

# Lentes gravitacionales en astrofísica y cosmología

## Actividad Práctica 4

### 1. Sesión eficaz

- i) Obtenga la sesión eficaz de una lente puntual para magnificaciones superiores a 10.
- ii) Obtenga la sesión eficaz de una lente puntual para un *shift* astrométrico superior a 10 mas.
- iii) Extra: ¿Si en lugar de usar una **magnificación umbral**,  $\mu_T$ , como criterio de detección, eligiéramos un dado valor umbral de la razón señal ruido ( $S/N$ ),  $R_T$ , cómo se obtendría la sesión eficaz?

Aquí, definamos como  $S/N$  como la significancia del pico de la curva de luz. O sea, dado el valor de la magnitud en el máximo  $m_{\max}$  (que ocurre en  $u = u_{\min}$ ) y su error  $\Delta m_{\max}$  y dado el valor de la línea de base (fuente sin magnificación)  $m_0$ , definimos

$$R = \frac{m_0 - m_{\max}}{\Delta m_{\max}}. \quad (1)$$

Obtener la sección eficaz para  $R > R_T$ . Esa sección eficaz dependerá ahora solamente de  $u_T$  o tendrá una dependencia en otras variables?

Si midiéramos el flujo de la fuente y su error, como eso se relaciona con el error en la magnitud ¿cómo quedaría la sección eficaz expresada en términos del flujo y su error?

iv) Extra: Si estamos en situaciones en que el efecto de fuente finita es importante, ¿cómo se obtendría la sección eficaz para una magnificación de corte  $\mu_T$ ?

### 2. Profundidad óptica en el halo de la Vía Láctea

Calcular la profundidad óptica de microlensing para fuentes en la Gran Nube de Magallanes (LMC), suponiendo que toda la materia oscura está en la forma de objetos puntuales que generan microlensing observable con un umbral de magnificación de  $\mu_T \simeq 1.34$ . Usar que la

distancia de la Tierra a LMC es 55 kpc y que su posición en coordenadas galácticas es  $(\ell, b) = (-32^\circ, 281^\circ)$ .

Consideren dos modelos esféricos para la distribución de masa en el halo de la galaxia:

i) Perfil isoterma y no singular dado por

$$\rho_{isot}(R) = \rho_\odot \frac{R_{Sol}^2 + R_C^2}{R_C^2 + R^2}, \quad (2)$$

con  $\rho_\odot = 0.0097 M_\odot \text{pc}^{-3}$ ,  $R_C = 5 \text{kpc}$ ,  $R_{Sol} = 8.5 \text{kpc}$  (distancia del Sol al centro de la galaxia).

ii) Perfil de Navarro-Frenk-White (NFW), dado por

$$\rho_{NFW}(R) = \frac{\rho_0}{\frac{R}{R_s} \left(1 + \frac{R}{R_s}\right)^2}, \quad (3)$$

con  $R_s = 21.5 \text{kpc}$  y  $\rho_0 = 4.88 \times 10^6 M_\odot \text{kpc}^3$ .

Observación: si así lo desean, la respuesta puede estar sólo en formato de código donde se calcula lo que se pide. En ese caso, pegar el código y el resultado de su ejecución a la respuesta o, alternativamente, poner un link al código.

### 3. Tasa de eventos y límites a la fracción de materia oscura

Considere el modelo de halo de materia oscura isoterma y no singular del ítem anterior, con los mismos parámetros. Considere que la distribución de velocidades de la materia oscura en la galaxia es dada por una distribución de Maxwell con  $v_c = 220 \text{ km/s}$ .

i) Calcule la tasa de eventos para fuentes en la Gran Nube de Magallanes, suponiendo que toda la materia oscura está en la forma de objetos puntuales de masa  $M$ . Mostrar la tasa en función del tiempo característico para varios valores de  $M$ .

ii) Vamos a considerar una situación observacional en la que se puede aproximar la eficiencia como siendo nula para tiempos característicos menores a un día y mayores que 400 días y que es 100% para eventos entre 1 y 400 días. También vamos a suponer que se siguieron  $10^8$  estrellas durante 2 años. Bajo esas condiciones, y suponiendo toda la materia oscura está en la forma de objetos puntuales de masa  $M$  ¿cuál es el número esperado de eventos en función de  $M$ ?

iii) Suponiendo que no se observó ningún evento que no esté asociado a alguna lente detectada (por ejemplo una estrella), ¿qué límites esa observación impondría sobre la fracción  $f$  de la materia oscura que estaría compuesta de objetos puntuales de masa  $M$ ? ¿Y si se detectaran 10 o 100 eventos no asociados a una lente detectada, qué límites eso impondría en  $f$ ?

*Tip:* adaptar el notebook que está en

[https://github.com/CosmoObs/FoF\\_lensing\\_2022/blob/main/MicroLensing/FoF-Microlensing\\_%26\\_Dark\\_Matter.ipynb](https://github.com/CosmoObs/FoF_lensing_2022/blob/main/MicroLensing/FoF-Microlensing_%26_Dark_Matter.ipynb)

Si no anda el link, ir al repositorio

[https://github.com/CosmoObs/FoF\\_lensing\\_2022](https://github.com/CosmoObs/FoF_lensing_2022) y ahí abrir el fichero `MicroLensing`

#### 4. Extra: tasa de eventos en situaciones más realistas

En la discusión hecha en clase (y en las filminas) supusimos que la eficiencia depende solo del tiempo característico del evento,  $\hat{t}$ . Parecería más realista pensar que la eficiencia debe depender también de la magnitud de las fuentes  $m_s$  ( $\varepsilon = \varepsilon(\hat{t}, m_s)$ ). ¿Cómo quedaría la expresión de  $N_{\text{exp}}$  si tomamos en cuenta la dependencia de la eficiencia con la magnitud?

*tip:* en ese caso es importante considerar que el número de fuentes por unidad de área en la región de observación depende de la magnitud de las fuentes, lo que se representa por la función de luminosidad  $dN_s/dm_s$ .

En el ejemplo que vimos en clase, como la eficiencia no dependía de la magnitud de la fuente (o, si queremos, suponemos que todas las fuentes poseen una misma magnitud) simplemente se multiplicaba la tasa de eventos total ( $\int_0^\infty \mathcal{E}(\hat{t}) \frac{d\hat{t}}{d\hat{t}} d\hat{t}$ ) por el tiempo total de observación y por el número total de estrellas seguidas. Ahora habrá que integrar también  $dN_s/dm_s$ .

¿Qué cambiaría en el cálculo de la tasa de eventos si consideramos el efecto de fuente finita? Considerar, por simplicidad, que todas las fuentes tienen una misma dimensión física (por ejemplo, el radio solar).

#### 5. Extra: otras aplicaciones de microlensing y perspectivas a futuro

Además de los ejemplos y observables que vimos en las clases ¿qué más se podría medir con microlensing?

¿Qué otras aplicaciones podría tener?

¿Qué tipo de instrumentación nueva podría llevar a nuevas descubiertas o nuevas medidas en el campo?