

LENTES GRAVITACIONALES: “SIMULACIONES CON COPAS”

Rosa M. Ros – Atrévete con el Universo

Como actúan las lentes gravitacionales

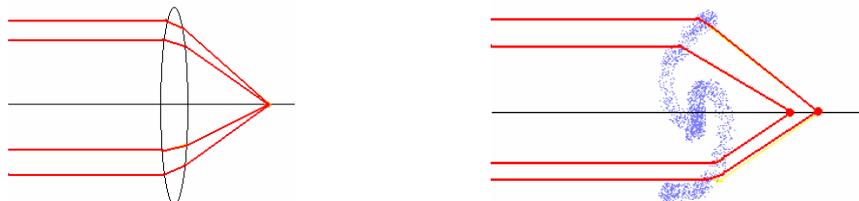
La luz siempre sigue el camino más corto posible entre dos puntos. Pero si una masa esta presente, el espacio se curva, y entonces el camino mas corto posible es una curva como se puede ver en la figuras 1a y 1b. Esta idea no es difícil para los estudiantes. Realmente podemos mostrárselo sobre un globo terrestre. Evidentemente ellos pueden entender que sobre la superficie de la Tierra las distancias entre dos puntos son siempre según una curva.



Figuras 1: Si el espacio es curvo, el camino más corto entre dos puntos es una curva

En general, podemos imaginar las lentes gravitacionales como una lente ordinaria, pero en este caso la desviación de la luz producida por la masa substituye el fenómeno de la refracción de las lentes. La más importante diferencia es que una lente convexa ordinaria tiene un punto focal bien definido y una lente gravitacional no.

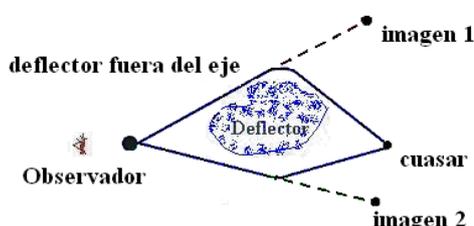
- **Para una lente convexa ordinaria**, la luz próxima al borde de la lente es desviada más que la luz próxima al eje óptico. Así la lente enfoca los rayos paralelos en un punto: el foco (figura 2a).
- **Para una lente gravitacional**, la luz próxima el borde es desviada menos que la luz cerca del centro. Entonces, la lente enfoca la luz en una línea próxima a un punto (figura 2b). Este hecho introduce diversas distorsiones en las imagines que se muestran seguidamente.



Figuras 2a y 2b. Las lentes convexas convencionales enfocan los rayos paralelos de luz hacia un punto: el foco. Las lentes gravitacionales enfocan la luz en una línea en lugar de un punto

Esencialmente las lentes gravitacionales producen una curvatura en los rayos de luz. En consecuencia los objetos parecen estar en un lugar diferente y aparecen magnificados. Como no son lentes perfectas, ya que no tienen un foco puntual, las imágenes que producen están deformadas. Pueden generar arcos brillantes o imágenes múltiples de un objeto. A continuación se clasifican algunos de estos fenómenos.

- **Cambio de posición.** La desviación da lugar a una aparente localización de la estrella, galaxia o cuasar en el cielo. (figura 3)



Figuras 3. Las lentes gravitacionales cambian la situación aparente de la estrella, galaxia o cuasar.

- **Magnificación.** Para una lente normal, la desviación y el enfoque de los rayos de luz afecta el brillo aparente de la estrella o del cuasar del fondo de cielo. Algunos observadores han medido ampliaciones de más de 100 veces. Realmente el deflector actúa como un lente normal.
- **Deformación.** Si la luz del cuerpo desviado es un cúmulo u otro objeto no puntual, las imágenes obtenidas son un conjunto de los arcos del brillo que parecen casi-círculos con más o menos el mismo centro. Si el sistema de lente es perfectamente simétrico, los rayos convergen y la imagen resultante es un anillo (figura 4). Si la luz del cuerpo desviado es una estrella o una fuente puntual, las imágenes obtenidas permanecen como puntos.

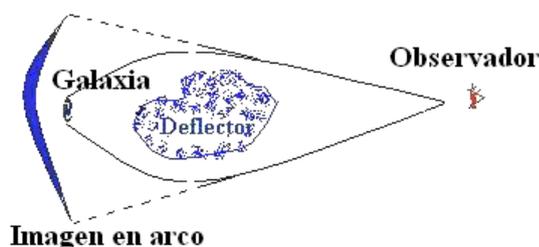


Figura 4: Si el cuerpo desviado es un objeto extendido, las imágenes obtenidas son un conjunto de arcos brillantes que parecen a casi-círculos con más o menos el mismo centro. Si el sistema de lente es perfectamente simétrico, los rayos convergen y la imagen resultante es un anillo.

- **Multiplicación.** Cuando las lentes gravitacionales no son perfectos, los más fuertes pueden producir imágenes múltiples. (figura 5).

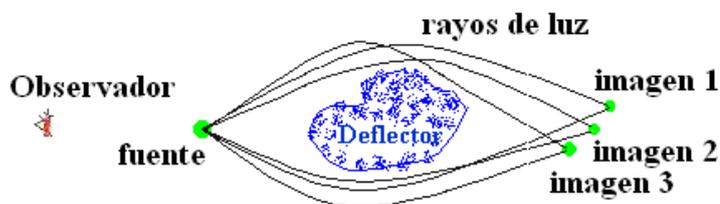


Figura 5. Como las lentes gravitacionales no son perfectas, los más fuertes pueden producir imágenes múltiples.

Algunos de estos efectos pueden repetirse con una simulación. Por ejemplo sugerimos contactar el sitio web:

- Simulación de anillos de Einstein para galaxias simétricas esféricas. Semejante al objeto real "A Bulls-Eye Einstein Ring".
<http://www-ra.phys.utas.edu.au/~jlovell/simlens>
- Simulación de lentes gravitacionales con M33
<http://leo.astronomy.cz/grlens/grl0.html> M33
- Simulación de la Cruz de Einstein. Semejante a la Cruz de Einstein (Q 2237+0305).
<http://www.iam.ubc.ca/~7Enewbury/lenses/lensdemo/demo.ht>.

Algunos ejemplos de observación

- **Cuásares Múltiples.** En 1979 Walsh descubrió el doble cuásar Q0957+561, un doble par de cuásares casi idénticos uno cerca del otro en el cielo. Era prácticamente imposible que fuera una coincidencia. Actualmente, todavía se hacen estas clases de descubrimientos y ellos son la clara prueba de la existencia de lentes gravitacionales. Incluso, hay algunos cuásares que muestran cuatro imágenes y la original (foto 6a).



Figuras 6a Cuásar Múltiple, b Anillo de Einstein, c Arcos luminosos gigantes

- **Anillos de Einstein.** Cuando la galaxia que actúa de lente es esféricamente simétrica, se redistribuye la luz de un cuásar o una galaxia del fondo en un círculo completo. El diámetro del anillo es proporcional a la raíz cuadrada de la masa de deflector. Este es un nuevo método posible para determinar la masa de la galaxia que actúa de lente. En el caso de la foto 6b, la alineación es tan precisa que la galaxia lejana es distorsionada en un anillo gigantesco casi perfecto alrededor de la galaxia próxima, una formación conocida como un anillo de Einstein. El pico brillante en el centro del ojo de buey es la galaxia más cercana (foto 6b).
- **Arcos luminosos gigantes.** Si la lente no es una galaxia sino un grupo entero de galaxias, la imagen puede ser un calidoscopio de arcos y fragmentos de arcos totalmente distorsionados. El grupo es tan masivo y tan compacto que curva y enfoca la luz de galaxias que están detrás. Como resultado, múltiples imágenes de estas galaxias del fondo son distorsionadas en débiles segmentos de arcos. Basado en estas imágenes, los astrónomos procuran reconstruir la distribución masiva dentro del cúmulo. Los resultados implican que los cúmulos están dominados por materia oscura no detectada (foto 6c)).

Actividades

Actividad 1. Simulación de la curvatura del espacio con un pedazo de tela

Es muy sencillo simular la curvatura del espacio determinada por un agujero negro usando un pedazo de tejido y colocando una pelota pesada en el centro. Si lanzamos una pelota mas ligera, su trayectoria seguirá una curva en el espacio simulando la trayectoria del rayo de luz que no sigue una línea recta sino que sigue una curva (figura 7). El grado de esta desviación depende de cuan cerca pase el rayo de luz del cuerpo central y de cuan masivo sea este. El ángulo de desviación es directamente proporcional a la masa e inversamente proporcional a la distancia como se deducirá en el apartado titulado “aproximación geométrica”.

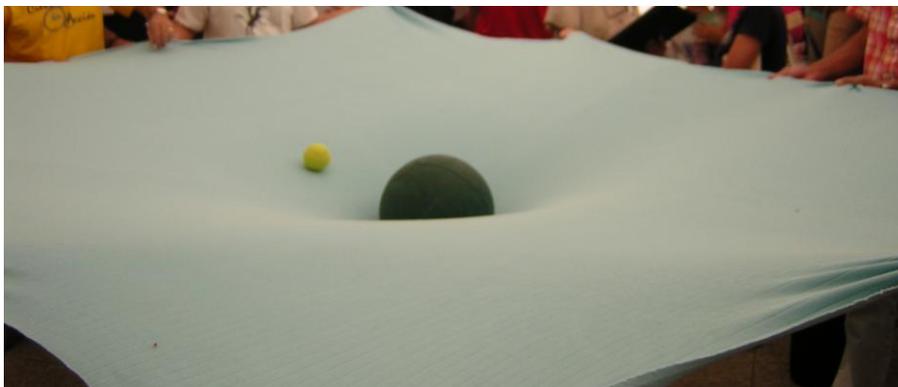


Figura 7. La trayectoria no es en línea recta sino siguiendo una curva.

Actividad 2. Simulación de lente gravitacional con copa de vino.

Podemos simular una lente gravitacional utilizando una copa de vino. Por supuesto una copa de vino no es una lente gravitacional, pero es el modelo sencillo que permite "mostrar como la materia" puede introducir deformaciones en las imágenes observadas.

Es fácil comprobar que esta simulación da lugar a la "deformación del espacio". Basta situar la copa sobre "papel milimetrado" y observar a través de vino blanco (o algún zumo amarillento), podemos ver esta deformación (figura 8a).

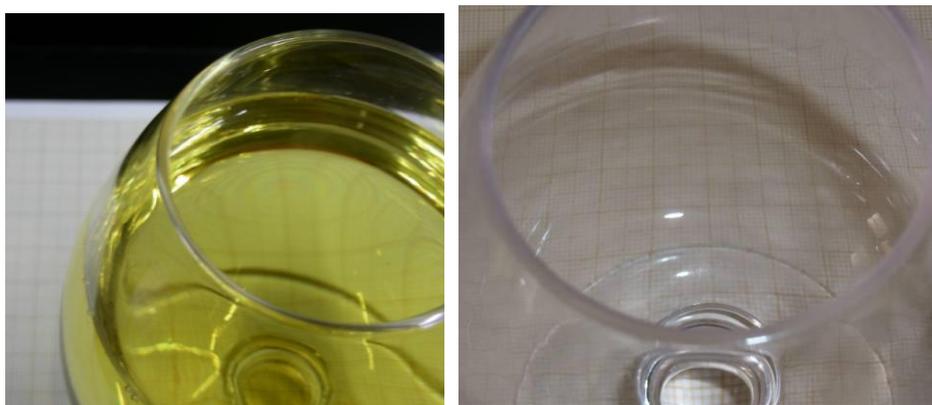


Figura 8. Si ponemos la copa sobre "papel milimetrado" y observamos a través del vino, podemos ver esta deformación. No se observa deformación si la copa colocada sobre el papel milimetrado esta vacía.

Veamos ahora como simular el anillo de Einstein o la multiplicidad de imágenes. Es suficiente tomar una linterna que produce "un rayo de la luz". Situando la linterna al otro lado de la copa de vino tinto para que el rayo de la luz pase a través de ella.

Si observamos la luz, podemos verla y moverla de derecha a izquierda y de arriba a abajo. Observamos que la luz produce imágenes repetidas y en algunos casos algunos arcos. Esto es a consecuencia de que la copa actúa como un lente que "deforma" el espacio. En particular podemos observar a veces un "forma amorfa rara", o un punto rojo brillante, cuatro puntos rojos o un arco entre los puntos rojos (figuras 9).

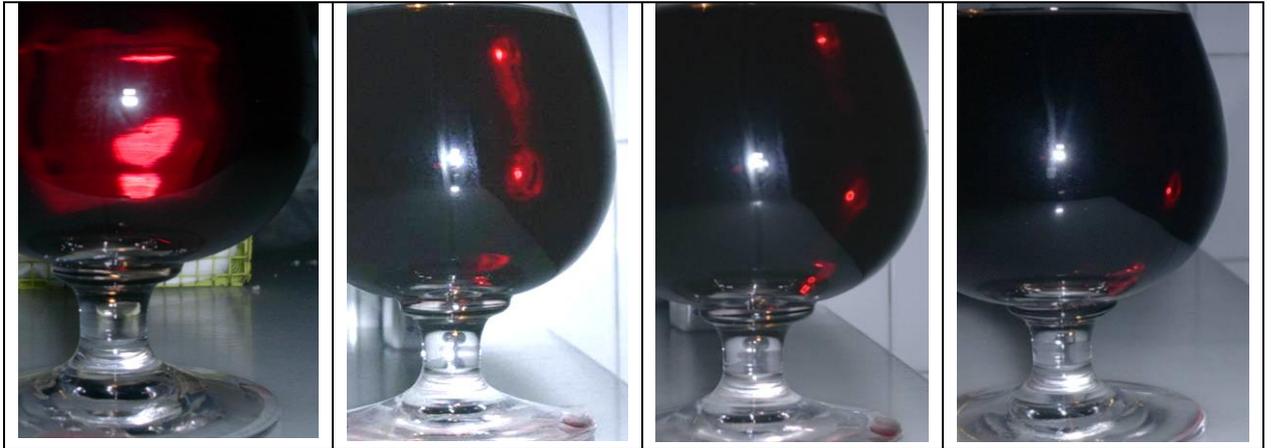


Figura 9: La luz de la linterna esta deformada en una "forma amorfa", en un arco entre los puntos brillantes rojos, en 4 ó 5 puntos rojos brillantes o sólo en un punto.

Actividad 3. Simulación de lente gravitacional con un pie de copa.

Podemos simular la lente mirando a través del "pie de una copa". Este es un objeto fácil de conseguir, basta con cortar el pie de una copa. Si ponemos "el pie de copa" sobre "un papel milimetrado" y observando a través de él, podemos ver esta deformación (Figura 10).



Figura 10. El "pie de copa" sobre una hoja de papel milimetrado muestra la deformación.

Moviendo lentamente de derecha a izquierda el "pie de la copa" sobre un objeto, un círculo rojo, iremos reproduciendo los diferentes objetos reales observados



Figuras 12. El “pie de copa” es un simulador de diversos objetos: segmentos de arco, imágenes de puntos y anillos de Einstein

BIBLIOGRAFÍA

- R.M. Ros, Experiments and exercises involving gravitational lenses, *Proceedings 1st ESO-EAAE Astronomy Summer School*, Barcelona 2007
- R.M. Ros, Gravitational Lenses in the classroom, *Physics Education*, 43, Bristol, 2008
- R.M. Ros, What kind of astronomy should be taught at the beginning of the 21st century? *Proceedings of IAU 1st MEARIM Congress*, Cairo, 2008 (in press)