

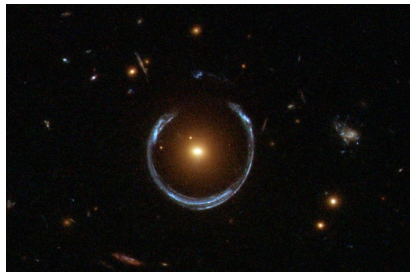
# Być albo nie być czarną dziurą

Franciszek Handsorfer   Jacek Winiarczyk   Łukasz Parda  
Tomasz Gruss

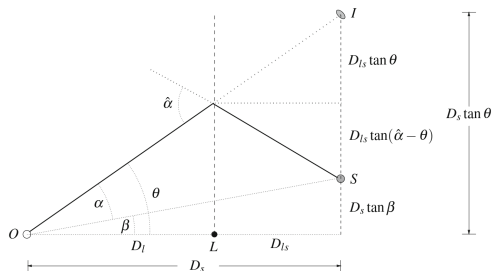
Opiekun projektu: dr hab. Radosław Poleski

13 czerwca 2024

- Ogólna teoria względności  
⇒
- Masa zakrzywia  
czasoprzestrzeń ⇒
- Światło idące w pobliżu  
masy jest odchylane ⇒
- Obserwator widzi obiekty za  
zakrzywiającą masą w inny  
sposób ⇒
- Soczewkowanie grawitacyjne



ESA/Hubble, NASA



Principles of Gravitational Lensing, Arthur B. Congdon, Charles R. Keeton

## Równanie soczewki:

$$\beta = \theta - \alpha(\theta)$$

Dla punktowej masy mamy:

$$\theta_E = \sqrt{\frac{4GM}{c^2} \frac{D_s - D_l}{D_s D_l}}$$

# Mikrosoczewkowanie

$$M \sim M_{\odot}$$

Na przykład dla  $D_s = 8$  kpc,  
 $D_l = 4$  kpc,  $M = 1M_{\odot}$ :

$$\theta_E = 0.32 \text{ mas}$$

Dla  $u = \frac{\beta}{\theta_E}$  wzmocnienie źródła określa  
wzór:

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

$u$  możemy natomiast obliczyć znając  
 $u_0, t_0, t_E$ :

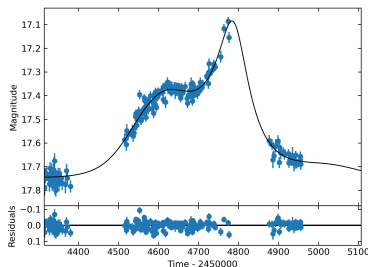
$$u(t) = \sqrt{u_0^2 + \left(\frac{t - t_0}{t_E}\right)^2}$$

Animation by B.S. Gaudi -  
[microlensing-source.org](http://microlensing-source.org)

# Paralaksa

Dla  $t_E > 30$  d ruchu Ziemi wokół Słońca przestaje być pomijalny. Wtedy:

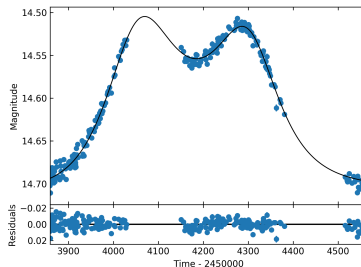
$$u_{\oplus}(t) = u_{\odot}(t) + \\ + \pi_E \beta \cos(\Omega(t - t_0) + \varphi) + \\ + \Lambda \omega (\sin(\Omega(t - t_0) + \varphi))$$



PAR-20,  $u_0 < 0$

# Xallarap

Jeżeli źródło jest częścią układu podwójnego, to jego ruch orbitalny może mieć znaczący wpływ na parametr  $u(t)$ . Ten fenomen nosi nazwę xallarap (Parallax od tyłu).



PAR-06.10

*Mulens Model*, to paczka służąca do modelowania zjawisk mikrosoczewkowania. Do dopasowania krzywej, używany jest algorytm MCMC (Próbkowanie Monte Carlo łańcuchami Markowa).



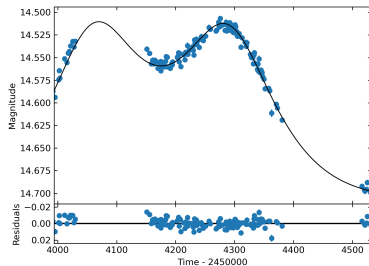
## Opis projektu

59 zjawisk wykazujących dominujący wpływ paralaksy(?), z przeglądu OGLE-III (Wyrzykowski et al. 2016).

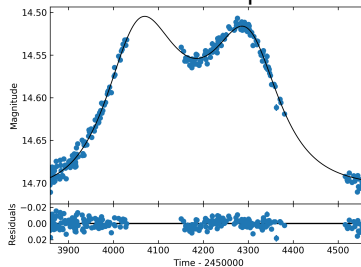
A co jeśli źródło jest w układzie podwójnym?



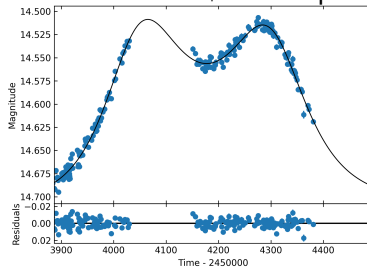
### Parallax



### Xallarap



### Parallax + Xallarap



## Porównanie modeli

Nazwa	$\Delta\chi^2$	$\chi^2_{Paraxial}$
PAR-05	52.7989	2360.0741
PAR-06	304.5130	4567.5600
PAR-14	37.3174	7164.3571
PAR-39	129.9147	13677.8037
PAR-57	59681.0222	4335.8364
PAR-58	34.7714	1087.9253
PAR-59	124.1144	2175.4949

# Wyniki

Nazwa	$\xi_{period}$	$\pi_{EN}$	$\pi_{EE}$
OGLE-Ulens-	[days]		
PAR-05	$600.151^{+92.9}_{-80.54}$	$0.065^{+0.02}_{-0.0}$	$0.065^{+0.02}_{-0.0}$
PAR-06	$392.271^{+3.46}_{-3.58}$	$-0.014^{+0.02}_{-0.01}$	$-0.014^{+0.02}_{-0.01}$
PAR-14	$314.276^{+191.6}_{-11.7}$	$-0.553^{+0.49}_{-0.04}$	$-0.553^{+0.49}_{-0.04}$
PAR-39	$0.239^{+0.87}_{-0.04}$	$0.032^{+0.09}_{-0.0}$	$0.032^{+0.09}_{-0.0}$
PAR-57	$0.692^{+0.32}_{-0.11}$	$-0.012^{+0.08}_{-0.03}$	$-0.012^{+0.08}_{-0.03}$
PAR-58	$159.123^{+10.96}_{-14.02}$	$-0.04^{+0.08}_{-0.06}$	$-0.04^{+0.08}_{-0.06}$
PAR-59	$16.886^{+1.52}_{-0.95}$	$-0.566^{+0.74}_{-0.22}$	$-0.566^{+0.74}_{-0.22}$

## Dalsze kontynuacje badań

- Wyznaczenie masy soczewek, dla których nasz model jest lepszy
- Ponowne wymodelowanie zjawisk, w celu zmniejszenia niepewności
- Zbadanie wpływu innych efektów na model (np. soczewka potrójna)