

# Poszukiwanie mikrosoczewek grawitacyjnych

Adam Gonstal Kamil Kolasa Rafał Kornel Konrad Maliszewski Anna Olechowska

19 stycznia 2020

## Spis treści

<b>1</b>	<b>Abstrakt</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>Wstęp</b>	<b>3</b>
2.1	Wstęp teoretyczny . . . . .	3
2.2	Projekt OGLE . . . . .	5
<b>3</b>	<b>Analiza danych</b>	<b>5</b>
<b>4</b>	<b>Rezultaty</b>	<b>5</b>
<b>5</b>	<b>Bibliografia</b>	<b>5</b>

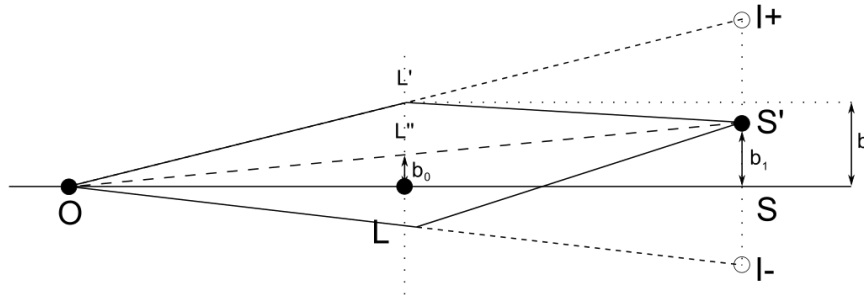
## 1 Abstrakt

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.

## 2 Wstęp

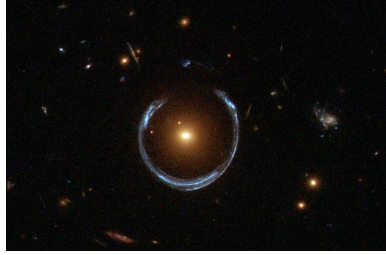
### 2.1 Wstęp teoretyczny

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, ale 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 biegnie omijając taką masę, co przedstawia Rysunek 2.1.

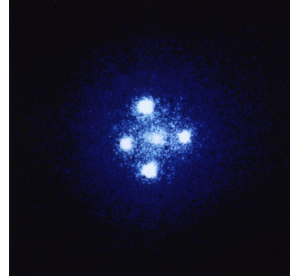


Rysunek 1: Przykład zjawiska soczewkowania, gdzie źródło  $S'$  jest obserwowane jako dwa obrazy  $I+$  i  $I-[1]$ .

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 2.1 i 2.1.



Rysunek 2.1: Galaktyka LRG 3-757 soczewkująca obraz galaktyki znajdującej się za nią[2].



Rysunek 2.2: Kwazar Q2237+030 soczewkowany przez galaktykę ZW 2237+030, tzw. krzyż Einsteina[3].

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.

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

## 2.2 Projekt OGLE

## 3 Analiza danych

## 4 Rezultaty

## 5 Bibliografia

### Literatura

- [1] [https://pl.wikipedia.org/wiki/Soczewkowanie\\_grawitacyjne#/media/Plik:Dwa\\_promienie.svg](https://pl.wikipedia.org/wiki/Soczewkowanie_grawitacyjne#/media/Plik:Dwa_promienie.svg)
- [2] [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)
- [3] [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)