

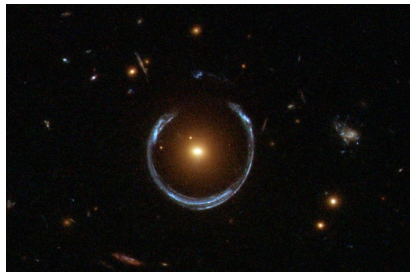
# Być albo nie być czarną dziurą

Franciszek Handsorfer   Jacek Winiarczyk   Łukasz Parda  
Tomasz Gruss

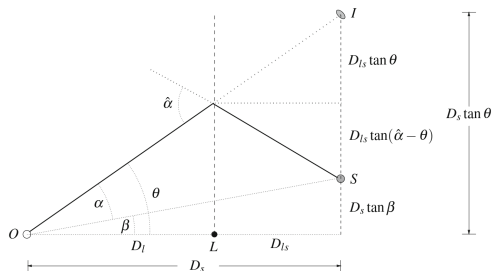
Opiekun projektu: dr hab. Radosław Poleski

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  
 $u_0, t_0, t_E$ :

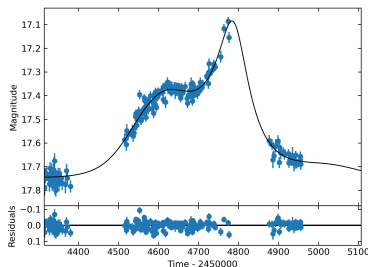
$$u(t) = \sqrt{u_0^2 + \left(\frac{t - t_0}{t_E}\right)^2}$$

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:

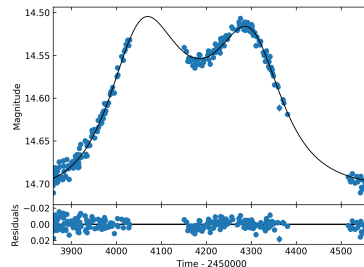
$$u_{\oplus}(t) = u_{\odot}(t) + \pi_E \beta \cos(\Omega(t - t_0) + \varphi) + \Lambda \omega (\sin(\Omega(t - t_0) + \varphi))$$



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).



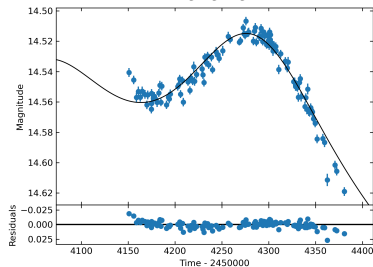
## Opis projektu

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

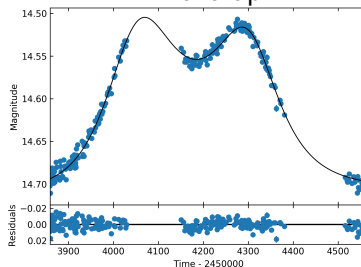
A co jeśli źródło jest w układzie podwójnym?



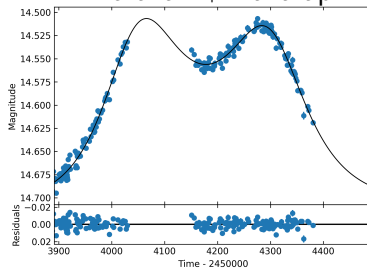
Parallax



Xallarap



Parallax + Xallarap



## Porównanie modeli

Nazwa	$\Delta\chi^2$	$\chi^2_{Paraxial}$
PAR-05	52.8	2360.0
PAR-06	304.5	4567.6
PAR-14	37.3	7164.4
PAR-39	129.9	13677.8
PAR-57	59681.0	4335.8
PAR-58	34.8	1087.9
PAR-59	124.1	2175.5

# Wyniki

Nazwa	$t_0$	$u_0$	$t_E$
PAR-06	$2454179.345^{+7.17}_{-5.95}$	$-0.722^{+0.05}_{-0.05}$	$203.621^{+8.04}_{-7.99}$
Nazwa	$\xi_{period}$	$\pi_{EN}$	$\pi_{EE}$
PAR-06	$392.271^{+3.46}_{-3.58}$	$-0.014^{+0.02}_{-0.02}$	$-0.035^{+0.01}_{-0.01}$

## 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)