



# روش ریزه‌مگرایی گرانشی در تعیین پارامترهای فیزیکی سیارات شناور آزاد



پریسا سنگتراش

استاد راهنما: دکتر صدیقه سجادیان

زمستان ۱۴۰۲

# سیارات شناور آزاد

جرم های سیاره‌ای و عموماً تاریک

به ستاره‌ی مادر تعلق ندارند

فاصله‌ی مداری بزرگتر از ۱۰  
واحد نجومی

مکانیزم تشکیل

فرآیندهای تشکیل سیاره

دیسک پیش سیاره‌ای اطراف ستاره میزبان



<https://images.app.goo.gl/LJKm71ZFeXtfPbf36>

# شناسایی سیارات شناور آزاد

پیمایش و بررسی تابش فرسرخ در ناحیه‌های شکل‌گیری ستاره‌ها یا خوشه‌های کهکشانی

ریزه‌گرایی گرانشی  
فواصل دورتر و جرم‌های بیشتر از پنج برابر جرم مشتری را هم اندازه می‌گیرد

یکی از اهداف مهم تلسکوپ فضایی رومن شناسایی این سیارات با روش ریزه‌گرایی  
گرانشی است



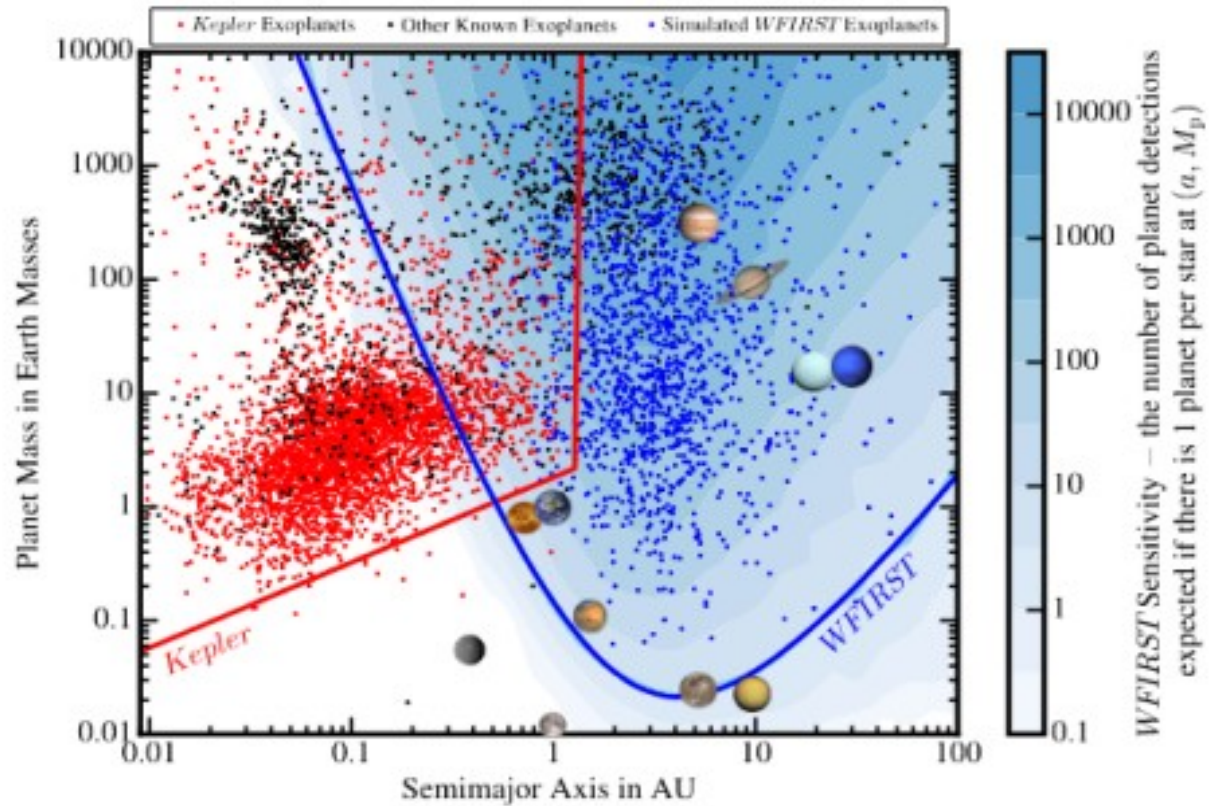
<https://roman.gsfc.nasa.gov/gallery-spacecraftillustrations.html>



# هدف مهم تلسکوپ فضایی رومن

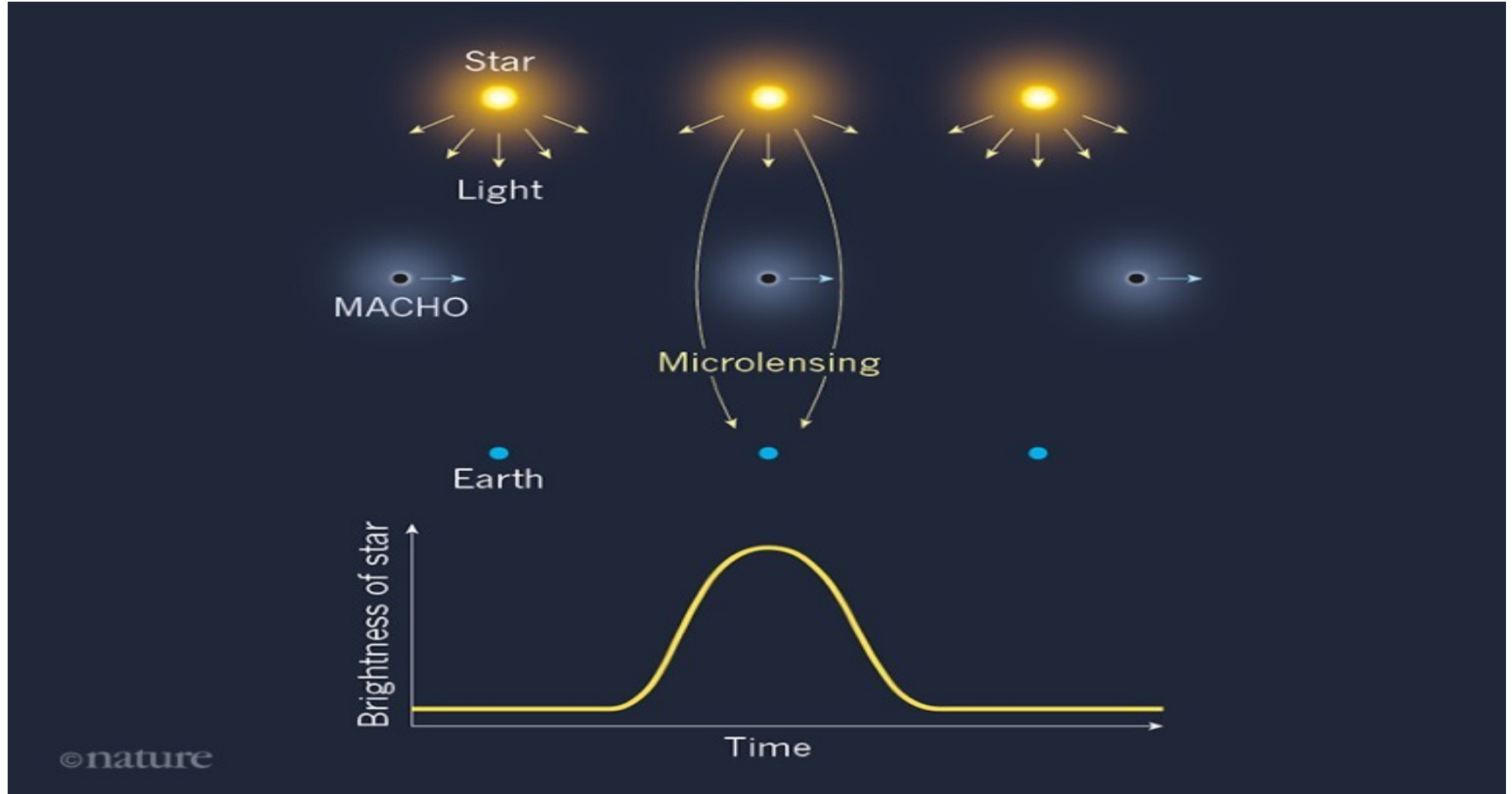


حدود ۲۵۰ سیاره شناور آزاد  
تا حدود جرم زمین



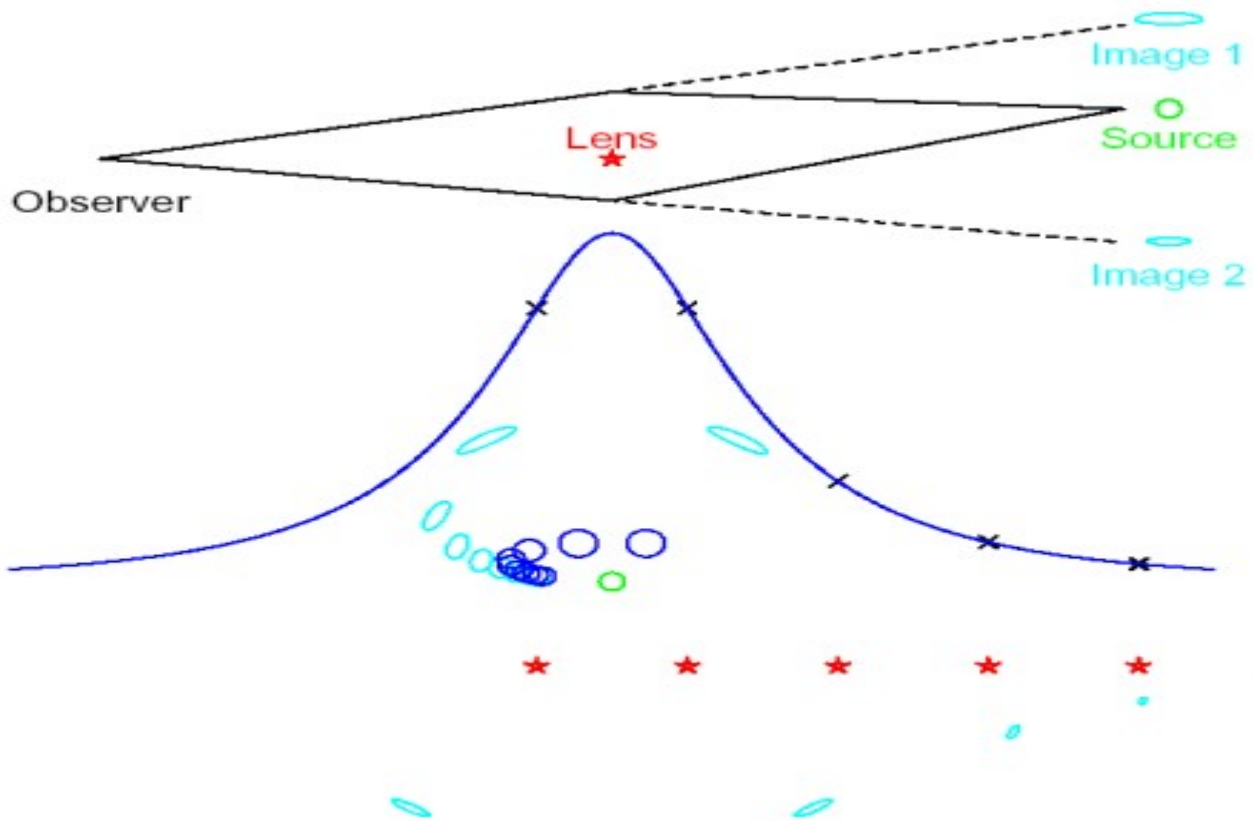
Predictions of the WFIRST Microlensing Survey. I. Bound Planet Detection Rates Penny, 2019

# روش ریزهمگرایی گرانشی، بهترین روش شناسایی سیارات سرگردان آزاد



<https://images.app.goo.gl/tudJPBLMkyoKJiZW8>

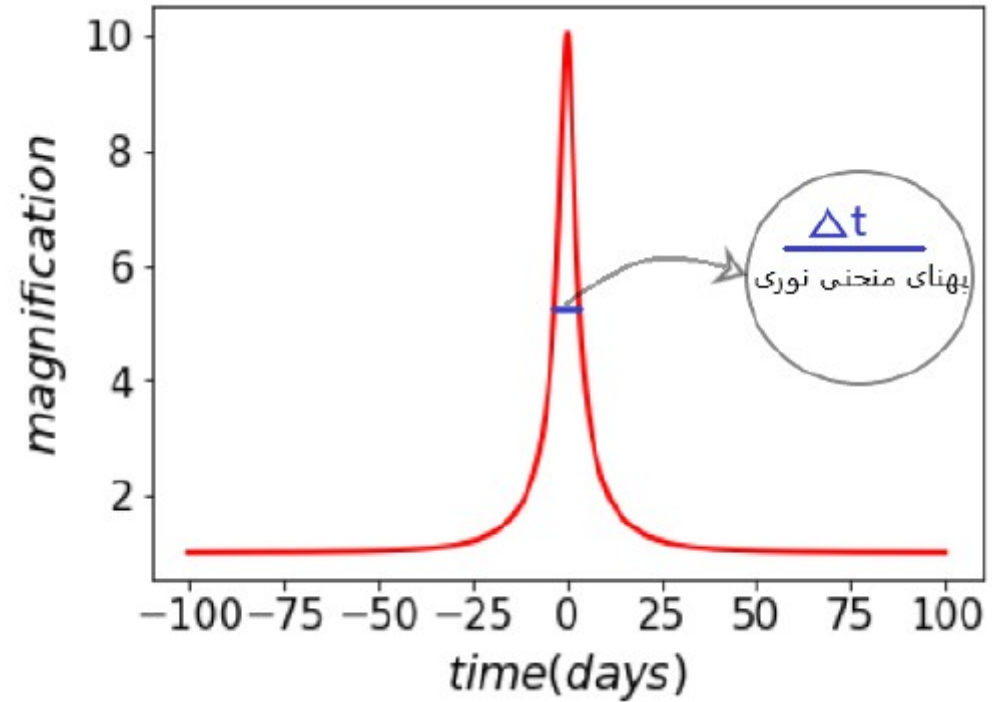
# روش ریزه‌نگرایی گرانشی، بهترین روش شناسایی سیارات سرگردان آزاد



## مقیاس زمانی رویدادهای ریزهمگرایی گرانشی

$$\theta_E = \sqrt{\frac{4 G M D_{ls}}{c^2 D_l D_s}}$$

$$t_E = \frac{R_E}{v_t},$$





## پارامترهای رویدادهای ریزه‌مگرایی گرانشی

$t_0$

$t_0$

$t_0$

$u_0$

$u_0$

$u_0$

$t_E$

$t_E$

$t_E$

$$t_* = \rho * t_E$$

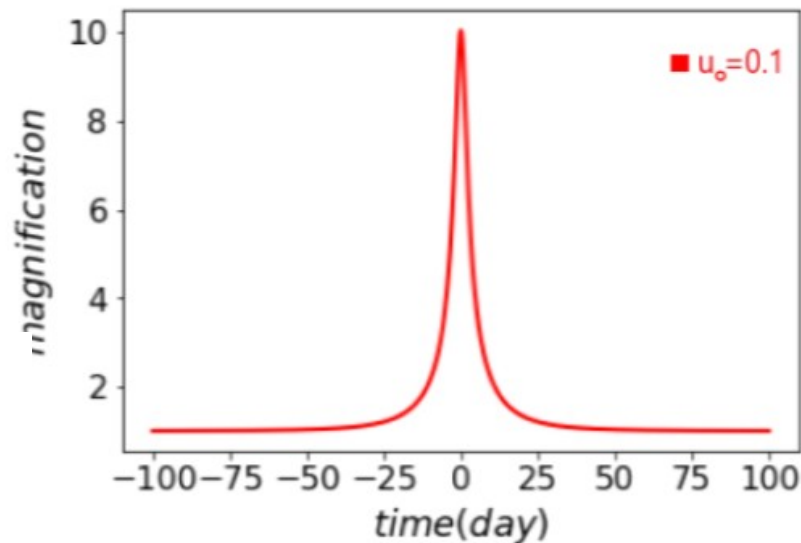
$$t_* = \rho * t_E$$

$\pi_{E,perp}$

$\pi_{E,parallel}$

$$\pi_{rel} = \left( \frac{\lambda}{D_{OL}} - \frac{\lambda}{D_{OS}} \right) a u k p c^{-1}$$

$$\rho = \frac{\theta_*}{\theta_E}$$



اندازه‌گیری جرم لنز با استفاده از روش ریزه‌مگرایی گرانشی

$$\rho = \frac{\theta_*}{\theta_E}.$$

$$\pi_{rel} = \left( \frac{1}{D_{OL}} - \frac{1}{D_{OS}} \right) a u k p c^{-1}.$$

$$M_l = \frac{\theta_E^2}{k \pi_{rel}}.$$

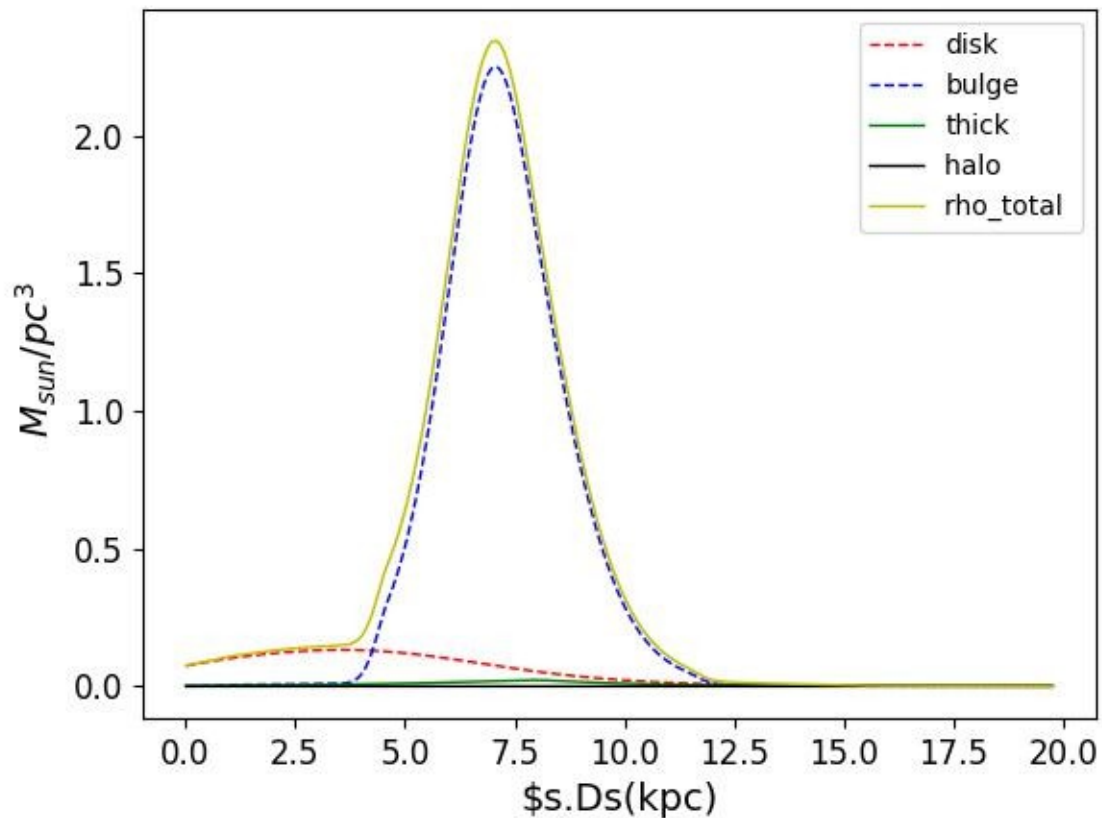
سیارات سرگردان آزاد  
اثر سطح مقطع محدود چشمه زیاد است  
دامنه‌ی پارالاکس بسیار بزرگ است

## شبیه سازی رویدادهای میکروولنزینگ

مدل کهکشانی بیزانسون

شبیه سازی هونت کارلو

جرم لنزها در حدود جرم سیارات



## بررسی اثر پارالاکس

$$\pi_{rel} = \left( \frac{1}{D_{OL}} - \frac{1}{D_{OS}} \right) a \text{ (kpc}^{-1}\text{)}.$$

پارالاکس باعث عدم تقارن در منحنی نوری می‌شود که این عدم تقارن یک قید بین جرم و فاصله‌ی عدسی به ما می‌دهد. در مورد سیارات سرگردان آزاد کمتر از جرم مشتری این عدم تقارن بسیار ناچیز است.

ولی با توجه به اینکه دامنه‌ی پارالاکس در مورد این رویدادها بسیار بزرگ است. منحنی نوری نسبت به حالتی که پارالاکس را در نظر نگیریم بسیار متفاوت می‌شود.

## بررسی اثر پارالاکس

$$A = \frac{u^2 + 2}{u\sqrt{u^2 + 4}}$$

$$U_{n1} = -U_0 \sin(\alpha) + \frac{t-t_0}{t_E} \frac{(V_s - V_{sun}) - (V_l - V_{sun}) D_l \cos(\alpha)}{\theta_E} + \frac{\pi_{rel}}{\theta_E} \int_{t_0}^t V_{e_{n1}} dt$$

$$U_{n2} = +U_0 \cos(\alpha) + \frac{t-t_0}{t_E} \frac{(V_s - V_{sun}) - (V_l - V_{sun}) D_l \sin(\alpha)}{\theta_E} + \frac{\pi_{rel}}{\theta_E} \int_{t_0}^t V_{e_{n2}} dt$$

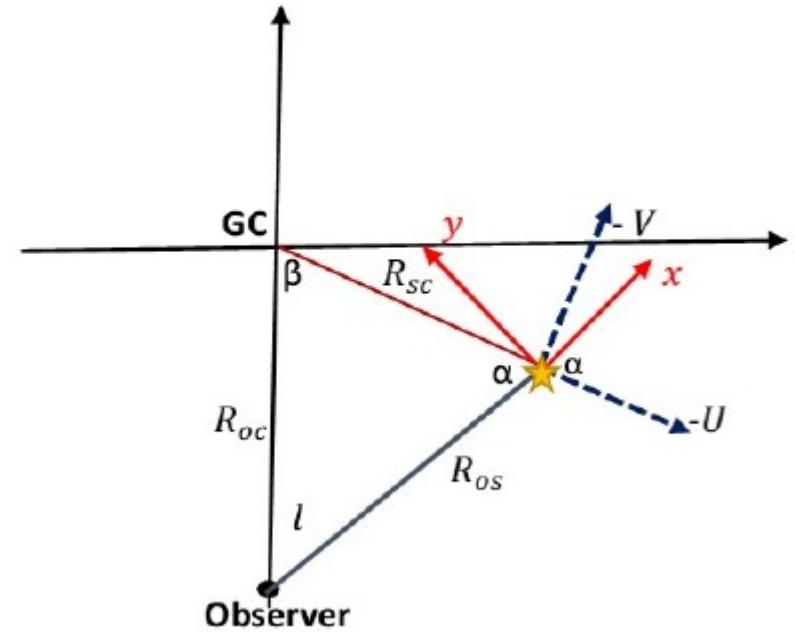


## تعیین سرعت لنز و چشمه از دید ناظر

$$V_{u_e} = \omega \cos\left(\omega\left(t - t_0 + \frac{\pi}{2}\right) \cos\left(\frac{\pi}{3}\right)\right)$$

$$V_{v_e} = \omega \sin\left(\omega\left(t - t_0 + \frac{\pi}{2}\right)\right)$$

$$V_{w_e} = \omega \cos\left(\omega\left(t - t_0 + \frac{\pi}{2}\right) \sin\left(\frac{\pi}{3}\right)\right)$$



$$v_x = -\cos(\alpha) v_U - \sin(\alpha) v_V,$$

$$v_y = +\sin(\alpha) v_U - \cos(\alpha) v_V,$$

$$v_z = v_W,$$

$$v_{los} = \cos(b) v_x + \sin(b) v_z,$$

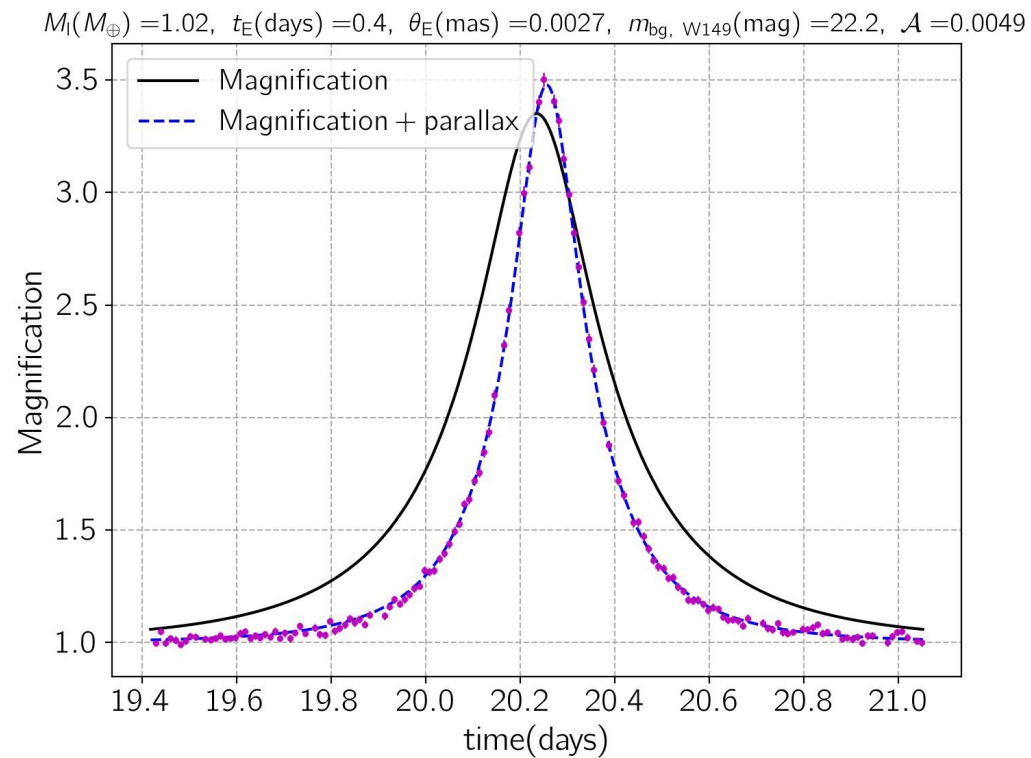
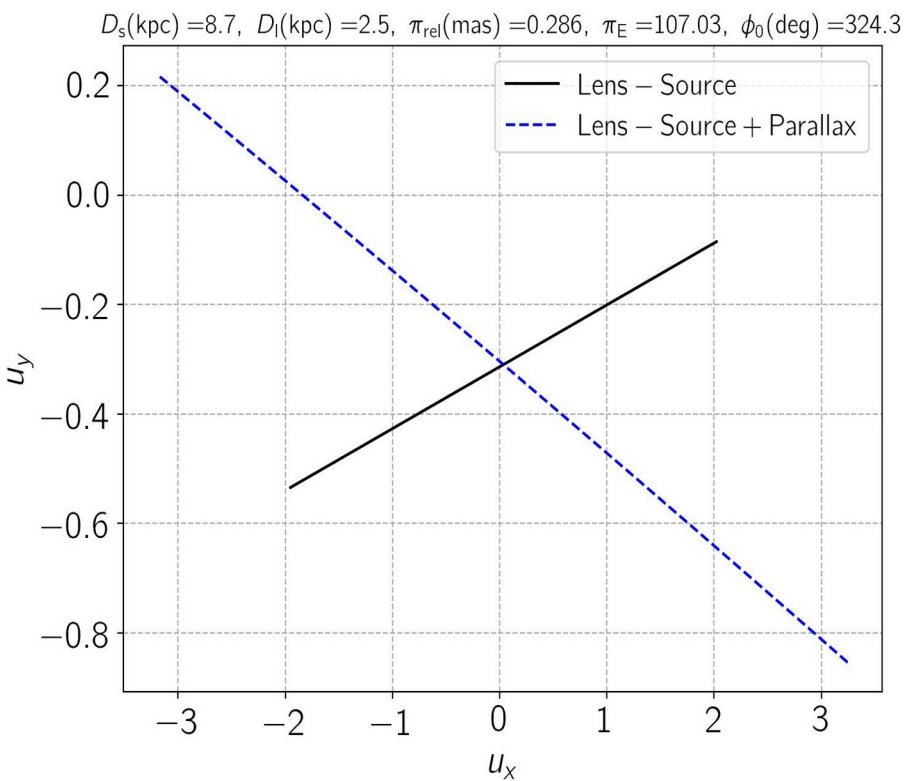
$$v_{n1} = v_y,$$

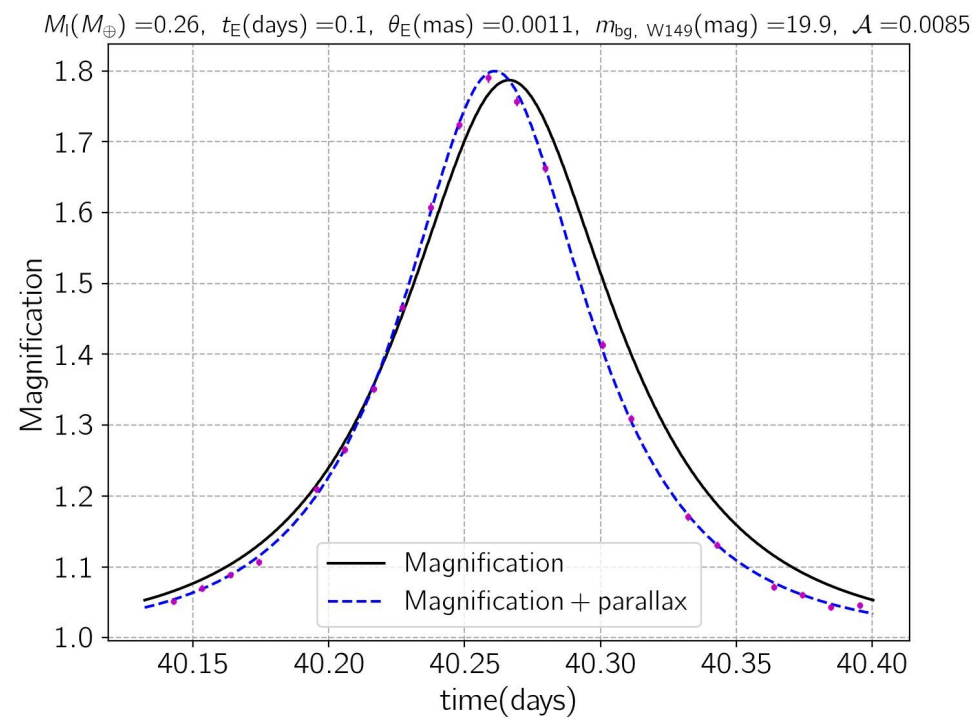
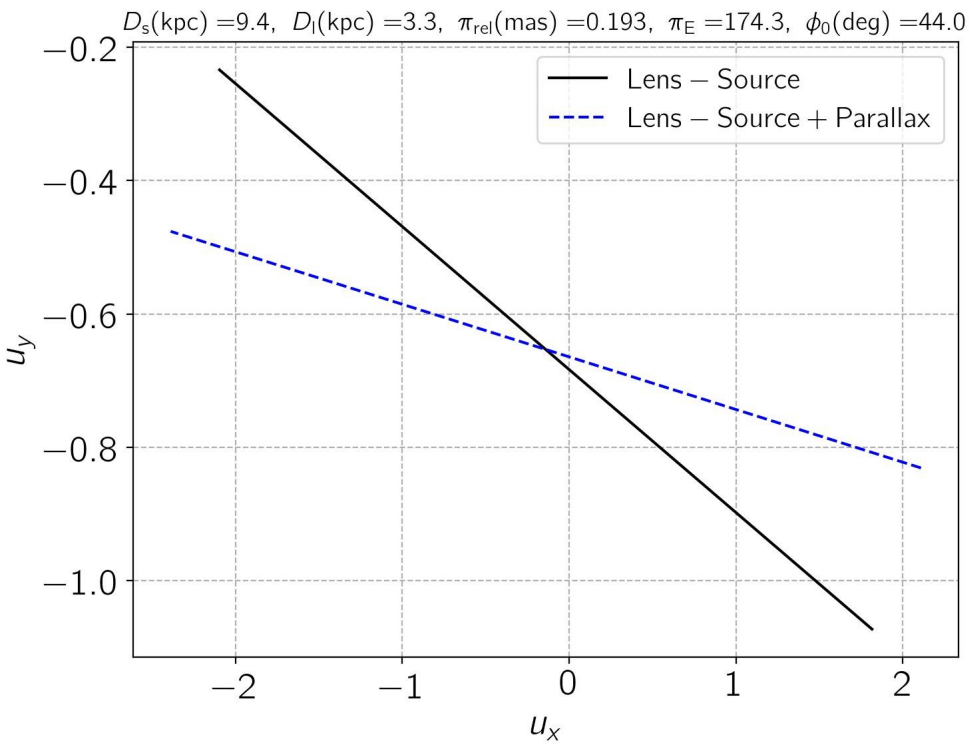
$$v_{n2} = -\sin(b) v_x + \cos(b) v_z,$$

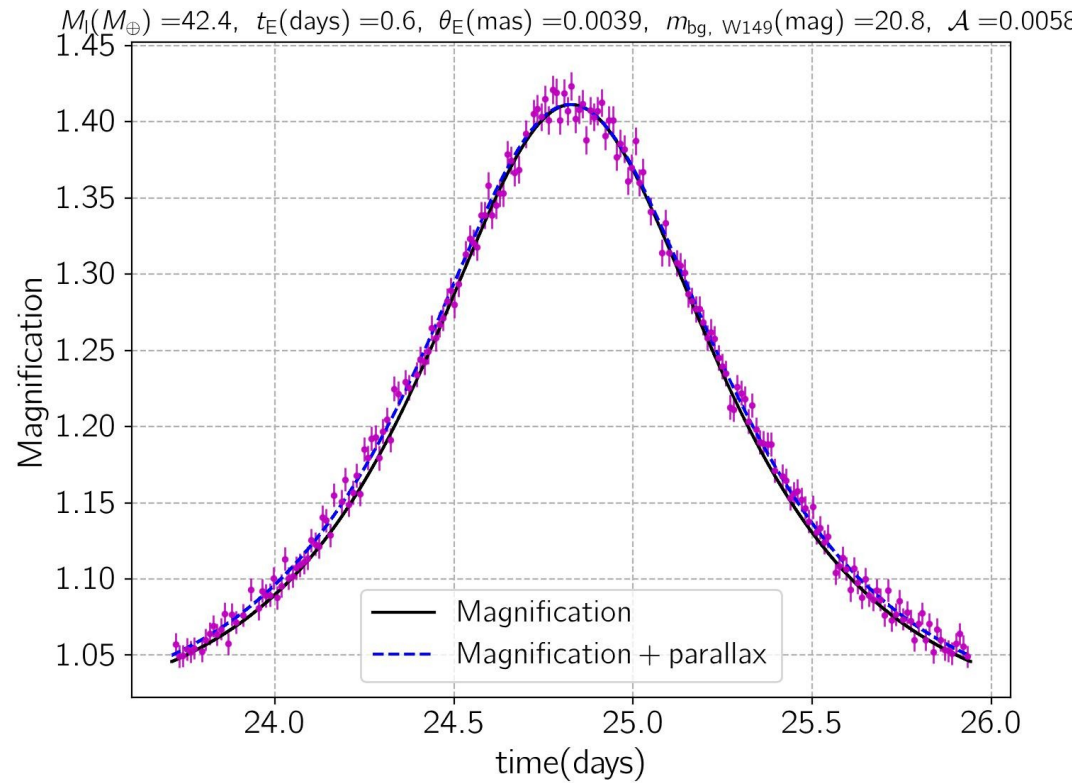
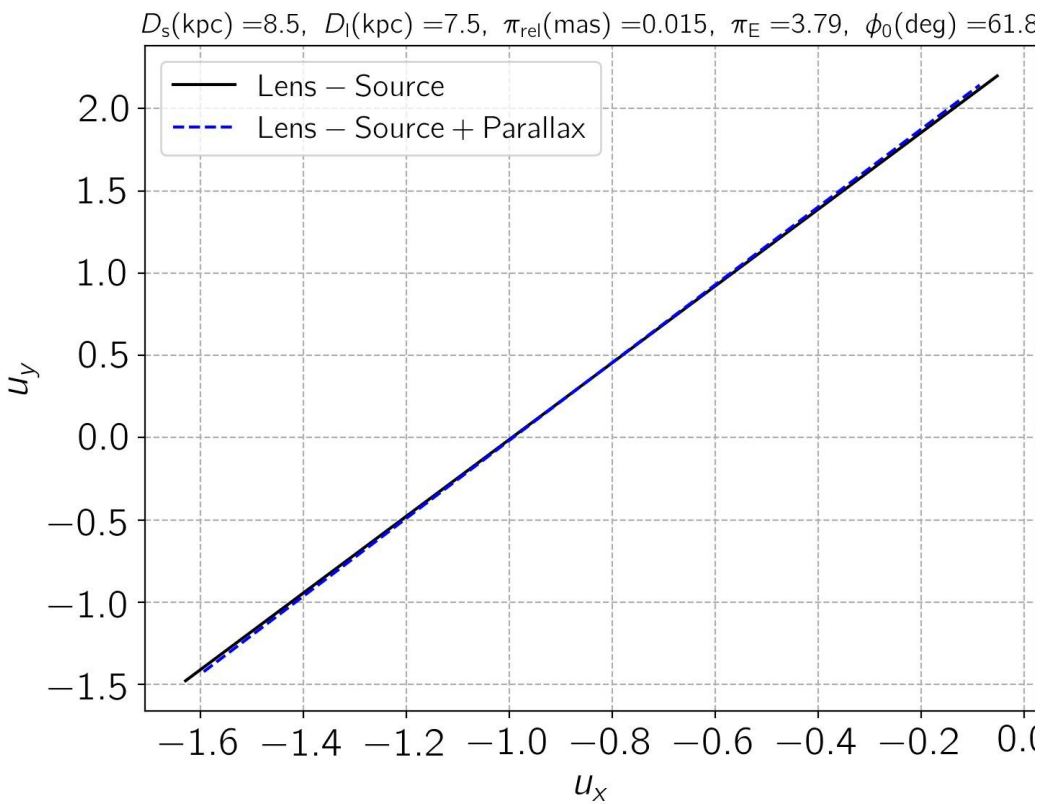
## بررسی عدم تقارن در منحنی نوری با در نظرگیری اثر پارالاکس

$$asym = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \frac{A_i(t) - A_i(t')}{\sigma_i^2}$$

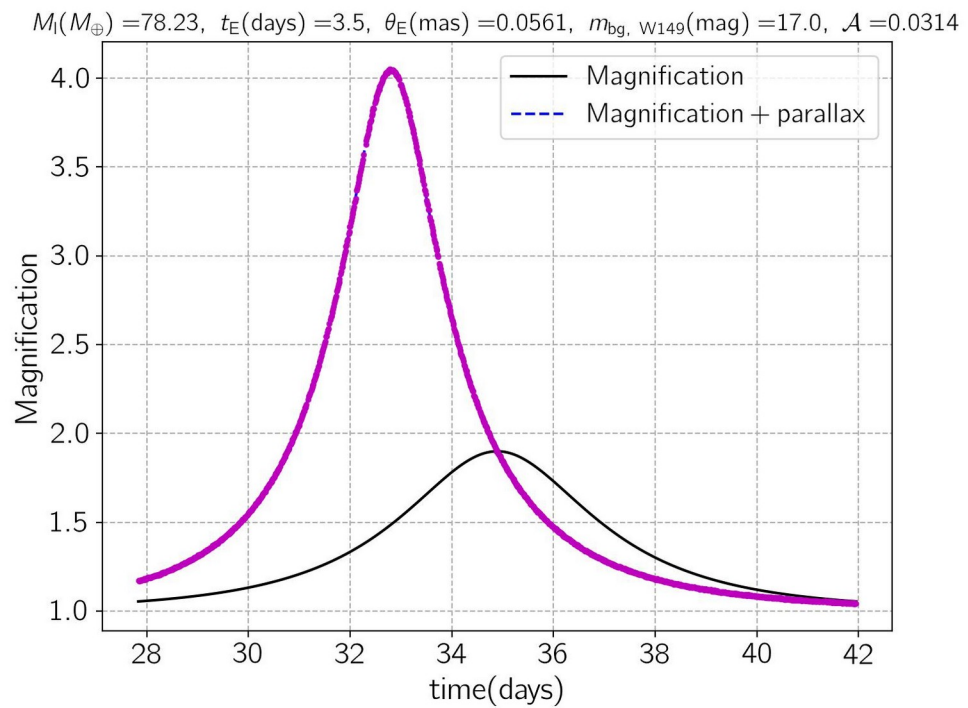
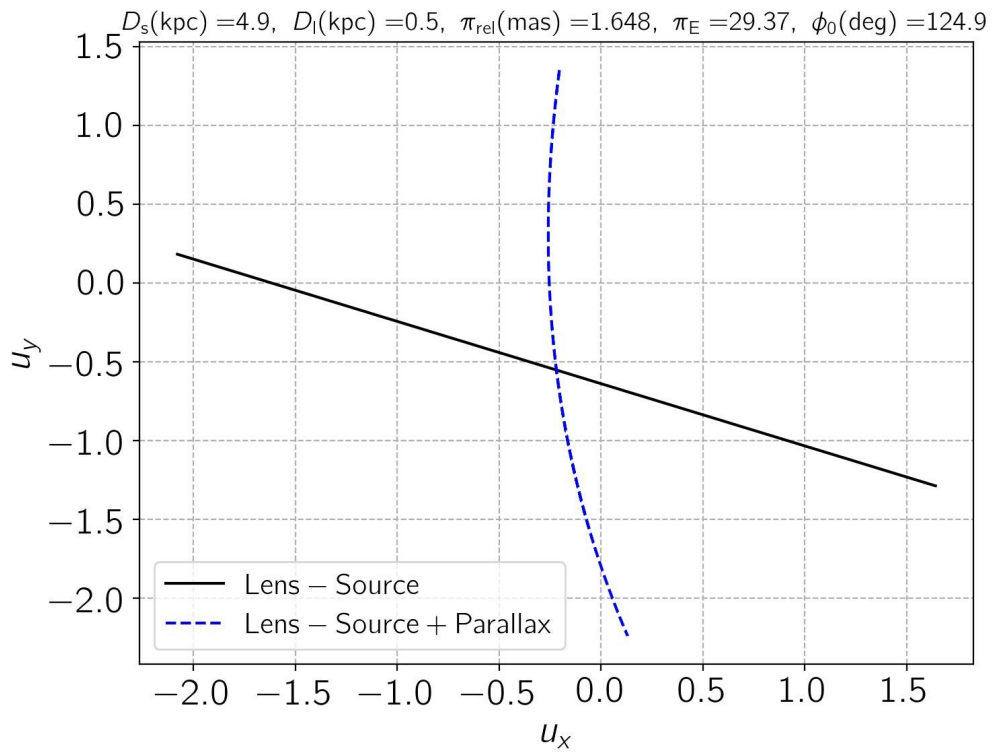
عدم تقارن در منحنی نوری برای جرم‌های نزدیک به جرم مشتری خودش را نشان می‌دهد











**با تشکر از توجه شما**