



Transmedia educativa VIAJEROS DE LAS LUZ

Cuadernillo 4



Albert Einstein ¿qué es la relatividad?

"A veces me pregunto cómo llegué a desarrollar la teoría de la relatividad. La razón, creo, es que un adulto normal nunca se detiene a pensar en problemas de espacio y tiempo. Estas son cosas que se piensan durante la infancia, pero mi desarrollo intelectual se retrasó, y como resultado comencé a plantearme preguntas sobre el espacio y el tiempo cuando ya había crecido". Albert Einstein.

La figura de Albert Einstein es tan conocida, que resultaría difícil aportar algo novedoso a este cuadernillo que complementa a Viajeros de la Luz.

Sus contribuciones a la Física, la síntesis que significó la Teoría de la Relatividad (la Especial, planteada en 1905 y la General, propuesta en 1915), la explicación del fenómeno fotoeléctrico y sin duda alguna la figura misma de este científico, transformado en un ícono, son bien conocidas por todos. Respecto de la relatividad General, podríamos plantear un marco conceptual sencillo. (Figura 1).

Idea	Experimento
Principio de equivalencia entre las masas gravitacional e inercial.	Avance del perihelio de la órbita del planeta Mercurio. Deflexión de la luz estelar por el Sol.
Dilatación del tiempo gravitacional.	Desplazamiento al rojo gravitacional. ¿ El agujero negro ?

Figura 1. Marco Conceptual: la Relatividad General.

Dentro de ese marco, se destacan conceptos que pueden ser verificados, uno de ellos está relacionado con la deflexión de la luz por efecto de la presencia de una masa y el experimento que se propuso estaba relacionado con el Sol, en un eclipse, como se muestra en la figura 2.

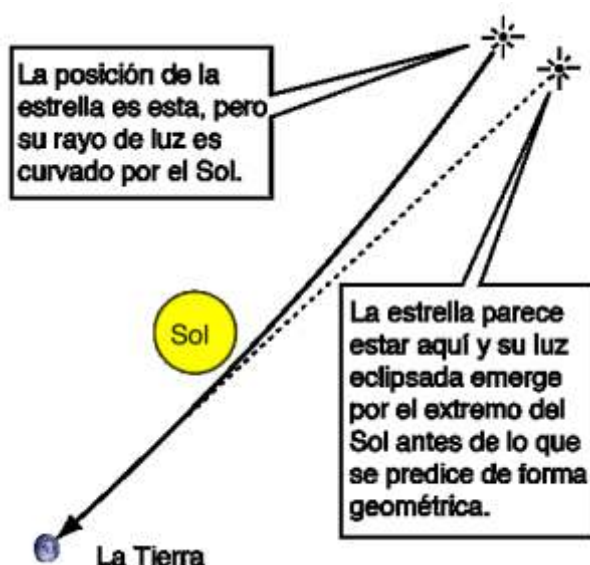


Figura 2. Deflexión de la luz de una estrella por presencia del Sol.

4.1 La Deflexión Gravitatoria de la Luz

Los cálculos de Einstein en su nuevo desarrollo de la Relatividad General, indican que la luz de una estrella, que roce el Sol, debería ser desviada 1,75 segundos de arco. Esto se comprobó durante el eclipse total de 1919, y durante la mayor parte de los que han ocurrido desde entonces.

Si bien en 1919 el grupo liderado por Eddington logró las observaciones que demostraban que la luz se desviaba frente a la presencia de una masa (la del Sol), como consecuencia de la deformación del tejido espacio-temporal del Universo, los intentos por probar la teoría de Einstein se sucedieron a lo largo de varios años.

En todos los intentos anteriores de 1912 (Brasil) (figura 3), 1914 (Crimea, Mar Negro) (figura 4) y Venezuela en 1916 (figura 5), Argentina fue parte de los grupos que, junto con sus instrumentos se trasladaban a los lugares en que, según los cálculos, los eclipses de Sol se darían en las mejores condiciones.



Figura 3. Expedición a Brasil para el eclipse de 1912.

Figura 4. Expedición al Mar Negro, para el eclipse de 1914.





Figura 5. Expedición a Venezuela, para el eclipse de 1916.

Lamentablemente, en todos los intentos anteriores al de 1919, nadie logró adquirir las fotografías que mostraran que los objetos estelares aparecían desplazadas (en una posición aparente) respecto de las coordenadas absolutas que se disponían, es decir, de la posición real del objeto. El desplazamiento en las imágenes era debida a la desviación de la luz de dichas estrellas que se encontraban muy cerca de la posición solar (aunque muchísimo más lejos... por supuesto) y cuya luz se desviaba debido a la deformación del espacio cercano al Sol.

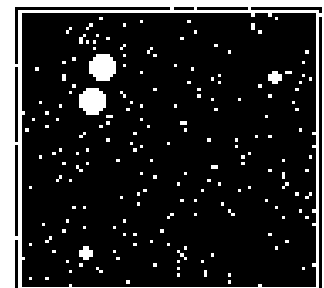
En la Infografía 1, mostramos cuál es la explicación de lo que se observa durante un eclipse total de Sol, al fotografiar a una estrella cercana a su limbo (el borde del Sol).

4.2 Lente gravitacional

Dado que la luz es desviada por un campo de gravedad según la relatividad general, hay una posibilidad de enfocar efectos como la de una lente, cuando hay una gran colección de masa cerca de la trayectoria de la luz hacia nosotros.

Este tipo de objeto se denomina lente gravitacional. Las lentes gravitacionales también producen la deflexión de la luz.

Los dos objetos más brillantes en la figura 5 se interpretan como dos imágenes del mismo quásar, Q0957 + 561.



Sketch of photograph from Blandford, R. D. et al. (see Ref)

Figura 5. Dos imágenes del mismo quasar Q0957 + 561.

Cúmulo de Galaxias 0024 + 1654



El objeto de enfoque es una galaxia gigante interviniendo.

La luz de las galaxias distantes (figura 6) se dobla cuando pasa a través del cúmulo, dividiendo la galaxia en cinco imágenes separadas. Una imagen está cerca del centro de la fotografía, las demás están a las 6, 7, 8, y 2 del reloj. La luz también ha distorsionado la imagen de la galaxia desde una forma espiral normal a un objeto más en forma de arco.

Figura 6. Galaxias distantes. Lente Gravitacional.

Los astrónomos están seguros de que los objetos de color azul son copias de la misma galaxia porque las formas son similares. El cúmulo está a 5 mil millones de años-luz de distancia en la constelación de Piscis y la galaxia de forma azulada está aproximadamente 2 veces más lejos.

Aunque el proceso de flexión de la luz por la gravedad no es nuevo, las imágenes de alta resolución del Hubble revelan estructuras dentro de la galaxia azul que los astrónomos nunca habían visto antes.

Algunas de las estructuras son tan pequeñas como 300 años luz de diámetro. Los bits de color blanco incrustado en la galaxia azul representan las estrellas jóvenes, el núcleo oscuro en el interior del anillo es polvo, el material utilizado para fabricar las estrellas. Esta información, junto con el color azul y la inusual apariencia de "bultos", sugiere una joven galaxia formando estrellas. La foto fue tomada el 14 de octubre 1994 con la Cámara 2 del Planetario de Campo Amplio. Se tomaron exposiciones separadas en longitudes de onda azul y rojo para construir esta imagen en color. Crédito: W.N. Colley and E. Turner (Princeton University), J.A. Tyson (Bell Labs, Lucent Technologies) y la NASA.

En un estudio publicado en la revista *Astrophysical Journal* en febrero de 2006, Adam Bolton y sus colegas del Centro Smithsonian de Harvard para la Astrofísica, describieron 19 galaxias que estaban distorsionando las imágenes de galaxias más distantes que estaban estrechamente alineadas con ellas. Ocho de ellas estaban tan estrechamente alineadas que doblaban la luz de la galaxia distante en un anillo de luz, llamado anillo de Einstein. Las observaciones fueron hechas por el Telescopio Espacial Hubble, dirigido hacia los candidatos probables para lente gravitacional, por el Sloan Digital Sky Survey.

Para una síntesis sobre este tema, ver infografía 2.

ALBERT EINSTEIN

Y la Astronomía

Deflexión de la luz

Albert Einstein predijo que la gravitación del Sol curva sutilmente la malla del espacio y del tiempo.

Los haces de luces en su trayectoria cerca del Sol se curvan, modificando las posiciones de las estrellas que se hallan cerca del borde del Sol.



Eclipse del año 1919

El eclipse total del 29 de mayo de 1919, visible sólo en el hemisferio sur, brindó la primera oportunidad para someter la reveladora previsión a una prueba crucial.

Durante el eclipse, al quedar tapada la luz cegadora de nuestro astro, se ven estrellas en el cielo oscurecido y los astrónomos pueden medir con precisión su posición, constatando que los rayos de luz de las estrellas lejanas y su posición parecen estar desplazados en el cielo. Independientemente de que el Sol esté tapado por la Luna o no, todos los fotones (las partículas de la luz) que pasan por las proximidades de la estrella sienten la atracción de su gigantesca masa y son atraídos. Los rayos de luz de un astro más lejano, en lugar de seguir una trayectoria rectilínea, resultan curvados al pasar cerca del Sol.



Eclipse solar de 1919.



Einstein y Eddington (quien lideró la observación de 1919).



Trayecto del eclipse de 1919 en territorio brasileño.



Infografía 1. Eclipses y curvatura del espacio tiempo.

ALBERT EINSTEIN

Y la Astronomía

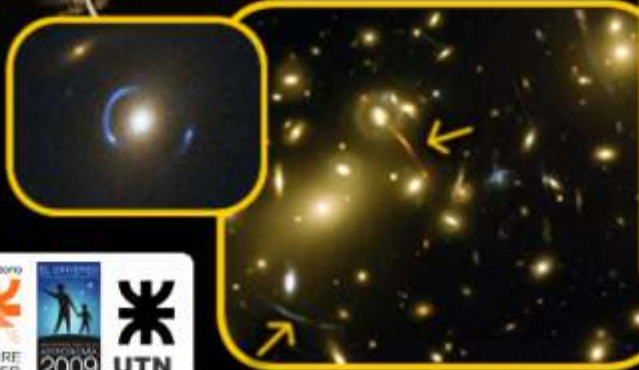
Lentes gravitacionales

Es otro fenómeno relacionado con la deflexión de la luz. Se producen cuando la luz procedente de un astro muy lejano, lo suficientemente brillante, por ejemplo, un cuasar, pasa por las cercanías de un objeto de gran masa que se encuentra justo en la línea de visión desde la Tierra.



Entonces la luz puede curvarse y llegar hasta la Tierra pasando por ambos lados del masivo objeto, que actúa como un lente, de modo que se obtienen dos imágenes del lejano y brillante astro. A veces, el fenómeno se presenta como arcos e incluso anillos.

Una lente gravitacional puede producir varias imágenes de un mismo objeto.



Infografía 2. Lentes Gravitacionales.

Actividades y material complementario

1. Para más información sobre eclipses, recomendamos:

- Paolantonio, S. **Eclipse total de Sol del 2 de julio de 2019: Su visibilidad desde la República Argentina y sugerencias para su observación (2019)**, Obs. Astronómico de Córdoba.
<http://sion.frm.utn.edu.ar/WDEAIII/wp-content/uploads/2019/03/Paolantonio-Eclipse-total-de-Sol-del-2-de-julio-2019.pdf>
- Ros, R., García, B. (2017) **Sol y Eclipses, Actividades prácticas y modelos para el aula**, Ed. CONICET, Programa VoCar.
https://www.conicet.gov.ar/wp-content/uploads/SolyEclipses_cast.pdf

2. Para trabajar sobre el tema “Lentes Gravitacionales”, recomendamos ver las actividades prácticas propuestas en:

- **14 pasos hacia el Universo (2018)**, cap Expansión del Universo, pp 144-145, Ros. R., García, B. Eds. Albedo Full Dome SRL, España.
http://sac.csic.es/astrosecundaria/es/cursos/formato/materiales/libro/libro_14_pasos_final.pdf



PIERRE
AUGER
OBSERVATORIO

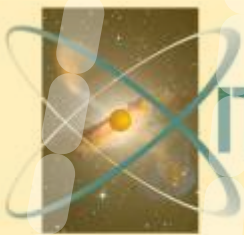


PLANETARIO
MALARGÜE



UNdeC

Universidad Nacional
de Chilecito



ITEDA



CONICET



UNSAM
UNIVERSIDAD
NACIONAL DE
SAN MARTÍN