



Descripción Escenario Educativo Discover the COSMOS

2.12 Micro-lente

Nombre de la Institución: Instituto Astrofísico de Paris

Título de la plantilla del escenario educativo: Escenario KLiC

Título del escenario educativo: Micro-lente

Versión: 1.0

Tema

Esta escenario se basa en la desviación de la luz por los objetos masivos. La luz es emitida por una fuente de fondo (estrella o galaxia) y recibida en la Tierra. En ausencia de desviación, solamente un rayo que se recibe en la Tierra, a lo largo de la dirección a la fuente. Si una masa (la lente) se encuentra entre la Tierra y la fuente, la relatividad indica que los rayos de luz son desviados hacia la Tierra. Si la fuente, la lente y el observador están perfectamente alineados, se verá un círculo luminoso. Si hay una ligera falta de alineación, esta se traducirá en múltiples imágenes, y una luminosidad mejorada de acuerdo con la masa de la lente. Los estudiantes discutirán diversos aspectos geométricos de este fenómeno, los diferentes órdenes de magnitud de la lente, y luego lo aplicarán a un caso de "micro-lente" para inferir la masa de una lente en nuestra galaxia.

Edad del estudiante

17-18 años.

Contenido científico

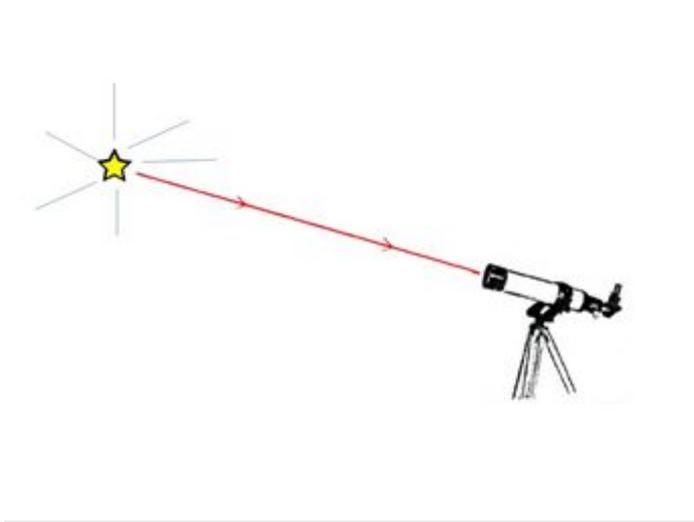
- conocimientos científicos necesarios para el profesor
 - La desviación de la luz

Es bien sabido que los rayos de luz viajan a lo largo de una línea recta. Pero ¿por qué es así?

Cuando brilla una estrella (o cuando brilla la lámpara), emite partículas llamadas fotones en todas las direcciones a su alrededor. La luz que se recibe corresponde al haz de fotones cuyo rastro se acaba en el telescopio o en los ojos. Así que esta es sólo una pequeña parte de todos los fotones emitidos por la fuente.



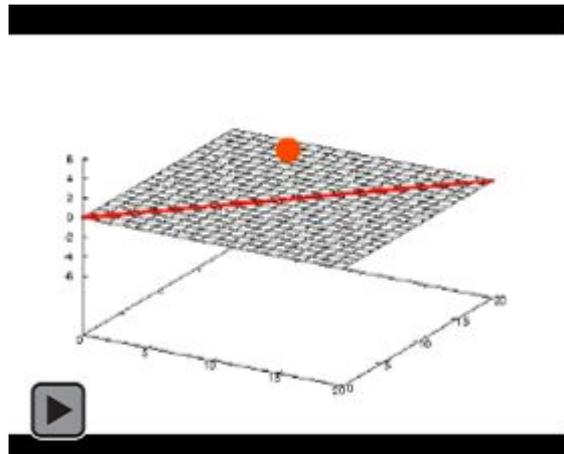
Descripción Escenario Educativo Discover the COSMOS



Esos fotones siempre eligen el camino más corto para ir de un punto a otro (esto se llama la 'línea geodésica') con el fin de minimizar la pérdida de energía. En general, el espacio que nos rodea es descrito como una cuadrícula plana (esta es la "geometría euclidiana"), donde las líneas geodésicas son líneas rectas. Si estuviéramos en una posición especial, donde las partículas se vieron obligadas a permanecer en la superficie de una esfera, entonces las líneas geodésicas serían curvas.

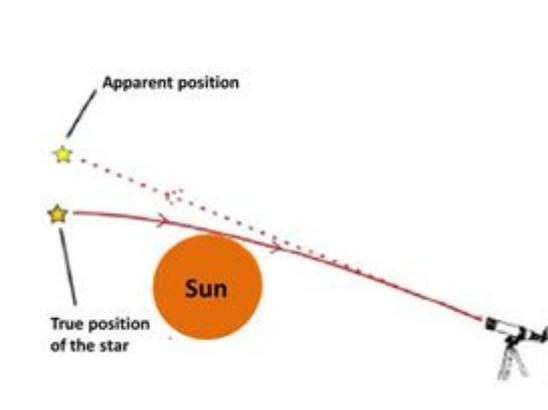
➤ Gravedad

En su teoría de la relatividad general publicada en 1916, Albert Einstein declaró que cualquier objeto con una masa lo suficientemente grande (estrellas o galaxias) puede curvar la geometría del espacio-tiempo. Esto se ilustra en la Figura a la derecha y en la animación. A medida que la gran masa se aproxima al rayo de luz, curva el espacio tiempo (la rejilla horizontal), y desvía la trayectoria del haz. Entonces, la luz no viaja ya a lo largo de una línea recta, sino a lo largo de una línea curva (que es otra vez el camino más corto).





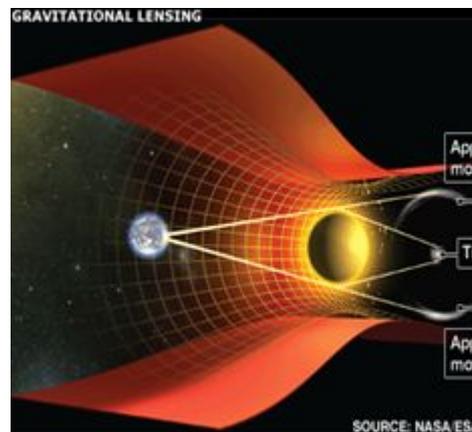
Descripción Escenario Educativo Discover the COSMOS



La primera observación de la desviación de la luz se realizó observando el cambio en la posición de las estrellas al pasar cerca del sol. Las observaciones fueron realizadas en 1919 por Arthur Eddington y sus colaboradores durante un eclipse solar total, se pudieron observar estrellas cercanas al Sol. La luz emitida por la estrella es desviada por el Sol (línea continua sólida en la figura). Así, la imagen de la estrella se observa en un ángulo diferente (línea discontinua)!

➤ Lente gravitacional

El efecto de la lente gravitatoria depende de la masa de la lente. En el caso del eclipse, se llama espejismo gravitacional donde la imagen aparente está sólo está ligeramente desplazada. En caso de una lente gravitacional fuerte, se pueden ver múltiples imágenes desde diferentes trayectorias seguidas por los fotones que terminan en el mismo punto como se ilustra a continuación (imagen izquierda).



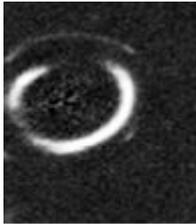
Para observar varias imágenes, la separación angular entre las imágenes debe ser lo suficientemente grande, por lo que la masa de la lente debe ser enorme. Por ejemplo, algunas galaxias a alto corrimiento al rojo (o una distancia muy grande de nuestra galaxia), llamado cuásares, son muy luminosos. Si otra galaxia se encuentra en la misma dirección, es posible que curve la luz emitida por los cuásares. Dennis Walsh y su equipo observaron la primera lente gravitacional en 1979. Observaron dos cuásares (A y B en la figura de arriba a la derecha) con propiedades idénticas (su espectro esencialmente) y concluyeron que se trataba de dos imágenes de la misma galaxia, situada a 8,7 millones de años-luz. La separación se



Descripción Escenario Educativo Discover the COSMOS

observa desde la Tierra es de 6 segundos de arco. Y la galaxia que forma la lente se encuentra a 3,7 mil millones de años luz.

La luminosidad del quásar es entonces mejor cuantos más fotones llegan al telescopio.



Si el quásar está perfectamente alineado con el objetivo, todos los rayos tendrán una curvatura similar alrededor de la galaxia-lente, y terminarán en nuestro telescopio. En tal caso, se observa un aro, llamado el anillo de Einstein. En la imagen de la izquierda, realmente se observan dos anillos, debido a la alineación de tres galaxias!

➤ Micro-lente

Ahora, ¿qué pasa si la curvatura no es tan fuerte como en los casos anteriores? Por ejemplo, consideremos una fuente estrellas alrededor del centro galáctico, a una distancia del orden de unos pocos miles de años luz de nosotros, y otra en el medio, la lente, cuya masa corresponde a la masa de una estrella, mucho menor que la masa de una galaxia!

Esto creará curvaturas de algunos micro-segundos de arco. Estos casos se denominan "micro-lente". No se pueden distinguir múltiples imágenes con la instrumentación actual, pero se puede observar la amplificación de la intensidad luminosa.

Este es el objeto del presente ejercicio.

- requisitos para los estudiantes

Capacidad para trabajar con diferentes unidades y el orden de magnitud

Cierta comprensión de las construcciones geométricas y de la luz

Objetivos del aprendizaje

La actividad de aprendizaje que se propone es importante porque favorece de forma creativa los conocimientos de los alumnos sobre los conceptos de: movimiento, la gravedad y la luz (emisión y recepción) en un contexto inusual de la relatividad general. También desafía la concepción común del espacio y ofrece a los alumnos la oportunidad de poner a prueba su hipótesis científica propia y también para poner a prueba estas hipótesis aplicabilidad en nuevos contextos de aprendizaje.

Al final de la actividad los alumnos serán capaces de mejorar y desarrollar las competencias de:

- Comunicación y relación interpersonal
- Trabajar con diferente orden de magnitud



Descripción Escenario Educativo Discover the COSMOS

- Construcción de una tabla de datos y un gráfico

Pensamiento investigador

- Los estudiantes explican las posibles soluciones
- El profesor proporciona nuevos conceptos y espera que los estudiantes los utilicen
- Los estudiantes deducen nuevos escenarios

Tecnología aplicada

- Salsaj software

Guía para la discusión

A. Discusión preliminar

1. Discusión sobre la luz

- i. Emisión isotrópica
- ii. Los rayos de luz y detección de fotones que llegan a nuestros ojos
- iii. Se puede utilizar dos espejos para crear múltiples imágenes

2. Discusión acerca de la gravedad general de

- i. Explicación de las líneas
- ii. Discutir un anillo de Einstein y / o una imagen múltiple y / o el "eclipse de Eddington"
- iii. Gravedad general como una curvatura del espacio-tiempo.
- iv. Las consecuencias para la luminosidad de la imagen

3. Órdenes de magnitud

- i. Distancia a las galaxias, las estrellas, las unidades de distancia (años luz)
- ii. Separación: el conocimiento de segundo de arco, grados... Comparación entre la separación de imágenes múltiples y los ojos / telescopios resolución angular

B. Aplicación a la micro-lente

1. Mira las diferentes exposiciones (usa Salsaj para abrir todas las imágenes)

- i. Comentarios: ¿existe un fenómeno de lente? ¿qué caso es?
- ii. Evaluar la evolución de la luminosidad como una función del tiempo. La fecha correspondiente a cada exposición y el valor de la luminosidad para una fecha se facilitan en el archivo de Excel.



Descripción Escenario Educativo Discover the COSMOS

- Los estudiantes tienen que decidir qué estrella está afectada por el efecto de lente (probablemente tendrán que hacer un zoom en la región central para verla)
- Hacer clic en el botón  para abrir el panel de

fotometría.

- Introducir manualmente la posición de la estrella (que debe ser 150 para X e Y, a la derecha en el centro de las imágenes) y el radio. El radio debe ser pequeño (alrededor de 2) para centrarse sólo en la luminosidad en torno a la estrella; se puede dejar que los estudiantes elijan radios diferentes y ver si pueden visualizar un efecto.



- Hacer clic en el botón  para iniciar la adquisición de datos. Al hacer clic en una foto, se aparece el valor de la luminosidad en el círculo alrededor de la estrella.
- Introduzca los valores en el archivo de respuesta. La curva de luminosidad se traza automáticamente (si se quiere que los estudiantes aprendan a utilizar una hoja de cálculo, simplemente no darles el archivo de respuesta)

C. Análisis de los datos

Se necesitan diversas fórmulas relacionadas con la geometría de micro-lente y la física. Los estudiantes **no pueden justificar la física necesaria tras dichas fórmulas**, pero pueden deducir los parámetros que intervienen y que a veces puede hacer un análisis dimensional simple.

- Estimación de la duración del evento t_E : es cuando la luminosidad es mayor que 7000 (unidades arbitrarias).
- Se deriva entonces el radio del anillo de Einstein sobre el que actúa la lente: $R_E = \frac{v_L \cdot t_E}{2}$, donde $v_L = 2.10^5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ es la velocidad de la lente (no se puede derivar este valor a partir de los datos solamente, sino que es aproximadamente la velocidad derivada en el ejercicio en "Cómo pesar una galaxia", pero para nuestra galaxia).
- La distancia entre el telescopio y la lente (cuidado: el objetivo no es la estrella, sino otro objeto masivo entre el telescopio y la estrella) se supone que es $d_L = 15.000$



Descripción Escenario Educativo Discover the COSMOS

años luz (la mitad de la distancia al centro de la Vía Láctea).
La estimación del ángulo: en radianes.



Descripción Escenario Educativo Discover the COSMOS

- iv. Finalmente, se calcula la masa de la lente (en kg) usando

donde c es la velocidad de la luz, y G la

$$M_L = \frac{(\theta_E \cdot c)^2 \cdot d_L}{2 \cdot G}$$

constante gravitacional. Debe resultar unos $5,7 \cdot 10^{29}$ kg.

- v. Es posible comparar el resultado con la masa del sol. ¿Es esto coherente?

Nótese que se deriva un parámetro físico de un objeto sin fotones de este objeto!

Hay que tener en cuenta que si hay un planeta que orbita la estrella lente, también se puede producir un aumento de la luz (durante un tiempo más corto); este es un método para detectar planetas extrasolares distantes.