

Simulación simple de la lente gravitacional. Una de las consecuencias de la teoría de la relatividad.

J Falco, I Franceschelli y M Maro
jfalco11@hotmail.com, ignabj@hotmail.com, elpombero@mixmail.com
Introducción a la Ecología - 1er Cuatrimestre 2001
Universidad de San Andrés

Resumen. La lente gravitacional es un fenómeno estelar que ocurre cuando dos o más objetos a diferentes distancias de la Tierra se encuentran en la misma línea de visión en el cielo. De acuerdo a los postulados de la Teoría de la Relatividad, el objeto más cercano a la Tierra produce una alteración en la imagen del objeto más distante. A partir del presente experimento, simulamos este fenómeno al utilizar la base de una copa de vino como lente. La misma produce distorsiones a la imagen que percibimos del objeto que esta detrás de ella. Finalmente, comparamos los resultados de simulación obtenidos, con el efecto de lente gravitacional que ha podido ser registrado con galaxias y cuasares lejanos. Concluimos que la lente utilizada constituye una eficaz y práctica herramienta para simular este complejo efecto, debido a que las distorsiones obtenidas se asemejan a las que ocurren con los cuerpos celestes.

Palabras clave: teoría de la relatividad, lente gravitacional, anillo de Einstein, imágenes múltiples, fuente, lente, observador.

Introducción

La lente gravitacional es un fenómeno celestial que ocurre cuando dos o más objetos a diferentes distancias de la Tierra se encuentran en la misma línea de visión. Básicamente produce que la posición del objeto más distante sea interpretada de forma errónea por el observador¹. Específicamente produce distorsiones y aparentes desplazamientos del objeto más lejano de la Tierra en el alineamiento. Este fenómeno fue anticipado por Einstein en su famoso escrito de 1915, como una de las tres importantes pruebas de la relatividad general.

Mas adelante -en 1936- Einstein mostró que si un observador y dos estrellas se situaban en la misma línea de visión, el observador vería un anillo alrededor de un punto brillante, y no una sola o dos estrellas. Sin embargo, recién 40 años más tarde de la predicción de Einstein el efecto de lente gravitacional fue observado por primera vez.

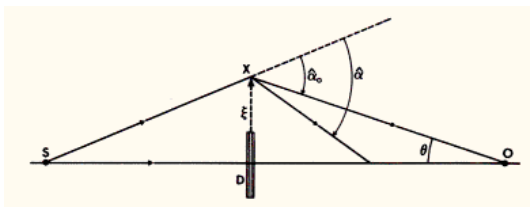


Fig.1. El esquema muestra que de encontrarse el observador (O), el deflector (D) y la fuente (S) alineados, entonces más de una imagen será vista por el observador. [Ref.1]

¹ El efecto no se restringe a la luz visible sino a todo tipo de radiación.

En el presente trabajo nos concentraremos en el efecto de macrolensing -una de las variantes del efecto de la lente gravitacional. El macrolensing ocurre cuando el deflector² es muy masivo y la fuente está muy cercana al mismo. En ese caso, podremos observar el fenómeno de “imágenes múltiples” o incluso el “anillo de Einstein”, conceptos en los que ahondaremos más adelante. Estos fenómenos pudieron ser observados muy recientemente, el primer ejemplo de imagen múltiple fue hallado en 1979, a partir de dos imágenes de un mismo cuasar, por otra parte, el primer ejemplo del anillo de Einstein fue descubierto recién en 1998.

Método experimental

A través del presente experimento nos proponemos realizar un simple simulacro del efecto de lente gravitacional. Simularemos el efecto de un alineamiento observador-lente-fuente en la formación de una imagen.

Para construir la lente (deflector) cortamos la base de una copa de vino que tuviera una simetría cilíndrica tanto en la base como en el tronco. Esta lente simula el efecto de un campo gravitacional de un punto material³ en la luz proveniente de una más distante fuente.

Si bien la lente a usar debería tener un contorno logarítmico, para simular exactamente el efecto, el contorno de la base de la copa de vino es similar y por lo tanto suficiente a los efectos del presente experimento.

Posteriormente procedimos a dibujar puntos negros de diferentes diámetros en una tira de papel blanco. A continuación situamos la lente -la base de la copa de vino- por encima de la tira de papel, y la movimos lentamente a través del punto negro. Fuimos tomando sucesivas fotografías de las deformaciones que sufría el punto negro a medida que se acercaba al centro exacto de la lente.

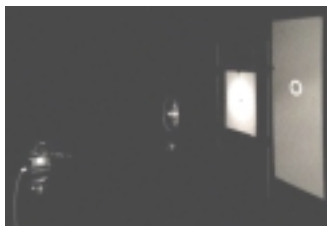


Fig.3. Disposición de los materiales para el estudio de la dependencia del diámetro del anillo. [Ref.3]

Resultados & Discusión

Sobre la base de las fotografías obtenidas de la deformación provocada por la lente sobre el punto negro y las imágenes disponibles en varios sitios de Internet referentes al fenómeno de lente gravitacional, pudimos realizar ciertas comparaciones.

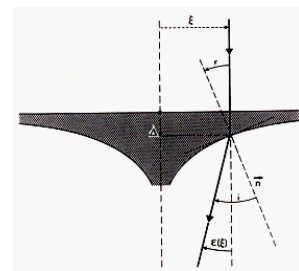


Fig.2. Deflexión de un rayo de luz a través de una lente con simetría axial. [Ref.2]

En segunda instancia, proyectamos un rayo de luz desde su fuente -una lámpara dicróica- a través de la lente hacia una pantalla. De esta forma pudimos estudiar la dependencia existente entre el diámetro del anillo y la distancia entre la lente-pantalla y la fuente-lente.

² Objeto situado entre la fuente de luz y el observador.

³ También existen lentes que posibilitan simular el campo gravitacional de distintos tipos de galaxia.

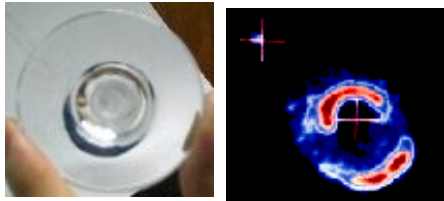
Formación de múltiples imágenes



A la izquierda observamos dos manchas negras – una a cada lado del centro de la lente- que corresponden al mismo punto negro original. En tanto, que en la fotografía de la derecha [Ref.4] observamos dos imágenes que corresponden en realidad a un mismo quasar.

Fig.4. El punto negro se encuentra en el perímetro del centro de la lente.

Formación de arcos



En este caso en ambas fotografías la imagen se distorsiona en mayor grado, formando ya no múltiples imágenes sino arcos. La imagen de la derecha [Ref.5] corresponde también a un quasar.

Fig.5. El punto negro se encuentra cerca del centro exacto de la lente.

Formación del anillo de Einstein



Al ubicar al punto negro exactamente en el centro de la lente queda formado un anillo, consecuencia de la distorsión del punto negro original. Por otra parte observamos a la derecha [Ref.6] el anillo de Einstein producido por la luz de una lejana galaxia que ha sido convertida en un halo por una galaxia más cercana.

Fig.6. El punto negro se encuentra exactamente en el centro de la lente.

En la segunda parte de nuestro experimento, pudimos comprobar una relación directa entre el diámetro del anillo y la distancia lente-pantalla y una relación inversa entre el diámetro del anillo y la distancia fuente-lente. Es decir el diámetro aumentaba a medida que se alejaba la pantalla de la lente y se acercaba la fuente a la lente. Estos mismos resultados han sido obtenidos al estudiar el fenómeno de lente gravitacional en diferentes cuerpos celestes.

Conclusiones

En primera instancia, comprobamos que la lente fabricada verifica tres diferentes tipos de distorsiones observables en el fenómeno celeste: la formación de múltiples imágenes, de arcos y del anillo de Einstein. Además, al igual que ocurre con el efecto de lente gravitacional, la distorsión era mayor al aumentar la alineación de los objetos en cuestión. En segunda instancia, comprobamos la relación directa entre el diámetro del anillo y la distancia lente-pantalla y una relación inversa entre el diámetro del anillo y la distancia fuente-lente, este fenómeno coincide con lo que sucede con el efecto de lente gravitacional.

En definitiva hemos comprobado que una lente fabricada sobre la base de una copa de vino con simetría cilíndrica permite simular con éxito importantes propiedades del efecto de lente gravitacional.

Apéndice

“Lentes gravitacionales: potentes herramientas para la predicción de la expansión o colapso del Universo”

El paradigma del Big Bang

El descubrimiento del corrimiento al rojo de los espectros de la luz provenientes de las galaxias lejanas en 1929 fue el comienzo de la construcción de un nuevo paradigma en la concepción del universo. Precisamente que la luz sufriera un desplazamiento hacia el rojo indica que el objeto que emitía esta luz se estaba alejando de nosotros. Ateniéndonos al efecto Doppler, el corrimiento al rojo indica que las galaxias se alejan de la Tierra; también fue descubierto que lo hacen con mayor velocidad cuanto más lejos están de la misma. Este fenómeno no se restringe a nuestro planeta, en cualquier lugar del Universo observaríamos el mismo fenómeno: en todas las direcciones las galaxias se alejarían de nosotros. Podríamos trazar una analogía entre el Universo y un globo en el cual las galaxias representan puntos en la superficie del mismo, desde cualquiera de estos puntos –al inflar el globo- observaríamos que el resto de los puntos se alejan de nosotros y con mayor velocidad cuanto más lejos se encuentran. Esto significa, que no es que cada galaxia en particular esté retrocediendo desde nuestro punto de vista, sino que el Universo en su conjunto crece y se expande, arrastrando en su expansión a los objetos que lo conforman.

Posteriormente, otros descubrimientos, como la radiación de fondo, vinieron a abonar la teoría de la explosión original del Universo, teoría que recibió el nombre de Big-Bang. Un importante punto a resolver en relación con esta teoría es la determinación de la expansión del Universo. Existen dos posibilidades: o bien que esta expansión se mantenga hasta el infinito o que por el contrario por efecto de la gravedad en determinado momento se detenga y el Universo se contraiga.

La expansión del Universo y la masa crítica

Un Universo abierto se expande para siempre, un Universo cerrado se expande, pero eventualmente se desacelera hasta revertir su dirección y contraerse. Un Universo con la masa crítica es precisamente la frontera entre estos dos escenarios posibles y por lo tanto se expandirá indefinidamente, siempre desacelerando pero nunca lo suficiente como para comenzar a contraerse. Para entender este fenómeno, podemos utilizar el ejemplo de un proyectil que es lanzado hacia el espacio desde la Tierra. Si el mismo alcanza la velocidad de escape, podrá escapar a la atracción gravitatoria de la Tierra y surcar el espacio indefinidamente. En caso contrario –si no alcanzase la velocidad suficiente- simplemente caería a la Tierra. Análogamente, la masa del Universo determinará si el mismo se expandirá indefinidamente, o si se contraerá (dando lugar al fenómeno del big-crunch⁴).

Por otro lado, la determinación de la densidad del Universo, le permitirá a los científicos descubrir la edad del Universo. Una mayor densidad implicará que la velocidad de expansión de las galaxias fue disminuida mucho por la gravedad (mayor desaceleración) y por lo tanto el Universo tendría una menor edad. Por el contrario, una menor densidad, implicaría una menor desaceleración y consecuentemente un Universo más viejo.

Observamos entonces la importante cruzada de los científicos y lo fundamental de la determinación de la masa del Universo para entender sus orígenes y predecir su futuro. Muchas

⁴ Ciclo de sucesivas explosiones y contracciones del Universo, que determinarían una evolución cíclica.

dudas afloran al momento de estudiar esta densidad, pues si bien las observaciones telescópicas muestran que el Universo contiene solo el 1% de la masa crítica, la rotación de las galaxias y el comportamiento de ciertos cúmulos estelares apoyan la moción de la existencia de la materia oscura. Es decir, es probable que exista materia que no puede ser detectada con los presentes instrumentos que poseen los científicos.

Precisamente, el fenómeno de lente gravitacional puede configurarse como una útil herramienta para la determinación de la masa de diversos cuerpos celestes. Cabe recordar, que la evidencia empírica de estos fenómenos es muy reciente (poco más de 20 años) y por lo tanto recién ahora se está comenzando a descubrir el potencial de este fenómeno en la explicación de la estructura del universo.

La contribución de las lentes gravitacionales a la explicación de la estructura del universo

A lo largo del presente trabajo hemos señalado que la naturaleza del efecto de lente gravitacional depende del grado de alineación de los objetos en cuestión, de las distancias entre ellos y de la masividad de los mismos. En este sentido la cantidad de masa del objeto-deflector determina una mayor o menor distorsión de la luz emitida por el objeto-fuente. Un minucioso estudio del efecto de lente gravitacional nos permitirá hallar la masa del objeto-deflector, constituyendo un valioso aporte a la determinación de la densidad del Universo.

Mediante este procedimiento la lente gravitacional posibilita la determinación de la distribución de la materia oscura, la abundancia de agujeros negros supermasivos e incluso la respuesta al interrogante acerca de la expansión del universo.

En 1988 se encontró una lente gravitacional en la cual la imagen de un quasar era cuadruplicada por una masa que no podía ser detectada (materia oscura!). Por otra parte, los científicos se encuentran realizando los primeros intentos para el estudio de la expansión del universo mediante este fenómeno. La tarea consiste básicamente en determinar la velocidad de los dos objetos celestes intervinientes en la lente gravitacional -la fuente y el deflector- mediante el corrimiento al rojo de sus espectros y compararlas con la distancia geométrica entre los mismos (obtenida mediante la medición del ángulo de deflexión de la lente). A partir de este estudio, se puede determinar la densidad de la materia en el espacio, si la misma es alta el universo colapsará, si la misma es baja el universo se expandirá indefinidamente. Los análisis preliminares indican que el universo no posee la masa crítica y por lo tanto se expandiría eternamente.

Referencias

1. M. Falbo y J. Lohre, *Phys. Tea.***34**, 555 (1996).
2. M. Falbo y J. Lohre, *Phys. Tea.***34**, 555 (1996).
3. M. Falbo y J. Lohre, *Phys. Tea.***34**, 555 (1996).
4. [0957+561](http://vela.astro.ulg.ac.be/themes/extragal/gravlens/bibdat/engl/0957.html) <http://vela.astro.ulg.ac.be/themes/extragal/gravlens/bibdat/engl/0957.html>
5. [1654+1346 MG](http://vela.astro.ulg.ac.be/themes/extragal/gravlens/bibdat/engl/1654.html) <http://vela.astro.ulg.ac.be/themes/extragal/gravlens/bibdat/engl/1654.html>
6. <http://abcnews.go.com/sections/science/DailyNews/einstein0330.html>