
del presente trabajo es
de exclusiva responsabilidad del autor.**

.....

**Yo, Mayra Valeria Peláez Guzmán,
certifico que todo el contenido
del presente trabajo es
de exclusiva responsabilidad del autor.**

.....

DEDICATORIAS

Al creador de todas las cosas, Dios, por darme la oportunidad de vivir y por estar conmigo en cada paso que doy, por fortalecer mi corazón e iluminar mi mente y por haber puesto en mi camino a aquellas personas que han sido mi soporte y compañía durante todo el periodo de estudio.

A mi madre María Rosario por darme la vida, a mis abuelitos José y María por quererme mucho, creer en mí, por los bonitos recuerdos que dejaron impregnados en una niña que jamás los olvidará; gracias por darme una carrera para mi futuro, todo esto se lo debo a ustedes.

Se lo dedico a mi pequeño ángel: María del Cisne, la que llegó a dar luz a nuestras vidas, y de manera especial este trabajo lo dedico a mi novio Juan Fernando por llegar a mi vida a darme muchas alegrías y brindarme su apoyo incondicional.

A todos aquellos familiares y amigos que no recordé al momento de escribir esto. Ustedes saben quiénes son.

Finalmente a todos los estudiantes que hagan uso de este bonito material para la formación profesional a lo largo de sus carreras de estudio.

Rosa Margarita

Dios todo poderoso es quien me da la vida, ya que por él, tengo a mis padres, a mis hermanos, quienes han estado conmigo en todo momento apoyándome para que así salga adelante en mi vida profesional. Es por eso que todo este esfuerzo lo dedico a mi mami, a mis hermanos y a mi papi que, a pesar de la distancia, nunca se olvidó de mí, y con su apoyo me ha inspirado a salir adelante y poder desenvolverme durante toda la vida.

Mayra Valeria

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar agradezco a Dios por darme la oportunidad y la salud para poder cumplir mis sueños.

A mis abuelitos José, María y a mi madre por ayudarme a dar mis primeros pasos, formar los cimientos de mi persona; aunque ellos no estén en esta tierra se han convertido en mis ángeles guardianes.

De manera muy especial a mi tía Marianita por hacer el papel de madre y a sus hijos: Patricia, Fernando y Mónica. A mi prima Patricia su esposo e hijos: Fernando y María del Cisne por brindarme abrigo de hogar con muchas alegrías y poder continuar con mi vida, sueños y carrera.

A mis profesores, gracias por su tiempo, por su apoyo así como por la sabiduría que me transmitieron en el desarrollo de mi formación profesional, de manera especial a la maestra del sexto año de educación básica, Emma Beltrán; debo destacar al Dr. Santiago Avecillas por guiarnos en la elaboración de la tesis; y cómo olvidarme de mis amigas y compañeras que me han ayudado a lo largo de mi formación y de manera especial a Valeria y su familia.

Rosa Margarita

Primeramente agradezco a Dios quien me ha guiado y me ha dado la fortaleza de seguir adelante. A mis padres Oswaldo y Elsa, quienes a lo largo de toda mi vida me han apoyado y motivado en mi formación académica. A mis hermanos que siempre han estado conmigo, a mi familia y amigos por brindarme su apoyo. A mi compañera de tesis por el tiempo compartido. A los docentes que me han acompañado durante el largo camino, brindándome siempre su orientación con profesionalismo ético en la adquisición de conocimientos y de manera especial al Dr. Alberto Santiago Avecillas Jara por guiarnos durante el proceso de elaboración de este trabajo.

Mayra Valeria

INTRODUCCIÓN

“APRENDAMOS CONCEPTOS RELATIVISTAS MEDIANTE MODELLUS” es un proyecto dirigido al apoyo del estudio de Conceptos Relativistas dentro de la física moderna. El cual tiene como fundamento teórico el constructivismo, que nos dice que el aprendizaje significativo se logra por medio de las experiencias propias del individuo.

Uno de los principales problemas educativos es el avance tecnológico por el cual los estudiantes no generan el mismo interés por aprender, como en épocas anteriores. Es por eso que el docente debe ser versátil a la hora de enseñar, debe brindar un sinnúmero de experiencias al estudiante y adaptarse a las necesidades generadas por el contexto actual.

Al encontrarnos con esta dificultad decidimos desarrollar el proyecto en base a animaciones conceptuales, ejercitativas y lúdicas de una forma interactiva e ilustrativa mediante Modellus, que a diferencia de otros programas con relación a la Matemática y Física, es un programa: gratuito, liviano, fácil de manejar y asequible tanto para docentes como para estudiantes, sirviendo de apoyo en la educación, el mismo que relaciona el software y elementos informáticos.

Nuestro proyecto se basa en animaciones hechas de tal forma que motivan al estudiante y sirven de sustento transformador para los docentes en el momento de impartir sus clases. Debido a su constante uso, los usuarios se introducen en el mundo de la programación desarrollando su lógica y organización. De esta manera introducimos un método diferente de enseñar y aprender física.

DESCRIPCIÓN DE CADA TEMA

2.1 Introducción: Este primer tema contiene algunos aspectos previos relacionados con el surgimiento de la Física Relativista, modelos matemáticos, ejemplos propuestos para reforzar el tema.

2.2 Transformaciones de Lorentz: Este tema contiene el nuevo conjunto de ecuaciones matemáticas sobre la transformación de coordenadas y velocidades, y actividades para reforzar los conocimientos.

2.3 Consecuencias de las transformaciones de Lorentz: Este tema nos presenta los conceptos y ecuaciones matemáticas de las consecuencias de las transformaciones de Lorentz, ejemplos de aplicación de las ecuaciones.

2.4 La mecánica relativista: El tema contiene ecuaciones matemáticas relativistas de Einstein relacionadas con la mecánica.

2.5 El efecto Fotoeléctrico: Este tema es de capital importancia como elemento de enlace entre lo corpuscular y lo ondulatorio y presenta algunos conceptos relacionados con el fenómeno y sus ecuaciones matemáticas.

2.6 Rayos X: Contiene el desarrollo del concepto y las ecuaciones correspondientes al estudio del tema, así como la ecuación de reflexión de Bragg.

2.7 El Efecto Compton: Indica un efecto propio de los rayos X, el comportamiento de los fotones y sus ecuaciones matemáticas correspondientes.

2.8 Interacción Radiación-Materia: Contiene el desarrollo de las formas en que se nos presenta la naturaleza, la ondulatoria y la corpuscular; además sus expresiones

matemáticas correspondientes.

2.9 Corrimiento Gravitacional Hacia El Rojo: Contiene el desarrollo de su respectiva teoría a partir de los conceptos de Einstein-Planck; además, sus expresiones matemáticas correspondientes.

2.10 ONDAS de DE BROGLIE: Contiene el desarrollo del concepto considerando la “simetría o doble cara” de la naturaleza y el desarrollo de las expresiones matemáticas correspondientes.

2.11 El Principio de Incertidumbre: Contiene el concepto y el desarrollo de las expresiones matemáticas correspondientes y actividades para resolver y reforzar el tema.

INTRODUCCIÓN A MODELLUS

(Herramienta para la Modelización de Sistemas)

1. Introducción

Modellus es una herramienta orientada a la simulación y modelización de sistemas válida para el estudio de diversas materias dentro de los currículos de Educación Secundaria, Bachillerato y Formación Profesional. Sus autores la han concebido como instrumento de apoyo en el aula y con ese objetivo es que se explica su funcionamiento y uso para profesores y estudiantes.

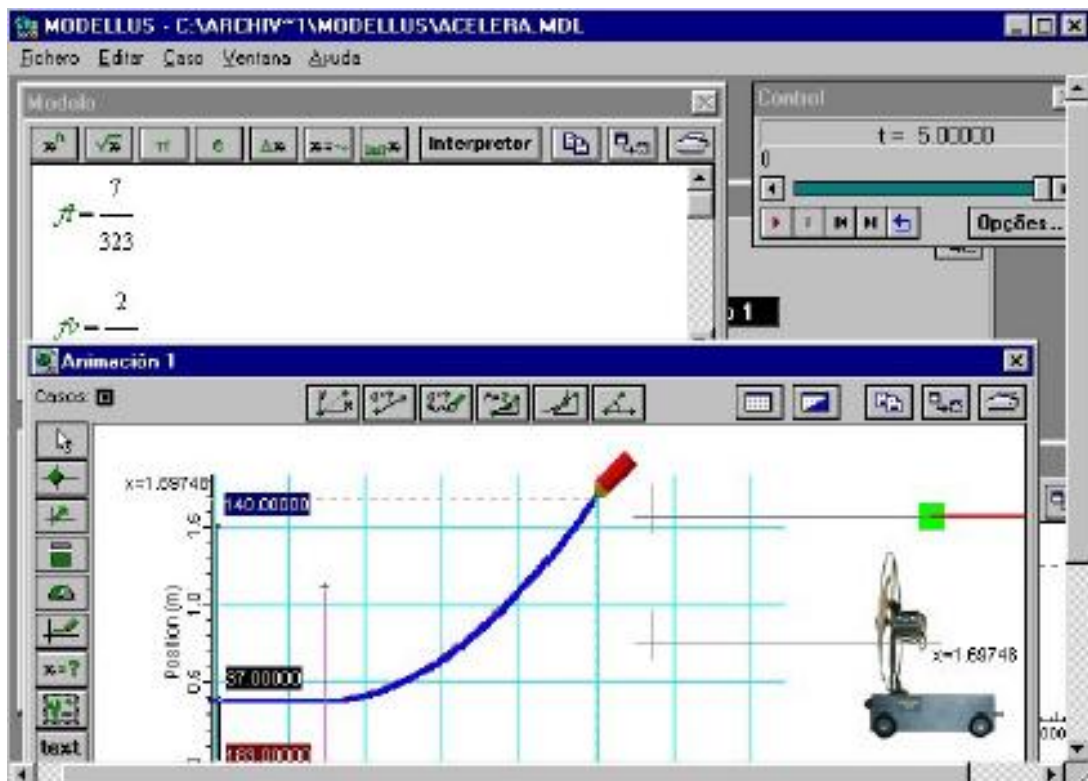
Modelo matemático

Sabemos que los diversos fenómenos que se estudian en las materias del área de ciencias pueden explicarse y representarse mediante su modelo matemático. Este modelo recogerá el comportamiento del sistema tanto en su aspecto temporal (evolución a lo largo del tiempo) como en su aspecto puramente matemático (cálculo de valores). Modellus está orientado a los modelos temporales de tal manera que con él se puede estudiar el comportamiento dinámico de los distintos sistemas. Este comportamiento se podrá estudiar mediante la simulación en distintos escenarios “casos” en cada uno de los cuales cada uno de los parámetros o constantes del modelo pueden ser modificados. Tal sería el caso del estudio de la caída de un cuerpo en distintos planetas del sistema solar con distintas fuerzas de gravedad, o el comportamiento de un muelle con distintas constantes de elasticidad.

La modelización de cualquier fenómeno o sistema se apoya en la observación de los fenómenos que lo caracterizan, razón por la cual, en la medida que podamos reproducir esos fenómenos y experimentar con ellos, podremos comprender con más claridad el modelo. El estudio del modelo se realizará siempre en orden creciente de complejidad de tal forma que en una primera fase se tendrán en cuenta los aspectos más relevantes para posteriormente derivar hacia un modelo más perfecto a través de un método de “refinamiento”. Según lo define uno de sus autores (V. D. Teodoro), Modellus es, bajo el punto de vista computacional, un micromundo computacional para estudiantes y profesores a la vez, basado en un método de programación en el que el usuario escribe en la “Ventana de modelo”.

2. Estructura Básica de Modellus.

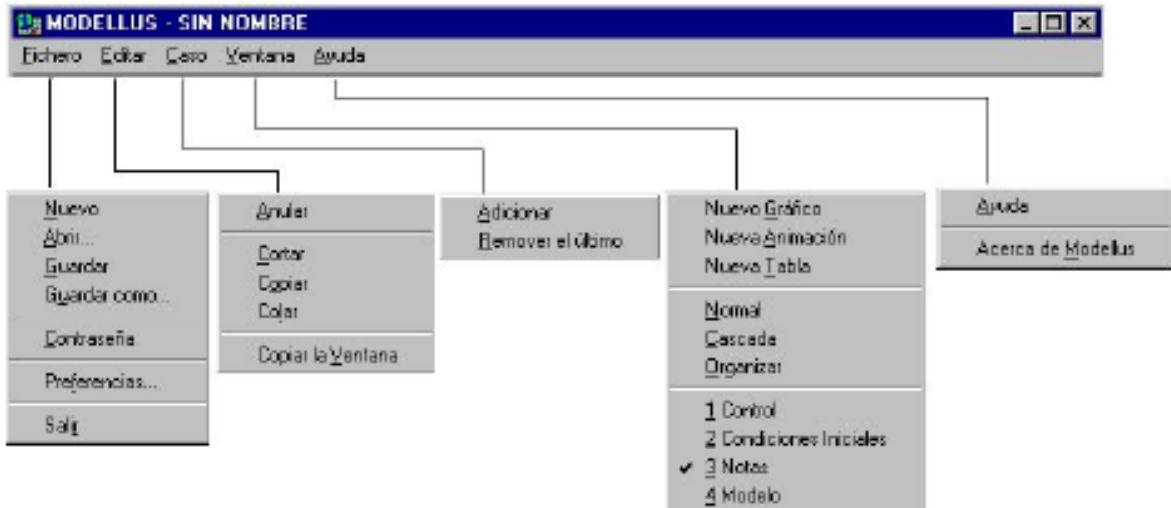
Modellus presenta un entorno muy “amigable” basado en una serie de ventanas, cada una de las cuales recoge o muestra una serie de informaciones muy concretas. En la figura vemos una imagen del entorno; las ecuaciones matemáticas se escriben de la misma manera que lo haría en el papel.



Por ser una aplicación que trabaja en Windows, aprovecha todas las ventajas del entorno y esto facilita su manejo. La versión que explicamos en este trabajo es la V:2.01 de 2000.

Las ventanas permiten la modificación de su tamaño y al activarlas pasan a primer plano colocando en segundo plano a las que estén dentro de su área; del mismo modo las ventanas se pueden mover dentro de la pantalla.

Menú de Modellus:



El menú que presenta el entorno consta de cinco opciones principales:

Fichero
 Editar
 Caso
 Ventana
 Ayuda

Fichero: Con la opción Fichero podemos realizar las siguientes operaciones:

Nuevo: Crear un nuevo modelo.

Abrir: Leer un modelo del disco (ya creado).

Guardar: Guardar modelo en un fichero con el mismo nombre que tenga.

Guardar Como: Grabar un fichero con el nombre que le queramos dar.

Contraseña: Poner una clave al modelo de tal manera que no se puedan modificar los datos de las ventanas de animación y modelo.

Preferencias: Configurar ubicación de ficheros.

Salir: Salir y abandonar el programa.

Editar: Permite las operaciones de edición comunes a cualquier herramienta.

Anular: Anula la última operación de edición realizada

Cortar: Permite cortar el objeto seleccionado y lo coloca en el portapapeles.

Copiar: Copia el objeto seleccionado al portapapeles.

Copiar la Ventana: Copia todo el contenido de la ventana en la que estemos y lo deposita en el portapapeles.

Caso: Esta opción presenta dos posibilidades:

Adicionar: Añade un caso en la ventana de condiciones.

Remove el último: Quita el último de los casos añadidos, téngase en cuenta que al menos debe existir un caso en la ventana de condiciones.

Ventanas: Esta opción presenta las siguientes acciones encaminadas a la creación de ventanas dentro del modelo.

Nuevo Gráfico: Crea una nueva ventana de gráfico.

Nueva Animación: Crea una nueva ventana de animación.

Nueva Tabla: Crea una nueva ventana de tabla.

Normal: Sitúa las ventanas en la pantalla en modo normal

Cascada: Sitúa las ventanas en la pantalla en cascada.

Organizar: Sitúa las ventanas en pantalla de forma organizada.

1 Control: Activamos la ventana de control.

2 Condiciones Iniciales: Activamos la ventana de condiciones iniciales.

3 Notas: Activamos la ventana de notas.

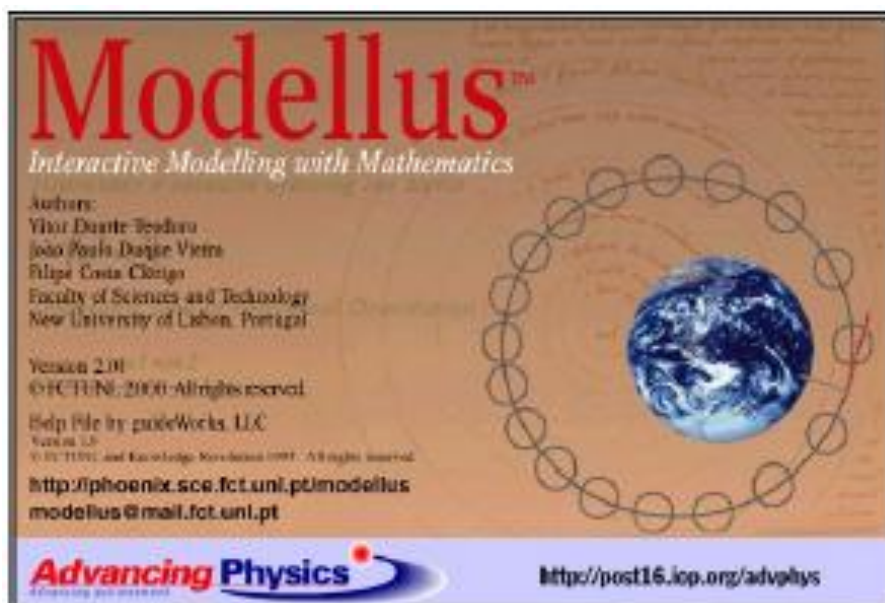
4 Modelo: Activamos la ventana de modelo.

Las ventanas que se van creando aparecerán en esta opción del menú con números consecutivos a partir del 4, téngase en cuenta que las ventanas 1,2,3 y 4 no se pueden eliminar.

Ayuda:Muestra las opciones siguientes:

Ayuda:Nos despliega la ventana de ayuda.

Acerca de Modellus:Esta opción nos presenta información sobre el programa



Modellus está estructurado en torno a un conjunto de ventanas sobre las que se es-

cribe o se muestra la información de los modelos que se pretenden simular. Las ventanas son las siguientes:

- Ventana de modelo.
- Ventana de condiciones
- Ventana de animaciones
- Ventana de control
- Ventana de gráficos
- Ventana de tablas

A continuación se estudian estas ventanas, su utilización y contenidos.

2.1. VENTANA DE MODELO: Escritura de las ecuaciones del modelo. Para iniciar el trabajo con Modellus, una vez arrancada la aplicación, debemos ir al menú Modelo (Nuevo) y de esta manera iniciamos la creación de un modelo nuevo.

Lo primero que debemos hacer es escribir las ecuaciones del modelo, y esto lo hacemos en la “ventana de modelo” que aparece en la figura. A la hora de escribir las ecuaciones tenemos que hacerlo observando unas normas básicas en lo que se refiere a la sintaxis. Estas normas son las siguientes:

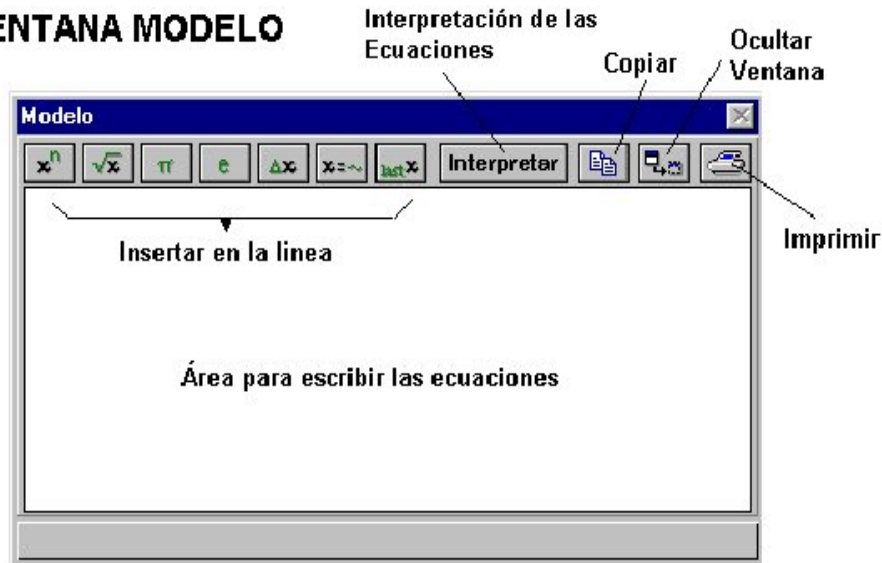
Sintaxis de los modelos:

Modellus soporta ecuaciones algebraicas, diferenciales e iterativas.

Usted puede modelar ecuaciones que van desde las relaciones simples como las líneas rectas y parábolas a los conceptos más complejos como son las ecuaciones de Van der Pol o de Lorentz.

La entrada de un modelo en Modellus es casi como la escritura de ecuaciones matemáticas en el papel.

VENTANA MODELO



2.2. VENTANA DE CONDICIONES

Cuando se ha escrito el modelo en la correspondiente ventana y se ha pulsado por primera vez el botón interpretar aparecerá la ventana de “condiciones” que se encarga de recoger los valores de los “parámetros” y los “valores iniciales” del modelo en forma de tabla formando parte del “caso 1” que es el primer caso de simulación que Modellus crea por defecto.

Los “parámetros” se podrán modificar en esta misma ventana o también en la ventana de “animación” haciendo uso de algunos de sus objetos como veremos más adelante.

Cada uno de los posibles casos, que nosotros podremos añadir en el estudio del modelo, no son otra cosa que distintos escenarios para aplicar a las mismas ecuaciones. Esto nos permitirá poder estudiar el modelo cambiando a nuestro gusto distintos parámetros.



Parámetros	caso 1	caso 2	caso 3
A_1	6.00	6.00	6.00
f_1	3.00	3.00	3.00
A_2	4.00	4.00	4.00
f_2	2.00	2.00	2.00

Valores Iniciales

caso 1 caso 2 caso 3

Si deseamos modificar los parámetros desde la ventana de animación quedará invalidado el valor del parámetro que se coloque en esta ventana. Cada uno de los casos que nosotros establezcamos en la simulación tendrá la posibilidad de verse en la ventana de “animación”; bastará con seleccionarlo de entre los que aparecerán señalados en la parte superior izquierda de la ventana, y esto ocurrirá en las ventanas de “tabla” y “gráfico” teniendo en cuenta que en la ventana de “gráfico” pueden coexistir los gráficos de cada uno de los casos con el fin de poder ver las distintas curvas superpuestas.

2.3. VENTANA DE ANIMACIONES



Una vez que hemos escrito las ecuaciones del modelo, la siguiente operación será diseñar la ventana de animaciones en la que se realizarán las representaciones gráficas de aquellos valores que nos interese ver.


Esta ventana tiene mucho interés de cara a ser el “interface” con el estudiante ya que si se hace buen uso de todas sus posibilidades encontraremos en ella una poderosa herramienta. En la figura vemos la estructura de esta ventana de “animación” mostrando un ejemplo de movimiento de un balón lanzado hacia arriba.



El tamaño y posición de esta ventana, al igual que el resto, se puede modificar colocando el puntero en los bordes y estirando hacia dentro o hacia fuera o manteniendo pulsado y moviendo en el caso de cambiar la posición.

En esta ventana se pueden colocar distintos elementos gráficos que se corresponden con los botones que aparecen en la parte superior. Cada uno de estos elementos se podrá asociar a las variables del modelo y realizar las funciones que correspondan a él de acuerdo a los parámetros que se hayan colocado en su ventana de parámetros asociada. Pasaremos a explicar cada uno de los elementos, así como sus ventanas asociadas.

Los botones de la parte superior  se usan para realizar mediciones sobre las imágenes (GIF o BMP) o videos (AVI), que pueden colocarse en el fondo,  usando el botón de fondo.

El rayado (grid) puede mostrarse u ocultarse mediante el botón . Pulsando sobre el botón de fondo puede definir el espaciado del grid y su color así como el color del fondo de la pantalla.

A continuación se muestra una tabla en la que se puede identificar cada uno de los botones que representan un determinado objeto.

Use esta herramienta.....para añadir:

Partícula



Imagen, bola (partícula), rectángulo, o referencia.

Vector



Vector con o sin flecha resultante o componentes.

Indicador de Nivel



Horizontal o Vertical.

Medidor Analógico



Aguja, reloj, o medidor circulo completo.

Trazador



Realiza el trazado interactivo de líneas o puntos.

Medidor Digital



Medidor digital, mostrado o no el nombre de la Variable.

Importar imagen



Importa imagen en formato BMP o GIF

Texto



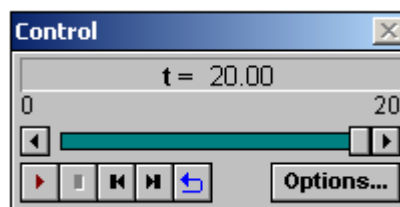
Texto con el color, fuente, estilo y tamaño especificables.

Objeto Geométrico



Líneas y figuras tales como círculos y polígonos.

2.4. VENTANA DE CONTROL



Una vez que hemos diseñado el modelo en la ventana “Modelo” y hemos colocado en la ventana “animaciones los objetos, así como las condiciones y las tablas y gráficos que nos haya parecido bien, se debe pasar a la fase de “simulación”.


En la fase de “simulación” Modellus realizará los cálculos y mostrará los valores de la forma que hayamos previsto. La ventana “Control” es la que permite el control del proceso de simulación.


Los botones de esta ventana sirven para:

Simular  o detener  la simulación.


Terminar  la simulación.

Reiniciar  el modelo, ir al principio sin perder los valores calculados.

Saltar  al último valor calculado del modelo.

Repetir  la simulación del modelo.

Lee $t = 6.80$ el actual valor de la variable independiente.

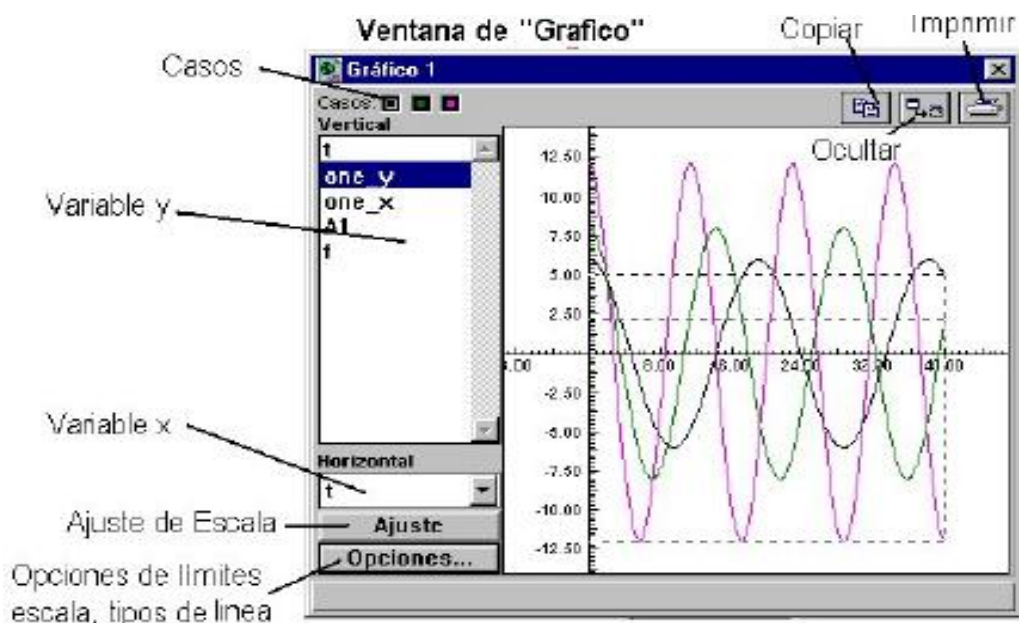
Muestra  el valor actual de la variable independiente y chequea visualmente el progreso de esta variable.

Ir atrás  o adelante  un simple paso.

Acceder a caja de diálogo Opciones...:

2.5. VENTANA DE GRÁFICO

Mediante esta ventana podemos realizar representaciones gráficas en ejes de coordenadas (XY) de las variables que queramos y para los casos que hayamos definido mediante la opción del menú "Casos". En la figura vemos la ventana de "gráficos" y en ella se puede distinguir el área de representación en donde se dibujan los gráficos y a la izquierda aparecen las ventanas de las variables.



2.6. VENTANA DE TABLA

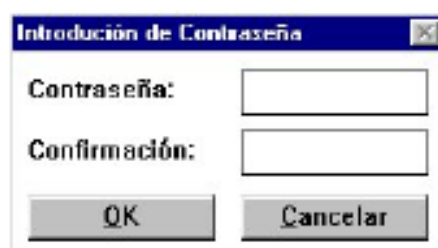
En numerosas aplicaciones será necesario realizar una tabla con los valores de las variables, esta posibilidad nos la brinda la ventana de “tabla” que sencillamente permite la creación de tablas con tantas variables como seleccionemos en la ventana de la izquierda simplemente pulsando las teclas “Control” o “Shift” a la vez que señalamos con el ratón (tecla izquierda) sobre éstas.



2.7. PROTECCIÓN DE LOS TRABAJOS

Mediante la opción Contraseña dentro del menú de “Fichero” podremos conseguir proteger el trabajo, de tal manera que a quien realice las simulaciones solo le estará permitido ver los resultados, pero nunca modificar la ventana “Modelo” o la ventana Animación ni podrá modifica ni crear ventanas de “gráficos” o “tablas”.

Cuando activamos por primera vez ésta opción aparece una ventana como la de la figura en la que se nos pide el Password y la Confirmación, es decir debemos escribir dos veces, una en cada ventana, el password (clave).



PRESENTACIÓN

Continuamos ahora el estudio con Modellus de la subunidad estructural “CONCEPTOS RELATIVISTAS”, perteneciente a FÍSICA MODERNA.

El desarrollo de esta unidad comprende la búsqueda por afianzar el conocimiento sobre los once temas que abarca la subunidad, antes descritos, los cuales están estructurados de la siguiente manera:

- 1) Logros de aprendizaje;
- 2) Fundamentación teórica, sus ecuaciones matemáticas y sus respectivas gráficas en caso de tenerlas;
- 3) Problemas modelo;
- 4) Evaluación de logros, con las respuestas;
- 5) Listado y descripción por grupos de las animaciones, y
- 6) Animación de muestra con su descripción.

Cada **animación de muestra** presentada en este trabajo de graduación es sólo un ejemplo de animación por cada tema, puesto que todas las animaciones de la subunidad mencionada se encuentran en el CD adjunto en formato DVD.

2.1 INTRODUCCIÓN A CONCEPTOS RELATIVISTAS

1) LOGROS DE APRENDIZAJE:

- 1- Conocer algunos aspectos previos relacionados con la Física Relativista.
- 2- Reconocer la reformulación de las transformaciones clásicas y optar por la realidad experimental.
- 3- Aplicar a la resolución de ejercicios.

2) FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA:

La estabilidad y generalidad de las leyes de la Mecánica de Newton, las transformaciones galileanas y las ecuaciones de Maxwell del electromagnetismo parecían garantizadas. Pero a finales del siglo XIX, un experimento crucial realizado por Michelson y Morley con su interferómetro vino a poner en duda todo lo anterior. El experimento indicaba que la velocidad de un haz de luz emitido por una fuente era siempre la misma, independientemente de la condición de movimiento de la fuente. Considerando esta cuestión como verdadera y legítima, había que hacer una reformulación de la transformación clásica, con todas las consecuencias que ello implicaba, y optar por otra que satisfaga la nueva realidad experimental. El trabajo matemático lo hizo el físico holandés Antoon Lorentz hacia 1890. Con el propósito de ilustrar las implicaciones posteriores incluimos a continuación las más importantes "ecuaciones clásicas":

$\vec{p} = m\vec{v}$	(momentum lineal)
$\sum m_i \vec{v}_i = \text{constante}$	(conservación del momentum lineal)
$\vec{F} = \frac{d}{dt} (m\vec{v})$	(segunda ley de Newton para la traslación)
$\vec{F}_A = -\vec{F}_B$	(tercera ley de Newton para la traslación)
$\int_0^t \vec{F} dt = \Delta\vec{p}$	(impulso lineal)
$\vec{L}_O = \vec{r} \times \vec{p}$	(momentum angular orbital)
$\vec{\tau} = \frac{d}{dt} (\vec{r} \times \vec{p}) = \vec{r} \times \vec{F}$	(torque)
$W_{AB} = \int_A^B \vec{F} \cdot d\vec{r}$	(trabajo)

$$E_P = - \int_A^B \vec{F}_c \cdot d\vec{r} \quad (\text{energía potencial})$$

$$E_C = \frac{1}{2} m v^2 \quad (\text{energía cinética traslacional})$$

$$E_{C1} + E_{P1} = E_{C2} + E_{P2} \quad (\text{conservación de la energía mecánica})$$

$$\vec{r}_1 = \vec{r}_2 + \vec{v}t$$

$$x_1 = x_2 + v_x t$$

$$y_1 = y_2 + v_y t$$

$$z_1 = z_2 + v_z t$$

$$t_1 = t_2$$

(transformación galileana de coordenadas)

$$\vec{r}_2 = \vec{r}_1 - \vec{v}t$$

$$x_2 = x_1 - v_x t$$

$$y_2 = y_1 - v_y t$$

$$z_2 = z_1 - v_z t$$

$$t_2 = t_1$$

(transformación galileana inversa de coordenadas)

$$\vec{v}_1 = \vec{v}_2 + \vec{v}$$

$$v_{1x} = v_{2x} + v_x$$

$$v_{1y} = v_{2y} + v_y$$

$$v_{1z} = v_{2z} + v_z$$

(transformación galileana de velocidades)

$$\vec{v}_2 = \vec{v}_1 - \vec{v}$$

$$v_{2x} = v_{1x} - v_x$$

$$v_{2y} = v_{1y} - v_y$$

$$v_{2z} = v_{1z} - v_z$$

(transformación galileana inversa de velocidades)

$$\vec{a}_1 = \vec{a}_2$$

$$m\vec{v}_1 + m'\vec{v}_1' = \text{constante}$$

$$m\vec{v}_2 + m'\vec{v}_2' = \text{constante}$$

(invariancia de las leyes mecánicas)

$$\vec{F}_1 = m\vec{a}_1$$

$$\vec{F}_2 = m\vec{a}_2$$

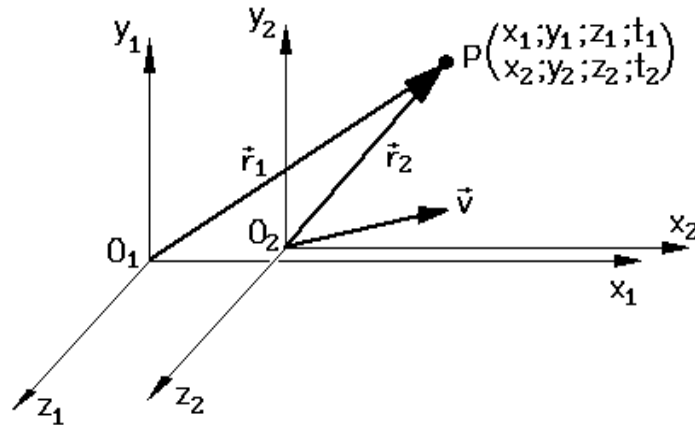


Figura 2.1.1

3) PROBLEMAS MODELO:

1.- Para un observador estacionario las coordenadas de una partícula son P_1 (140; 60; 20) m. Determine las mismas para O_2 que se mueve con velocidad $v = 90i - 10j + 110k$ m/s, luego de 7 s haber pasado junto al observador.

$$x_2 = x_1 - v_x t = 140 - 90 \cdot 7 = -490$$

$$y_2 = y_1 - v_y t = 60 + 10 \cdot 7 = 130$$

$$z_2 = z_1 - v_z t = 20 - 110 \cdot 7 = 750$$

Luego:

$$P_2 (-490; 130; 750) \text{ m.}$$

4) EVALUACIÓN DE LOGROS:

a) Complete lo siguiente:

1.- El experimento que motivó a los físicos a reformular las leyes mecánicas fue.....

2- Las expresiones $\vec{p} = m\vec{v}$, $\sum m_i \vec{v}_i = \text{constante}$ & $\int_0^t \vec{F} dt = \Delta\vec{p}$ representan.....

.....

3- La transformación galileana inversa de coordenadas es:

$$x_2 =$$

$$y_2 =$$

$$z_2 =$$

$$t_2 =$$

b) Resuelva, en su cuaderno de ejercicios, los siguientes problemas:

1.- Un avión debe volar hacia el norte. La velocidad con respecto al aire es 200 km/h y el viento sopla de oeste a este a 90 km/h. a) ¿Cuál debe ser el rumbo del avión? b) ¿Qué velocidad debe llevar el avión respecto al suelo?

Rpta: a) 27° noroeste

b) $v_{pg} = 180 \text{ km/}$

2.- Las coordenadas de un punto para dos observadores en movimiento relativo uniforme, 10 s luego de haberse encontrado son $P_1 (100, 200, 400)\text{m}$ & $P_2 (-350, 250, -150)\text{m}$. Determine la velocidad relativa.

Rpta: $v = (90 i - j + 11 k) \text{ m/s}$

5) LISTADO DE ANIMACIONES-DESCRIPCIÓN

a) Conceptuales: Este conjunto de animaciones presenta la parte teórico-conceptual relacionada con el tema: Introducción, modelos matemáticos y gráficas pertinentes.

FM21C01

FM21C02

b) Ejercitativas: Estas animaciones son el complemento a la teoría ya que contienen un refuerzo de conceptos sobre el tema desarrollado de forma atractiva como distintos ejercicios de muestra.

FM21E01

FM21E02

FM21E03

c) Lúdicas: Son animaciones interactivas que se presenta al usuario de una forma divertida para reforzar su aprendizaje de lo anteriormente estudiado.

FM21L01

FM21L02

6) ANIMACIÓN DE MUESTRA:

INTRODUCCIÓN

$\vec{p} = m\vec{v}$

$\vec{F}_A = -\vec{F}_B$

$\vec{F} = \frac{d}{dt}(m\vec{v})$

$\int_0^t \vec{F} dt = \Delta\vec{p}$

$W_{AB} = \int_A^B \vec{F} \cdot d\vec{r}$

$E_{C1} + E_{P1} = E_{C2} + E_{P2}$

impulso lineal


conservación de la energía mecánica

segunda ley de Newton para la traslación


trabajo

momentum lineal

tercera ley de Newton para la traslación



Pulse "comenzar" y empate correctamente y verifique sus respuestas....



Descripción:

Esta animación es de tipo lúdica, con la cual el usuario pone en evidencia sus habilidades al tratar de unir la ecuación con el concepto, y al final obtendrá sus respectivas respuestas.

2.2 TRANSFORMACIONES DE LORENTZ

1) LOGROS DE APRENDIZAJE:

- 1- Conocer el nuevo conjunto de ecuaciones de transformación de coordenadas y velocidades.
- 2- Aplicar correctamente las ecuaciones en los problemas propuestos.
- 3- Valorar la importancia del tema.

2) FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA:

Ante la evidencia experimental obtenida con el interferómetro, interpretada aparentemente en forma acertada, realizada por los físicos Michelson y Morley, los conceptos denominados clásicos ya no podían sostenerse y había que empezar a buscar una nueva solución al problema. Se empezó por desarrollar un nuevo conjunto de ecuaciones de transformación de coordenadas y velocidades, tarea realizada por Lorentz a finales del siglo XIX.

De los trabajos de Lorentz, y considerando, para simplificar el problema, que el movimiento relativo de los observadores, v , tiene únicamente componente en X, se obtuvieron los siguientes grupos de ecuaciones de transformación:

$$\begin{aligned}x_1 &= \frac{x_2 + vt_2}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \\y_1 &= y_2 \\z_1 &= z_2 \\t_1 &= \frac{t_2 + \frac{v}{c^2}x_2}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}\end{aligned}$$

(transformación de coordenadas) (2.2.1)

$$\begin{aligned}
 x_2 &= \frac{x_1 - vt_1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \\
 y_2 &= y_1 \\
 z_2 &= z_1 \\
 t_2 &= \frac{t_1 - \frac{v}{c^2}x_1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}
 \end{aligned}$$

(transformación inversa de coordenadas) (2.2.2)

$$\begin{aligned}
 v_{1x} &= \frac{v_{2x} + v}{1 + \frac{v}{c^2}v_{2x}} \\
 v_{1y} &= \frac{v_{2y} \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}{1 + \frac{v}{c^2}v_{2x}} \\
 v_{1z} &= \frac{v_{2z} \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}{1 + \frac{v}{c^2}v_{2x}}
 \end{aligned}$$

(transformación de velocidades) (2.2.3)

$$\begin{aligned}
 v_{2x} &= \frac{v_{1x} - v}{1 - \frac{v}{c^2}v_{1x}} \\
 v_{2y} &= \frac{v_{1y} \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}{1 - \frac{v}{c^2}v_{1x}} \\
 v_{2z} &= \frac{v_{1z} \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}{1 - \frac{v}{c^2}v_{1x}}
 \end{aligned}$$

(transformación inversa de velocidades) (2.2.4)

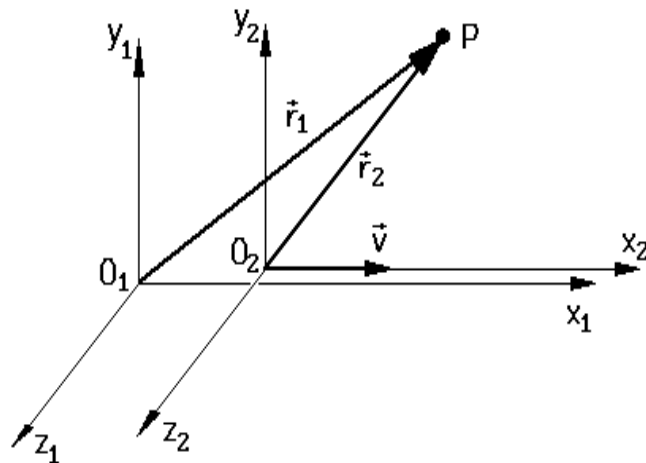


Figura 2.2.1

3) PROBLEMA MODELO:

1.- De acuerdo con la perspectiva de O_2 , un rayo cae en 60 m, $y = z = 0$, $t = 1$ s. O_2 se desplaza a una velocidad de $0,6c$ a lo largo del eje x . ¿Cuáles son las coordenadas espacio-tiempo del rayo determinadas por O_1 ?

$$x_1 = \frac{x_2 + vt_2}{1 - \frac{v^2}{c^2}}$$

$$x_1 = \frac{60 + 0,6c(1)}{1 - \frac{0,6c^2}{c^2}} = 284\,605\,084,3 \text{ m}$$

$$y_1 = y_2 = 0$$

$$z_1 = z_2 = 0$$

$$t_1 = \frac{t_2 + \frac{v}{c^2} x_2}{1 - \frac{v^2}{c^2}}$$

$$t_1 = \frac{1 + \frac{0,6c}{c^2} 60}{1 - \frac{0,6^2 c^2}{c^2}} = 1,250 \text{ s}$$

Luego:

P (284 605 084,3 m; 0 m; 0 m; 1,250 s)

4) EVALUACIÓN DE LOGROS:

a) Complete:

1- La evidencia experimental de Michelson-Morley fue que.....

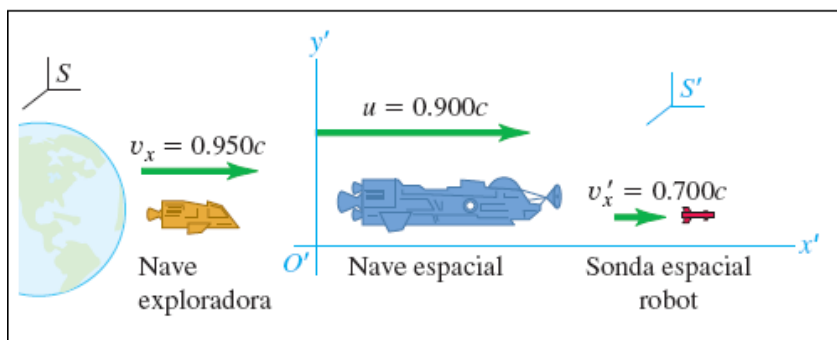
.....

2- El movimiento relativo de los observadores, v , tiene únicamente componente.....

.....

b) Resuelva, en su cuaderno de ejercicios, los siguientes problemas:

1.- Una nave espacial que se aleja de la Tierra con una rapidez de $0,900c$ dispara una sonda espacial robot en la dirección de su movimiento, con una rapidez de $0,700c$ con respecto a la nave. ¿Cuál es la velocidad de la sonda con respecto a la Tierra? b) Una nave exploradora intenta dar alcance a la nave espacial viajando a $0,950c$ con respecto a la Tierra. ¿Cuál es la velocidad de la nave exploradora con respecto a la nave espacial?



Rpta. a) $v_x = 0.982c$
 b) $v'_x = 0.345c$

2.- Dos partículas en un experimento con un acelerador de alta energía se aproximan de frente una a la otra con una rapidez relativa de $0.890c$. Ambas partículas viajan con la misma rapidez medida en el laboratorio. ¿Cuál es la rapidez de cada partícula, medida en el laboratorio?

Rpta. a) $v = 0,611c$

5) LISTADO DE ANIMACIONES-DESCRIPCIÓN

a) Conceptuales: Esta animación presenta los diferentes conceptos, gráficos y expresiones matemáticas relacionadas transformaciones de Lorentz.

FM22C01

b) Ejercitativas: Este conjunto de animaciones muestran a los usuarios distintos ejercicios resueltos reforzando lo aprendido en las animaciones conceptuales.

FM22E01


FM22E02

FM22E03

c) Lúdicas: En esta animación se muestra un juego didáctico en los que el usuario pone de manifiesto sus habilidades al llevar al extraterrestre hacia su nave sin chocar con los obstáculos. Cuando el estudiante logre la acción pedida por la maestra, visualizará su premio que está diseñado para reforzar sus conocimientos.

FM22L01

6) ANIMACIÓN DE MUESTRA:



TRANSFORMACIONES DE LORENTZ

Transformación de coordenadas

$$x_1 = \frac{x_2 + vt_2}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

$$y_1 = y_2$$

$$z_1 = z_2$$

$$t_1 = \frac{t_2 + \frac{v}{c^2}x_2}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

Transformación inversa de coordenadas

$$x_2 = \frac{x_1 - vt_1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

$$y_2 = y_1$$

$$z_2 = z_1$$

$$t_2 = \frac{t_1 + \frac{v}{c^2}x_1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

Transformación de velocidades

$$v_{1x} = \frac{v_{2x} + v}{1 + \frac{v}{c^2}v_{2x}}$$

$$v_{1y} = \frac{v_{2y}\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}{1 + \frac{v}{c^2}v_{2x}}$$


$$v_{1z} = \frac{v_{2z}\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}{1 + \frac{v}{c^2}v_{2x}}$$

Transformación inversa de velocidades



$$v_{2x} = \frac{v_{1x} - v}{1 - \frac{v}{c^2}v_{1x}}$$

$$v_{2y} = \frac{v_{1y}\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}{1 - \frac{v}{c^2}v_{1x}}$$

$$v_{2z} = \frac{v_{1z}\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}{1 - \frac{v}{c^2}v_{1x}}$$



Pulse "Comenzar" y estudie el concepto correspondiente al tema

Descripción:

Esta animación es de tipo conceptual, en ella se evidencia la parte teórico-conceptual, acompañada de los respectivos modelos matemáticos correspondientes al tema. Con esta animación el usuario deberá prestar la suficiente atención, pues está compuesta por pantalladas, es decir, que el usuario no debe abrir otra conceptual más para obtener todo el conocimiento sobre el tema.

2.3 CONSECUENCIAS DE LAS TRANSFORMACIONES DE LORENTZ

1) LOGROS DE APRENDIZAJE:

- 1- Conocer algunas de las consecuencias de las transformaciones de Lorentz.
- 2- Aprender a diferenciar las consecuencias de las transformaciones de Lorentz.
- 3- Resolver los problemas aplicando las ecuaciones de las consecuencias de las transformaciones de Lorentz.

2) FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA:

Considerando válidas las ecuaciones de transformación de Lorentz, se presentan de inmediato dos consecuencias de tipo espacio-temporal, la contracción de la longitud y la dilatación del tiempo, y una de tipo inercial, el acrecentamiento de la masa.

a) CONTRACCIÓN DE LA LONGITUD:

Ocurre en la dirección del movimiento únicamente. La figura 2.3.1 muestra una varilla AB moviéndose con velocidad \vec{v} hacia la derecha en forma conjunta con O_2 y su sistema de referencia, de modo que para O_2 la varilla está en reposo. Pero para el observador estacionario O_1 , la varilla se mueve precisamente con la velocidad \vec{v} . Lo curioso es que la longitud de la varilla AB medida por O_2 , L_{rep} , es diferente que la medida por O_1 , L_{mov} ; la relación entre las dos mediciones, a partir de las ecuaciones de transformación de Lorentz, es:

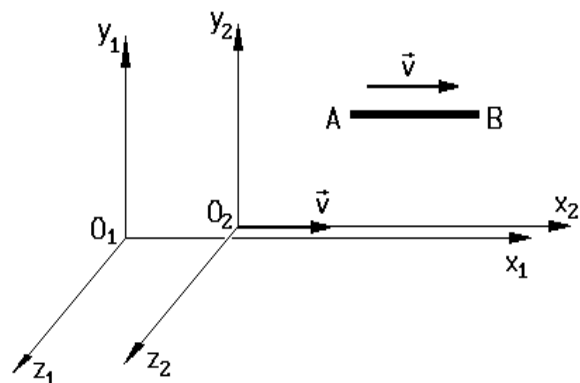


Figura 2.3.1

$$L_{mov} = L_{rep} \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} \quad (2.3.1)$$

y puesto que la raíz es siempre menor que uno, $L_{mov} < L_{rep}$, fenómeno conocido como "contracción de la longitud" o contracción de Lorentz, la cual es en realidad sólo una contracción aparente o sensorial causada por la condición de movimiento de alta velocidad.

b) DILATACIÓN DEL TIEMPO:

Si la varilla AB de la figura 2.3.1 fuera una fuente luminosa lineal que se enciende durante un intervalo de tiempo, la lectura de dicho intervalo tomada por los dos observadores sería diferente; la relación entre ellas, a partir de las ecuaciones de Lorentz, es:

$$T_{mov} = \frac{T_{rep}}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \quad (2.3.2)$$

y ya que el denominador es siempre menor que uno, $T_{mov} > T_{rep}$, fenómeno conocido como "dilatación del tiempo", la cual bien podría ser una realidad en vez de una simple apariencia.

c) ACRECENTAMIENTO DE LA MASA:

Prácticamente es una consecuencia de lo anterior. Considerando las transformaciones de Lorentz, la masa inerte o gravitacional de la que siempre hemos hablado en los cursos de Física, sufrirá también una variación como consecuencia de la velocidad a la que se mueve. Por ello nos vemos obligados a hablar de "masa de reposo, m_0 ," al referirnos a la masa de una partícula observada o medida cuando se encuentra estática o cuasi estática, y de "masa relativista, m ", al aludir a la masa de una partícula que se mueve a grandes velocidades. La relación entre ellas es:

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \quad (2.3.3)$$

de tal manera que su valor es función de la velocidad, $m = m(v)$. La gráfica de m en función de v es la que se muestra en la figura 2.3.2, donde observamos que cuando $v \rightarrow c$, $m \rightarrow \infty$, lo cual, evidentemente, no puede ser y viene a constituirse en un punto flaco de la Mecánica Relativista. Sin embargo hay evidencia experimental que parece confirmar que $m = m(v)$, pero aún no descubrimos la

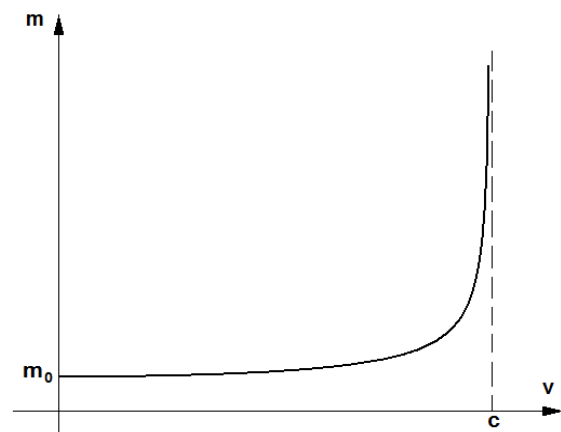


Figura 2.3.2

verdadera relación funcional: podría ser la descrita por la ecuación (2.3.3), podría ser otra... Queda mucho, realmente mucho por descubrirse.

3) PROBLEMA MODELO:

1.- ¿Qué masa tendrá un cuerpo que en reposo tiene una masa de 40 kg, cuando viaja con una velocidad de $0,5c$?

$$m = \frac{m_0}{1 - \frac{v^2}{c^2}}$$

$$m = \frac{40}{1 - \frac{0,5^2 c^2}{c^2}}$$

$$m = 46,2 \text{ kg}$$

4) EVALUACIÓN DE LOGROS:

a) Complete:

1- Las tres consecuencias de las transformaciones de Lorentz son.....

2- La contracción de la longitud consiste en.....

b) Resuelva, en su cuaderno de ejercicios, los siguientes problemas:

1) Un tren muy rápido, con una longitud propia de 500 m, pasa a través de un túnel de 200 m de largo. Imagine que la rapidez del tren es tan elevada que el tren cabe completamente dentro del túnel, según ve un observador en reposo sobre la Tierra. Esto es, la máquina está a punto de salir por un extremo del túnel cuando el último vagón desaparece por el otro extremo ¿Cuál es la rapidez del tren?

Rpta. $v = 0,92 c$

2) Una nave espacial pasa volando cerca de la Tierra con una rapidez de $0,990c$. Un miembro de la tripulación a bordo de la nave mide la longitud de ésta, y obtiene un valor de 400 m. ¿Qué longitud miden los observadores que se hallan en la Tierra?

$$\text{Rpta. } L_{mov} = 56,4 \text{ m}$$

3) el periodo de un péndulo se mide y se establece igual a 3 s en el marco de referencia del péndulo. ¿Cuál es el periodo cuando es medido por un observador que se mueve a una rapidez de $0,950c$ con respecto al péndulo?

$$\text{Rpta. } T_{mov} = 9,60 \text{ s}$$

4) Una nave espacial mide 120 m de largo y 20 m de diámetro cuando está en reposo con respecto a un observador. Si esta nave vuela ahora junto al observador con una rapidez de $0,99c$, ¿Qué longitud y diámetro medirá el observador?

$$\text{Rpta. } L_{mov} = 17 \text{ m}$$

5) LISTADO DE ANIMACIONES-DESCRIPCIÓN

a) Conceptuales: Este grupo de animaciones presenta al usuario la parte conceptual relacionada con las consecuencias de las transformaciones de Lorentz y sus expresiones matemáticas de forma atractiva y dinámica.

FM23C01

FM23C02

FM23C03

FM23C04

b) Ejercitativas: Muestran al estudiante tres ejercicios resueltos con respecto al tema y contienen animaciones en la que puede interactuar con el computador.

FM23E01

FM23E02

FM23E03

c) Lúdicas: Esta animación es muy interactiva, consisten en el uso de sus destrezas psicomotoras de dificultad moderada; el usuario debe llevar a Superman hasta la tierra sin chocar con los obstáculos; si realiza con éxito la tarea encomendada aparecerá su premio correspondiente al tema.

FM23L01

6) ANIMACIÓN DE MUESTRA:



Descripción:

Es una animación del tipo lúdica en la cual el usuario deberá llevar a Superman desde el punto de partida hasta la tierra si chocar con los obstáculos y obtener su recompensa.

2.4 LA MECÁNICA RELATIVISTA

1) LOGROS DE APRENDIZAJE:

- 1-. Conocer las ecuaciones relativistas de Einstein relacionadas con la mecánica.
- 2-. Admirar la importancia del tema.
- 3-. Aplicar correctamente en la resolución de actividades propuestas.

2) FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA:

Es el conjunto de leyes dinámicas reformuladas teniendo presentes las ecuaciones de transformación de Lorentz y sus consecuencias, en particular el hecho de que la masa sea función de la velocidad, $m = m_0 / \sqrt{1 - v^2/c^2}$. Tenemos:

a) Momentum lineal:

$$\vec{p} = m\vec{v} = \frac{m_0 \vec{v}}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} = m_0 c \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \quad (2.4.1)$$

b) Conservación del momentum lineal:

$$\sum m_i \vec{v}_i = \sum \frac{m_{0i} \vec{v}_i}{\sqrt{1 - \frac{v_i^2}{c^2}}} = \text{constante} \quad (2.4.2)$$

c) Segunda ley de Newton para la traslación:

$$\vec{F} = \frac{d}{dt} \left(m\vec{v} \right) = \frac{m_0 \vec{a}}{\left(1 - \frac{v^2}{c^2} \right)^{3/2}} \quad (2.4.3)$$

d) Energía cinética traslacional:

$$E_C = \left(m - m_0 \right) c^2 = m_0 c^2 \left(\frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} - 1 \right) \quad (2.4.4)$$

e) Energía de reposo:

$$E_0 = m_0 c^2 \quad (2.4.5)$$

f) Energía total:

$$E = E_0 + E_C = mc^2 = \sqrt{m_0^2 c^4 + p^2 c^2} \approx pc \quad (2.4.6)$$

g) Conservación de la energía:

$$E_{C1} + E_{P1} = E_{C2} + E_{P2} = \text{constante} \quad (2.4.7)$$

h) Otras relaciones:

$$\frac{v}{c} = \sqrt{1 - \frac{1}{\left(1 + \frac{E_C}{m_0 c^2}\right)^2}} \quad (2.4.8)$$

$$\frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} = \sqrt{1 + \frac{p^2}{m_0^2 c^2}} = 1 + \frac{E_C}{m_0 c^2} \quad (2.4.9)$$

3) PROBLEMA MODELO:

1.- Un electrón, cuya energía en reposo es 0,51 MeV, atraviesa una región del espacio con una velocidad de 0,93 c. Determine: a) Su masa relativista, b) Su energía total.

a) 1 eV = 1,6E-19 J

$$E = m \cdot c^2$$

$$m = \frac{E}{c^2} = \frac{0,51 \cdot 1,6E - 13}{3E8^2} = 9,1 E - 31 \text{ kg}$$

$$m_{rep} = \frac{m}{1 - \frac{v^2}{c^2}} = \frac{9,1E - 31}{1 - \frac{0,93^2 c^2}{c^2}}$$

$$m_{rep} = 2,48 E - 30 \text{ kg}$$

b) Energía total es la suma de su energía cinética y su energía de reposo:

$$E = \frac{m c^2}{1 - \frac{v^2}{c^2}} = \frac{9,1 E - 31 (3 E8)^2}{1 - \frac{0,93^2 c^2}{c^2}}$$

$$E = 2,23 E - 13 J$$

4) EVALUACIÓN DE LOGROS:

a) Empate correctamente:

A) Conservación del momentum lineal () $E_0 = m_0 c^2$

B) Segunda ley de Newton

para la traslación

() $\vec{F} = \frac{d}{dt} \left(m \vec{v} \right) = \frac{m_0 \vec{a}}{\left(1 - \frac{v^2}{c^2} \right)^{3/2}}$

C) Energía de reposo

() $E_{C1} + E_{P1} = E_{C2} + E_{P2} = \text{constante}$

F) Energía total

() $\sum m_i \vec{v}_i = \sum \frac{m_{0i} \vec{v}_i}{\sqrt{1 - \frac{v_i^2}{c^2}}} = \text{constante}$

G) Conservación de la energía:

() $E = E_0 + E_C = mc^2 = \sqrt{m_0^2 c^4 + p^2 c^2} \approx pc$

b) Resuelva, en su cuaderno de ejercicios, el siguiente problema:

1.- Un protón (masa en reposo = $1,67E-27$ kg) tiene una energía total 4,00 veces mayor que su energía en reposo. ¿Cuál es: a) la energía cinética del protón; b) la rapidez del protón?

Rpta. a) $E_c = 4,5 E - 10 J$

b) $v = 0,968c$

5) LISTADO DE ANIMACIONES-DESCRIPCIÓN

a) Conceptuales: Este conjunto de animaciones presenta la parte teórico-conceptual, los modelos matemáticos y gráficas correspondientes a mecánica relativista.

FM24CO1

b) Ejercitativas: Estas animaciones presentan ejercicios resueltos en los cuales el usuario observará y estudiará paso a paso su resolución, de esta forma el estudiante podrá evidenciar lo aprendido a través de las animaciones conceptuales.

FM24E01

FM24E02

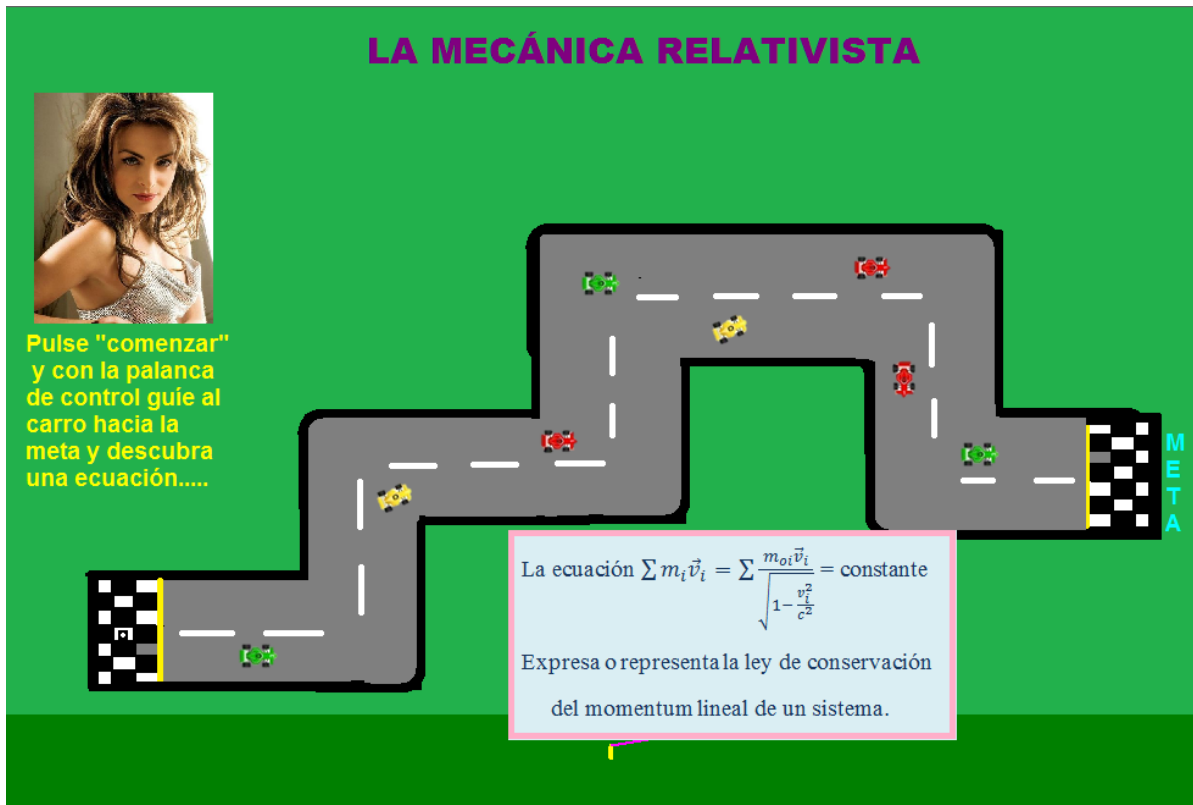
FM24E03

c) Lúdicas: Esta animación es interactiva, pues presentan un juegos interactivo con los cuales el usuario deberá poner a prueba sus habilidades manuales para obtener su recompensa.

FM24L01

6) ANIMACIÓN DE MUESTRA:

LA MECÁNICA RELATIVISTA



Pulse "comenzar" y con la palanca de control guíe al carro hacia la meta y descubra una ecuación.....

La ecuación $\sum m_i \vec{v}_i = \sum \frac{m_{oi} \vec{v}_i}{\sqrt{1 - \frac{v_i^2}{c^2}}} = \text{constante}$

Expresa o representa la ley de conservación del momentum lineal de un sistema.

Descripción:

Esta es una animación del tipo lúdica, en la cual el usuario deberá llevara al carro hasta la meta evitando chocar con los carros que se encuentran en el camino. Sirviendo esta animación como refuerzo de lo aprendido en las animaciones teóricas.

2.5 EL EFECTO FOTOELÉCTRICO

1) LOGROS DE APRENDIZAJE:

- 1- Conocer este fenómeno de la naturaleza.
- 2- Reconocer la importancia como elemento de enlace entre lo corpuscular y lo ondulatorio.
- 3- Admitir la importancia del tema.

2) FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA:

Para explicar con éxito la emisión de radiaciones por parte de un "cuerpo negro", Max Planck tuvo que suponer que dicha emisión no era continua, como un chorro, sino discreta, como un goteo. Descubrió que la energía asociada con cada "gota energética", llamada "fotón", dependía únicamente de su frecuencia f , esto es:

$$E = hf \quad (2.5.1)$$

en donde $h = 6,626E-34 \text{ J}\cdot\text{s}$ es la constante de Planck. Este conocimiento resultó imprescindible para poder entender un sencillo, pero muy importante fenómeno de la naturaleza conocido como "efecto fotoeléctrico" y que consiste en la emisión de electrones por parte de una superficie metálica limpia cuando es alcanzada por un haz luminoso suficientemente energético. Este fenómeno ocurre cumpliendo con las siguientes características:

- 1- el número de electrones liberados depende de la irradiancia del haz luminoso incidente,
- 2- la energía cinética de los electrones liberados depende de la frecuencia de la luz incidente,
- 3- la emisión electrónica ocurre en forma instantánea,
- 4- existe una frecuencia umbral o mínima, f_0 , por debajo de la cual no hay emisión de electrones.

La figura 2.5.1 muestra el montaje experimental para el estudio cuantitativo del efecto fotoeléctrico. El haz de luz incidente libera del metal limpio, doblado adecuadamente y que actúa como ánodo, pues está conectado al potencial positivo de la fem externa, una gran cantidad de electrones, algunos de los cuales alcanzan el cátodo a pesar de ser negativo, razón por la cual el nanoamperímetro registra una pequeña corriente de ánodo.

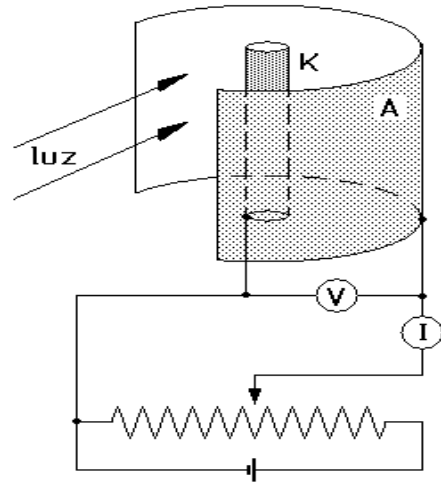


Figura 2.5.1

Para eliminarla por completo se aplica gradualmente la contraelectromotancia exacta llamada potencial de frenado, V_0 , el cual tiene que neutralizar a los fotoelectrones más energéticos emitidos por el ánodo. Se observa que este potencial de frenado es independiente de la irradiancia de la luz incidente y que solo depende de la frecuencia de la misma, como se muestra en las figuras 2.5.2 y 2.5.3.

La relación funcional, que fuera desarrollada y explicada correctamente por Einstein a partir de las revolucionarias propuestas de Planck es:

$$E_{C\text{máx}} = -hf_0 + hf = -\Phi + hf = eV_0 \tag{2.5.2}$$

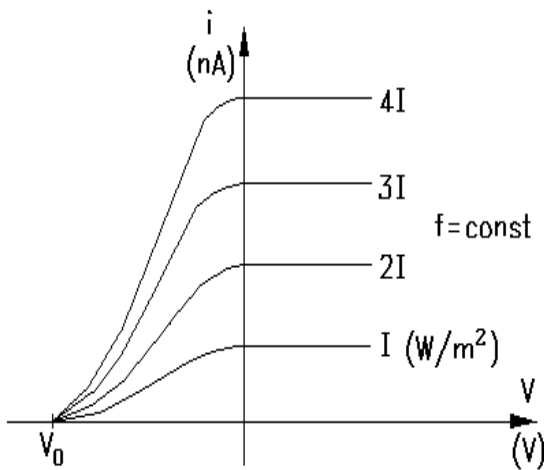


Figura 2.5.2

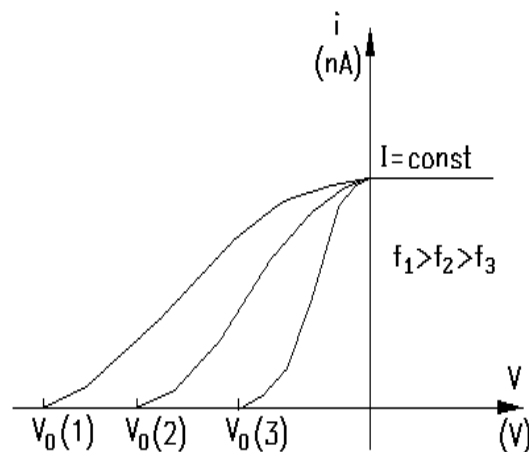
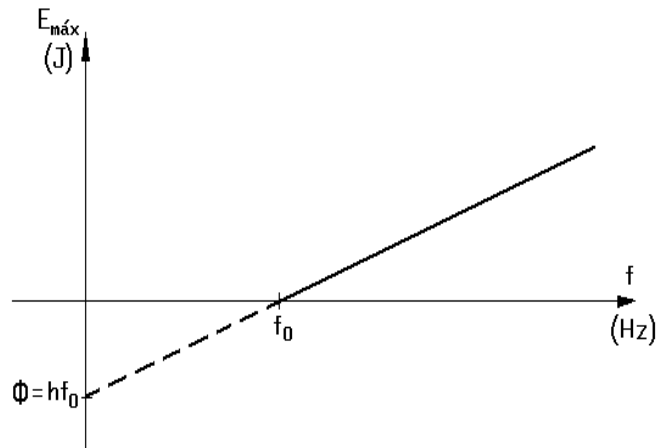


Figura 2.5.3

la cual se obtiene del procesamiento del grafo experimental cuya gráfica se muestra en la figura 2.5.4. De ella se aprecia que la "función de trabajo, Φ , representa el mínimo de energía que debe incidir sobre el metal para dar inicio al efecto fotoeléctrico; la pendiente de la recta es la constante de Planck, h , y f_0 es la frecuencia umbral a partir de la cual se da el fenómeno.



F i g u r a 2 . 5 . 4

Al repetir el experimento utilizando otros metales sólo cambia el valor de f_0 y por ende el de Φ , siendo la pendiente la misma.

3) PROBLEMA MODELO:

Al realizar un experimento de efecto fotoeléctrico con luz de cierta frecuencia, usted encuentra que se requiere una diferencia de potencial inverso de 1,25 V para reducir la corriente a cero. Calcule: a) la energía cinética máxima, b) la rapidez máxima de los fotoelectrones emitidos.

IDENTIFICAR: Este problema utiliza la relación entre la energía cinética máxima $E_{C\ máx}$ de un electrón en el efecto fotoeléctrico y el potencial de frenado asociado V_0 .

PLANTEAR: El valor de 1,25 V es el potencial de frenado V_0 . Se puede determinar la energía cinética máxima del fotoelectrón $E_{C\ máx}$ con la ecuación (2.5.2); una vez obtenido su valor, podemos determinar la rapidez máxima del fotoelectrón.

EJECUTAR:

a) De la ecuación (2.5.2)

$$E_{C\ máx} = eV_0 = 1,6E - 19 \cdot 1,25 = 2E - 19 J$$

Recuerde que $1 V = 1 J / C$. En términos de electrón-voltios,

$$E_{C\ máx} = eV_0 = e \cdot 1,25 = 1,25 eV$$

ya que el electrón-voltio (eV) es la magnitud de la carga del electrón e por un voltio (1 V).

b) A partir de $E_{C \text{ máx}} = \frac{1}{2}mv_{\text{máx}}^2$ se obtiene:

$$v_{\text{máx}} = \frac{\sqrt{2E_{C \text{ máx}}}}{m} = \frac{\sqrt{2(2E - 19)}}{9,11E - 31} = 6,63E5 \text{ m/s}$$

4) EVALUACIÓN DE LOGROS:

a) **Complete:**

1.- ¿Por qué el análisis del efecto fotoeléctrico basado en la Física Clásica predice que la energía cinética de los electrones aumenta con el aumento de la intensidad de la luz.

.....

2.- ¿Qué postuló Einstein para explicar que la energía cinética de los electrones emitidos en el efecto fotoeléctrico depende de la frecuencia?

.....

3.- El postulado de la pregunta anterior. ¿Cómo difiere el postulado de las predicciones de la Física Clásica?

.....

4.- ¿Cuál de los resultados experimentales del efecto fotoeléctrico sugiere que la luz puede presentar un comportamiento ondulatorio?

.....

b) **Resuelva, en su cuaderno de ejercicios, los siguientes problemas:**

1) Se han usado los electrones para determinar la estructura molecular por difracción. Calcule la velocidad de un electrón para el que la longitud de onda es igual a una longitud de enlace típica, a saber, 0,150 nm.

b) Rpta. $v = 4,85E6 \text{ m/s}$

2) Suponga que el agua absorbe luz de longitud de onda 3×10^{-6} m con una eficiencia del 100 %. ¿Cuántos fotones se requiere para calentar 1 g de agua a 1 K? La capacidad calorífica del agua es $75,3 \text{ J/mol K}$.

c) Rpta. $6,31 \times 10^{19}$

3) Imagínese dos polarizadores cruzados con sus ejes de transmisión vertical y horizontal. Ahora inserte un tercer polarizador entre ellos con su eje de transmisión a 45° con la vertical. Determine la irradiancia en función de I_i luego de insertado el tercer polarizador.

5) LISTADO DE ANIMACIONES-DESCRIPCIÓN

a) Conceptuales: Esta animación presenta la parte teórico-conceptual relacionada con el tema desarrollado anteriormente de forma atractiva e interactiva.

FM25C01

FM25C02

FM25C03

b) Ejercitativas: Este grupo de animaciones muestra una serie de ejercicios resueltos, donde el usuario observará paso a paso la resolución de cada uno de ellos.

FM25E01

FM25E02

FM25E03

c) Lúdicas: Esta animación presenta un juegos que son de mucha destreza para cautivar la atención del alumno y despertar el interés por obtener su premio que es un concepto relacionado al tema.

FM25L01

6) ANIMACIÓN DE MUESTRA:

EL EFECTO FOTOELÉCTRICO

El fenómeno de la naturaleza conocido como "efecto fotoeléctrico" consiste en:

La emisión de electrones por parte de una superficie metálica limpia cuando es alcanzada por un haz luminoso suficientemente energético.

Este fenómeno ocurre cumpliendo con las siguientes características:

- 1) El número de electrones liberados depende de la irradiancia del haz luminoso incidente.
- 2) La energía cinética de los electrones liberados depende de la frecuencia de la luz incidente.
- 3) La emisión electrónica ocurre en forma instantánea.
- 4) Existe una frecuencia umbral o mínima, f_0 , por debajo de la cual no hay emisión de electrones.



Pulse "Comenzar" y estudie el concepto correspondiente al tema.....



Descripción:

Esta animación de muestra es de tipo conceptual, contiene todo lo relacionado a la parte conceptual e ilustraciones necesarias para llamar la atención del usuario, para obtener todo el conocimiento sobre el tema.

2.6 RAYOS X

1) LOGROS DE APRENDIZAJE:

- 1- Conocer las características y propiedades de esta radiación electromagnética.
- 2- Identificar la relación con el efecto fotoeléctrico.
- 3- Realizar las actividades propuestas.

2) FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA:

Por esa casualidad que sólo les ocurre a los grandes hombres, Wilhelm Roentgen observó y descubrió una radiación electromagnética de muy pequeña longitud de onda que era muy penetrante, capaz de velar placas fotográficas, capaz de generar efectos de fluorescencia; se la llamó radiación incógnita o "rayos X", pues en principio no se conoció su verdadera naturaleza. El fenómeno es exactamente el inverso del efecto fotoeléctrico, pues ocurre cuando electrones muy energéticos incidentes sobre un metal, como tungsteno o molibdeno, ceden algunos de ellos toda su energía cinética incidente de golpe para que se transmute en energía radiante de muy alta frecuencia.

A finales del siglo XIX se convirtió en rutina experimental para los científicos generar y analizar esta nueva radiación, a tal punto de haberse llegado a desarrollar una expresión empírica muy conocida en esa época y expresada en la forma:

$$\lambda_{\min} = \frac{1,24 E - 6}{V} \quad (2.6.1)$$

en donde V es el potencial acelerador utilizado y λ_{\min} es la correspondiente longitud de onda de corte. El aparato utilizado era más o menos similar al que se muestra en la figura 2.6.1, y fue Barkla quien, habiendo logrado polarizar esta radiación, demostró que efectivamente se trataba de una onda, en particular, de una onda transversal.

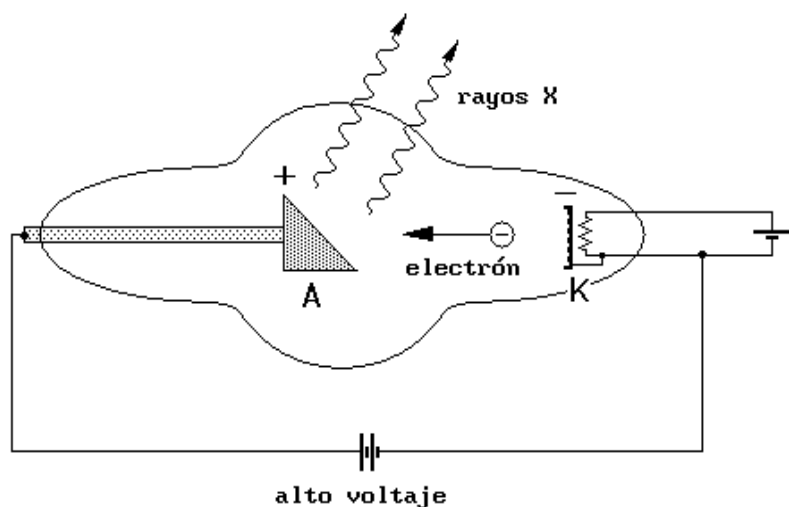


Figura 2.6.1

Los experimentos mostraban las siguientes características:

- 1- la radiación producida tenía longitudes de onda continuas comprendidas entre $1E-11$ y $5E-11$ m, aunque con intensidades relativas bastante variables,
- 2- para diferentes potenciales aceleradores, el punto de corte o λ_{min} era independiente del material del ánodo,
- 3- la relación entre la frecuencia límite y el potencial acelerador es constante.

La figura 2.6.2 muestra la intensidad relativa de la radiación producida versus la longitud de onda para un ánodo de molibdeno, trabajando con un potencial acelerador de 35 000 V, y aunque hay dos picos pronunciados, se aprecia la continuidad de la curva a partir de cierto valor de longitud de onda, λ_{min} , que es alrededor de 0,36 Å.

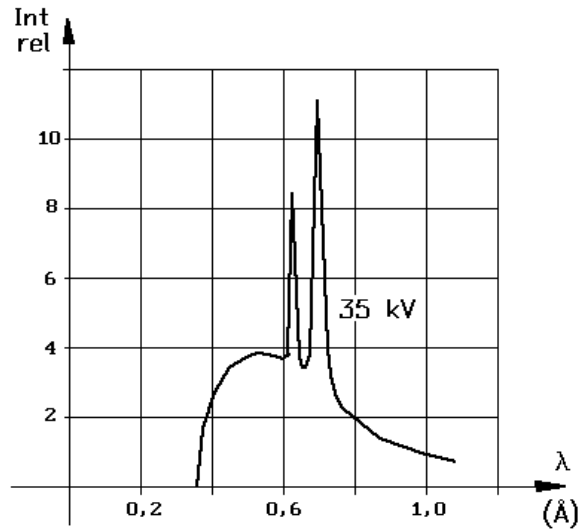


Figura 2.6.2

Utilizando el mismo ánodo de molibdeno y trabajando con otros N potenciales aceleradores se obtendrán N diferentes curvas, cada una de las cuales

tiene su λ_{min} muy bien definida. Puesto que cada una de estas λ_{min} se corresponde con una $f_{máx}$ mediante la expresión $f_{máx} = \frac{c}{\lambda_{min}}$, podemos entonces relacionar el potencial acelerador V con la energía máxima de los fotones de rayos X emitidos, figura 2.6.3, mediante:

$$E_{máx} = eV = \frac{hc}{\lambda_{min}} \tag{2.6.2}$$

Si de allí despejamos λ_{min} y sustituimos datos obtenemos:

$$\lambda_{min} = \frac{hc}{eV} = \frac{6,626 E - 34.3 E8}{1,6 E - 19. V}$$

esto es:

$$\lambda_{min} = \frac{1,242 E - 6}{V}$$

que concuerda perfectamente con la expresión empírica (2.6.1) antes anotada.

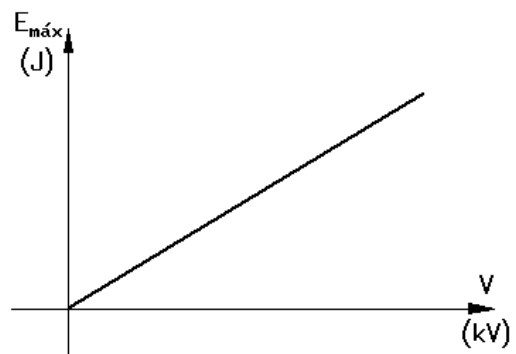


Figura 2.6.3

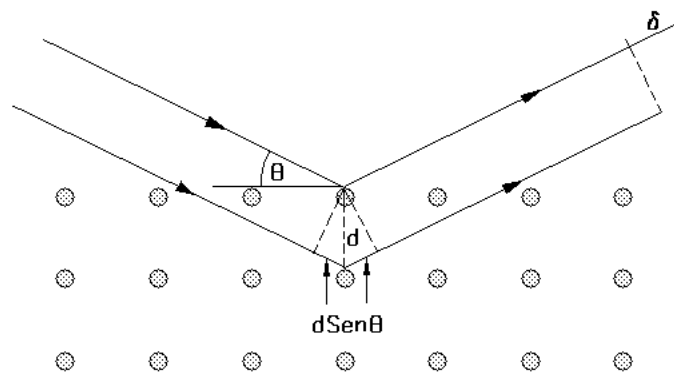
Debido a la muy corta longitud de onda, resultó complicado efectuar y observar fenómenos de difracción con rayos X, hasta que Von Laue y posteriormente los Bragg propusieron y utilizaron cristales adecuados como elementos difractores. De los experimentos realizados se verificó el cumplimiento de la conocida expresión de la Óptica:

$$\delta = DTO = 2d \text{ Sen } \theta = n\lambda$$

$$n = 1; 2; 3; \dots \quad (2.6.3)$$

siendo DTO la diferencia de recorrido de dos rayos adyacentes, d la distancia íter planos atómicos en el cristal y θ el ángulo rasante, figura 2.6.4.

En este contexto, a la ecuación (2.6.3) se acostumbra denominarla como la "**ecuación de la reflexión de Bragg**".



F i g u r a 2 . 6 . 4

3) PROBLEMA MODELO:

Los rayos X monocromáticos con longitud de onda de $10,4 \text{ \AA}$ se difractan preferencialmente en un cristal con un ángulo de $25,5^\circ$. a) suponiendo que se trata de la difracción de primer orden, ¿cuál es la distancia interplanar d entre los dos planos atómicos del cristal. b) ¿A qué ángulo se localizaría la difracción de segundo orden?

$$a) n = 1$$

$$n\lambda = 2d \text{ Sen } \theta$$

$$10,4 = 2d \text{ Sen } (25,5^\circ)$$

$$d = \frac{10,4 \text{ \AA}}{2 \text{ Sen } (25,5^\circ)}$$

$$d = 12,1 \text{ \AA}$$

$$b) n = 2$$

$$2 \cdot 10,4 \text{ \AA} = 2 \cdot 12,1 \text{ \AA} \text{ Sen } \theta$$

$$\text{Sen } \theta = \frac{2 \cdot 10,4 \text{ \AA}}{2 \cdot 12,1 \text{ \AA}}$$

$$\text{Sen } \theta = 0.859$$

$$\theta = 59,3^\circ$$

4) EVALUACIÓN DE LOGROS:

a) Marque verdadero (V) o falso (F) a los siguientes enunciados:

1.- Los rayos x es una radiación electromagnética. ()

2.- La longitud de onda de los rayos x es muy penetrable. ()

3.- Se la llamó radiación incógnita o "rayos X" ()

4.- Los experimentos mostraban que la relación entre la frecuencia límite y el potencial acelerador no es constante. ()

b) Resuelva, en su cuaderno de ejercicios, los siguientes problemas:

1.- Una red cúbica simple tiene átomos separados por $2,77 \text{ \AA}$. Si la difracción es resultado de planos de átomos a $2,77 \text{ \AA}$, ¿a qué ángulo se difractan los rayos X en el primero y segundo órdenes si tiene una longitud de onda de $1,82 \text{ \AA}$?

$$\text{Rpta: } \theta_1 = 19,2^\circ$$

$$\theta_2 = 41,1^\circ$$

2.- Los electrones son acelerados en un tubo de rayos X, mediante una diferencia de potencial de $10,0 \text{ kV}$. Si un electrón produce un fotón al chocar con el blanco (o ánodo), ¿cuál es la longitud de onda mínima de los rayos X resultantes.

$$\text{Rpta: } \lambda_{\text{mín}} = 0,124 \text{ nm}$$

5) LISTADO DE ANIMACIONES-DESCRIPCIÓN

a) Conceptuales: Este grupo de animaciones contiene la parte teórico-conceptual así como los modelos matemáticos y gráficas pertinentes con relación a birrefringencia.

FM26C01

FM26C02

FM26C03

FM26C04

b) Ejercitativas: Estas animaciones están constituidas de una serie de ejercicios resueltos, donde el usuario observará paso a paso la resolución de los problemas.

FM26E01

FM26E02

FM26E03


FM26E04

c) Lúdicas: Estas animaciones presentan dos juegos muy divertidos que consisten en poner en evidencia sus capacidades motrices para así obtener su recompensa; caso contrario el juego se detiene y el usuario deberá empezar nuevamente.

FM26L01

FM26L02

6) ANIMACIÓN DE MUESTRA:



RAYOS X

Por esa casualidad que sólo les ocurre a los grandes hombres.


Wilhelm Roentgen observó y descubrió una radiación electromagnética de muy pequeña longitud de onda,

que era muy penetrante, capaz de velar placas fotográficas y de generar efectos de fluorescencia;


se la llamó radiación incógnita o "rayos X", pues en su principio no se conoció su verdadera naturaleza.

El fenómeno es exactamente el inverso del efecto fotoeléctrico, pues ocurre cuando electrones muy energéticos incidentes sobre un metal,

como el tungsteno o molibdeno, ceden algunos de ellos toda su energía cinética incidente de golpe para que se transmute en energía radiante de muy alta frecuencia.



Pulse "Comenzar" y estudie el concepto correspondiente al tema.....



Descripción:

Esta animación de muestra es de tipo conceptual, contiene todo lo relacionado a la parte conceptual e ilustraciones necesarias para llamar la atención del usuario.

2.7 EL EFECTO COMPTON

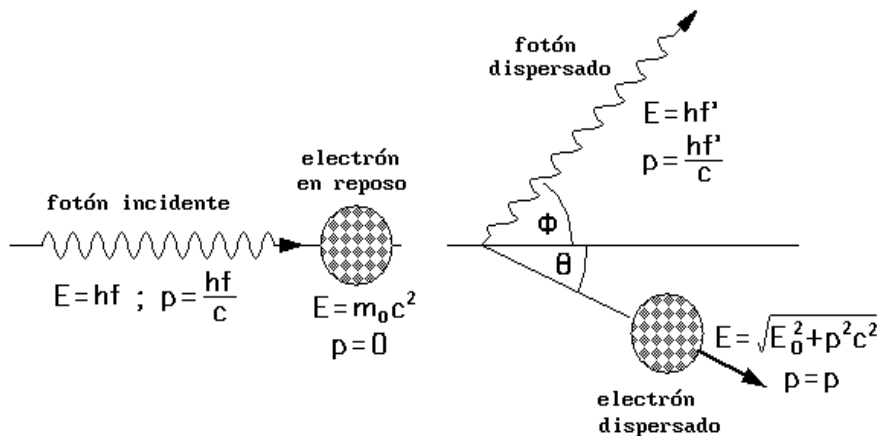
1) LOGROS DE APRENDIZAJE:

- 1- Conocer su debido concepto.
- 2- Aprender y valorar sus expresiones matemáticas.
- 3- Desarrollar correctamente las actividades propuestas.

2) FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA:

De acuerdo con la teoría cuántica, los fotones se comportan como partículas, de modo que en los choques que involucran fotones se puede hacer uso de conceptos clásicos. La figura 2.7.1 muestra un fotón incidente de rayos X que choca con un electrón libre en reposo, luego de lo cual ambos son dispersados. La disminución de la energía del fotón aparece en forma de energía cinética en el electrón, esto es:

$$hf - hf' = E_c \quad (a)$$



F i g u r a 2 . 7 . 1

Por otro lado, de la conservación del momentum lineal se tiene:

$$\frac{hf}{c} \vec{i} = \frac{hf'}{c} \text{Cos} \phi \vec{i} + p \text{Cos} \theta \vec{i} \quad (b)$$

y

$$0 = \frac{hf'}{c} \text{Sen} \phi \vec{j} - p \text{Sen} \theta \vec{j} \quad (c)$$

A partir de las ecuaciones (a), (b) y (c) y algunas otras relacionadas con la mecánica relativista se obtiene la expresión:

$$2m_0c^2 \left(hf - hf' \right) = 2hf hf' \left(1 - \cos \phi \right)$$

la cual, expresada en función de longitudes de onda toma la forma:

$$m_0c^2 \left(\frac{hc}{\lambda} - \frac{hc}{\lambda'} \right) = \frac{hc}{\lambda} \frac{hc}{\lambda'} \left(1 - \cos \phi \right)$$

$$m_0c^2 hc \left(\frac{1}{\lambda} - \frac{1}{\lambda'} \right) = \frac{hc^2}{\lambda\lambda'} \left(1 - \cos \phi \right)$$

$$\frac{m_0c^2}{hc} \left(\frac{1}{\lambda} - \frac{1}{\lambda'} \right) = \frac{1}{\lambda\lambda'} \left(1 - \cos \phi \right)$$

de donde:

$$\Delta\lambda = \lambda' - \lambda = \frac{h}{m_0c} \left(1 - \cos \phi \right) \quad (2.7.1)$$

ecuación conocida como efecto Compton, la cual expresa que la longitud de onda de fotones de rayos X dispersados por electrones libres sufre un incremento $\Delta\lambda$, el cual es función del ángulo dispersor ϕ .

Sin embargo se debe destacar el hecho de que el haz dispersado contiene también de forma muy marcada la longitud de onda original λ del haz incidente, la cual es siempre menor que la longitud de onda dispersada λ' . Todo lo expuesto ya ha sido verificado experimentalmente en las tres primeras décadas del siglo anterior.

3) PROBLEMAS MODELO:

1.- En el experimento de Compton, se hace incidir un fotón de rayos X sobre un electrón en reposo que, después de la interacción sale en la dirección de incidencia y el fotón dispersado en sentido opuesto:

- Determine cuánto varía la longitud de onda.
- Determine cuánto varía la frecuencia.

- Para el efecto Compton, la variación de la longitud de onda de un fotón que incide sobre un electrón en reposo viene dada por:

$$\lambda' - \lambda = \lambda_c (1 - \cos \theta)$$

donde θ es el ángulo que forma el fotón incidente con el fotón saliente, el ángulo que forman el fotón incidente y el fotón

que después de la interacción el electrón sale en la dirección de incidencia y el fotón dispersado en dirección opuesta, por lo tanto:

$$\lambda' - \lambda = \lambda_c (1 - \cos \theta) \Rightarrow \Delta\lambda = \lambda_c (1 - \cos 180) = \lambda_c (1 - (-1)) = 2\lambda_c$$

d) La variación de la frecuencia vendrá dada por la expresión:

$$c = \lambda f \Rightarrow f = \frac{c}{\lambda} \Rightarrow \Delta f = \frac{c}{\Delta\lambda} = \frac{c}{2\lambda_c}$$

4) EVALUACIÓN DE LOGROS:

a) Complete:

1- El efecto Compton consiste en:

.....

.....

.....

2- La expresión matemática del efecto Compton es:

$$\Delta\lambda =$$

3- El haz de rayos X dispersado por electrones contiene

.....

.....

4- En el efecto fotoeléctrico y en el efecto Compton como un fotón que choca con un electrón hace que el electrón salga disparado. Entonces, ¿Cuál es la diferencia entre los dos procesos?

.....

.....

.....

5- Considere una fuente puntual de luz. ¿Cómo variaría la intensidad de la luz con la distancia desde la fuente, de acuerdo con: a) la teoría ondulatoria, b) la teoría corpuscular (fotónica)? ¿Esto ayudaría a distinguir las dos teorías?

b) Resuelva, en su cuaderno de ejercicios, los siguientes problemas:

1- En el experimento de Compton, un fotón de frecuencia $3E18$ Hz, incide sobre un electrón en reposo. Si el fotón dispersa un ángulo ϕ respecto de la dirección de incidencia. Calcule la longitud y frecuencia del fotón dispersado.

Rpta. $\lambda = 1,0032E - 10$

2- Utilice los fotones de rayos x con $\lambda = 0,124$ nm en un experimento de dispersión de Compton. a) ¿En qué ángulo la longitud de onda de los rayos x dispersados es 1.0% mayor que la de los incidentes? b) ¿En qué ángulo es 0.050% mayor?

Rpta. a) $\phi = 13^\circ$ **b)** $\phi = 60,7^\circ$

3- Luz con una longitud de onda de 300 nm incide sobre una superficie de potasio para la función del trabajo, ϕ , es 2,26 eV. Calcule: a) la energía cinética, b) la velocidad de los electrones deyectados.

Rpta. a) $E_c = 6,62 E - 19$ J **b)** $v = 8,10 E5$ m/s

4- Un haz de rayos X es dispersado por electrones libres. A 45° de la dirección del haz, los rayos X dispersados tienen una longitud de onda de $0,022$ Å. ¿Cuál es la longitud de onda de los rayos X incidentes?

Rpta. $\lambda = 1,48E - 12$ m

5- Exprese la ecuación del efecto Compton en función de frecuencias.

5) LISTADO DE ANIMACIONES-DESCRIPCIÓN

a) Conceptuales: Esta animación presenta los conceptos correspondientes el efecto Compton

FM27C01

b) Ejercitativas: Estas animaciones presentan algunos ejercicios resueltos para que el usuario observe y aprenda paso a paso sus resoluciones.

FM27E01

FM27E02

FM27E03


c) Lúdicas: Esta animación presenta un juego en el que desarrollan sus destrezas y los cuales permiten que el estudiante se motive a conseguir su premio que está relacionado con el tema.

FM27L01


6) ANIMACIÓN DE MUESTRA:

EL EFECTO COMPTON


Determine la longitud de onda λ' de un fotón de rayos X de $2E-10m$ de longitud de onda, cuando es dispersado por un electrón en reposo en un ángulo de 145° .



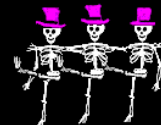
$$\lambda' = \lambda + \frac{h}{m_0c}(1 - \text{Cos}\phi)$$



Pulse "Comenzar" y estudie la resolución del siguiente ejercicio.....



$$\lambda' = 2E - 10 + \frac{6,626E - 34}{(9,1E - 31)(3E8)}(1 - \text{Cos}145)$$



Descripción:

La animación de muestra es de clase ejercitativa, en ella se desarrolla un ejercicio paso a paso para mayor comprensión del usuario y de forma atractiva. Este ejercicio, se trata sobre El efecto Compton donde tiene que hallar la longitud de onda.

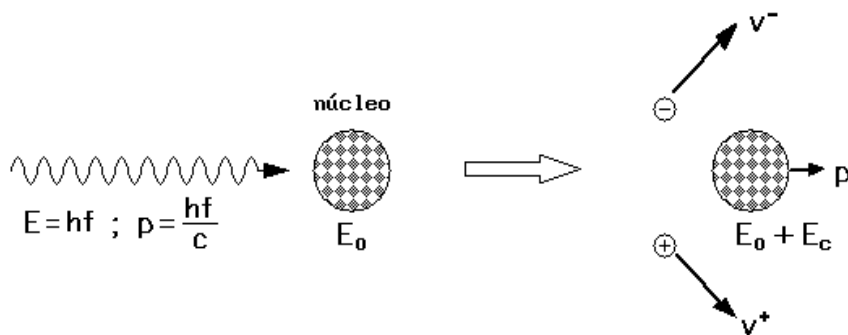
2.8 INTERACCIÓN RADIACIÓN-MATERIA

1) LOGROS DE APRENDIZAJE:

- 1-. Conocer las ecuaciones y aplicaciones del tema.
- 2-. Reconocer sus distintos elementos.
- 3-. Desarrollar correctamente los ejercicios planteados.

2) FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA:

Debemos entender y aceptar que la naturaleza se nos presenta bajo dos formas muy diferentes, pero equivalentes, la ondulatoria o energética y la corpuscular o masiva. La ecuación de Einstein, $E = mc^2$, es una de las formas de equivalencia entre ambas formas, y debemos presuponer que existen mecanismos mediante los cuales la naturaleza transmuta su "cara" frente a nosotros. Uno de ellos, llamado producción-aniquilación de pares es particularmente sencillo e interesante.



F i g u r a 2 . 8 . 1

Consideremos el fotón energético de la figura 2.8.1 acercándose a un núcleo masivo; si su energía $E = hf$ es lo suficientemente grande, seguramente se materializará en dos antipartículas, por ejemplo electrón y positrón, de tal manera que las leyes de conservación de energía y momentum lineal sean totalmente respetadas. La energía mínima que ha de tener el fotón incidente para que ocurra esto ha de ser aquella que apenas alcance a materializar a las antipartículas, esto es:

$$\boxed{hf_{\min} = m_0^- c^2 + m_0^+ c^2 = 2m_0 c^2} \quad (2.8.1)$$

que luego de evaluarla para la pareja electrón-positrón da $f_{\min} = 2,472 E20 \text{ Hz}$, radiación correspondiente a los rayos gamma. Pero si el fotón incidente es aún más energético que hf_{\min} , además de la materialización de las antipartículas cada una de ellas dispondrá en partes iguales de cierta cantidad de energía cinética, esto es:

$$hf = (m_0^- c^2 + E_C^-) + (m_0^+ c^2 + E_C^+) \quad (2.8.2)$$

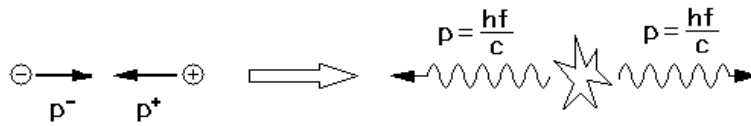
La aniquilación de dos antipartículas ocurre cuando éstas colisionan, y no es necesaria la presencia de un núcleo masivo; en su lugar aparecen dos fotones idénticos propagándose de tal manera que se conserva la energía y el momentum lineal del sistema, como se muestra en la figura 2.8.2. Del balance energético se obtienen las expresiones:

$$m_0^- c^2 + m_0^+ c^2 = 2hf_{\min} \quad (2.8.3)$$

y

$$(m_0^- c^2 + E_C^-) + (m_0^+ c^2 + E_C^+) = 2hf \quad (2.8.4)$$

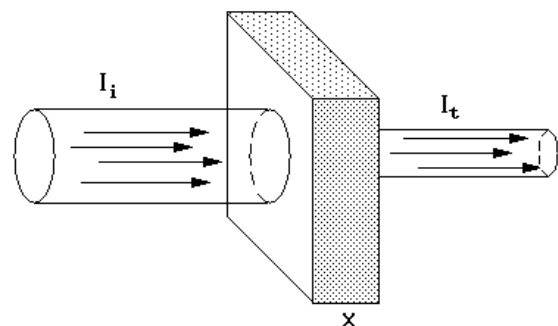
de donde, para la pareja electrón-positrón, $f_{\min} = 1,236 E20 \text{ Hz}$.



F i g u r a 2 . 8 . 2

La producción de pares es uno de los tres mecanismos de absorción de fotones realizada por una placa de materia; los otros dos son el efecto fotoeléctrico y el efecto Compton, cada uno con diferentes cuotas, pues influye mucho la longitud de

onda de los fotones. Si $I_i = \frac{\Phi_{fi} hf}{S}$ es la irradiancia incidente sobre la placa de la figura 2.8.3, en donde Φ_{fi} es el flujo fotónico incidente definido en la forma:



F i g u r a 2 . 8 . 3

$$\Phi_{fi} = \frac{N_0}{t} \quad (2.8.5)$$

entonces la irradiancia transmitida será:

$$I_t = I_i e^{-\mu x} = \frac{\Phi_{fi} hf}{S} e^{-\mu x} \quad (2.8.6)$$

en donde μ es el coeficiente de absorción, el cual depende aditivamente de los tres mecanismos antes mencionados, y x es el espesor de la placa. De la ecuación (2.8.6) es fácil observar que el flujo fotónico transmitido es:

$$\Phi_{tt} = \Phi_{fi} e^{-\mu x} = \frac{N}{t} \quad (2.8.7)$$

3) PROBLEMA MODELO:

1.- Un positrón choca de frente contra un electrón y ambos se anulan. Cada partícula tenía una energía cinética de 1,2 MeV. Halle la longitud de onda de los fotones generados.

Realizamos la respectiva transformación:

$$1,2 \text{ MeV} = 1,92E - 13 \text{ J}$$

Utilizamos la ecuación 2.8.3

$$2 m_0 c^2 + E_c = 2hf = \frac{2hc}{\lambda}$$

$$\lambda = \frac{hc}{m_0 c^2 + E_c} = \frac{6,626E - 34 \cdot 3E8}{9,1E - 31 \cdot 3E8^2 + 1,92E - 13}$$

$$\lambda = 7,257E - 13 \text{ m}$$

4) EVALUACIÓN DE LOGROS:

a) Complete:

1- La producción de pares consiste en:

.....

y ocurre cuando:

.....

.....

2- ¿Por qué se dice que los electrones tienen propiedades ondulatorias?

.....

3- El flujo fotónico incidente se define mediante la expresión:

$$\Phi_{fi} =$$

4- El coeficiente de absorción depende aditivamente de:

.....

5- ¿Cuáles son las diferencias entre un fotón y un electrón?

.....

b) Resuelva, en su cuaderno de ejercicios, los siguientes problemas:

1- Una onda plana linealmente polarizada de longitud de onda $\lambda = 633 \text{ nm}$ y cuya intensidad es de 1 mW/cm^2 incide normalmente sobre una lámina cuyo espesor es de 1 cm . La lámina es de un material isótropo absorbente tal que la onda experimenta un índice de refracción de $n = 1.6 - 0.000025i$. Determine la intensidad de la onda a la salida.

$$\text{Rpta. } I = 6,27E - 3 \text{ mW/cm}^2$$

2- Se recubre un vidrio BK7 ($n_v = 1.5$) con una capa delgada de metal cuyo índice de refracción viene dado por $n = 3.6 - 1.25i$. Dibujar la transmitancia del vidrio recubierto en función del espesor de la capa de metal. Sabiendo que la longitud de onda de la radiación incidente es $\lambda_0 = 500 \text{ nm}$ estimar el espesor que debe tener la capa de metal para que se transmita una milésima parte de la irradiancia incidente.

$$\text{Rpta. } z_0 = 0,204 \mu\text{m}$$

3- Se quiere comunicar la Tierra con la Luna utilizando señales electromagnéticas. Si la densidad electrónica de la ionosfera es $N = 1E5/\text{cm}^3$, calcular la frecuencia máxima que se puede utilizar. ¿Se transmitirá la onda de la frecuencia calculada más arriba a través de una fina capa de metal de 1 mm de espesor si la densidad electrónica de éste es de $N = 1E22/\text{cm}^3$?

$$\text{Rpta. } w_p = 5,6E12 \text{ rad/s.}$$

5) LISTADO DE ANIMACIONES-DESCRIPCIÓN

a) Conceptuales: Este conjunto de animaciones presenta la parte teórico-conceptual, incluyendo los modelos matemáticos correspondientes a los diferentes casos.

FM28C01

FM28C02

FM28C03

b) Ejercitativas: Estas animaciones presentan algunos ejercicios resueltos para que el usuario observe y aprenda paso a paso sus resoluciones.

FM28E01

FM28E02

FM28E03

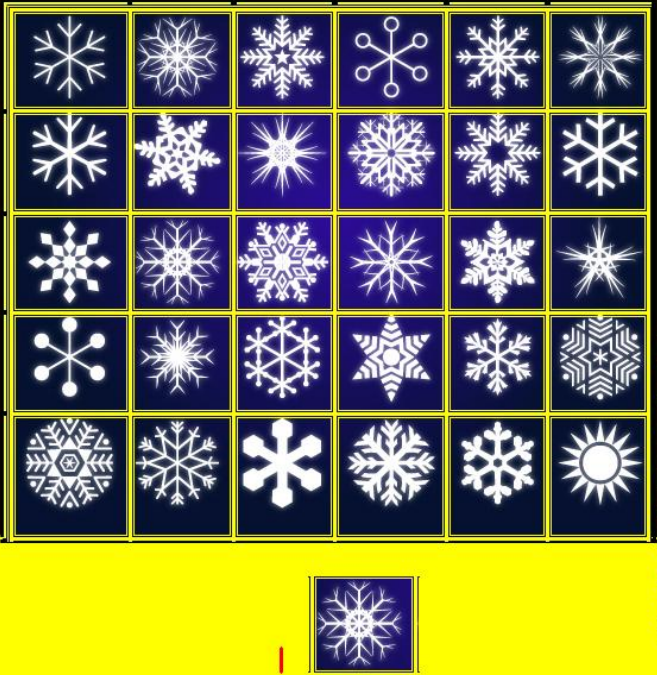
FM28E04

c) Lúdicas: Esta animación presenta un juego interactivo con el cual el usuario demuestra sus capacidades manuales y motrices con el objetivo de conseguir la recompensa.


FM28L01

6) ANIMACIÓN DE MUESTRA:

**INTERACCIÓN
RADIACIÓN-
MATERIA**



Pulse "Comenzar", observe detenidamente cada uno de los dibujos y su respectiva posición,.....con la palanca de control coloque el dibujo en la posición correcta y revise su premio.....



Descripción:

Esta animación es de tipo lúdica, el usuario debe tratar de grabar los dibujos, para colocar en el espacio correspondiente la ficha que ha sido seleccionado; este juego requiere de mucha astucia y habilidades motrices del usuario.

2.9 CORRIMIENTO GRAVITACIONAL HACIA EL ROJO

1) LOGROS DE APRENDIZAJE:

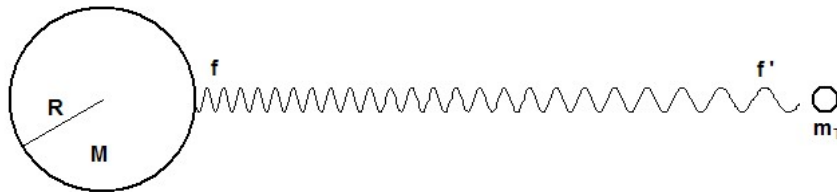
- 1- Aprender su concepto y sus respectivas ecuaciones.
- 2- Aplicar los conocimientos correctamente a los problemas propuestos.
- 3- Admitir la importancia del tema.

2) FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA:

A partir de los conceptos de Einstein-Planck, los fotones presentan comportamiento corpuscular exhibiendo una masa inercial dada por:

$$m = \frac{hf}{c^2} \quad (2.9.1)$$

y esto parece ser así teniendo en cuenta la múltiple evidencia experimental que lo confirma. Ahora bien, debido a la equivalencia entre masas inercial y gravitacional, lo cual constituye un punto de partida de la teoría general de la relatividad de Einstein, es de esperarse que los fotones presenten el mismo comportamiento gravitacional que otras partículas, en especial cuando interactúan con astros súper masivos como estrellas gigantes.



Supongamos una estrella muy masiva, de masa M y radio R , irradiando fotones de frecuencia inicial f , recordando que una partícula de masa m , situada en la superficie de la estrella, tiene energía potencial gravitacional dada por $E_{Pg} = -\frac{\gamma Mm}{R}$, entonces si en lugar de la partícula tuviéramos al fotón, su energía potencial gravitacional sería $E_{Pg} = -\frac{\gamma Mhf}{Rc^2}$ y, por ende, su energía total sería:

$$E = hf + E_{Pg} = hf - \frac{\gamma Mhf}{Rc^2} = hf \left(1 - \frac{\gamma M}{Rc^2} \right) \quad (a)$$

Cuando el fotón se ha alejado significativamente de la estrella y se encuentra, por ejemplo, cerca de la Tierra, su energía potencial se hace cero, de modo que su energía total, que se conserva, es eminentemente ondulatoria de la forma $E = hf'$; en consecuencia:

$$hf \left(1 - \frac{\gamma M}{Rc^2} \right) = hf'$$

de donde:

$$\boxed{\frac{f'}{f} = \left(1 - \frac{\gamma M}{Rc^2} \right)} \quad (2.9.2)$$

De allí:

$$\frac{\gamma M}{Rc^2} = 1 - \frac{f'}{f} = \frac{f - f'}{f}$$

es decir:

$$\boxed{\frac{\Delta f}{f} = \frac{\gamma M}{Rc^2}} \quad (2.9.3)$$

expresión que nos indica que la frecuencia del fotón disminuye a medida que se aleja de la estrella de origen, o equivalentemente, que su longitud de onda aumenta, fenómeno conocido como "corrimiento gravitacional hacia el rojo". Este análisis eminentemente teórico ha recibido su confirmación experimental gracias a la observación de la estrella enana blanca Sirio B.

En particular, si existiera una estrella para la cual el paréntesis $\left(1 - \frac{\gamma M}{Rc^2} \right)$ se anulara o se volviera negativo, esto es, $\frac{\gamma M}{Rc^2} \geq 1$, entonces, según la ecuación

$E = hf \left(1 - \frac{\gamma M}{Rc^2} \right)$, ningún fotón lograría salir de ella resultando invisible para cualquier observador; seguramente éste es el caso de los famosos "agujeros negros".

3) PROBLEMA MODELO:

1.- La superficie del Sol tiene una temperatura aproximada de 5800 K. Con buena aproximación, se puede considerar que es un cuerpo negro. a) ¿Cuál es la longitud de onda λ_m de intensidad máxima? b) ¿Cuál es la potencia total irradiada por unidad de área?

IDENTIFICAR: Este problema implica la ley del desplazamiento de Wien (que relaciona la temperatura T de un cuerpo negro y su longitud de onda de intensidad máxima λ_m) y la ley de Stefan-Boltzmann (que relaciona la temperatura de un cuerpo negro con la potencia irradiada por área I).

PLANTEAR: Usaremos la ecuación $\lambda_m T = 2,90E - 3$ que es la ecuación de Wien para determinar λ_m y la ecuación $I = \sigma T^4$ que es la ecuación de la Ley de Stefan-Boltzmann para un cuerpo negro, para calcular I .

a)

$$\lambda_m T = 2,90E - 3$$

$$\lambda_m = \frac{2,90E - 3}{T}$$

$$\lambda_m = \frac{2,90E - 3}{5800}$$

$$\lambda_m = 0,500E - 6 = 500nm$$

b)

$$I = \sigma T^4 = (5,67E - 8)(5800)^4$$

$$I = 6,42E7 \text{ W } m^2$$

4) EVALUACIÓN DE LOGROS:

a) **Complete:**

1.- ¿Que efecto tiene una gravitación intensa sobre las mediciones del tiempo?

.....

2.- ¿Que camina más lento, un reloj que está en la parte más alta de la torre Sears o uno en la orilla del Lago Michigan?

.....

3.- ¿Cómo se compara la frecuencia de determinada línea espectral observada en la luz del Sol, con la frecuencia de esa raya observada en una fuente sobre la tierra?

.....

4- Si vemos los eventos que sucede en una estrella que se esté colapsando hasta transformarse en un agujero negro, ¿vemos que el tiempo transcurre más aprisa o más lento?

.....

b) Resuelva, en su cuaderno de ejercicios, los siguientes problemas:

1) Determine la potencia por unidad de área que irradia la superficie del Sol en el intervalo de longitudes de onda de 600,0 a 605,0 nm.

$$\text{Rpta. } I = 3,9E5 \text{ W/m}^2$$

2) Calcular las energías de los fotones de las siguientes radiaciones: infrarrojo: $\lambda = 600 \text{ nm}$, ultravioleta $\lambda = 300 \text{ nm}$, rayos X $\lambda = 0,3 \text{ nm}$.

$$\text{Rpta. Infrarrojo: } 6,62 \text{ E-22 J, visible: } 3,31\text{E-19 J, ultravioleta: } 6,62\text{E-19 J, rayos X: } 6,62\text{E-16J.}$$

3) Se ha medido la diferencia de potencial en un nervio óptico producida cuando un fotón de 3 eV es absorbido por un cono. La capacidad del nervio es de 1E-9 F . Calcular (a) la carga y la energía electrostática adquirida.

$$\text{Rpta. } Q = 7\text{E-11C. (b) } E = 2,5 \text{ E-12 J}$$

5) LISTADO DE ANIMACIONES-DESCRIPCIÓN

a) Conceptuales: Estas animaciones abarca la parte teórico-conceptual relacionada con el tema, la cual destaca sus expresiones más importantes de una forma muy atractiva.

FM29C01

FM29C02

b) Ejercitativas: Muestran al usuario ejercicios resueltos que sirven de modelo para desarrollar las actividades propuestas.

FM29E01

FM29E02

FM29E03

FM29E04

c) Lúdicas: Esta animación muestra una manera muy divertida de reforzar lo aprendido.

FM29L01

6) ANIMACIÓN DE MUESTRA:

CORRIMIENTO GRAVITACIONAL HACIA EL ROJO

Determine el radio que debería tener nuestro Sol para convertirse en un agujero negro.

$$\frac{\gamma M}{Rc^2} = 1$$

$$R = \frac{\gamma M}{c^2}$$

$$R = \frac{6,67E-11 \cdot 1,99E30}{(3E8)^2}$$

$$R = 1\,474,811\,m$$



Descripción:

La animación de muestra es de clase ejercitativa, en ella se desarrolla un ejercicio paso a paso para mayor comprensión del usuario y de forma atractiva.

2.10 ONDAS de DE BROGLIE

1) LOGROS DE APRENDIZAJE:

- 1-. Conocer las ecuaciones y aplicaciones del tema.
- 2-. Reconocer sus distintos elementos.
- 3-. Desarrollar correctamente los ejercicios planteados.

2) FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA:

Sabemos que un fotón presenta comportamiento corpuscular, con una masa inercial y un momentum lineal $p = \frac{hf}{c} = \frac{h}{\lambda}$, de donde $\lambda = \frac{h}{p}$. Pero considerando la "simetría o doble cara" de la naturaleza, Louis De Broglie propuso de manera muy audaz que también una partícula debería presentar "comportamiento ondulatorio"; para ello utilizó la expresión corpuscular del momentum lineal, $p = mv$, para sustituirla en la expresión eminentemente ondulatoria de la longitud de onda antes anotada obteniendo:

$$\lambda = \frac{h}{mv} = \frac{h \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}{m_0 v} \quad (2.10.1)$$

expresión que define la longitud de onda de las misteriosas ondas de De Broglie que están asociadas a toda partícula, preferiblemente en movimiento, y que algunos autores las ven como las esquivas "ondas gravitacionales".

Consideremos una partícula moviéndose con velocidad v , la velocidad con que se desplaza la correspondiente onda de De Broglie asociada es:

$$v_B = \lambda f = \frac{hf}{mv} = \frac{E}{mv} = \frac{mc^2}{mv}$$

es decir:

$$v_B = \frac{c^2}{v} \quad (2.10.2)$$

expresión que representa la velocidad de fase de la onda de De Broglie, la cual, si lo anterior es correcto, tendría velocidades comprendidas entre c e infinito. Normalmente con la partícula móvil se asocia una onda de De Broglie que es la resultante de muchas ondas de igual dirección y frecuencias diferentes, cuyo resultado es una "onda compleja de amplitud modulada" y cuya velocidad de fase es:

$$v_f = \frac{\omega}{K}$$

y cuya velocidad de grupo o paquete es:

$$v_g = \frac{d\omega}{dK}$$

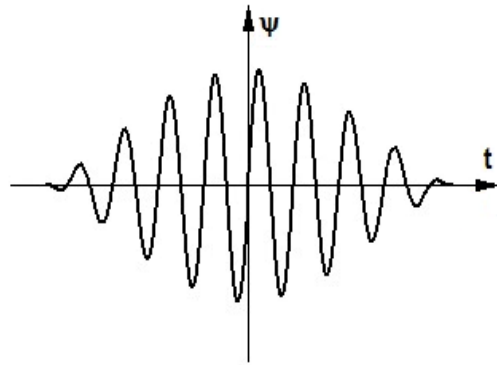


Figura 2.10.1

Realizando las sustituciones adecuadas se obtienen las expresiones:

$$\boxed{v_f = \frac{c^2}{v}} \quad (2.10.3)$$

Y

$$\boxed{v_g = v} \quad (2.10.4)$$

de modo que el paquete se mueve con la partícula, esto es, la velocidad de la partícula es a la vez la velocidad de grupo de la onda de De Broglie.

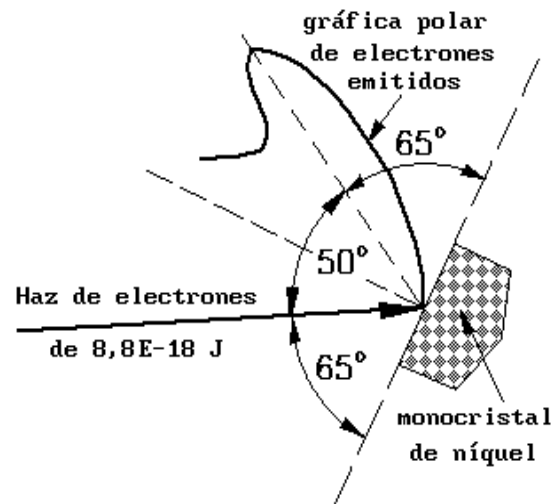
Aunque se desconoce la verdadera naturaleza de las ondas de De Broglie, es de esperar que gracias a ella podamos realizar eventos eminentemente ondulatorios, como interferencia y difracción, utilizando partículas. Esto parece increíble, es como pretender observar fenómenos de difracción con electrones o protones,...; sin embargo la naturaleza nos dice que así es, que la difracción de partículas es factible debido a las ondas de De Broglie asociadas. Analicemos teóricamente esta cuestión: de la expresión de la energía cinética y del momentum lineal tenemos para electrones que se mueven con energía cinética de $8,8E-18 J$:

$$\lambda = \frac{h}{mv} = \frac{h}{p} = \frac{h}{\sqrt{2mE_c}} = \frac{6,626 E - 34}{\sqrt{2 \cdot 9,1 E - 31 \cdot 8,8 E - 18}} = 1,66 \text{ \AA}$$

Los físicos Davisson y Germer fueron los pioneros en el diseño y realización de estos experimentos: la ecuación de la reflexión de Bragg, $n\lambda = 2d \text{Sen} \theta$, fue puesta a prueba con cristales de níquel para los cuales $d = 0,91 \text{ \AA}$ y se trabajó con $\theta = 65^\circ$; para $n = 1$ obtuvieron:

$$\lambda = 2d \text{Sen} \theta = 1,65 \text{ \AA}.$$

Por lo tanto, los resultados experimentales respondieron perfectamente a la teoría ondulatoria y óptica de difracción de los electrones debido a que éstos presentaban el comportamiento ondulatorio planteado de manera hipotética por Louis De Broglie.



F i g u r a 2 . 1 0 . 2

La propuesta de De Broglie de considerar a la luz con un comportamiento dual fue rápidamente extendida a todo lo existente. En la actualidad aceptamos la dualidad ondulatorio-corpúscular de todo el universo, aunque un cuerpo en particular no muestra simultáneamente sus dos caras.

3) PROBLEMA MODELO:

1.- Determine la rapidez y la energía cinética de un neutrón ($m = 1,675 \text{ E-}27 \text{ kg}$) que tiene una longitud de onda de De Broglie $\lambda = 0,200 \text{ nm}$, aproximadamente la distancia entre átomos en muchos cristales. Compare la energía con la energía cinética de traslación de una molécula de gas a temperatura ambiente ($T = 20 \text{ }^\circ\text{C} = 293 \text{ K}$).

SOLUCIÓN:

IDENTIFICAR: Este problema utiliza varias relaciones: entre la longitud de onda y la rapidez de una partícula, entre la rapidez de la partícula y la energía cinética, y entre la temperatura de un gas y la energía cinética promedio de una molécula gaseosa.

PLANTEAR: Las incógnitas son la rapidez v y la energía cinética K . Determinaremos v usando la ecuación (2.10.1), y después calculando la energía cinética mediante

$K = \frac{1}{2}mv^2$. Para determinar la energía cinética promedio de una molécula a la temperatura T , usaremos una ecuación de la teoría cinética de los gases.

EJECUTAR: De acuerdo con la ecuación (2.10.1),

$$v = \frac{h}{\lambda m} = \frac{6,626E - 34}{0,2E - 9 \cdot 1,675E - 27}$$

$$v = 1,98E3 \text{ m s}$$

La energía cinética es:

$$K = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2}1,675E - 27 \cdot (1,98E3)^2$$

$$K = 3,28E - 21 \text{ J} = 0,0204 \text{ eV}$$

La energía cinética de traslación promedio de una molécula de gas ideal se determina con la siguiente ecuación:

$$\begin{aligned} \frac{1}{2}m(v^2)_{prom} &= \frac{3}{2}kT = \frac{3}{2}(1,38E - 23)(293) \\ &= 6,07E - 21 \text{ J} = 0,0397 \text{ eV} \end{aligned}$$

Las dos energías tienen magnitudes comparables. De hecho, un neutrón con energía cinética entre estos límites se llama neutrón térmico.

4) EVALUACIÓN DE LOGROS:

a) Complete:

1.- Sí los electrones solo se comportaran como partículas, ¿Qué patrón cree que se forme en la pantalla después de que los electrones pasen por la doble rendija?

.....

2.- No observamos la longitud de onda de De Broglie en una pelota de béisbol que se lanza al home. ¿Se debe a que su longitud de onda es muy larga o muy corta?

.....

3.- Si un electrón y un protón tienen la misma longitud de onda de De Broglie, ¿Cuál partícula tiene la mayor rapidez?

.....

4- Qué pruebas puede citar de la naturaleza ondulatoria de las partículas?

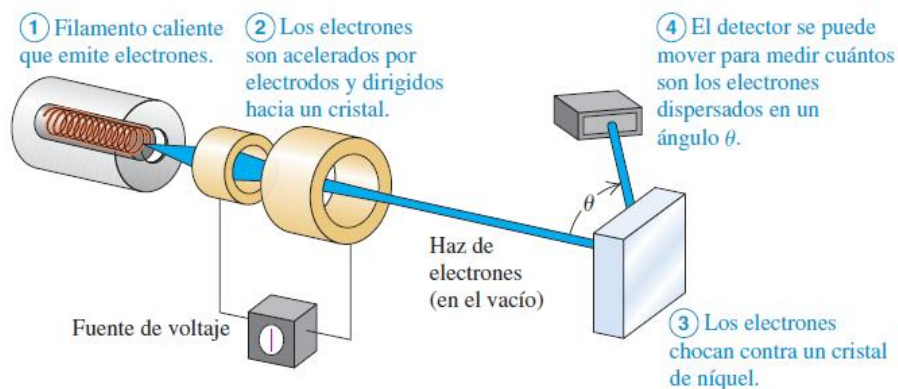
.....

5- Cuando los electrones son difractados por una doble rendija, ¿Llegan a la pantalla en forma ondulatoria o en forma corpuscular? El patrón que forma con sus choques, ¿Es de ondas o de partículas?

.....

b) Resuelva, en su cuaderno de ejercicios, los siguientes problemas:

1- En cierto experimento de difracción de electrones con un voltaje de aceleración de 54 V, se presenta un máximo de intensidad cuando el ángulo θ en la figura es 50° . La energía cinética inicial de los electrones es despreciable. Con difracción de rayos x se determinó que las filas de átomos tienen una separación $d = 2,15E-10 \text{ m} = 0,215 \text{ nm}$. Calcule la longitud de onda del electrón.



Rpta. $\lambda = 1,7E - 10 \text{ m}$

- 2- El ejercicio planteado anteriormente, para que los electrones tengan una longitud de onda de $1,7 \text{ E-}10 \text{ m}$, deben acelerarse desde el reposo hasta un voltaje de 54 V , para adquirir así una energía cinética de 54 eV . ¿Un fotón de la misma energía tiene también una longitud de onda de $1,7 \text{ E-}10 \text{ m}$? Argumente su respuesta.
- 3- a) Un electrón se mueve con una rapidez de $4,7\text{E}6 \text{ m/s}$. ¿Cuál es su longitud de onda de De Broglie? b) Un protón se mueve con la misma rapidez. Determine su longitud de onda de De Broglie.

$$\text{Rpta. a) } \lambda = 1,55\text{E} - 10\text{m} \text{ b) } \lambda = 8,44\text{E} - 14\text{m}$$

- 4- Un electrón tiene una longitud de onda de De Broglie de $2.8\text{E-}10 \text{ m}$. Determine: a) la magnitud de su cantidad de movimiento; b) su energía cinética (en joules y en electrón volts).

$$\text{Rpta. a) } 2,37\text{E} - 24 \text{ kg. m/s} \text{ b) } E_c = 3,67\text{E} - 18 \text{ J} = 19,2 \text{ eV}$$

- 5- **¿Por qué no nos difractamos?** a) Calcule la longitud de onda de De Broglie de una persona común que pasa por una entrada. Efectúe aproximaciones razonables de las cantidades necesarias. b) La persona del inciso a muestra un comportamiento ondulatorio cuando pasa por una sola rendija de la entrada? ¿Por qué?

$$\text{Rpta. a) } m = 75 \text{ kg. } v = 1 \text{ m/s } \lambda = 8,8\text{E} - 36\text{m}$$

5) LISTADO DE ANIMACIONES-DESCRIPCIÓN

a) Conceptuales: Este conjunto de animaciones presenta la parte teórico-conceptual, incluyendo los modelos matemáticos correspondientes a los diferentes casos.

FM210C01

FM210C02

FM210C03

b) Ejercitativas: Estas animaciones presentan algunos ejercicios resueltos para que el usuario observe y aprenda paso a paso sus resoluciones.

FM210E01

FM210E02

FM210E03

c) Lúdicas: Esta animación presentan un juego interactivo con el cual el usuario demuestra sus capacidades manuales y motrices con el objetivo de conseguir la recompensa.

FM210L01

6) ANIMACIÓN DE MUESTRA:

ONDAS de DE BROGLIE

Determine la longitud de onda de De Broglie de los neutrones térmicos, esto es, de los neutrones en equilibrio con la materia a temperatura ambiente, 300 K, conociendo que tiene una energía promedio de $6,4E-21$ J.

DATOS:

$c = 3E8$ *Masa del neutrón en reposo = $m = 1,6748E-27$ kg*

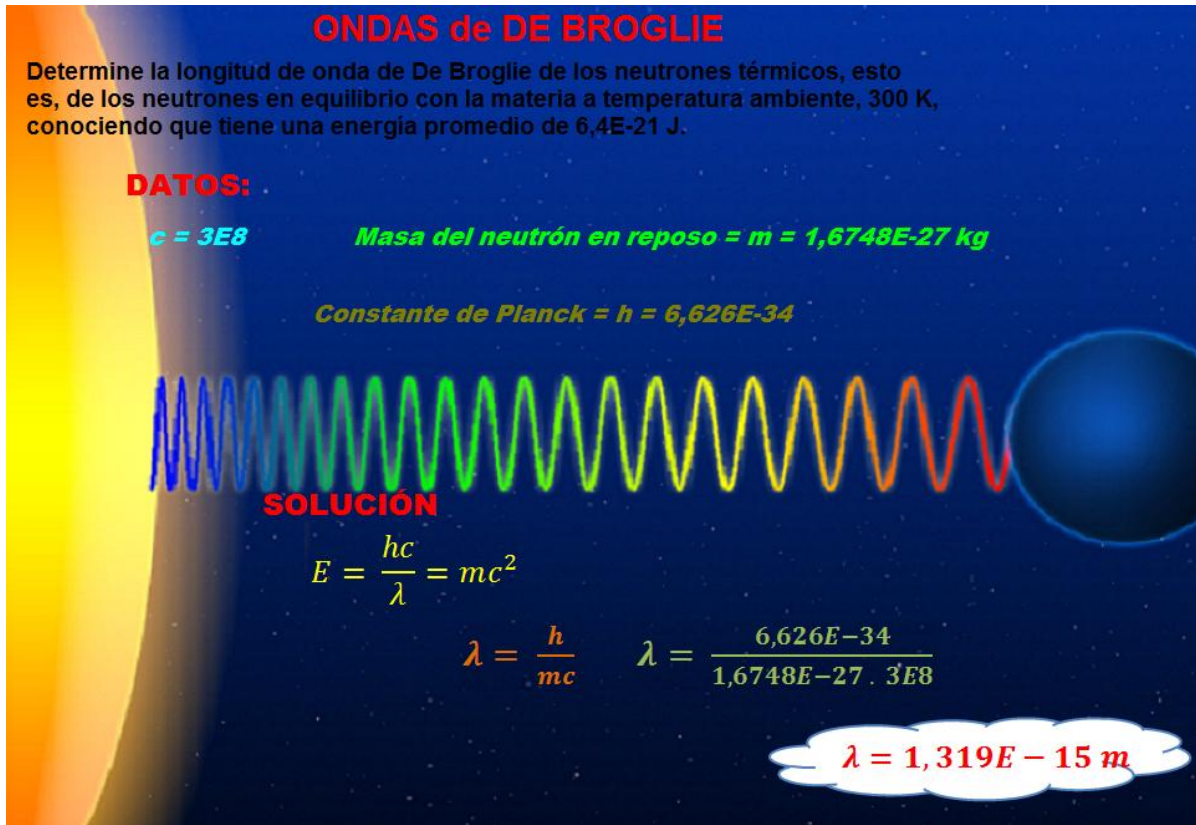
Constante de Planck = $h = 6,626E-34$

SOLUCIÓN

$$E = \frac{hc}{\lambda} = mc^2$$

$$\lambda = \frac{h}{mc} \quad \lambda = \frac{6,626E-34}{1,6748E-27 \cdot 3E8}$$

$\lambda = 1,319E-15$ m



Descripción:

La animación de muestra es de clase ejercitativa, en ella se desarrolla un ejercicio paso a paso para mayor comprensión del usuario y con variados colores.

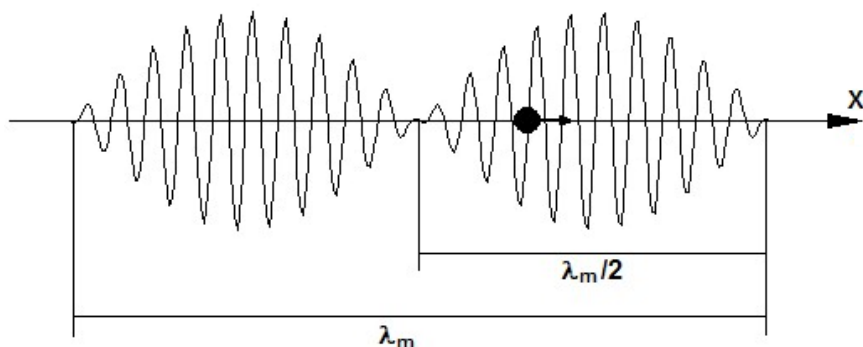
2.11 EL PRINCIPIO DE INCERTIDUMBRE

1) LOGROS DE APRENDIZAJE:

- 1-. Conocer las ecuaciones y aplicaciones del tema.
- 2-. Reconocer sus distintos elementos.
- 3-. Desarrollar correctamente los ejercicios planteados.

2) FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA:

La doble cara que tiene la naturaleza para presentarse ante nuestros ojos hace que la especificación absoluta y simultánea de dos parámetros denominados "conjugados" sea imposible, ya que la perfección en el cálculo o medición de uno de ellos determina que el cálculo o medición del otro se vuelva totalmente impreciso. Werner Heisenberg propuso que el límite de la indeterminación del producto de dos variables conjugadas sería $\hbar = h/2\pi$, cuyo valor es $1,055E-34 \text{ J.s}$, que es una muy importante constante de la Física cuántica. De aquí inferimos que dos variables o magnitudes físicas son conjugadas cuando su producto es otra magnitud dimensionalmente equivalente a momentum angular y cuya unidad es el J.s . Tenemos, por ejemplo: posición lineal y momentum lineal, posición angular y momentum angular, energía y tiempo,...



F i g u r a 2 . 1 1 . 1

La figura 2.11.1 muestra un ciclo completo de la resultante de la superposición de dos ondas de igual dirección y frecuencias diferentes; la mitad de él representa un paquete cuya longitud Δx equivale a la mitad de la longitud de onda de la

moduladora. Esta figura nos ayuda a comprender el porqué de la indeterminación: la partícula en movimiento con velocidad v tiene asociada la onda gravitacional de De Broglie representada por el paquete de longitud $\lambda_m/2$ y definitivamente tiene que encontrarse en alguna posición x dentro de dicho paquete, pero mientras más exacta sea su posición, es decir, mientras menor sea la incertidumbre Δx de su posición, mayor será la incertidumbre Δp de su momentum lineal. Ahora bien, la relación $\lambda_m = 2\pi/K_m$ para el presente caso nos permite anticipar una $K_m \approx 2\Delta K$, con lo que:

$$\lambda_m = \frac{2\pi}{K_m} = \frac{2\pi}{2\Delta K}$$

$$\text{Pero } 2\Delta x = \lambda_m \geq \frac{2\pi}{2\Delta K}$$

luego:

$$\Delta x \geq \frac{2\pi}{4\Delta K}$$

de donde:

$$\Delta x \Delta K \geq 1$$

Puesto que $K = \frac{2\pi}{\lambda} = \frac{2\pi p}{h}$, entonces $p = \frac{hK}{2\pi}$ y $\Delta p = \frac{h\Delta K}{2\pi}$, de donde

$$\Delta K = \frac{2\pi\Delta p}{h}, \text{ luego:}$$

$$\Delta x \Delta K = \Delta x \frac{2\pi\Delta p}{h} \geq 1$$

y finalmente:

$$\boxed{\Delta x \Delta p \geq \frac{h}{2\pi} = \hbar} \quad (2.11.1)$$

expresión matemática del principio de incertidumbre de Heisenberg. Su estructura matemática será la misma para las otras parejas de variables conjugadas, esto es:

$$\boxed{\Delta E \Delta t \geq \hbar} \quad (2.11.2)$$

&

$$\boxed{\Delta \theta \Delta L \geq \hbar} \quad (2.11.3)$$

En el mundo macroscópico la incertidumbre de Heisenberg es totalmente irrelevante, ya que $\hbar = 1,055 E - 34 \text{ J.s}$; sin embargo en el entorno del átomo y de lo subatómico es absolutamente influyente y no puede ser ignorado.

3) PROBLEMA MODELO:

Un electrón está confinado en una región de $1E-10$ m de ancho. a) Estime la incertidumbre mínima en la componente x de la cantidad de movimiento del electrón. b) Si el electrón tiene cantidad de movimiento con una magnitud igual a la incertidumbre determinada en el inciso a), ¿cuál es su energía cinética? Exprese el resultado en julios y en electrón-voltios.

SOLUCIÓN:

IDENTIFICAR: Este problema utiliza el principio de incertidumbre de Heisenberg para una posición y cantidad de movimiento, así como la relación entre la cantidad de movimiento de una partícula y su energía cinética.

PLANTEAR: Sabemos que el electrón está en algún lugar de la región en la que se confina. Como no conocemos con exactitud dónde está, dentro de esa región, el ancho de la región es la incertidumbre de posición: $\Delta x = 1E-10$ m. En realidad la incertidumbre debería ser de la mitad del ancho de la región.

a)

$$(\Delta p_x)_{\min} = \frac{\hbar}{\Delta x} = \frac{1,055E-34}{1E-10} = 1,1E-24 \text{ kg.m s}$$

b)

Un electrón con una cantidad de movimiento de esta magnitud tiene la energía cinética:

$$K = \frac{p^2}{2m} = \frac{(1,1E-24)^2}{2(9,11E-31)}$$

$$K = 6,1 E - 19 J$$

$$K = 3,8 eV$$

4) EVALUACIÓN DE LOGROS:

a) Complete:

1- ¿Por qué se usa $\overline{(p^2)}$ en lugar de (p) para calcular la incertidumbre relativa para la partícula en una caja tridimensional?

.....

2- La propuesta de Heisenberg consiste en:

.....

3- Por qué aumenta la incertidumbre relativa de x para la partícula en la caja tridimensional cuando $n \rightarrow \infty$?

.....

4- Tres formas de expresar el principio de incertidumbre son:

..... , ,

5- Por qué el concepto estadístico de varianza es una buena medida de la incertidumbre de una medida mecanocuántica?

.....

b) Resuelva, en su cuaderno de ejercicios, los siguientes problemas:

1- El Angstrom Å es una unidad de longitud típica de los sistemas atómicos que equivale a 10^{-10} m. La determinación de la posición de un electrón con una precisión de $0,01 \text{ Å}$ es más que razonable. En estas condiciones, calcular la indeterminación de la medida simultánea de la velocidad del electrón. (Dato: la masa del electrón es $9,1096 \times 10^{-31}$ Kg).

Rpta. $2,1 \times 10^8 \text{ km/h}$

2- Un fastidioso mosquito de 1,5 mg está zumbando cerca de usted mientras estudia física en su habitación, la cual mide 5,0 m de ancho y 2,5 m de alto. Decide aniquilar de un golpe al insecto cuando éste se aproxima a usted pero sabe que necesita estimar la rapidez del insecto onda sea de 0,0600 nm? (*Sugerencia:* en cada caso, la energía cinética inicial es despreciable.)

3- Se determinan simultáneamente la posición y el momentum lineal de un electrón de 1 keV. Si la posición se determina con una precisión de 1 Å, ¿cuál es el porcentaje de incertidumbre en la especificación de su momentum lineal?

Rpta. $e\%_p = 6,182\%$

4- Suponga que el experimento de la doble rendija se lleva a cabo sin electrones, usando un espacio de rendija de $b = 10$ nm. Para poder observar la difracción, elegimos $\lambda = b$, y como la difracción requiere radiación razonablemente monocromática, elegimos $\frac{\Delta p}{p} = 0,01$. Demuestre que con esos parámetros, la incertidumbre en la posición del electrón es mayor que el espaciado de la rendija b .

Rpta. 7,9 E-8 m

5) LISTADO DE ANIMACIONES-DESCRIPCIÓN

a) Conceptuales: Este conjunto de animaciones presenta la parte teórico-conceptual, incluyendo los modelos matemáticos correspondientes a los diferentes casos.

FM211C01

FM211C02

b) Ejercitativas: Estas animaciones presentan algunos ejercicios resueltos para que el usuario observe y aprenda paso a paso sus resoluciones.

FM211E01

FM211E02

FM211E03

FM211E04

c) Lúdicas: Esta animación presenta un juego interactivo con el cual el usuario demuestra sus capacidades manuales y motrices con el objetivo de conseguir la recompensa.

FM211L01

6) ANIMACIÓN DE MUESTRA:

EL PRINCIPIO DE INCERTIDUMBRE

$\vec{p} = m\vec{v}$

—

$\Delta E \Delta t \geq \hbar$

—

$\vec{F} = \frac{d}{dt}(m\vec{v})$

—

$\Delta \theta \Delta L \geq \hbar$

—

$W_{AB} = \int_A^B \vec{F} \cdot d\vec{r}$

—

$\Delta x \Delta p \geq \hbar$

—



Formas de expresar el principio de incertidumbre.





Descripción:

Esta animación es de tipo lúdica, se trata de unir con líneas las ecuaciones afines al tema de estudio; al terminar el tiempo dispuesto de juego de la animación, el estudiante podrá corroborar sus respuestas; este juego requiere de mucha astucia y habilidades motrices del usuario.

CONCLUSIONES

- ❖ El programa Modellus es aplicable a la educación como una herramienta de apoyo tanto para la enseñanza como para el aprendizaje.
- ❖ No es el único programa destinado para el apoyo a la educación, pero sí el más asequible.
- ❖ El uso del programa aumenta las habilidades psicomotrices en el usuario.
- ❖ La facilidad de uso del programa hace que el usuario encuentre gusto por aplicar más conocimientos en éste.
- ❖ El programa, mediante una guía adecuada, hace más simple el estudio de cualquier rama del conocimiento, en este caso aplicada a la Física Moderna.
- ❖ Al crear animaciones atractivas e interactivas para la enseñanza-aprendizaje creamos no solo instrumentos para el estudio, sino además transportamos al usuario al mundo de la tecnología y la lógica.
- ❖ El continuo uso de las animaciones mediante el programa Modellus, convierte al salón de clases en un espacio interactivo y fomenta la cooperación entre los usuarios.

RECOMENDACIONES

- Es preciso que el maestro guía de este proyecto conozca del software para poder asesorar a sus alumnos.

- El estudiante o usuario debe saber cómo manejar este programa, al menos de manera primaria.

- Se recomienda que el usuario ponga tanto atención como interés a cada indicación del educador y a cada animación que se desarrolla ante sus ojos.

- Es importante que el estudiante revise las animaciones de la siguiente manera: conceptuales, ejercitativas y lúdicas para que sus conocimientos tengan secuencia y pueda entender con mayor facilidad.

- Se recomienda que luego de cada presentación de las animaciones, el educador dialogue con sus educandos para satisfacer sus dudas y aportar más a sus conocimientos.

BIBLIOGRAFÍA

- Física Moderna, ALBERTO SANTIAGO AVECILLAS JARA, Cuenca 2008, "Conceptos Relativistas", pg.27.
- Ondas electromagnéticas y sistemas radiantes, EDWARD C. JORDAN/ KEITH G. BALMAN, 1978, Transformación de Lorentz, pg.788.pa
- Fundamentos de la teoría electromagnética, REITZ/ MILFORD CHRISTY, La transformación de Lorentz como una transformación ortogonal, pg. 538.
- Electromagnetismo, ALONSO SEPÚLVEDA SOTO, 2009, "Electrodinámica Relativista", pg. 592
- Electricidad y Magnetismo, VICTOR SERRANO DOMINGUEZ/ GRACIELA GARCIA ARANA/ CARLOS GUTIÉRREZ ARANZETA, 2001, "Aplicaciones de Fuerza eléctrica y campo eléctrico", pg. 51.
- Física para Ciencias e Ingeniería con Física Moderna, GIANCOLI, Volumen 8, pg. 1010.
- Física Universitaria con Física Moderna, YOUNG FREEMAN, Volumen 2, pg. 1358.
- Óptica Física, Problemas y ejercicios resueltos, FERNANDO CARREÑO, MIGUEL ÁNGEL ANTÓN, pg. 278.

DIRECCIONES DE INTERNET

- http://www.didactika.com/docentes/files/manual_modellus.pdf
- <http://intercentres.edu.gva.es/iesleonardodavinci/Fisica/Problemas-relatividad/Conceptos-relatividad.pdf>