

# Poszukiwanie mikrosoczewek grawitacyjnych

Adam Gonstal, Kamil Kolasa, Rafał Kornel, Konrad Maliszewski, Anna Olechowska

26 stycznia 2020

## Spis treści

<b>1</b>	<b>Wstęp</b>	<b>3</b>
1.1	Wstęp teoretyczny . . . . .	3
1.2	Projekt OGLE . . . . .	5
<b>2</b>	<b>Analiza danych</b>	<b>5</b>
<b>3</b>	<b>Rezultaty</b>	<b>5</b>
<b>4</b>	<b>Bibliografia</b>	<b>5</b>

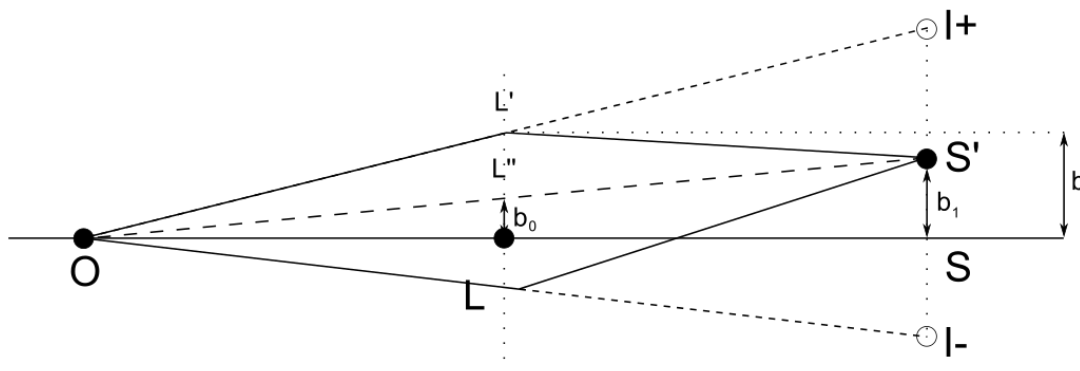
# Abstrakt

Poniżej opisany projekt studencki polegał na analizie fragmentu danych z projektu OGLE III w celu znalezienia zjawisk mikrosoczewkowania grawitacyjnego. Autorom zostały udostępnione dane z teleskopu w Las Campanas w Chile, dotyczące m.in. pomiarów jasności dla ok. 260 tysięcy gwiazd, zbieranych na przestrzeni ok. 6 lat. W ramach projektu utworzony został algorytm analizujący dane dla każdej gwiazdy i zwracający wykresy zależności jasności od czasu dla tych gwiazd, które według algorytmu mogły dawać efekt soczewki. Około  $x\%$  zwróconych gwiazd okazało się rzeczywistymi przypadkami mikrosoczewkowania grawitacyjnego. Ponadto,  $y$  ze znalezionych przez algorytm soczewek nie zostały zidentyfikowane przez zespół projektu OGLE III.

## 1 Wstep

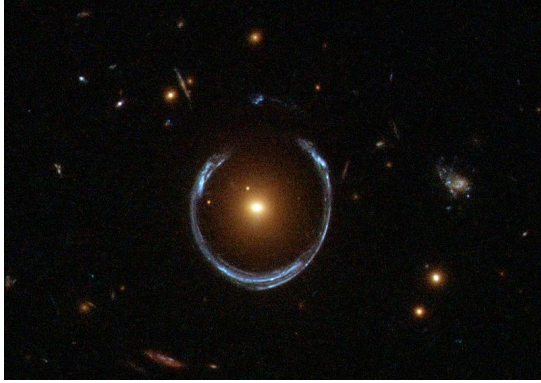
## 1.1 Wstęp teoretyczny

Zjawisko soczewkowania grawitacyjnego wynika z zakrzywienia czasoprzestrzeni przez masy znajdujące się w niej. Konsekwencją tego jest poruszanie się promieni świetlnych po zakrzywionych torach, tj. najkrótszych możliwych, w przestrzeni Mińkowskiego. W związku z tym, w sytuacji gdy w okolicach linii łączącej źródło światła (np. galaktykę) z obserwatorem znajdzie się odpowiednio duża masa, światło będzie omijać taką masę, co przedstawia Rysunek ??.

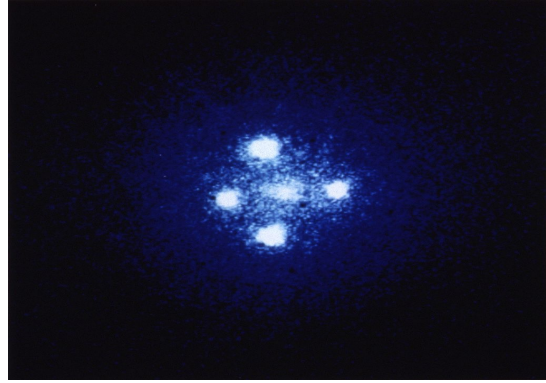


Rysunek 1: Przykład zjawiska soczewkowania, gdzie źródło S' jest obserwowane jako dwa obrazy I+ i I- MesserWoland (2006).

Obraz źródła widziany przez obserwatora może ulec różnym deformacjom, tj. rozciągnięciu, przemieszczeniu, kilkukrotnemu odbiciu, a także wzmocnieniu, co w przypadku tego projektu jest najistotniejszym aspektem soczewkowania. Przykłady takiego zjawiska przedstawiają Rysunki 2a i 2b.



(a) Galaktyka LRG 3-757 soczewkująca obraz galaktyki znajdującej się za nią ESA/Hubble and NASA (2011)



(b) Kwazar Q2237+030 soczewkowany przez galaktykę ZW 2237+030, tzw. krzyż Einsteina NASA and STScI (1990)

Rysunek 2: Przykłady deformacji obrazu spowodowane soczewkowaniem grawitacyjnym

W szczególnych przypadkach, gdy masa soczewkująca jest stosunkowo nieduża, a jej tor ruchu przecina bądź jest bardzo bliski torowi promieni świetlnych od źródła do obserwatora, efekty deformacji obrazu mają zbyt małe rozmiary kątowe, by udało się je zaobserwować z Ziemi. W takich sytuacjach jedyną obserwowalną konsekwencją zajścia soczewki jest wzmocnienie jasności. Ten specyficzny rodzaj soczewkowania nazywany jest mikrosoczewkowaniem grawitacyjnym. Przykładem jego może być obiekt z pobliskiej galaktyki wysyłający ku Ziemi promieniowanie elektromagnetyczne, na którego drodze znajduje się masywna planeta. Wzmocnienie można wyrazić jako wielkość  $\mu$ , będącą ilorazem strumienia światła bez wzmocnienia oraz z wzmocnieniem. Ponieważ natężenie światła  $I$  jest stałe w czasie, będzie to wyłącznie iloraz kątów bryłowych, z których światło dociera do obserwatora.

$$\mu = \frac{Id\Omega}{Id\Omega_0} = \frac{d\Omega}{d\Omega_0} \quad (1)$$

Wzmocnienie można również dobrze opisać za pomocą odległości  $u$  źródła światła od soczewki, którą można opisać za pomocą kilku parametrów, które dla danej soczewki można przyjąć jako stałe w trakcie trwania zjawiska. Wspomniane parametry geometryczne mają wpływ na  $t_E$ , tj. czas Einsteina. Wielkość  $b$  jest wielkością analogiczną do parametru zderzenia i także jest stała. Czas  $t_0$  jest momentem największego wzmocnienia, z kolei jedyną zmienną we wzorze 2 jest czas  $t$ .

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

Znając już zależność  $u(t)$  można powiązać ją ze wspomnianym wcześniej wzmocnieniem  $\mu$ , tj. wyprowadzić wzór 3, zwany także krzywą Paczyńskiego. Przykładową krzywą Paczyńskiego przedstawia Rysunek ???. W skali sześciu lat mikrosoczewka trwająca ok. 70 dni widocznie wyróżnia się skokiem jasności w trakcie trwania zjawiska, co było punktem wyjściowym przy konstrukcji algorytmu i zostanie opisane dokładniej w kolejnych rozdziałach.

$$\mu(u) = \frac{u^2 + 2}{u\sqrt{u^2 + 4}} \quad (3)$$

## 1.2 Projekt OGLE

Projekt OGLE tj. „Optical Gravitational Lensing Experiment” jest projektem naukowym prowadzonym w obserwatorium Las Campanas w Chile, przez Obserwatorium Astronomiczne Uniwersytetu Warszawskiego, w ramach którego m.in. wykonywane są pomiary jasności gwiazd, mające na celu poszukiwanie zjawisk mikrosoczewkowania.

Projekt kierowany jest przez prof. Andrzeja Udalskiego, a jego zasadniczym obszarem obserwacji są rejony w pobliżu centrum naszej galaktyki. Od początku istnienia projektu (kwiecień 1992 roku) zaobserwowano: 20 nowych planet pozasłonecznych, ponad 4000 zjawisk mikrosoczewkowania oraz kilkaset tysięcy nowych gwiazd zmiennych<sup>1</sup>. Projekt jest aktualnie (od marca 2010 roku) w czwartej fazie realizacji. Poprzednie fazy miały miejsce w latach: 1992-1995 (OGLE-I), 1997-2001 (OGLE-II), 2001-2009 (OGLE-III) i wiązały się ze stosowaniem innych detektorów.

Dane na których oparty jest nasz projekt studencki pochodzą z projektu OGLE-III i zawierają **X plików w, którym jest średnio Y pomiarów jasności w przeciągu 6 lat.**

## 2 Analiza danych

## 3 Rezultaty

## 4 Bibliografia

ESA/Hubble and NASA. A Horseshoe Einstein Ring from Hubble. [https://en.wikipedia.org/wiki/File:A\\_Horseshoe\\_Einstein\\_Ring\\_from\\_Hubble.JPG](https://en.wikipedia.org/wiki/File:A_Horseshoe_Einstein_Ring_from_Hubble.JPG), 2011. [Online; accessed 21-December-2011].

MesserWoland. Dwa promienie.

[https://pl.wikipedia.org/wiki/Soczewkowanie\\_grawitacyjne#/media/%Plik:Dwa\\_promienie.svg](https://pl.wikipedia.org/wiki/Soczewkowanie_grawitacyjne#/media/%Plik:Dwa_promienie.svg), 2006. [Online; accessed 20-September-2006].

ESA NASA and STScI. Einstein Cross. [https://pl.wikipedia.org/wiki/Krzy%C5%BC\\_Einsteina#/media/Plik:Einstein\\_cross.jpg](https://pl.wikipedia.org/wiki/Krzy%C5%BC_Einsteina#/media/Plik:Einstein_cross.jpg),

1990. [Online; accessed 13-September-1990].

Jan Skowron. Analiza niestandardowych zjawisk mikrosoczewkowania grawitacyjnego gwiazd galaktyki, 2009. Rozprawa doktorska napisana w Obserwatorium Astronomicznym Uniwersytetu Warszawskiego pod kierunkiem prof. dr. hab. Michała Jaroszyńskiego.

---

<sup>1</sup>Dane ze strony internetowej projektu: <http://www.astrouw.edu.pl/index.php/ogle-artykul>