

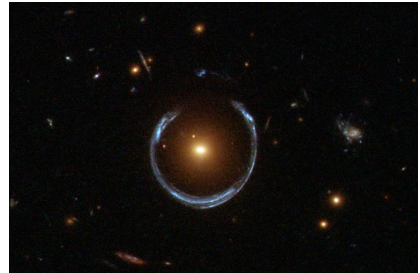
# Być albo nie być czarną dziurą

Franciszek Handsorfer   Jacek Winiarczyk   Łukasz Parda  
Tomasz Gruss

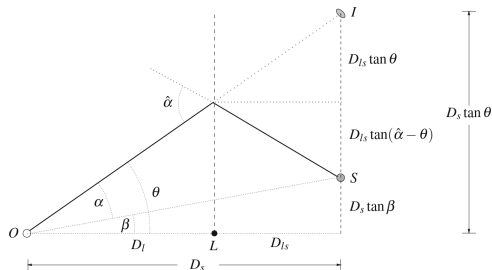
Opiekun projektu: dr hab. Radosław Poleski

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[1]

## Równanie soczewki:

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

Dla punktowej masy mamy[4]:

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

# 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[4]:

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

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

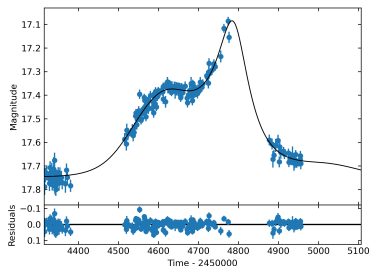
Animation by B.S. Gaudi -  
[microlensing-source.org](http://microlensing-source.org)

$$\sqrt{(t - t_0)^2}$$

# Paralaksa

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

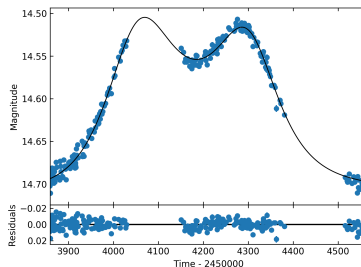
$$u_{\oplus}(t) = u_{\odot}(t) + \pi_E \beta \cos(\Omega(t - t_0) + \varphi) + \Lambda \omega (\sin(\Omega(t - t_0) + \varphi))$$



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)[6].



PAR-06.10

*Mulens Model*[3], 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)[5].

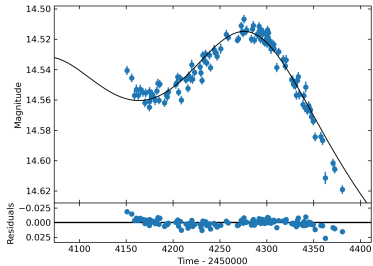
A co jeśli źródło jest w układzie podwójnym?



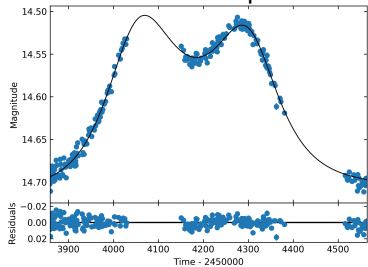
## Porównanie modeli

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

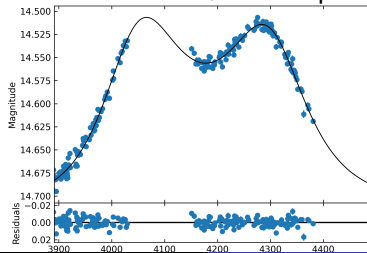
Parallax



Xallarap



Parallax + Xallarap



# 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 od modelu z paralaksą
- Ponowne wymodelowanie zjawisk, w celu zmniejszenia niepewności
- Zbadanie wpływu innych efektów na model (np. soczewka potrójna)

# Bibliografia

- [1] Arthur B. Congdon and Charles R. Keeton. *Principles of Gravitational Lensing: Light Deflection as a Probe of Astrophysics and Cosmology*. Springer International Publishing, 2018. ISBN: 9783030021221. DOI: 10.1007/978-3-030-02122-1.
- [2] P. Mróz and Ł. Wyrzykowski. "Measuring the Mass Function of Isolated Stellar Remnants with Gravitational Microlensing I. Revisiting the OGLE-III Dark Lens Candidates". In: *Acta Astron.* 71 (June 2021), pp. 89–102. DOI: 10.32023/0001-5237/71.2.1.
- [3] R. Poleski and J. C. Yee. "Modeling microlensing events with MulensModel". In: *Astronomy and Computing* 26 (Jan. 2019), p. 35. DOI: 10.1016/j.ascom.2018.11.001.
- [4] Peter Schneider, Jürgen Ehlers, and Emilio E. Falco. *Gravitational Lenses*. Springer Berlin Heidelberg, 1992. ISBN: 9783662037584. DOI: 10.1007/978-3-662-03758-4.
- [5] Ł. Wyrzykowski et al. "Black hole, neutron star and white dwarf candidates from microlensing with OGLE-III". In: *MNRAS* 458 (May 2016), pp. 3012–3026. DOI: 10.1093/mnras/stw426.
- [6] Ruocheng Zhai et al. "OGLE-2017-BLG-0448Lb: A Low Mass–Ratio Wide-orbit Microlensing Planet?" In: *AJ* 167 (Apr. 2024), p. 162. DOI: 10.3847/1538-3881/ad284f.