

Observación de lentes gravitatorias con ALMA

A. Bonilla^{1a}, O. Toloza^a, I. Fuentes^a, V. Motta^a

^a*Departamento de Física y Astronomía, Facultad de Ciencias, Universidad de Valparaíso, Valparaíso, Chile.*

Abstract

Gravitational lensing is a fundamental tool for cosmology. A recent instrument which will provide more information for models of these objects is ALMA. Our goal is to select lens candidates to observe with ALMA and then model them using GravLens Software. We had selected 12 quadruple images systems from the CASTLES database, which show a high probability of observing extended sources in the submillimetric range. These new data will allow us to improve existing models.

Resumen

Las lentes gravitatorias son una herramienta fundamental para la cosmología. Un nuevo instrumento que nos proporcionará mayor información para los modelos de estos objetos, es ALMA. Nuestro objetivo es seleccionar lentes candidatas para observar con ALMA y posteriormente modelarlas mediante el programa *GravLens*. Seleccionamos de la base de datos de CASTLES 12 sistemas cuádruples, los cuales tienen mayor probabilidad de observar fuentes extendidas en el rango submilimétrico. Estos nuevos datos nos permitirán mejorar los modelos existentes para dichos sistemas.

Keywords: Lentes gravitatorias, ALMA, submilimétrico.

2011 MSC: 00-01, 99-00

1. Introduction

El efecto lente gravitatoria se produce cuando la luz de un objeto distante (fuente) se desvía, debido a una distribución de masa (lente), produciendo imágenes de la fuente [2]. Uno de los instrumentos que nos proporcionará mayor información sobre estos sistemas es el *Atacama Large Millimeter/submillimeter Array* (ALMA) [5]. Actualmente, en el ciclo cero se encuentran operativas 12 antenas para las configuraciones compacta y extendida con receptores cuyas bandas disponibles son las denominadas 3, 6, 7 y 9, que cubren un rango de frecuencia de 84-720 GHz (MANUAL) [6].

2. Marco teórico del efecto lente

Utilizando el esquema de la **figura 1** puede deducirse la ecuación de la lente:

¹alex.acidjazz@gmail.com

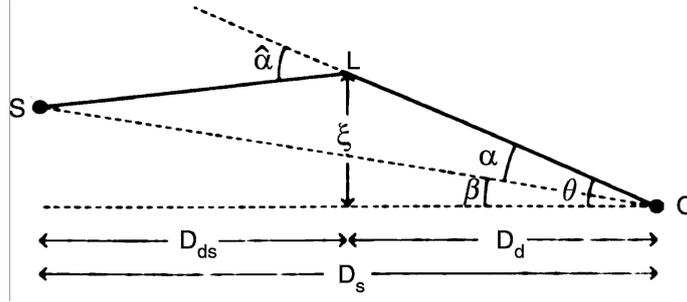


Figure 1: Aproximación geométrica del sistema lente para ángulos pequeños. D_d , D_s y D_{ds} son la distancias a la lente, a la fuente, y la distancia lente-fuente, respectivamente.

$$\beta = \theta - \alpha(\theta). \quad (1)$$

Esta ecuación relaciona la posición real de la fuente (β) con la posición de la imagen (θ) y el ángulo de deflexión escalado (α). Se definen *densidad de masa superficial* y *densidad de masa superficial crítica* como:

$$\Sigma \equiv \int \rho(r) dr, \quad \Sigma_{crit} = \frac{c^2}{4\pi G} \frac{D_s}{D_d D_{ds}}, \quad (2)$$

donde D_s , D_d y D_{ds} son las distancias a la fuente, a la lente y entre la fuente y la lente respectivamente (ver Schneider, 2006, 122) [3]. Para calcular estas distancias usamos el modelo cosmológico “*Lambda Cold Dark Matter*”, (ΛCDM), cuyos parámetros son $\Omega_m \approx 0.28$, $\Omega_\Lambda \approx 0.72$, $\Omega_k \approx 0$.

La curva crítica corresponde a la región donde la magnificación de las imágenes es máxima y la curva cáustica corresponde al mapeo de tal curva crítica por medio de la ecuación de la lente. La formación de las imágenes depende de la posición de la fuente respecto a la curva cáustica. Se observan 2 ó 4 imágenes si la fuente se encuentra fuera o dentro de la cáustica, respectivamente (ver **figura 2**). Cuando observamos un sistema cuádruple formando arcos es debido a que las regiones externas de una fuente extensa se encuentran sobre la cáustica.

Ejemplo de generación de arcos es el sistema mostrado en la **figura 3**. Se observa una fuente extendida que cubre parte de la cáustica (blob) dando origen a dos imágenes y un arco, además un sistema puntual (QSO) situado fuera de la cáustica el cual genera dos imágenes puntuales.

3. Modelado de sistemas lentes gravitatorias

Para modelar el sistema usaremos *GravLens Software Package v1.07* [7] con un perfil de distribución de masa Elipsoide Singular Isothermo. Este perfil se describe por la densidad de masa ρ y la dispersión de velocidad σ_v las cuales están relacionadas por:

$$\rho(r) = \frac{\sigma_v}{2\pi G r^2}, \quad \Sigma(\xi) = \frac{\sigma_v^2}{2G} \xi^{-1}, \quad (3)$$

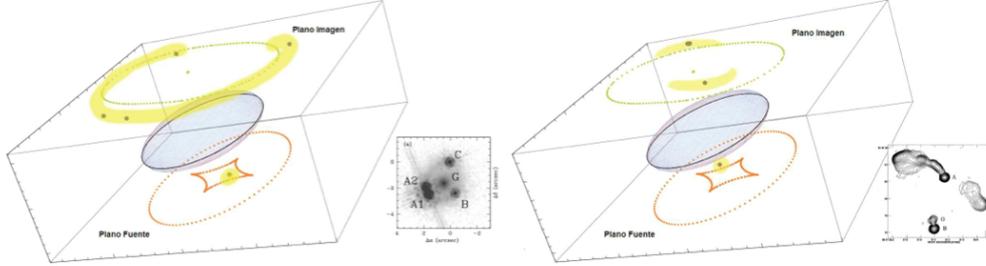


Figure 2: Esquema de las posiciones de las imágenes con respecto al plano de la lente (verde) y su correspondiente mapeo en el plano de la fuente (naranja). Las fuentes extendidas y puntuales se muestran en amarillo y azul, respectivamente. *Izquierda*: Sistema de 4 imágenes formado cuando la fuente se encuentra dentro de la cáustica. *Derecha*: Sistema de 2 imágenes formado cuando la fuente se encuentra fuera de la cáustica.

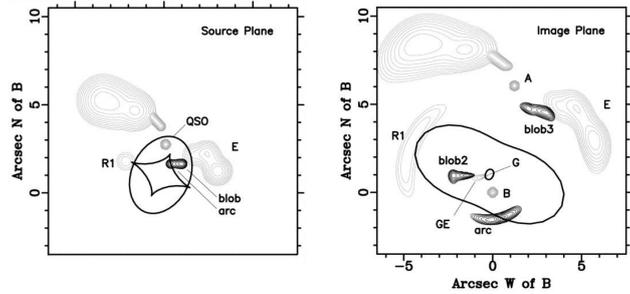


Figure 3: Representación del plano de la fuente (izquierda) y de la imagen (derecha) de QSO 0957+561. Se muestran las curvas cáusticas y críticas en cada plano, y la verdadera posición de la fuente modelado con *GravLens*. También se observa un lóbulo extendido y un radio jet (Wucknitz, 2007) [4].

donde $\Sigma(\xi)$ es la masa proyectada y ξ es el parámetro de impacto (**figura 1**). Los parámetros de entrada de *GravLens* (Keeton, 2002) [1] corresponden: orientación, posición y elipticidad de la lente, y las posiciones de las imágenes. Como resultado el programa entrega: la distorsión y su orientación, la dispersión de velocidad y la posición de la fuente. Un sistema cuádruple en el óptico, con emisión extensa en radio, generará más datos de entrada para el modelo. Además, a menor frecuencia la señal de las observaciones mejorará debido a que los efectos de extinción del polvo y microlente son despreciables.

4. Proyecciones con ALMA

Usando la base de datos de CASTLES [8], encontramos 54 lentes observables con ALMA. En base al corrimiento al rojo de la fuente estimamos la frecuencia a la cual emitiría el ^{12}CO para sus diferentes transiciones. Con esta muestra seleccionamos los sistemas con 4 imágenes de la fuente en el óptico (ver **tabla 1**), ya que estos sistemas presentan una alta probabilidad de formar arcos en el submilimétrico.

De las bandas disponibles en el ciclo 0 es necesario utilizar dos de ellas para la observación de los

n lente	Nombre	Banda	Z_{lente}	Z_{fuente}
10	HE0230-2130	6,7	2.162	0.52
14	MG0414+0534	6	2.64	0.96
15	HE0435-1223	6,7	1.689	0.46
29	RXJ0911+0551	6	2.80	0.77
32	SDSS0924+0219	6,7	1.524	0.39
47	PG1115+080	6,7	1.72	0.31
49	RXJ1131-1231	7	0.658	0.295
51	SDSS1138+0314	6	2.44	0.45
84	PMNJ1838-3427	6	2.51	0.89
89	MG2016+112	6	3.27	1.01
91	WFI2033-4723	6,7	1.66	0.66
98	Q2237+030	6,7	1.69	0.04

Table 1: Lentes candidatas a observar con ALMA.

sistemas listados en la **tabla 1**, debido a que la frecuencia de emisión del ^{12}CO para los sistemas coinciden sólo con tales bandas. Información de ellas se detalla en la **tabla 2**.

Banda	Rango de frecuencia (GHz)	Resolución angular ($''$)	Campo de visión ($''$)
6	211-275	0.68	27
7	275-373	0.45	18

Table 2: Detalle de las bandas 6 y 7 de la configuración extendida de ALMA.

5. Conclusiones

De los sistemas lentes observables con ALMA seleccionamos 12 sistemas cúadruples, los cuales presentan una alta probabilidad de que sean fuentes extendidas en el submilimétrico, dada la certeza de que se encuentran dentro de la cáustica. Estas estructuras nos proveerían de más datos para mejorar los modelos actuales.

Agradecimientos

A. Bonilla, O. Toloza, I. Fuentes agradecen el financiamiento de la SOCHIAS a través del proyecto Gemini-CONICYT 32100009 y al proyecto FONDECYT 1090673. V. Motta agradece el financiamiento del proyecto FONDECYT 1090673.

References

- [1] C. Keeton. arXiv:astro-ph/0102341v2.
- [2] S. Refsdal. MNRAS, 128:295-306, 1964
- [3] P. Schneider. Extragalactic Astronomy and Cosmology an Introduction. Springer, Berlin Heidelberg, 2006
- [4] O. Wucknitz. arXiv:astro-ph/0709.4005v1.
- [5] ALMA: <http://almascience.eso.org/>.

- [6] MANUAL: <http://almatelescope.ca/ALMA ESPrimer.pdf>.
- [7] GravLens: <http://redfive.rutgers.edu/~keeton/gravlens/>.
- [8] CASTLES: <http://www.cfa.harvard.edu/castles/>.