

Poszukiwanie mikrosoczewek grawitacyjnych

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

7 lutego 2020

Spis treści

1	Wstęp	3
1.1	Wstęp teoretyczny	3
1.2	Projekt OGLE	5
2	Analiza danych	5
2.1	Ogólnie o programie	5
2.2	Opis algorytmu	5
3	Rezultaty	6
4	Bibliografia	6

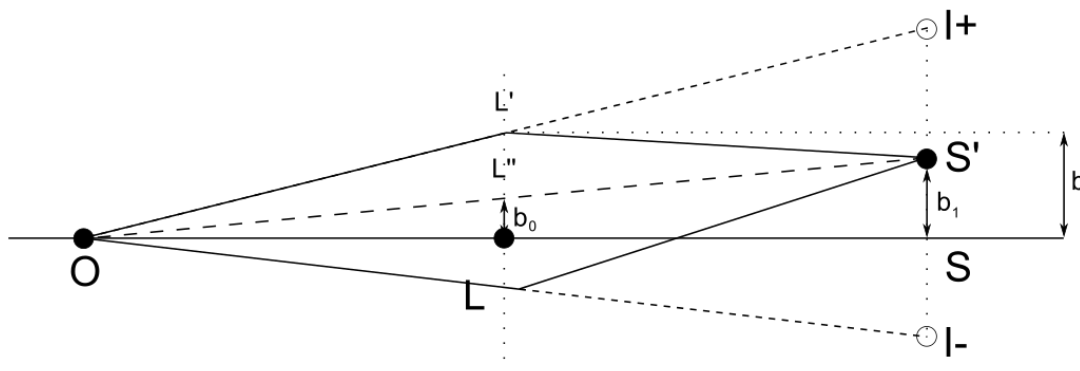
Abstrakt

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 Wstęp

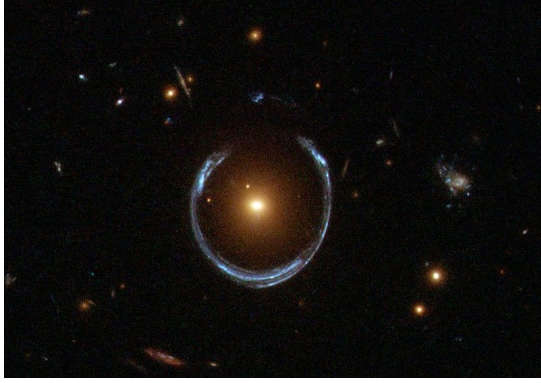
1.1 Wstęp teoretyczny

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 biegnie omijając taką masę, co przedstawia Rysunek ??.

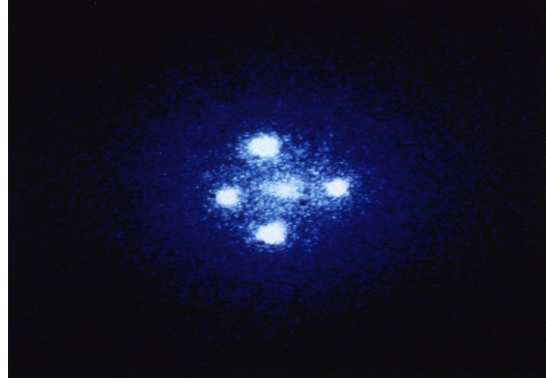


Rysunek 1: Przykład zjawiska soczewkowania, gdzie źródło S' jest obserwowane jako dwa obrazy $I+$ i $I-$ MesserWoland (2006).

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 μ , 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 μ , 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 zmiennych¹. 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.

Następny akapit może wrzucić do analizy danych?

Dane na których oparty jest nasz projekt studencki pochodzą z projektu OGLE-III i zawierają **X** plików tekstowych w, którym jest średnio **Y** pomiarów jasności w przeciągu 6 lat. Warto wspomnieć tutaj że jakoś część pomiarów jest daleka do ideału i musieliśmy posegregować dane czy się nadają do analizy, np. w części plików były pojawiały się tylko jasności gwiazd 99,9 magnitudo co oczywiście nie sama sensu.

2 Analiza danych

2.1 Ogólnie o programie

Do analizy danych napiliśmy program w języku Python. Dokładny kod znajduje się na naszym git hubie [tu link]. Składa się on z kilku części:

1. „Main”, czyli...
2. ...

2.2 Opis algorytmu

... Po wyfiltrowaniu wstępnie wszystkich potencjalnie nie nadającej się do obróbki danych tzw. „syfów”, program operując już na nowych nie odrzuconych danych oblicza ich parametry, takie jak **odchylenie standardowe od średniej dla pomiarów jasności tj. σ_{mag}** i średnia pomiarów jasności tj. m_0 . Następnie sprawdzamy, które pomiary jasności, oznaczenie m , spełniają nierówność (tj. są jaśniejsze)

$$m < \sigma_{mag} \cdot A + m_0 \quad (4)$$

i zliczamy je. Przy czym A jest arbitralnie ustaloną liczbą dodatnią wybraną przez programistę. Następnie z tych punktów spełniających nierówność, liczymy odchylenie standardowe po czasie oznaczenie σ_t , oraz średni czas t tych punktów.

Jeżeli, teraz nasz plik z danymi zawiera **n** spełniających nierówność (4) i jeżeli σ_t jest mniejsze niż **T**, to program zwraca nam informacje o podejrzeniu że w tym pliku może być soczewka, wraz z wykresem pomiarów jasności, naniesionym czasem t . Czas ten informuje nas kiedy, według programu zachodzi soczewka.

¹Dane ze strony internetowej projektu: <http://www.astroww.edu.pl/index.php/ogle-arttykul>

Zasadniczą ideą, którą się posługujemy jest fakt, że nasze soczewki będą jaśniejsze niż „większość” pomiarów, przy czym dokładna znaczenie słowa „większość” jest ustalone, przez wybór wartości A , np. zakładając że pomiary jasności podlegają rozkładowi Gaussa, co w ogólności nie musi być prawdą np. dla gwiazd mocno zmiennych, dla wartości $A = 1$ przewidujemy, że odrzucimy około $67\% + 16,5\% = 83,5\%$ punktów.

Drugim faktem, który dla nas jest kluczowy jest to informacja, że mikro soczewki nie trwają dłużej niż 100-200 dni.

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, 2011. [Online; accessed 21-December-2011].

MesserWoland. Dwa promienie.

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:](https://pl.wikipedia.org/wiki/Krzy%C5%BC_Einsteina#/media/Plik:Einstein_cross.jpg)

[//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.