Las gafas gravitatorias de Einstein

Jon Marcaide

Light bending by gravity results in gravitational lensing of light from remote objects by line-of-sight intervening massive bodies. Through a gravitational lens (usually a massive galaxy or cluster of galaxies) magnified images of background compact bodies (like galaxies or quasars) can be seen. A detailed study of these images yields valuable information about the background body but also invaluable information about the mass distribution in the lensing system. The first gravitational lens was discovered in 1979 by Walsh, Carswell, and Weymann. Since then, with over a hundred gravitational lenses discovered to date, we are well aware that much of the universe as we see is distorted by weak or strong gravitational lensing. Nowadays, we use gravitational lenses as tools for research ranging from cosmology to exoplanets and we study each lensing system in great detail to learn about stars, galaxies, galaxy clusters, and quasars. Since 1979 the harvest has been rich. The seeds for this harvest were planted by Einstein in 1916 and 1936. In this writing, I make a very simple introduction to gravitational lensing and I present the discovery of gravitational lenses in a historical perspective. I also indicate how gravitational lenses can be simulated in the computer and the lab, and I give a few notorious examples of gravitational lensing with impact in various areas of present astrophysical research.

I. La masa curva la trayectoria de los rayos de luz y los anillos de Einstein son posibles

"Lamento deciros que no podréis ver el universo como es, pues las lentes gravitatorias os lo impedirán. Sin embargo, gracias a ellas lo entenderéis mejor". Esta frase la podría haber dicho Einstein en 1916 al presentar su Teoría General de Relatividad si además de genio hubiera sido adivino. En vez de ello, creo que dijo algo sólo en apariencia distinto: "La masa del Sol curva el espacio y la trayectoria de los rayos de luz". Eddington comprobó esta afirmación en 1919, cuando determinó que la posición aparente de una estrella cambia si sus rayos pasan cerca del Sol (para ello utilizó un eclipse, claro). Sin embargo, hubo que esperar 60 años, hasta 1979, para que Walsh, Carswell y Weymann descubrieran la primera lente gravitatoria. Desde entonces se han descubierto un centenar largo. Durante los últimos 25 años nos hemos ido dando cuenta de cómo vemos el universo (algo deformado) a través de estas lentes y cómo ellas nos ayudan a comprenderlo mejor. Las lentes gravitatorias, algunas llamadas con razón *anillos de Einstein*, hubieran fascinado al mismísimo Einstein. Se lo voy a contar...

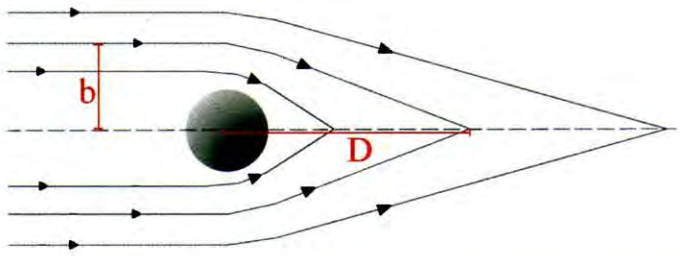


Figura 1. El Sol curva las trayectorias de los rayos de luz de modo inversamente proporcional a los parámetros de impacto, b, y "focaliza" los distintos rayos sobre una línea a distancias *D* que son función de *b*.

Supongamos un conjunto de rayos de luz paralelos que alcanzan al Sol con distintos parámetros de impacto (distancia mínima) con respecto a su centro. Consideremos las trayectorias de los rayos de parámetro de impacto mayor al radio del Sol, ya que los rayos de menor parámetro de impacto se encontrarán con él y se absorberán. Según Einstein y Eddington, las trayectorias se modificarán por acción de la masa del Sol en un ángulo inversamente proporcional al parámetro de impacto. Es fácil visualizar que todos los rayos de ese conjunto que tengan un mismo parámetro de impacto convergerán en un punto (lejano del Sol) que estará sobre una recta que pasa por el centro del Sol y es paralela a la dirección de incidencia de los rayos. Por tanto, todos los rayos, cada uno según su parámetro de impacto, convergerán en un conjunto de puntos situados a lo largo de una recta como indica la figura 1. Es decir, el Sol –y lo mismo daría a estos efectos una masa puntual en su lugar– es una lente un poco peculiar: focaliza los rayos de luz, pero no en un único foco como una lente convergente que modifica la trayectoria de los rayos de modo proporcional al parámetro de impacto (para ángulos pequeños). Lodge, en 1919 y tras conocer las mediciones de Eddington, ya apuntó este efecto de lente peculiar.

Apremiado por Mandl, un ingeniero de origen checo y residente cerca de Washington, Einstein publicó en 1936 un cálculo que mostraba cómo la luz de una estrella lejana (¡pero no en el infinito y por tanto no puntual!) co-alineada con otra a distancia intermedia con respecto a nosotros se podría ver amplificada y su brillo repartido en un anillo, por simetría axial, como se muestra en la figura 2. En 1937, Tíjov publicó cálculos para el caso de estrellas no alineadas. Einstein, conocedor de lo más relevante de la astronomía y de las capacidades técnicas de observación de su época, no

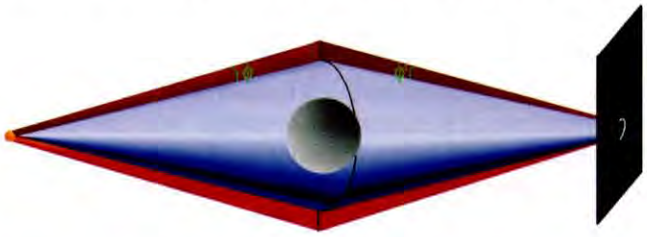


Figura 2. Una estrella desvía la trayectoria de los rayos de otra estrella más lejana de modo que parte de la luz de la estrella lejana se puede observar muy amplificada como un anillo luminoso. La magnificación tiene lugar porque el ángulo del cono diferencial entre las trayectorias de los rayos aumenta por el efecto mostrado en la figura 1.

les vio futuro a tales observaciones. Pero Einstein no podía sospechar lo grande que es el universo, ni conocer la existencia de los cuásares –brillantísimos núcleos de galaxias activas a distancias típicas un millón de veces mayores a las distancias típicas de las estrellas–. [Los cuásares se descubrieron en 1963 y durante más de 20 años fueron un enigma. Se veían como estrellas pero sus espectros estaban muy corridos al rojo (por la expansión del universo)]. Sin embargo y sorprendentemente, el originalísimo y brillantísimo astrónomo Zwicky, que hizo sus estudios universitarios en Suiza como Einstein e investigó luego en los EE.UU., también como Einstein, introdujo las galaxias como lentes gravitatorias y escribió dos artículos en 1937 afirmando: "Si nuestros estimados de las masas de las galaxias son correctos, la probabilidad de que galaxias que hagan de lentes gravitatorias sean encontradas es prácticamente una certeza". Zwicky volvió a hacer afirmaciones en parecidos términos y con más lujo de detalles en su libro "Morphological Astronomy" en 1957, a pesar de que había fracasado en sus búsquedas observacionales. Por fortuna, los cuásares estaban a punto de descubrirse y la radioastronomía estaba en pleno desarrollo... pero faltaban 22 años.

Figura 3. Radiomapa de 0957+561 obtenido con el Very Large Array. Los núcleos brillantes A y B son imágenes del núcleo de un mismo cuasar. La estructura extensa del radio cuasar verdadero se forma en una imagen (componentes C, D, y E), pero no se forma en la otra imagen. La extensión G corresponde a la emisión de la galaxia principal de la lente gravitatoria.

Durante esos 22 años no pasó mucho. Aún así, en 1964 Refsdal publicó dos trabajos académicos interesantes que no tuvieron mucha repercusión entonces. En uno, rehizo y mejoró los cálculos de Tíjov y desarrolló el método para pesar la estrella que hacía de lente a partir del estudio de las imágenes amplificadas que se formaban. En el otro, tomó una galaxia como lente gravitatoria, siguiendo la sugerencia de Zwicky, y consideró una supernova lejana como emisor para desarrollar un método de medir la constante de Hubble (constante de expansión del universo). Como toda supernova tiene emisión uniformemente variable y los caminos ópticos para formar las imágenes serían distintos, un retraso en la llegada de una misma señal entre una imagen y otra podría ser medible, argumentaba Refsdal, y servir para determinar la constante de Hubble y también para pesar la galaxia.

En cambio, en la arena pública sólo el matrimonio Barnothy –ambos de origen húngaro y trabajando en los EE.UU. después de una distinguida carrera en Hungría en la investigación de rayos cósmicos– se dejaba oír, entre sonrisas y comentarios jocosos de otros científicos. Los Barnothy creían ciegamente en la existencia de las lentes gravitatorias y muchas de las cosas que decían resultaron luego ser ciertas. En descargo de quienes no les prestaban la atención debida hay que decir que los Barnothy también defendían con igual pasión otros modelos cosmológicos que no han resultado ser ciertos. Fui testigo de estas situaciones incómodas al comienzo de mi carrera como astrónomo.

II. Descubrimiento de una lente gravitatoria

La situación cambió totalmente de la noche a la mañana en 1979 por la tenacidad de Walsh, un radioastrónomo de Manchester. Walsh y sus colaboradores estaban interesados en los cuásares y llevaban tiempo estudiando una muestra de radiofuentes a 966 MHz. Bastante ajenos a las ideas de lentes gravitatorias, trataban de determinar las posiciones de las radiofuentes con precisión para proceder a sus identificaciones ópticas a partir de sus espectros. [En realidad estaban haciendo algo parecido a lo que hizo Hazard en 1963 con la radiofuente 3C273 y que desembocó en el descubrimiento del primer cuásar.] Curiosamente en esa muestra se encontraron dos pares de radiocuásares. Un par, de separación angular 33 segundos de arco, respondía al nombre de 1038+528 y el otro, de separación 6 segundos de arco, respondía al nombre de 0957+561 (los nombres en sí correspondían a *ascensión recta* + *declinación* de la radiofuente para el año de referencia 1950). La probabilidad de que se dieran estos pares por azar era baja y además sorprendentemente no están muy lejos un par del otro sobre la esfera celeste. Además, ambos pares se podían estudiar con la técnica de interferometría de muy larga base (VLBI) para determinar sus estructuras compactas y sus separaciones angulares con gran precisión, pues eran razonablemente fuertes como emisores y estaban bien alto en el cielo del hemisferio norte. Siendo los radiocuásares del par 1038+528 emisores más fuertes que los del par 0957+561 empecé a trabajar en ese par a finales de 1978 antes de que se midieran sus espectros ópticos, que luego resultaron ser de cuásares de corrimientos al rojo bien distintos. En este caso, el par se debía a una coincidencia fortuita y era muy útil para hacer estudios cosmológicos importantes. En ese momento nadie estudiaba el otro par con la técnica de VLBI. Esto iba a cambiar pronto pues Wash, Carswell y Weymann tomaron espectros de los cuásares del par 0957+561 en Mayo de 1979 y tuvieron problemas para saber qué espectro correspondía a qué quasar, pues eran casi idénticos. Eran tan idénticos que pudieron determinar el corrimiento al rojo de ambos como 1.4136, con precisión en la cuarta cifra decimal. Si encontrar por azar dos cuásares separados por esa distancia angular era difícil, el encontrarlos con el mismo corrimiento al rojo era práctica-

mente imposible. Por tanto, Wash, Carswell y Weymann no tomaron gran riesgo cuando afirmaron que habían descubierto una lente gravitatoria.

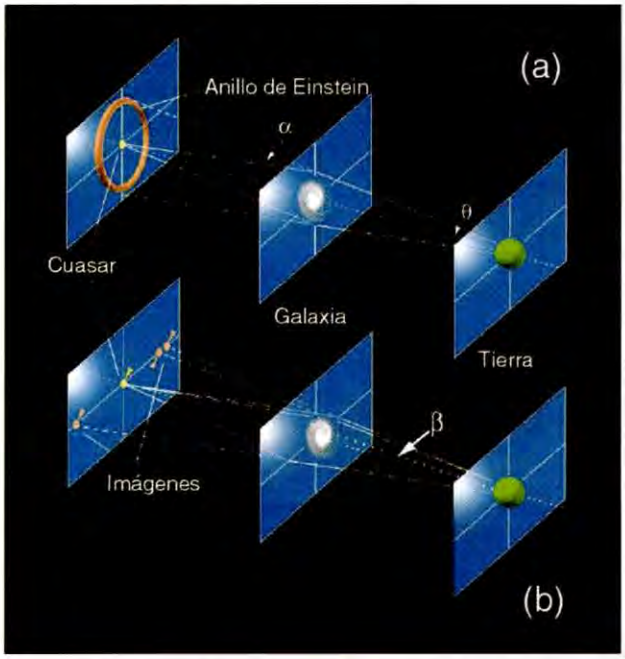


Figura 4. Formación de imágenes de un cuásar por acción de una galaxia que actúa de lente gravitatoria en los casos de simetría axial (a) y no simetría axial (b).

El radiomapa obtenido posteriormente en el VLA por Greenfield, que presento en la figura 3, mostraba los núcleos compactos A y B en las posiciones de los cuásares ópticos. En este mapa el cuásar 0957+561A tenía una radio estructura extensa habitual en otros cuásares y radiogalaxias. El problema era que la componente B no la mostraba. ¿Qué era esa emisión al norte de la componente B? ¿Era emisión del núcleo de la galaxia que hacía de lente y que no estaba alineada con los cuásares A y B? ¿Era la tercera imagen del cuásar? ¿Cuál era la posición del cuásar verdadero? ¿Por qué se veían sólo dos imágenes del cuásar? Volvamos a Einstein y su anillo. Supongamos ahora que la lente gravitatoria es una galaxia y que el objeto emisor al otro lado de la lente es un cuásar como indica la figura 4. Podría formarse un anillo de Einstein si los tres elementos, cuásar, galaxia y observador, estuvieran alineados (caso (a)). ¿Qué sucede cuando la línea del observador-galaxia no pasa por el cuásar, es decir cuando las líneas de visión de la galaxia y del cuásar no coinciden? Es fácil ver, y el caso (b) lo muestra, que la simetría axial ya no existe y el anillo no se puede formar. En vez de ello se forman imágenes individuales.

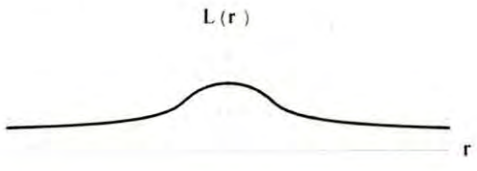


Figura 5. Perfil de la lente de plástico que simula una lente gravitatoria. Ver nota en el texto.

III. Las lentes gravitatorias se pueden simular en el ordenador y también en el laboratorio con lentes de plástico

Estas situaciones se pueden simular en el laboratorio con un emisor no puntual de un cierto brillo superficial y una lente convexa de plástico de un perfil como el mostrado en la figura 5 [no es el perfil correspondiente a una lente convergente sino que tiene una curvatura que simula la característica de la deflexión gravitatoria, es decir, proporcionalidad no directa sino inversa al parámetro de impacto].

En el simulador la situación de alineación dará lugar a un anillo brillante, pero un desplazamiento vertical del emisor (o del observador, si se quiere ver de ese modo) dará lugar a dos imágenes, una encima y otra debajo del centro de la lente (en realidad a tres, estando la tercera muy cerca del centro de la lente y resultando ser muy débil). Si la diferencia entre las líneas de visión es demasiado grande una de las dos imágenes no se formará y la otra imagen se formará prácticamente en la dirección del cuásar real. Estas tres situaciones se muestran en la figura 6. *[En un próximo futuro, Iván Martí-Vidal y yo mismo publicaremos un artículo en esta revista proporcionando todos los elementos necesarios para recrear estas simulaciones con el programa MATHEMATICA y para construir una lente de plástico que permita reproducir estos resultados en un laboratorio de óptica].*

Ahora consideremos el simulador de laboratorio con la geometría alineada del emisor, centro de lente y observador para dar lugar al anillo de Einstein y girémos la lente unos 20 grados, de modo que una parte de la lente aparezca más cercana al observador y otra más lejana. ¿Qué sucede? El anillo se rompe en 4 imágenes (véase 7(a)). Si ahora además se desalinean el emisor y la lente, las posiciones de las imágenes cambian y dos de ellas se juntan o bien tres de ellas se juntan, dejando como antes dos imágenes (véase 7(b)). La figura 7(c) muestra una situación general.

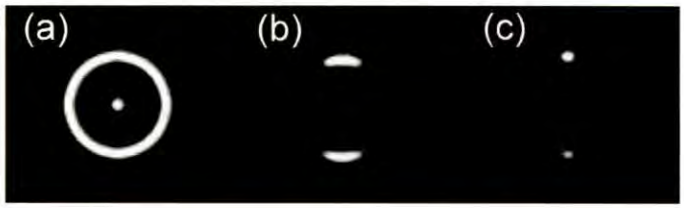


Figura 6. Imágenes obtenidas con un simulador de lente gravitatoria para el caso de simetría axial y ligera desviación de esa simetría axial. Las imágenes corresponden a un objeto de masa equivalente a la masa de la Luna y de diámetro 2cm que actúa como lente gravitatoria.

De hecho, la lente girada simula el efecto de elipticidad en la distribución de masa o el efecto de otras galaxias menores que, junto con la galaxia principal, son parte de un cúmulo y contribuyen a la lente gravitatoria. Stockton detectó la galaxia principal de la lente de 0957+561 en 1980 y Young detectó las galaxias menores de la lente en 1981. La falta de alineación de la galaxia G (véase la figura 3), principal contribuyente a la lente gravitatoria, y de las otras galaxias del cúmulo dan lugar a las imágenes A y B en el mapa de Greenfield. Las componentes extensas C, D y E de la imagen A del cuásar verdadero no se forman para la imagen B. Se puede buscar una situación geométrica que reproduzca la

geometría del par 0957+561A,B en la figura 3. Éste y otros resultados de simulaciones serán presentados por Martí-Vidal y Marcaide en un próximo artículo, como se ha mencionado antes.

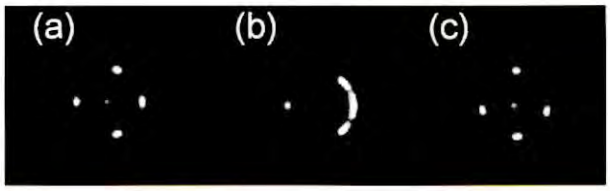


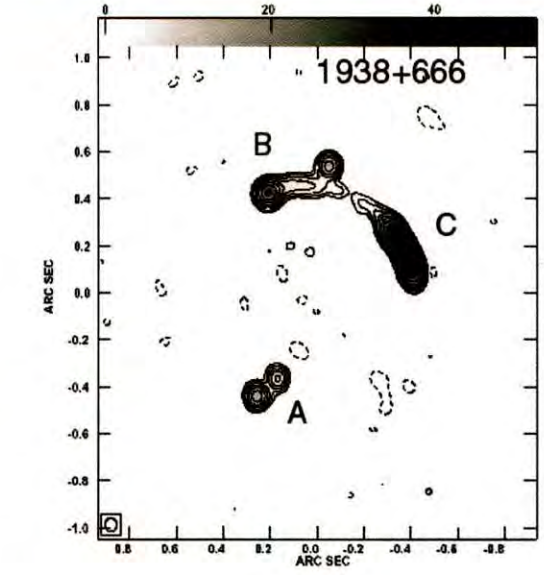
Figura 7. Imágenes obtenidas con un simulador de lente gravitatoria de varios cuerpos masivos y geometría más general que en la figura 6. Véase el texto.

Todas estas configuraciones que aparecen al romper la simetría del anillo de Einstein, y que vemos en la simulación de la figura 7, se dan en la naturaleza entre el centenar largo de lentes gravitatorias que se han descubierto. Las que son casi anillos pero se rompen en cuatro se denominan *quads* (cuádruples). En la figura 8 mostramos dos ejemplos de *quads*. Sin embargo, a veces, vistas con la gran resolución proporcionada por VLBI, se forman hasta 10 imágenes y muchas subimágenes, pero es porque el cuásar original tiene dos o más componentes compactas muy cercanas y se producen todas sus imágenes.

IV. Microlentes y mega-anillos de Einstein

Basándose en el avance técnico que hubo desde 1936 hasta 1964, Refsdal era más optimista que Einstein sobre la posibilidad de observar el efecto lente gravitatoria entre estrellas. De algún modo, la evidencia experimental presente da la razón a ambos. Todavía no se han observado anillos de Einstein estelares (algún día se encontrarán con el avance de la interferometría óptica), pero se han observado variaciones de brillo de unas dos mil estrellas debido al efecto lente gravitatoria. Se ha acuñado el término *microlente* para denotar a estas lentes estelares. Se dan situaciones como la de una estrella lejana (incluso en las Nubes de Magallanes) cuyo brillo se ve aumentar debido a su alineación temporal con otra estrella del halo de nuestra galaxia con respecto al observador o la de una estrella del bulbo de nuestra galaxia cuyo brillo se ve magnificado por estrellas del disco de la galaxia que hacen de lente. La figura 9, publicada por Bond y colaboradores en Abril de 2004, muestra el aumento de brillo de la estrella lejana por el efecto lente. Sin embargo, esta figura es única en otro sentido: no sólo muestra el efecto lente sobre la estrella debido a la estrella más cercana sino también la evidencia de un planeta alrededor de la estrella cercana que hace también de lente gravitatoria, dando lugar a esos cortos pero intensos picos que se pueden observar superpuestos al cambio más gradual del brillo debido al efecto de la estrella. Como se ve en la escala temporal, la alineación fortuita de la estrella lejana con la estrella y planeta cercanos que da lugar al efecto microlente tiene lugar durante unos 3 meses.

Una de las manifestaciones más espectaculares del efecto lente gravitatoria se presenta en la figura 10. En ella, dos cúmulos ricos en galaxias gigantes, Abell2218 y Abell1689, hacen de lente a otras galaxias y cuásares que están más distantes y se ven en el campo de la imagen varios trozos de emisión curvada que corresponden a segmentos de anillos de Einstein gigantescos. Se puede ver en cada una de las imágenes que prácticamente todo el fondo está distorsionado por el efecto lente gravitatoria del cúmulo y aparecen segmentos de arcos, segmentos de anillos de Einstein que dan una impresión circular al campo que se ve en la imagen. Vistas espectralmente, cada una de esas imágenes tiene sus líneas características y por tanto se pueden asociar cada grupo de imágenes a un determinado objeto. De esta manera puede uno determinar la distribución de masa del cúmulo y estimar la masa total. Además, esas imágenes distorsionadas se ven



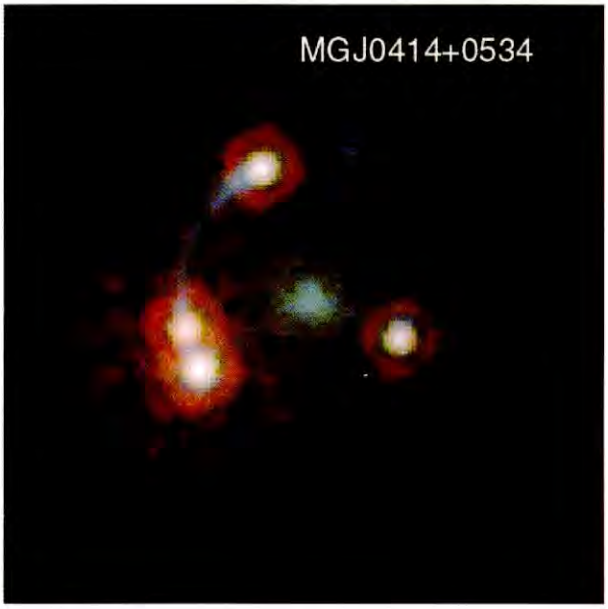


Figura 8. (a) Radiomapa de una lente gravitatoria que muestra cuatro imágenes de un cuásar. Como el cuásar tiene estructura intrínseca compleja (doble) a escalas de segundo de arco, se ven muchas más componentes. Varias imágenes son segmentos de casi-anillos de Einstein. La galaxia que hace de lente gravitatoria no se ve en el radiomapa pues no emite en radio. Obsérvese su parecido básico con la figura 7(b). (b) Imagen obtenida con el Hubble Space Telescope de una lente gravitatoria. Se trata como en el caso (a) de un *quad* con un arco entre dos imágenes. La imagen más tenue en el centro corresponde a la galaxia que hace de lente gravitatoria.

así porque están amplificadas por el efecto lente y quizás algunas incluso no se verían si no hubiera efecto lente. Precisamente este efecto de magnificación de las lentes lo han aprovechado Pelló y colaboradores en 2004 para detectar la galaxia más lejana a nosotros, con corrimiento al rojo de aproximadamente 10, a una distancia a la que todavía no alcanzan nuestros grandes telescopios sin la ayuda de las lentes gravitatorias. La han encontrado tras el cúmulo Abell1835 que amplifica el brillo de la galaxia más de veinte veces.

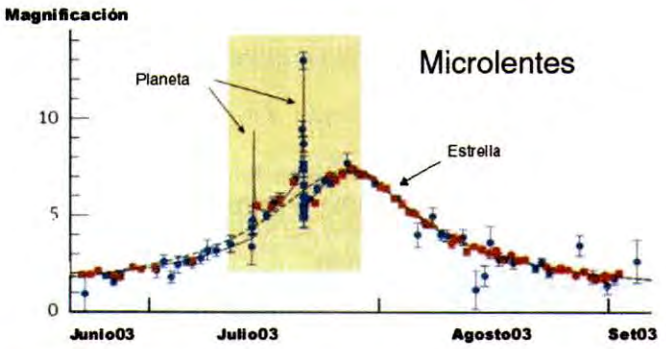


Figura 9. Incremento (magnificación) del brillo de una estrella lejana por el efecto de una lente gravitatoria a distancia intermedia. La lente gravitatoria consta de dos elementos: una estrella y un planeta que dan lugar al incremento suave de escala temporal de meses en el caso de la estrella y a los incrementos repentinos de escala temporal de horas en el caso del planeta, respectivamente.

V. ¿Se podrá medir el movimiento transversal de un cuásar como un todo?

Las lentes gravitatorias también permiten ir más allá en la exploración del cosmos, pues amplifican los movimientos transversales del emisor con respecto a la lente. ¿Podríamos algún día detectar algún movimiento transversal (no interno) de un cuásar? No está fuera de lo concebible y para ello tenemos un programa de observación del *quad* MGJ0414+0534 con VLBI en marcha. La figura 11 muestra la misma lente gravitatoria que la figura 8, pero ahora se muestra el detalle de estructura obtenido con VLBI para cada una de las 4 imágenes del cuásar verdadero. Las separaciones entre las componentes se pueden medir con precisiones de un par de decenas de microsegundos de arco. Con ello se podrían medir en detalle los movimientos internos de las componentes del cuásar en cada una de las imágenes, pero además se podrían obtener cotas al movimiento propio del mismísimo núcleo del cuásar (asociado al agujero negro masivo) comparables a las ya obtenidas para 1038+528 (8 microsegundos de arco por año). Con la amplificación del movimiento por el efecto lente este nivel de precisión podría dar lugar a una detección.

En los primeros años 80, las simetrías que se dan entre la imágenes de VLBI con resoluciones de milisegundos de arco del par 0957+561 sirvieron para confirmar irrefutablemente su naturaleza de lente gravitatoria. Veinticinco años más tarde, estudios comparables de las estructuras de cada imagen formada por las lentes gravitatorias permite afinar mucho el modelado de la distribución de masa de la lente. En estos años, las técnicas de modelado de lentes gravitatorias han mejorado increíblemente y las imágenes de VLBI son cada vez más detalladas. La extensión y tono de este escrito nos ha aconsejado no tratar estos aspectos aquí, de modo que sólo lo apuntamos.

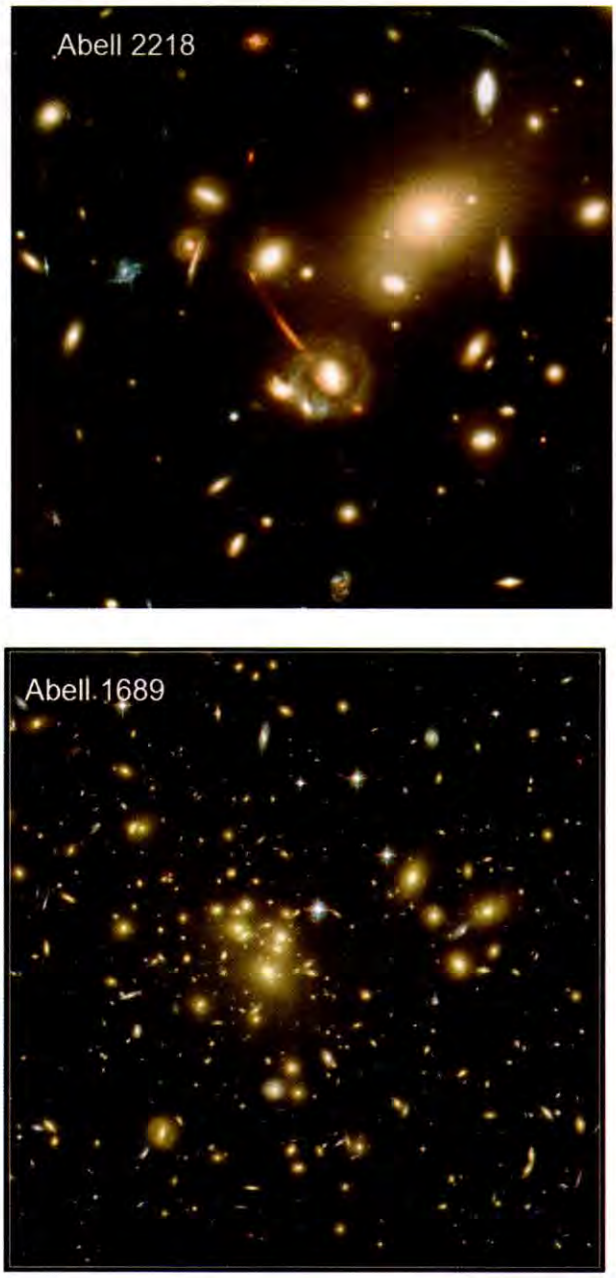


Figura 10. Imágenes obtenidas con el Hubble Space Telescope de dos cúmulos ricos en galaxias gigantes que actúan como inmensas lentes gravitatorias y dan lugar a innumerables imágenes de galaxias y cuásares más lejanos distorsionando todo el fondo. Estas imágenes tienen formas de arcos y se ven por todo el campo de la imagen dando una impresión de circularidad.

En definitiva, los logros intelectuales de Einstein han tenido consecuencias inimaginables incluso para un genio como él. El universo es más rico y variado de lo que cada generación de astrónomos ha imaginado. Las lentes gravitatorias son comunes y aparecen en todas sus formas y variantes. Ellas nos distorsionan sin remedio nuestra visión de ciertos confines del universo y a la vez nos ayudan a escrutar esos confines. La astronomía se caracteriza por hacer de cada objeto de estudio una herramienta para estudiar otros aspectos del universo. Las lentes gravitatorias no podían escapar a esa regla: son importantes objetos de estudio y, a

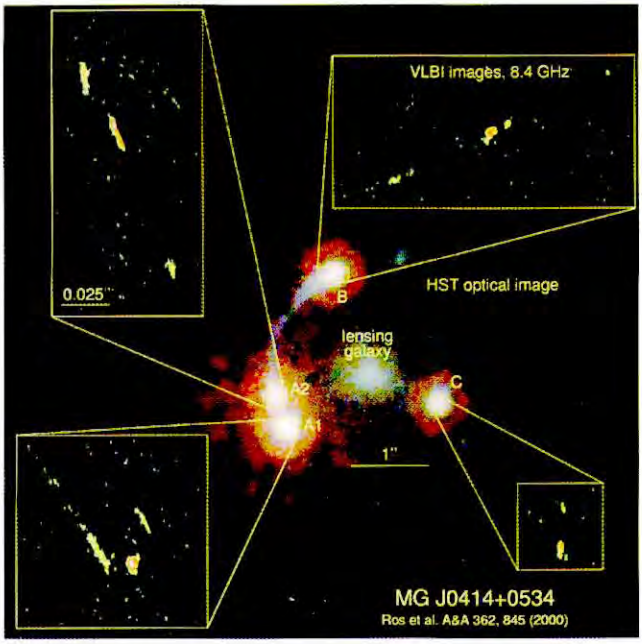


Figura 11. En cada rectángulo se muestra un radiomapa de resolución de mili-segundo de arco (mil veces superior a la resolución de las imágenes en el visible) obtenido con VLBI para cada una de las imágenes de la lente gravitatoria MGJ0414+0534.

su vez, importantes herramientas para conocer otros aspectos del cosmos.

Quiero agradecer a Iván Martí-Vidal su ayuda en la preparación de varias de las figuras incluídas en este escrito.

Bibliografía

[1] EINSTEIN, A., 1936, *Science*, **84**, 506.
[2] SCHNEIDER, P., EHLERS, J., FALCO, E.E., 1999, Gravitational Lenses, Springer Verlag, Berlin, 2nd Edition.
[3] BARNOTHY, J.M., 1989, en Gravitational Lenses, Editores Moran, J.M., Hewitt, J.N, and Lo, K.Y., Springer Verlag, Berlin, p. 23-27.
[4] REFSDAL, S., 1964, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, **128**, 295.
[5] REFSDAL, S., 1964, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, **128**, 307.
[6] WALSH, D., CARSWELL, R.F., WEYMANN, R.J., 1979, *Nature*, **279**, 381.
[7] BOND, I.A. *et al.*, 2004, Astrophysical Journal, 606, L155.
[8] PELLÓ, R. *et al.*, 2004, Astronomy and Astrophysics, 416, 35.
[9] http://cfa-www.harvard.edu/castles.
[10] http://www.jb.man.ac.uk/research/gravlens/lensarch/lens.html.
[11] http://www.uv.es/radioastronomia/lentesgrav.

Jon Marcaide
está en la Universidad de Valencia

EUSO

OLIMPIADA CIENTIFICA EUROPEA

Las Reales Sociedades de Física, de Química, y ANQUE, convocan a todos los alumnos de los Centros de Educación Secundaria, a participar en la Olimpiada Cientifica Europea 2006 (EUSO 2006).

¿Qué es la EUSO? Una competición europea entre equipos de alumnos de PRIMERO DE BACHILLERATO sobre trabajos experimentales de Física, Química y Biología. Véase www.euso.dcu.ie.

¿Quién puede participar? Todos los alumnos de Primero de Bachillerato (nacidos con posterioridad al 31/12/1988) en grupos de tres, preparados por un profesor del área de ciencias, con interés en las experiencias científicas de laboratorio (Física, Química y Biología).

¿Cómo registrarse? La edición del 2006 requiere la inscripción de los equipos enviando el impreso de inscripción disponible en rsef@rsef.org antes del 1° de Diciembre 2005.

Los equipos registrados recibirán instrucciones del tipo de pruebas a realizar en el laboratorio de su centro. El informe de los resultados debe ser remitido por correo a Reales Sociedades de Física y de Química (Facultad de Química, Ciudad Universitaria, 28040 Madrid) antes las 12.00 h del 15 de Enero 2006. Los envios llegados después de esta hora no serán considerados válidos.

¿Quién gana? Un jurado multidisciplinar seleccionará 10 equipos con los mejores resultados. Cada uno de estos equipo obtendrá tres premios de 380 € cada uno (uno por alumno) dotado por el MEC, un diploma acreditativo y derecho a participar, junto con su professor, en una segunda fase nacional durante el mes de Febrero 2006.

¿Quién representará a España en la EUSO 2006? La competición de los 10 equipos ganadores permitirá seleccionar los 2 equipos de 3 alumnos cada uno que representarán a España en la EUSO 2006 que se celebrará en Bruselas en Abril 2006 (www.euso.be). Estos equipos recibirán un premio adicional de 750 € por alumno y los gastos de desplazamiento a la competición europea. Cada equipo de tres alumnos podrá ser acompañado a la competición europea por su profesor preparador, en calidad de mentor (Para conocer las obligaciones de los mentores véase artículo 5.5 del reglamento: www.euso.dcu.ie/constitution.html). El professor-mentor tendrá cubiertos los gastos de desplazamiento.