

Soczewkowanie grawitacyjne

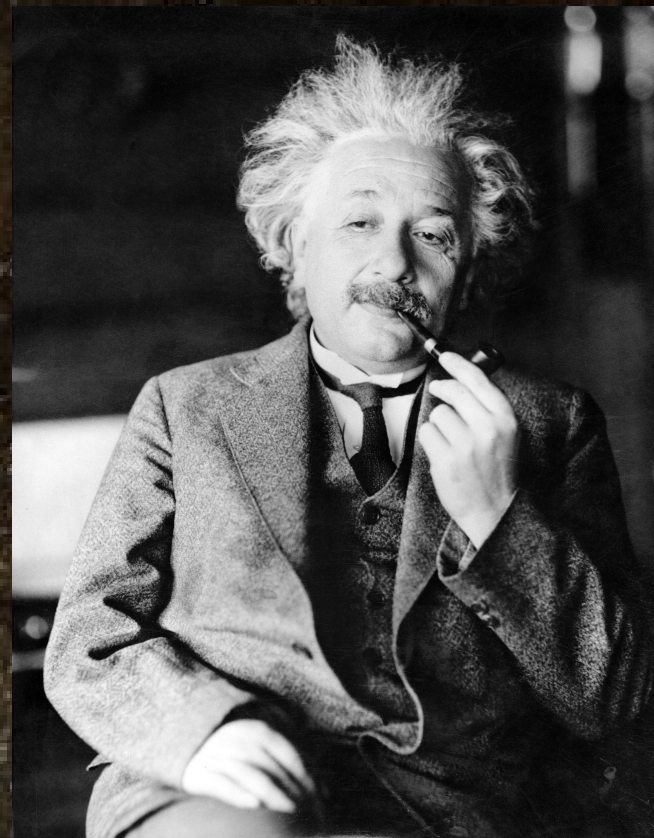
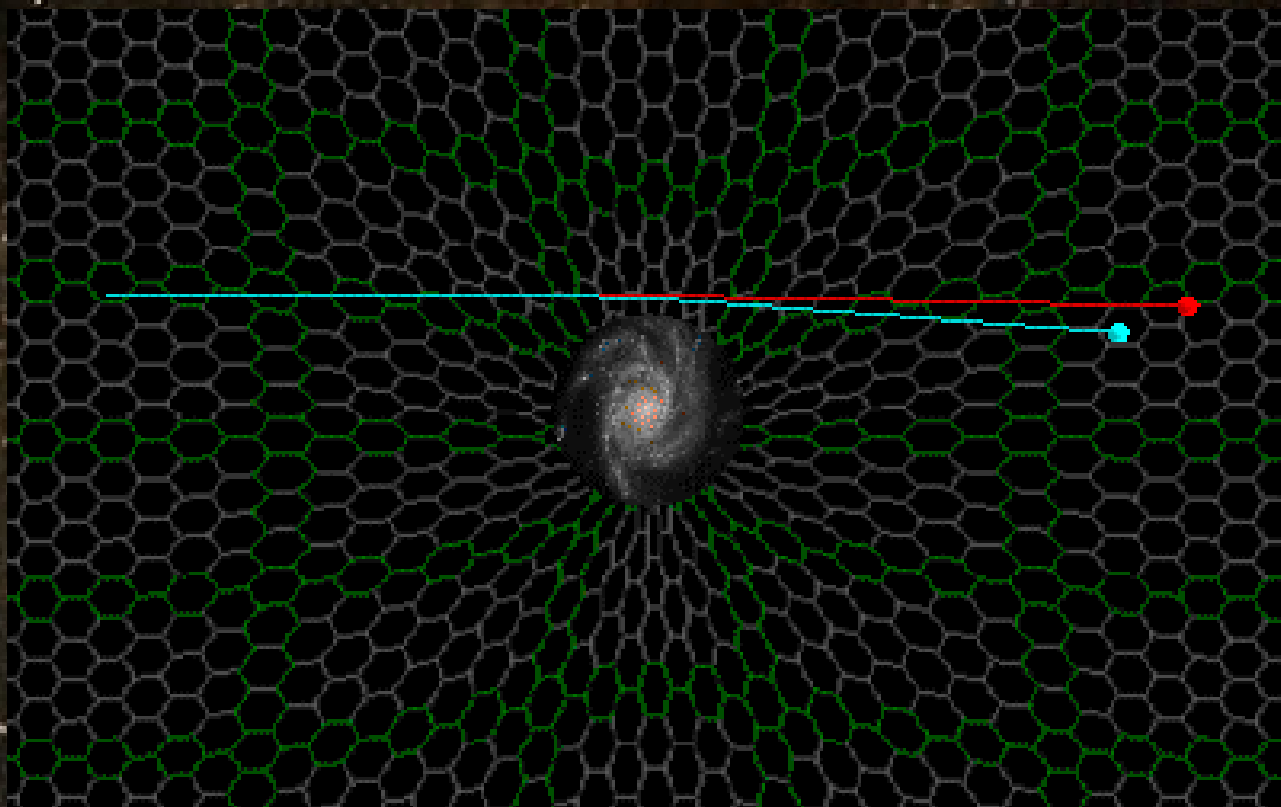
Jan Skowron
Obserwatorium Astronomiczne UW

Plan

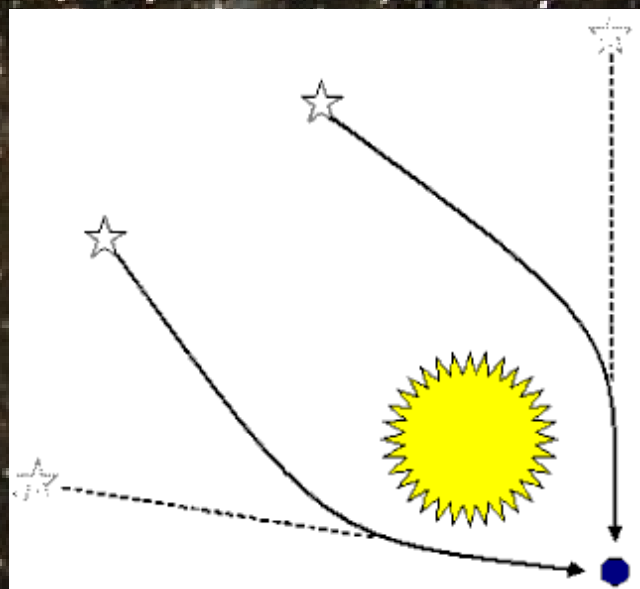
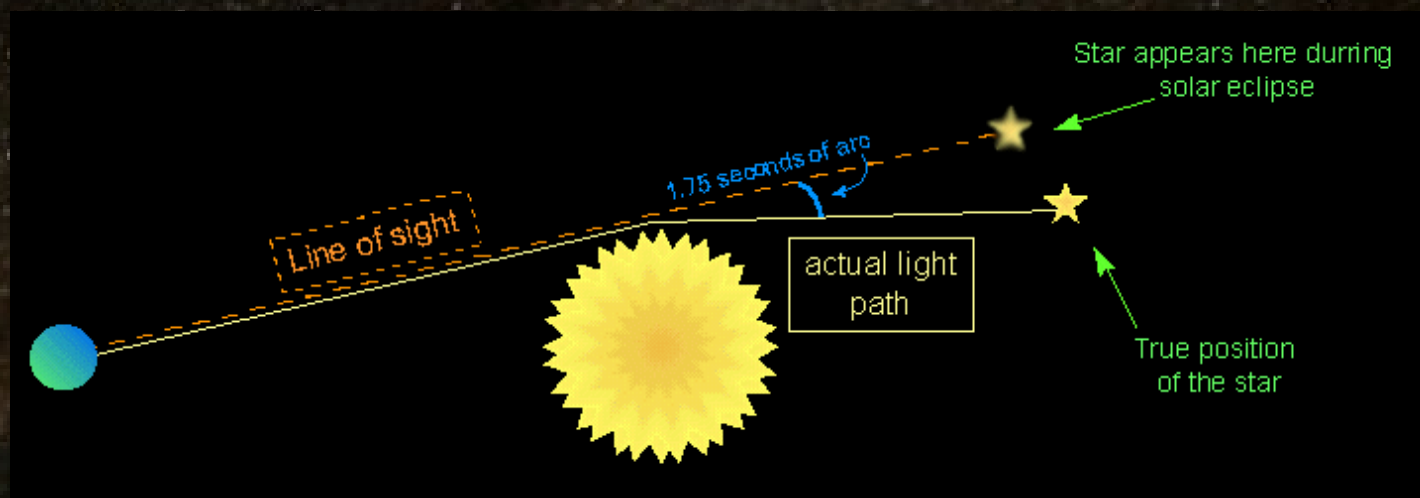
- Ugięcie światła - trochę historii
- Co to jest soczewkowanie
- Punktowa masa
- Soczewkowanie galaktyk
- ... kwazarów
- ... kosmologiczne
- Mikrosoczewkowanie w Galaktyce
- Układy podwójne i planety

Ugięcie światła w polu grawitacyjnym

- możliwe w teorii Newtona
- przewiduje je także teoria względności (Einstein 1915)



Pomiar ugięcia światła

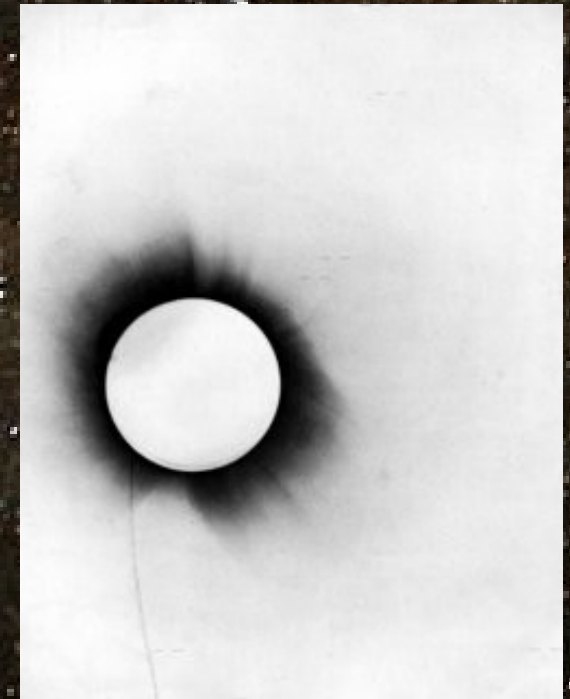
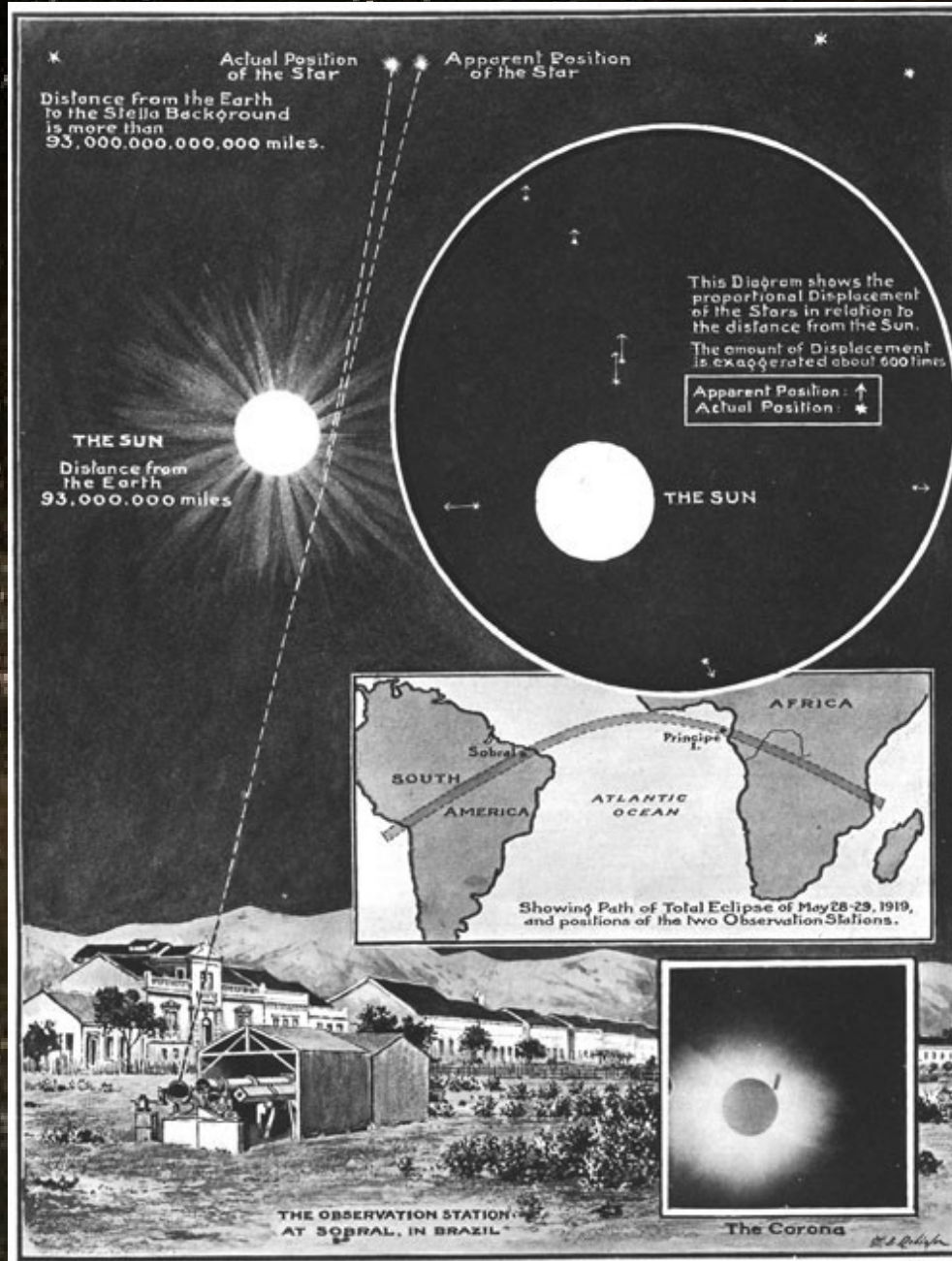


- zaproponowany eksperyment - zmiana położeń gwiazd w czasie zaćmienia Słońca

Ekspedycja Eddingtona

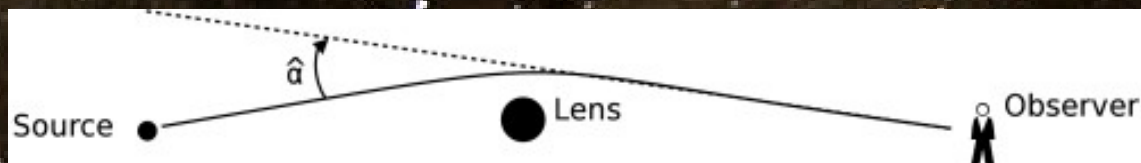


- 1919 rok

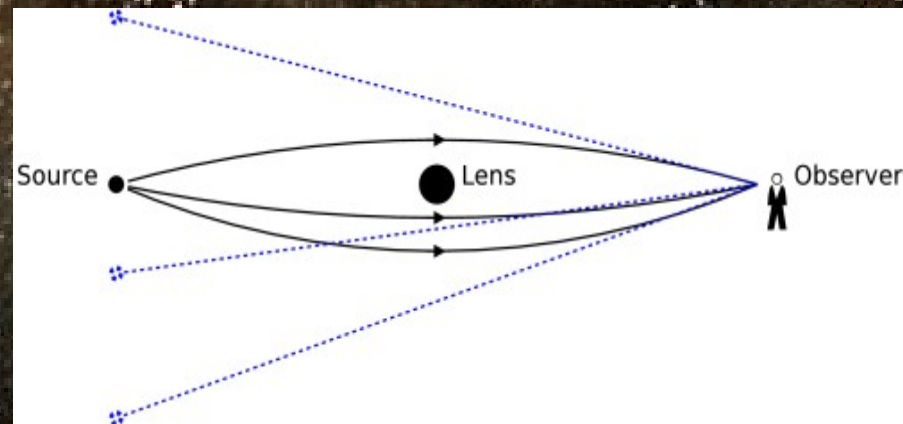
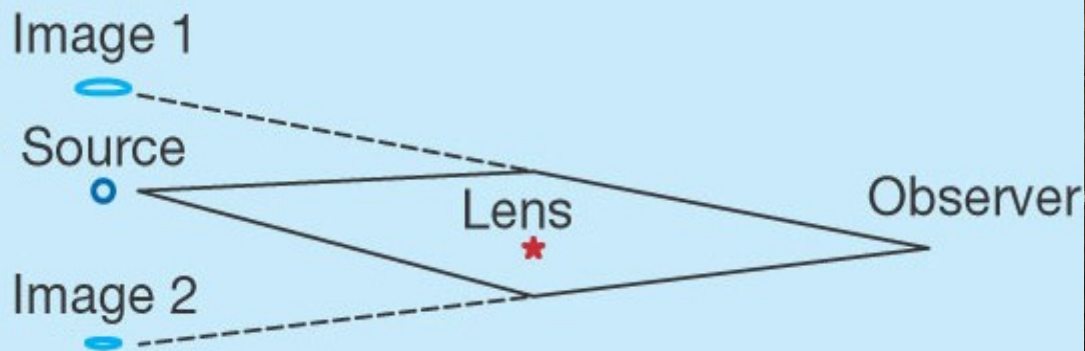


Co to jest soczewkowanie?

- ugięcie światła na masywnym obiekcie znajdującym się między obserwatorem a świecącym źródłem, powoduje



- zdeformowanie obrazu
- zmianę jego jasności
- często powstanie wielokrotnych obrazów



Albert Einstein a soczewkowanie

- efekt soczewkowania został pierwszy raz opublikowany przez Oresta Chwolsona w 1924 roku.
- jednak najczęściej przypisuje się to Einsteinowi cytując jego publikacje z 1936 roku.

i słusznie!

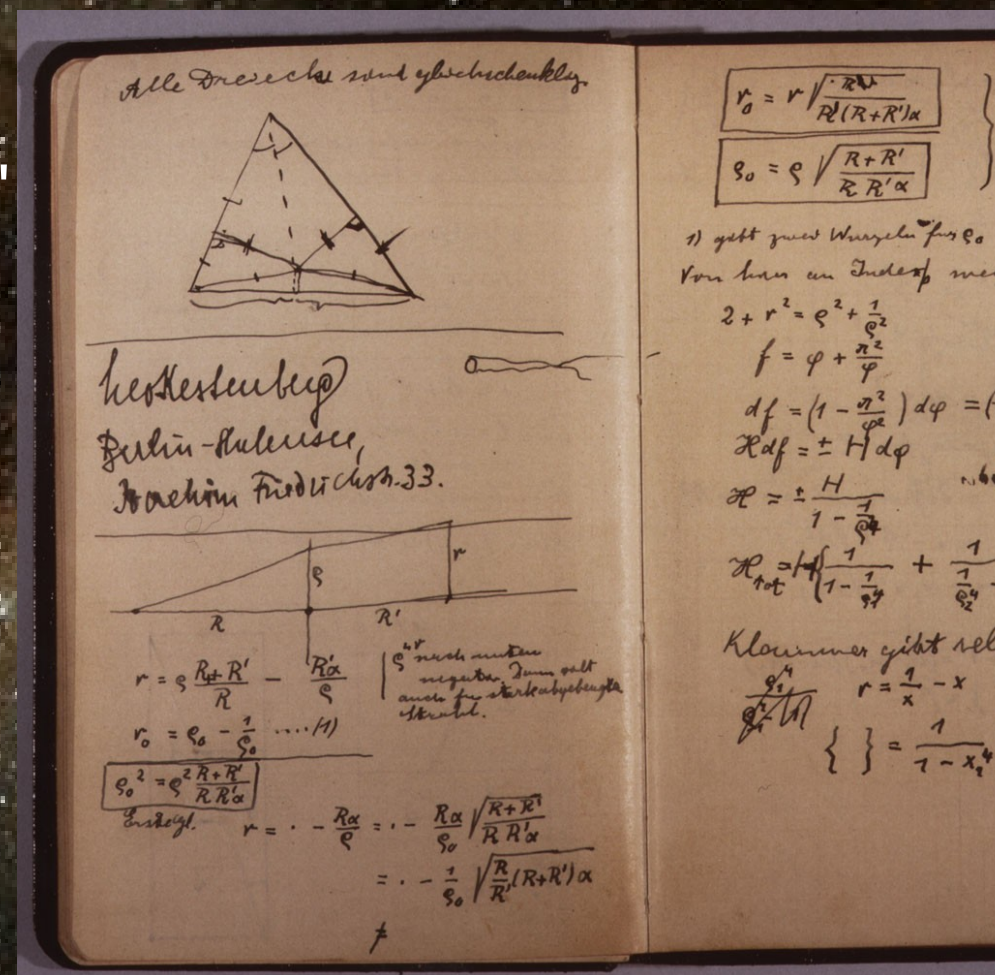
Einstein o swojej publikacji z 1936:

"Some time ago, R. W. Mandl paid me a visit and asked me to publish the results of a little calculation, which I had made at his request. This note complies with his wish"

do edytora Science:

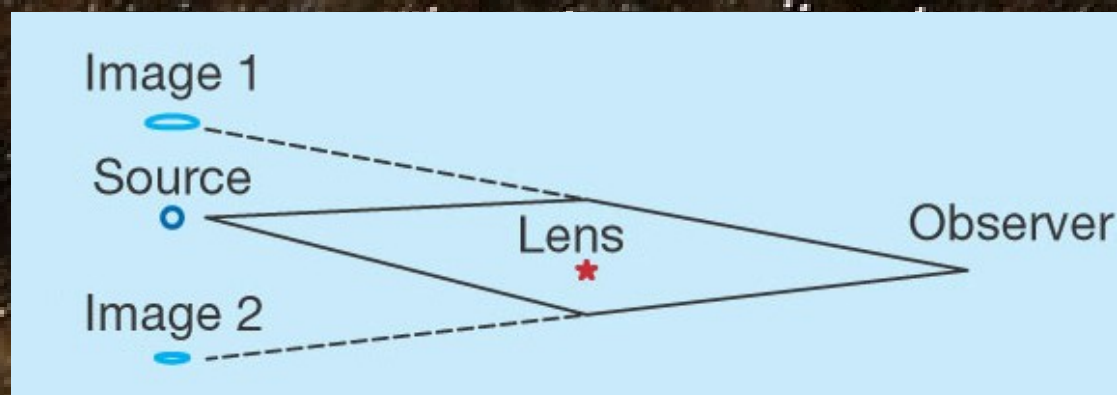
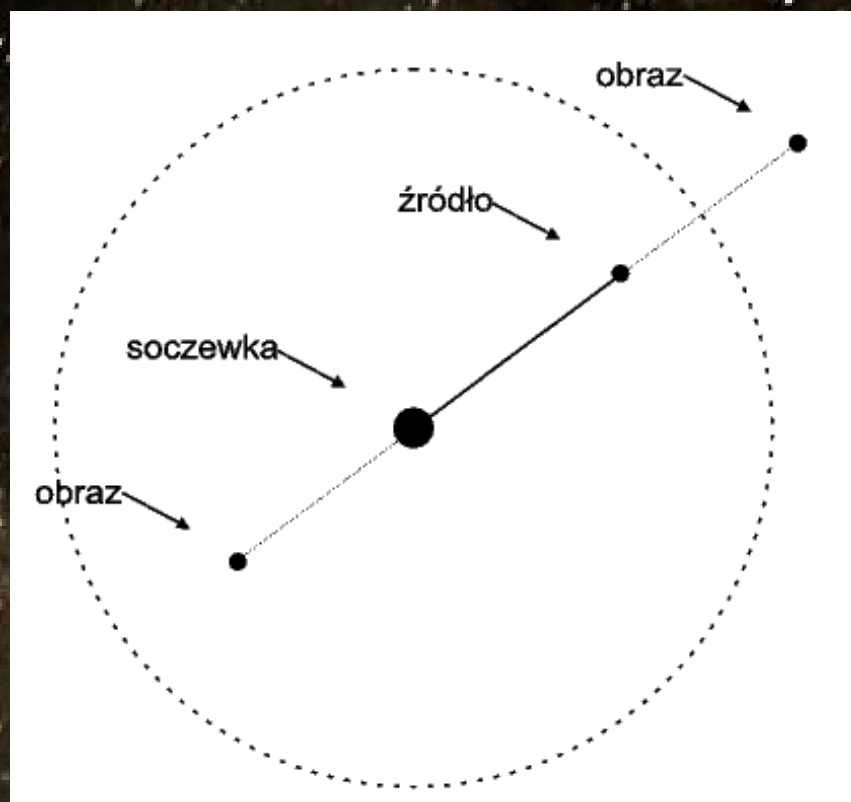
"Let me also thank you for your cooperation with the little publication, which Mister Mandl squeezed out of me. It is of little value, but it makes the poor guy happy"

A ponadto:
notatnik Einsteina z 1911 roku

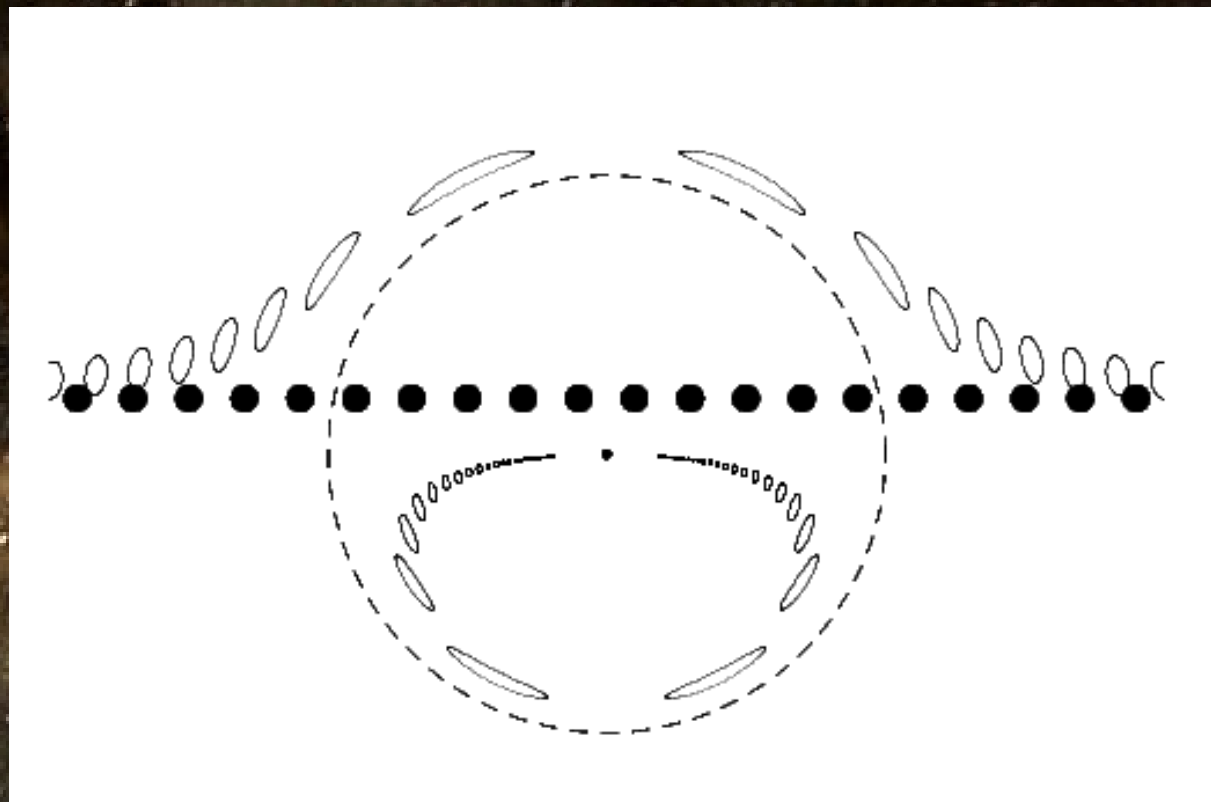
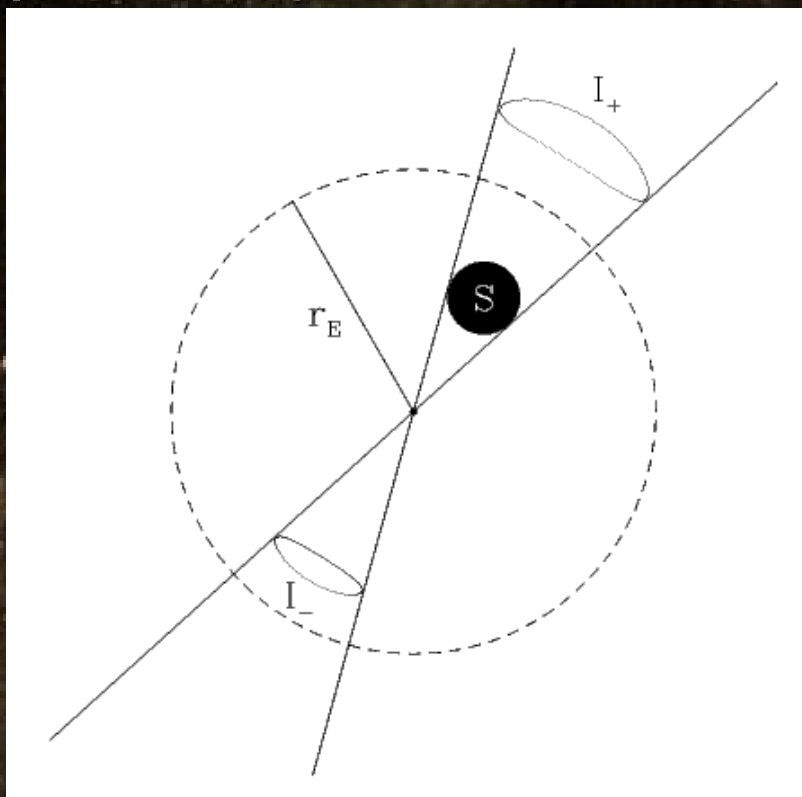


równanie na obrazy już tu było

Punktowa masa, punktowe źródło

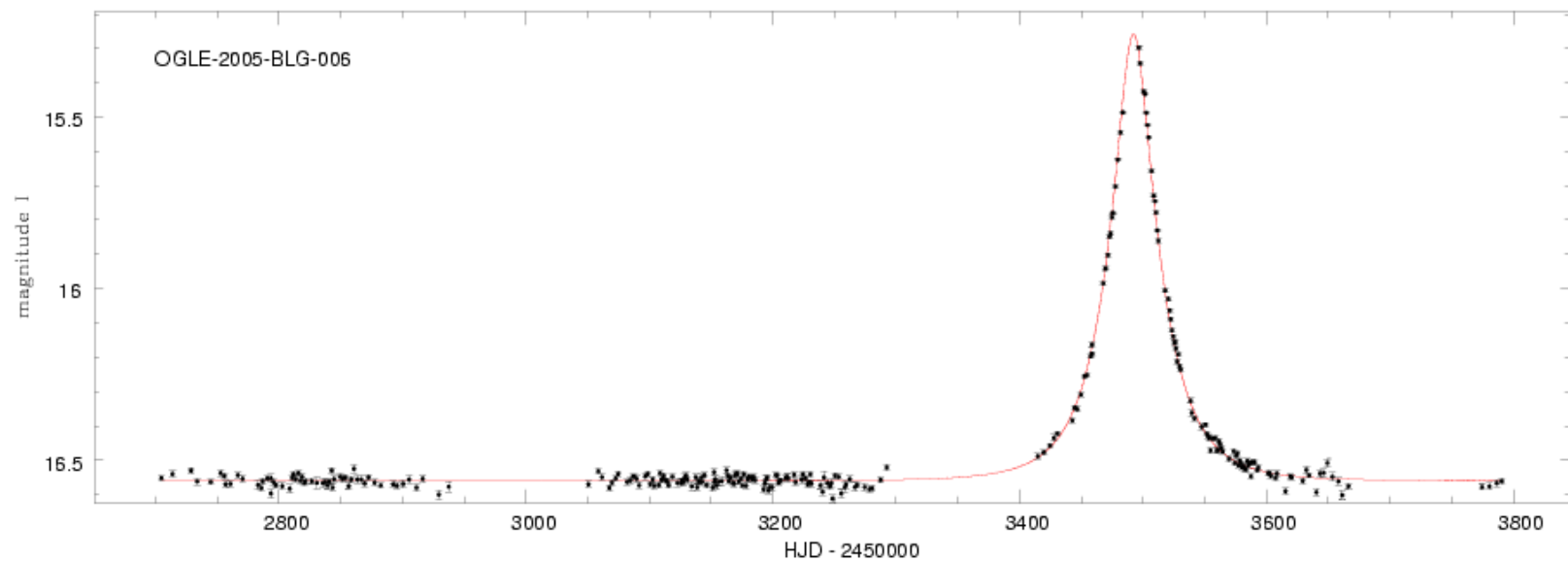
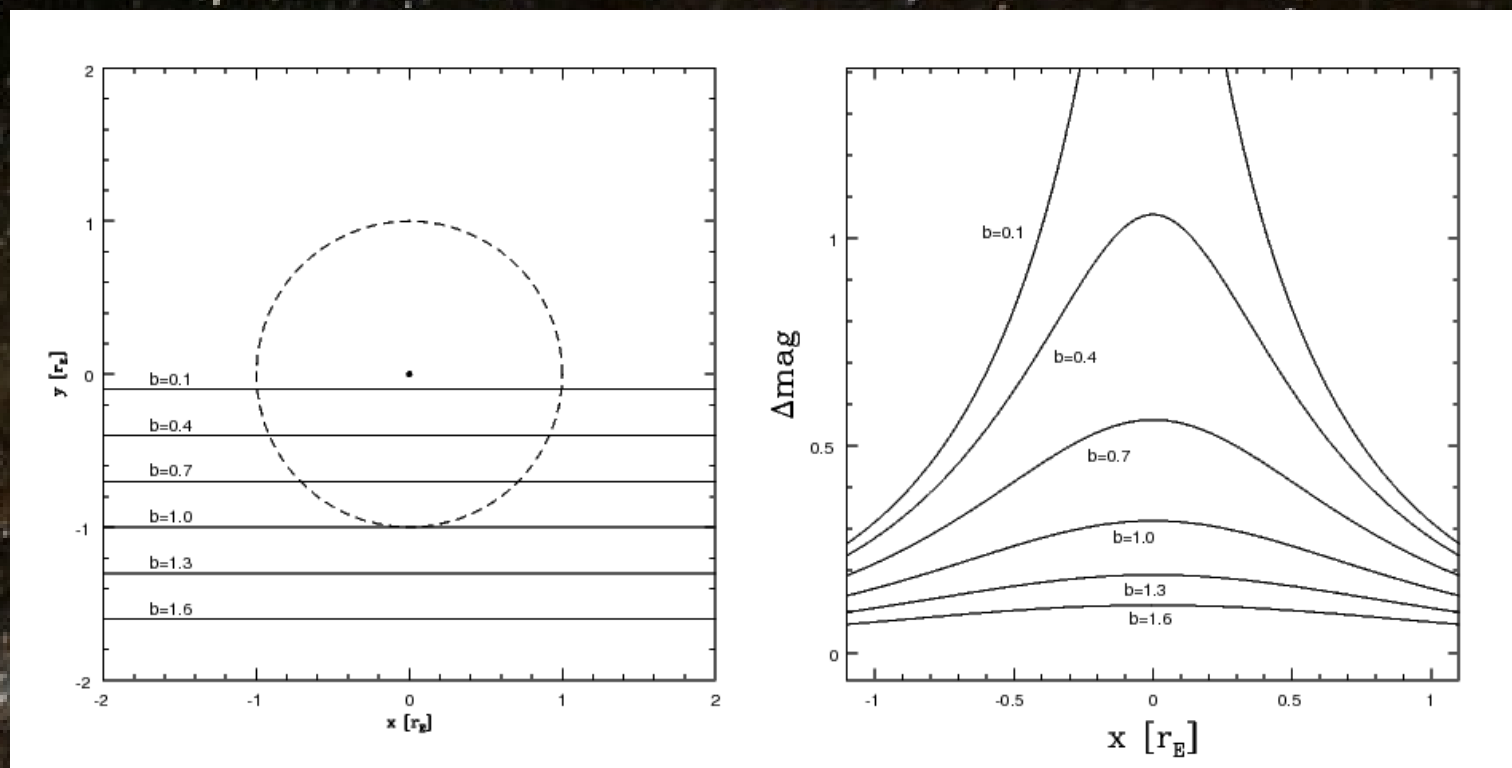


Punktowa masa, rozciągnięte źródło

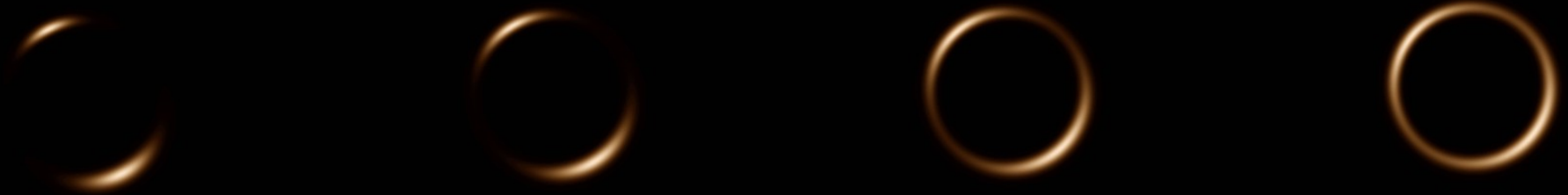
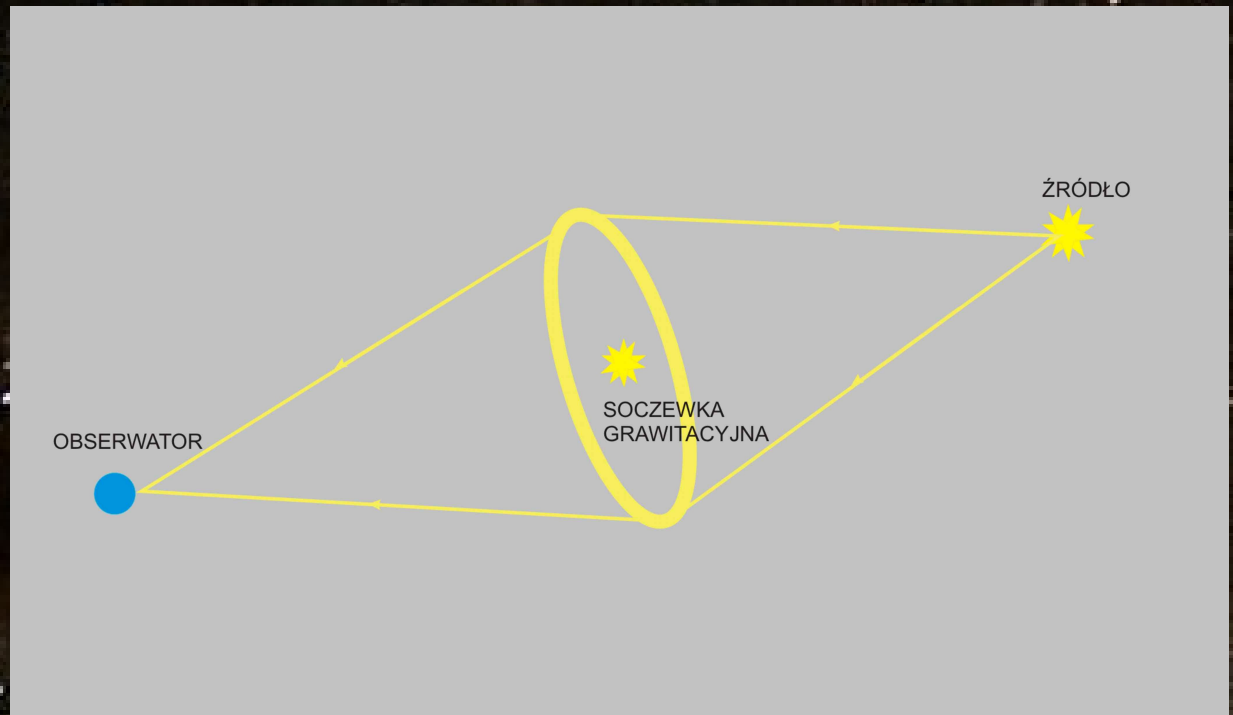


- widzimy pojaśnienie

Mikrosoczewkowanie



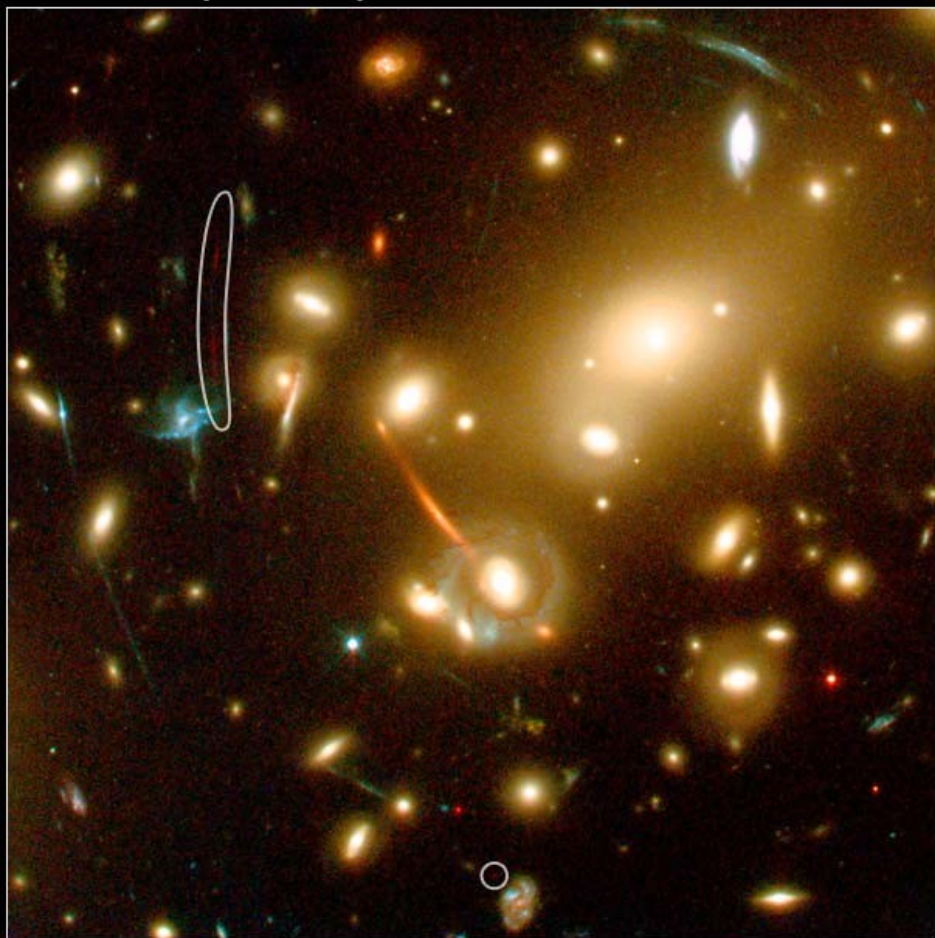
Pierścień Einsteina



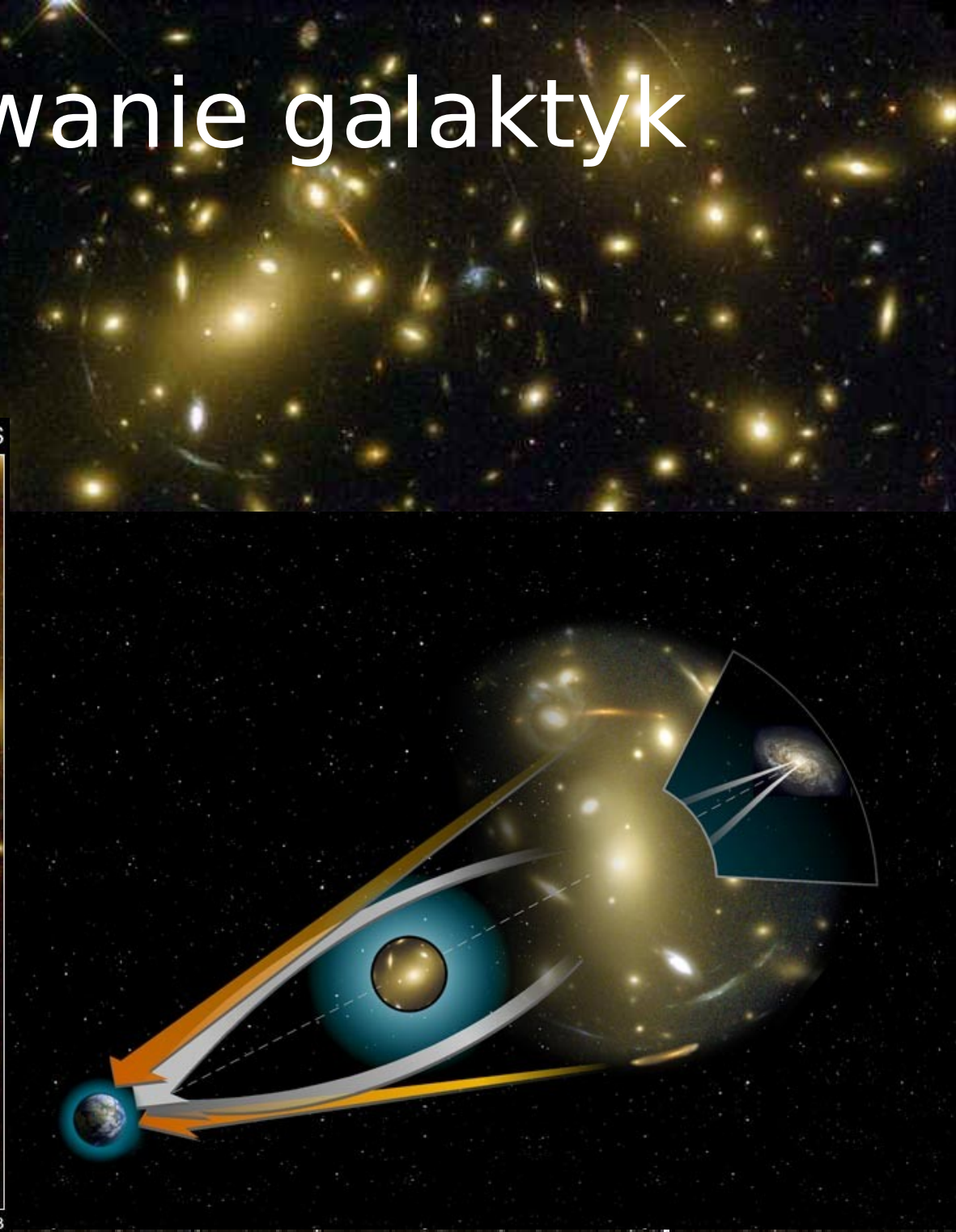
Soczewkowanie galaktyk

- jasne łuki w gromadach

Distant Galaxy Lensed by Cluster Abell 2218 HST • WFPC2 • ACS

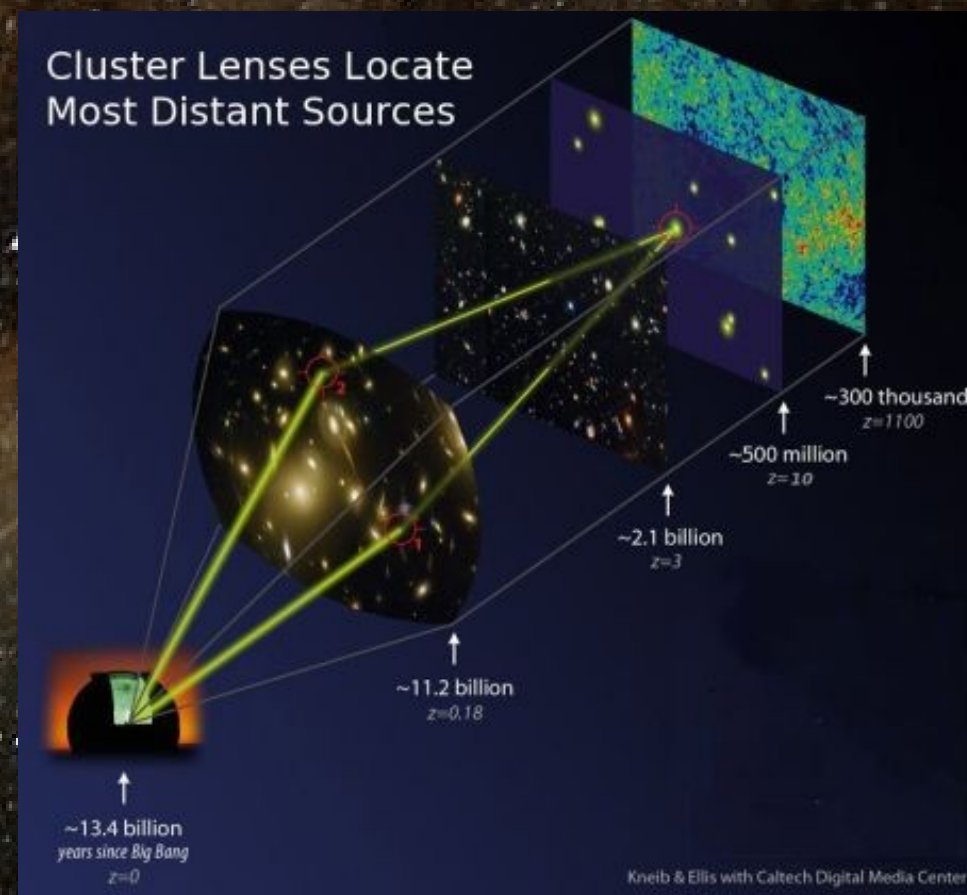


ESA, NASA, J.-P. Kneib (Caltech/Observatoire Midi-Pyrénées) and R. Ellis (Caltech)) STScI-PRC04-08



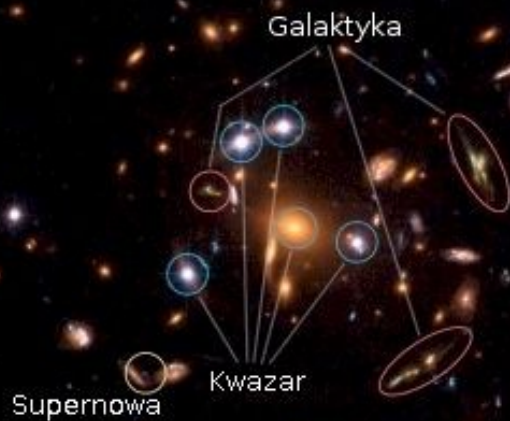
Soczewkowanie galaktyk

- pomiar masy gromad
- obserwacja bardzo dalekich obiektów (wzmocnionych)



Soczewkowanie kwazarów

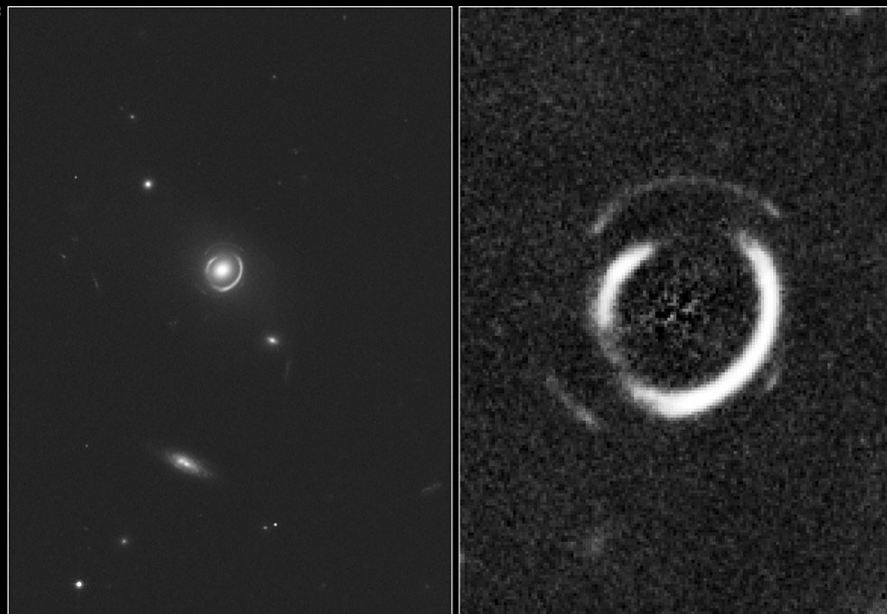
Gromada galaktyk SDSS J1004+4112
HST ACS/WFC



NEWS RELEASE Hubble finds double Einstein Ring



HEIC 0803

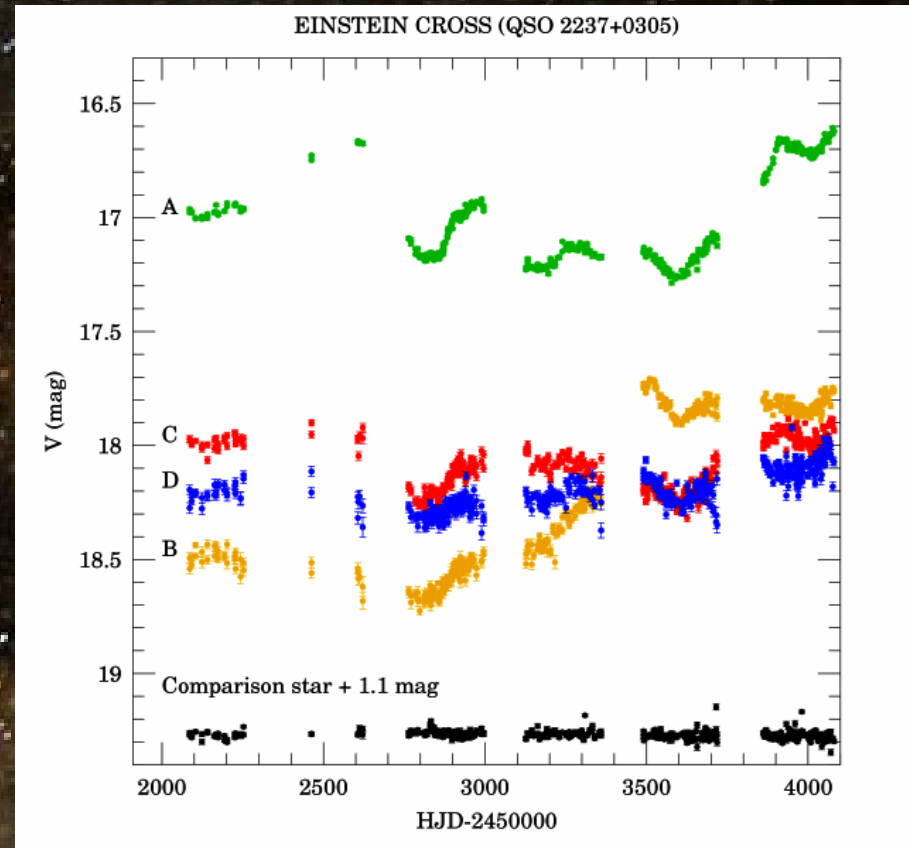
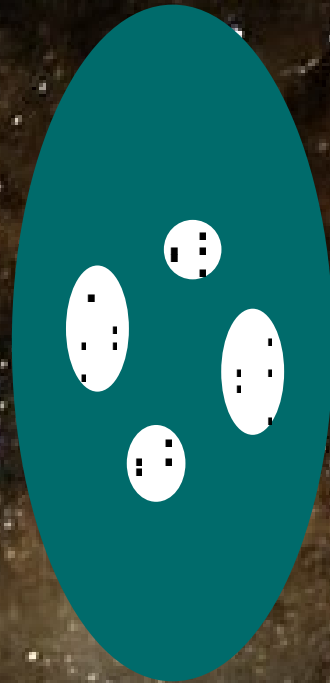
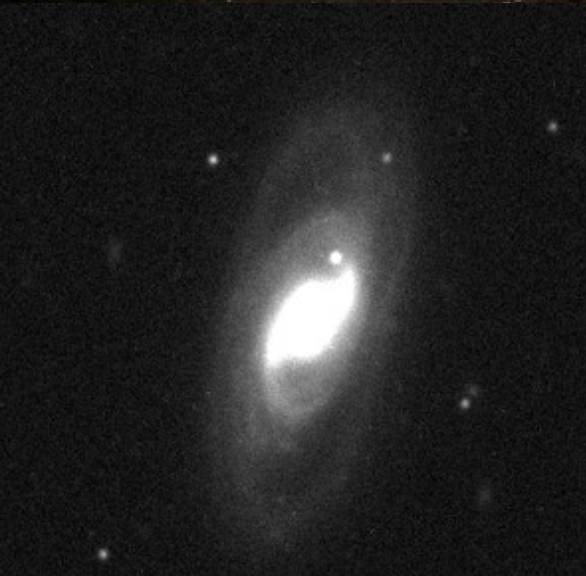


ACS

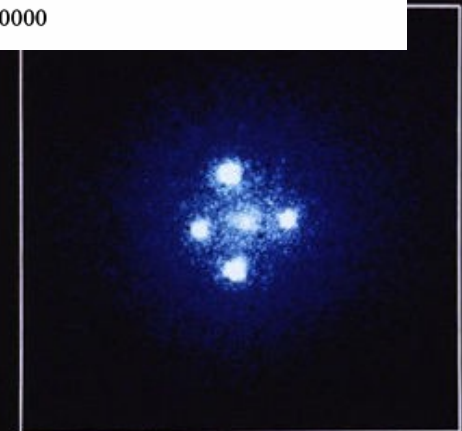
Jan Skowron

Krzyż Einsteina

- mikrosoczewkowanie w soczewkowaniu



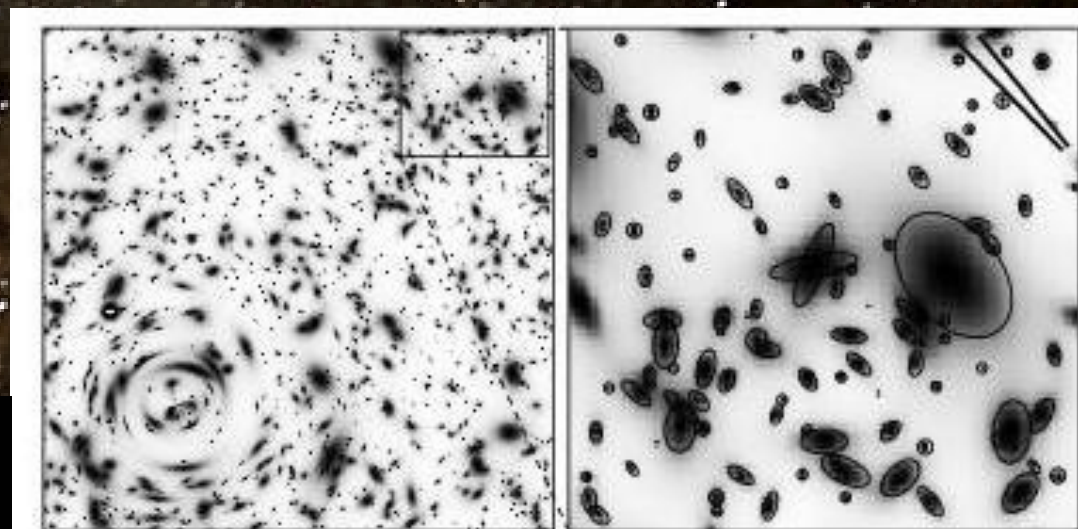
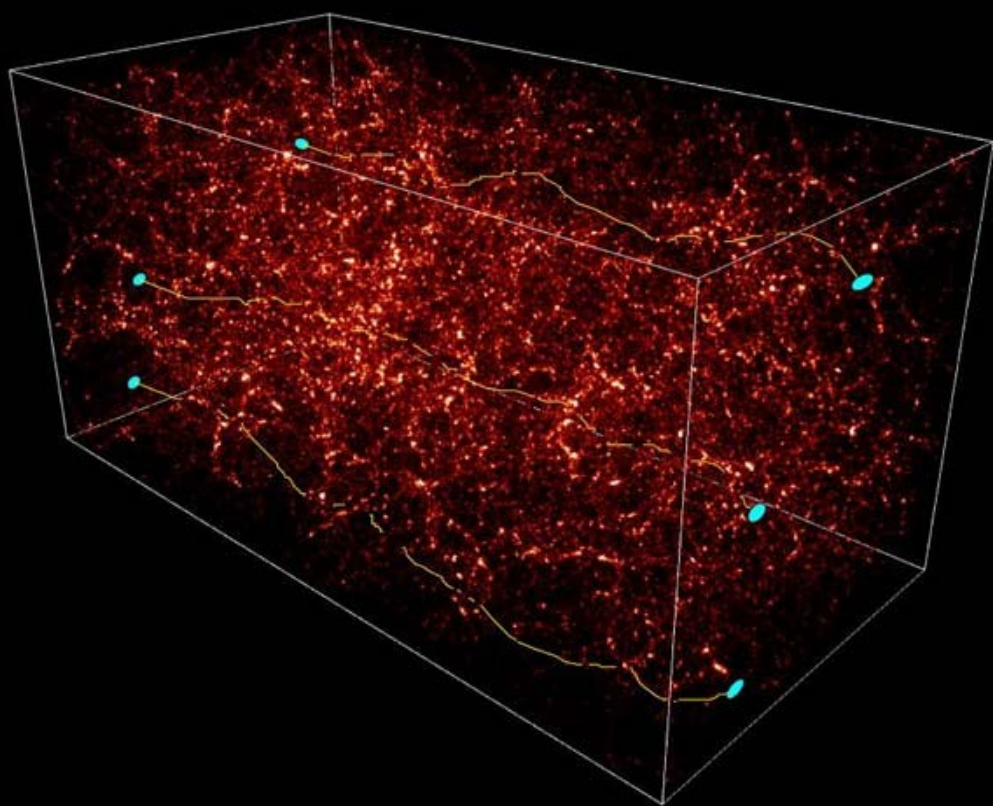
widzimy zmiany jasności obrazów kwazara, na skutek mikrosoczewkowania przez pojedyncze gwiazdy galaktyki-soczewki



Gravitational Lens G2237+0305

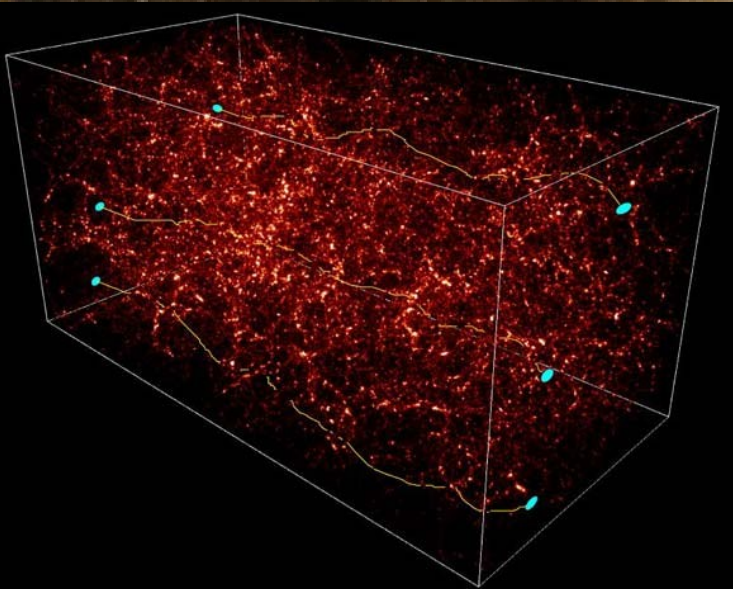
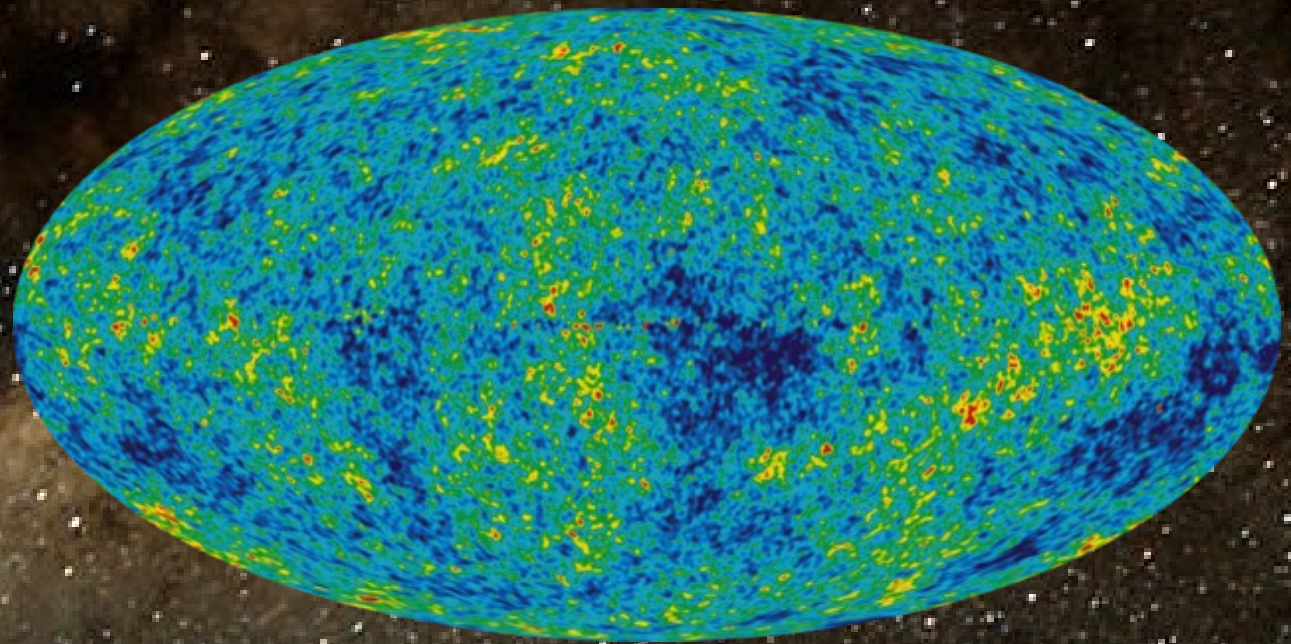
Słabe soczewkowanie

- badanie rozkładu gęstości Wszechświata
- ale i pomiary konkretnych gromad



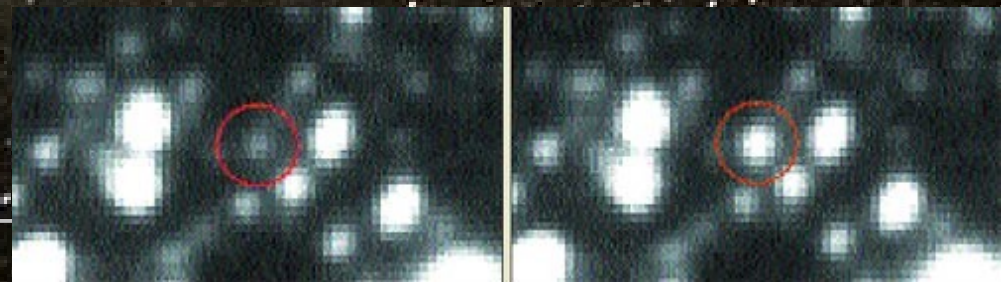
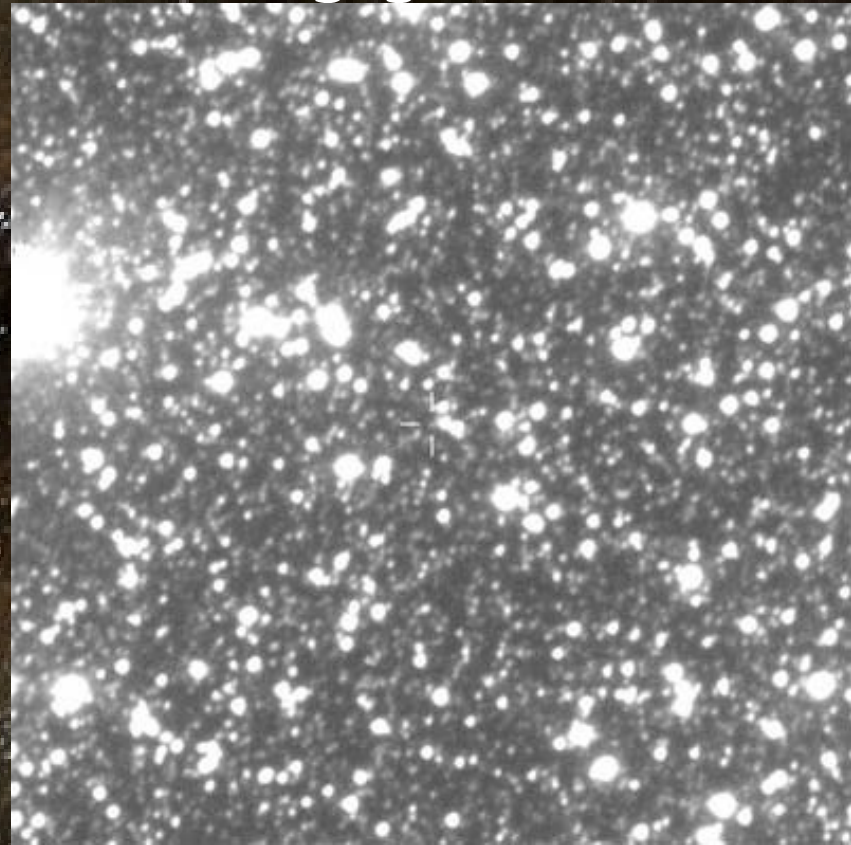
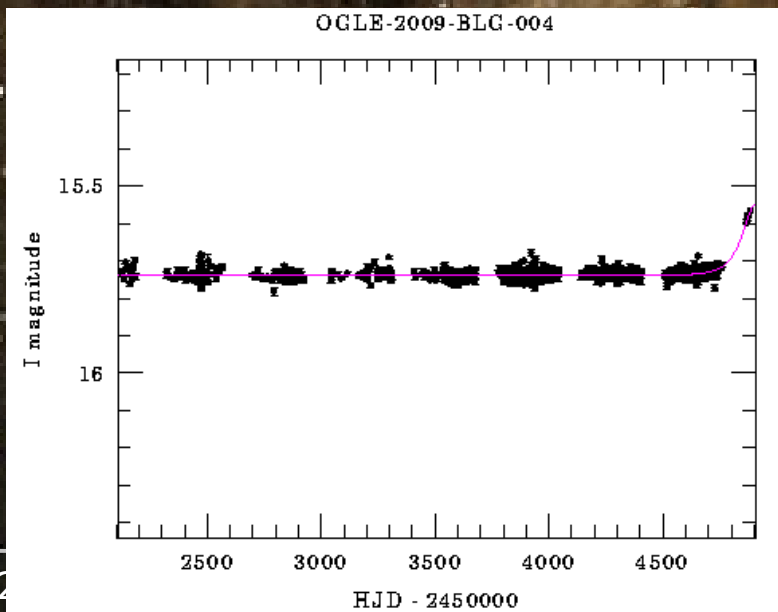
Soczewkowanie promieniowania tła

- wpływ na korelacje polaryzacji (satelita Planck)



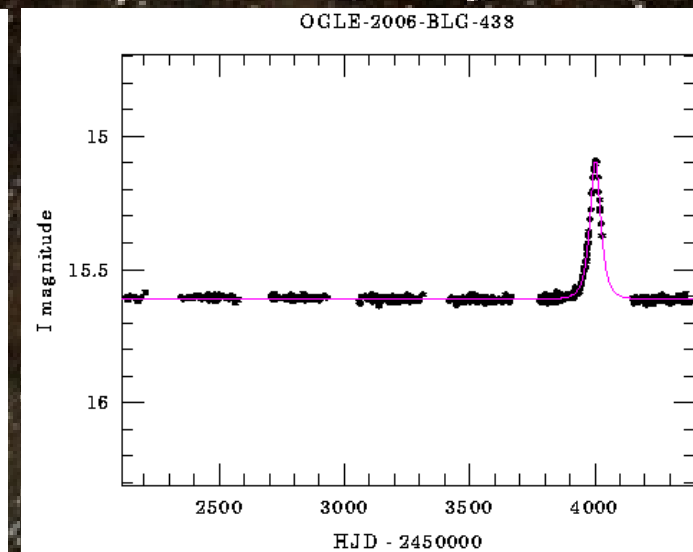
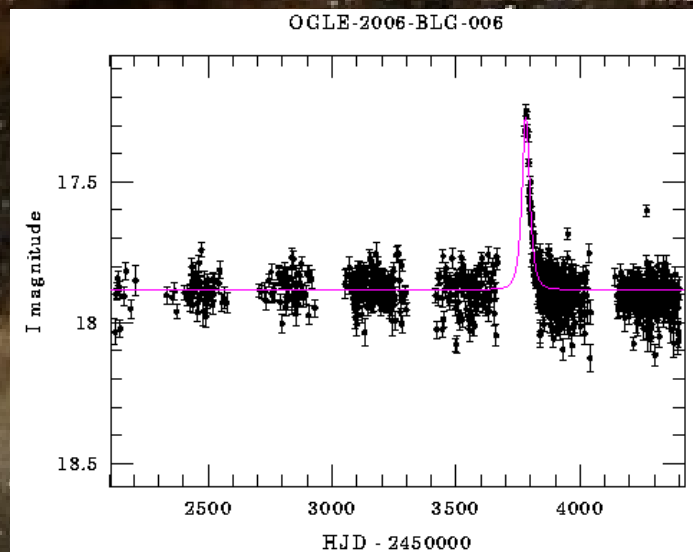
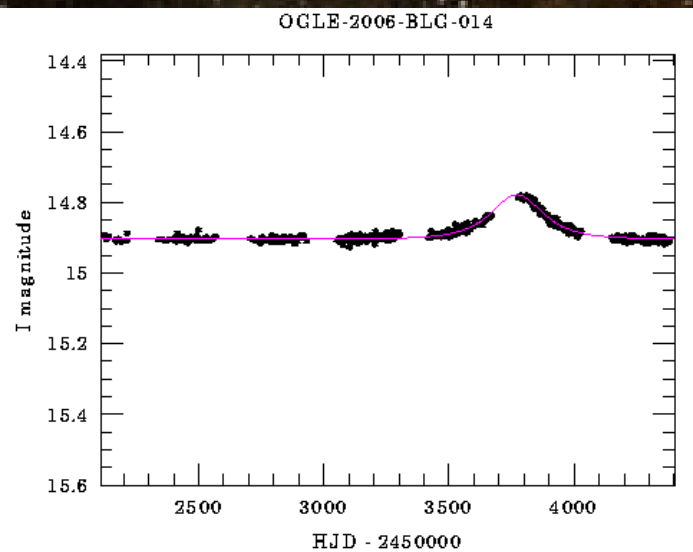
Mikrosoczewkowanie w Galaktyce

- Projekty OGLE i MOA - ciągły monitoring gwiazd ku centrum Galaktyki
- systemy wczesnego ostrzegania (np. OGLE Early Warning System)



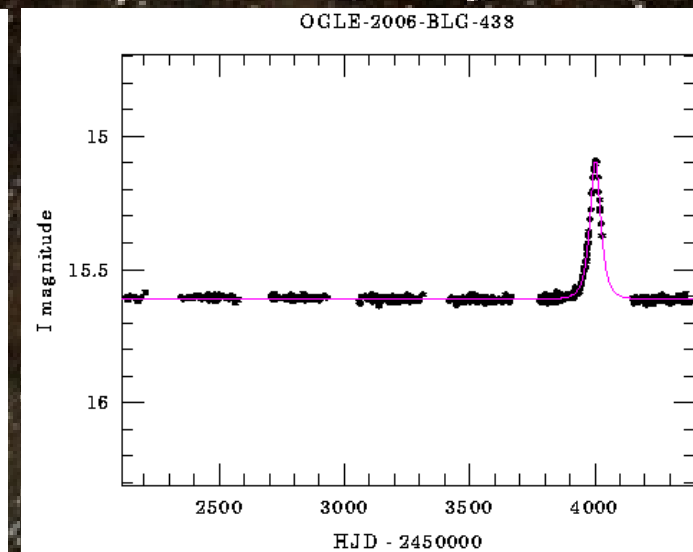
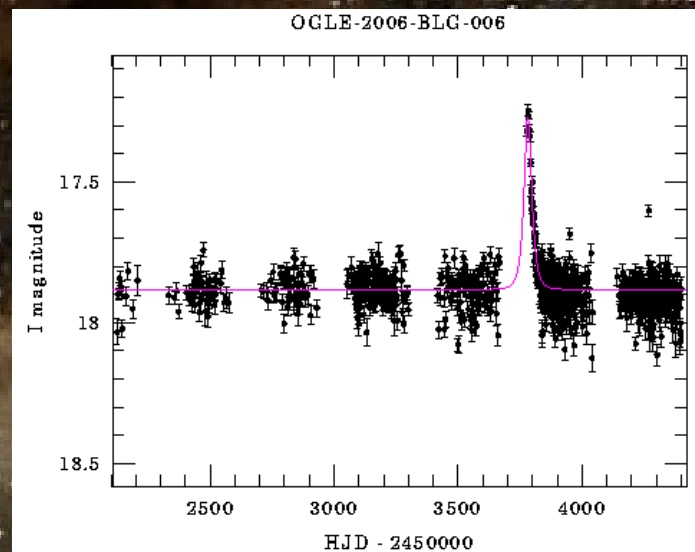
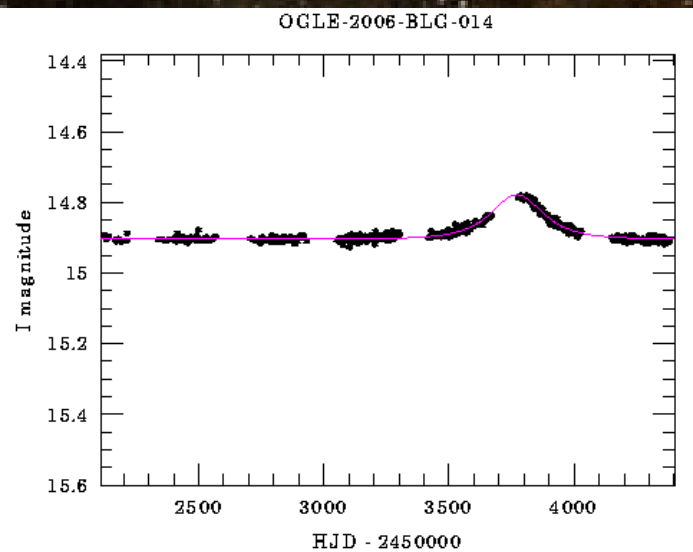
Projekt OGLE

- dokładna fotometria 200 mln gwiazd
- około 600 zjawisk / rok



Projekt OGLE

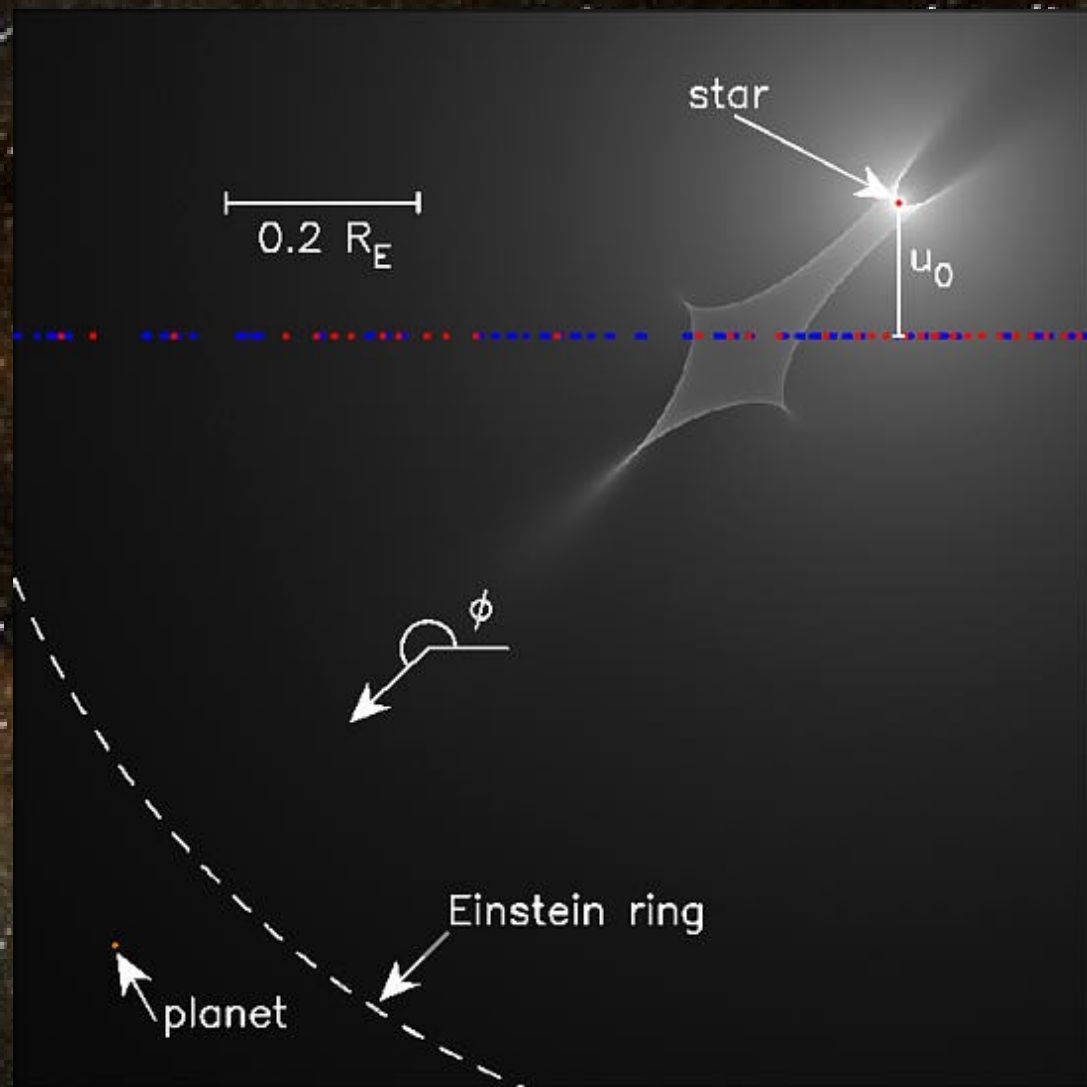
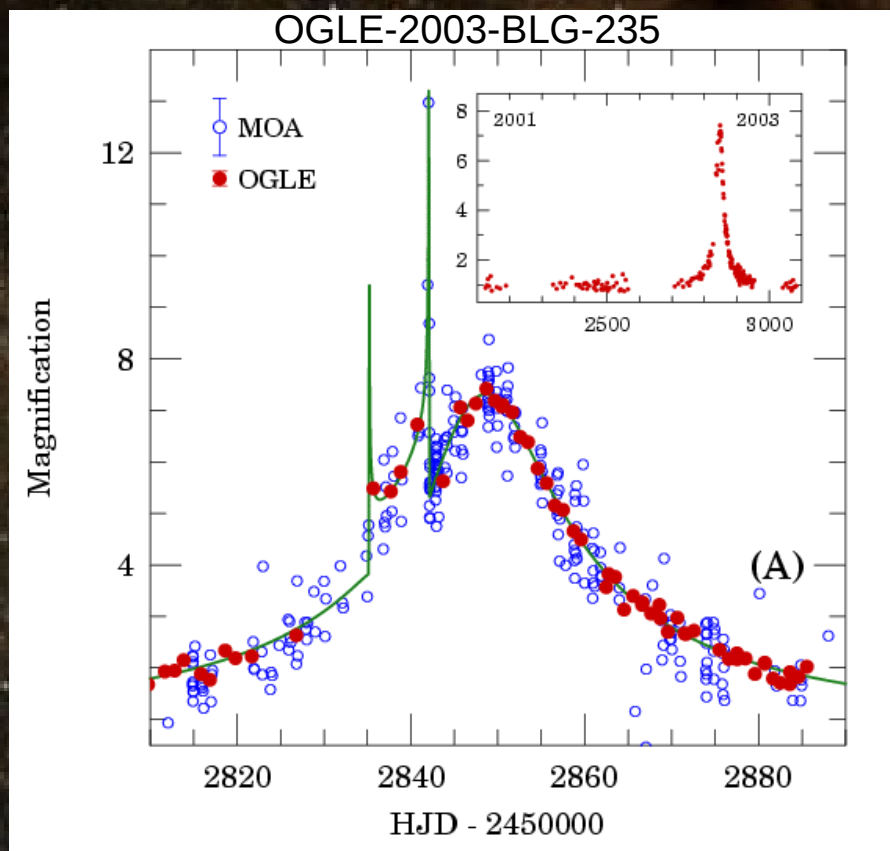
- dokładna fotometria 200 mln gwiazd
- około 600 zjawisk / rok



- a wśród nich... planety

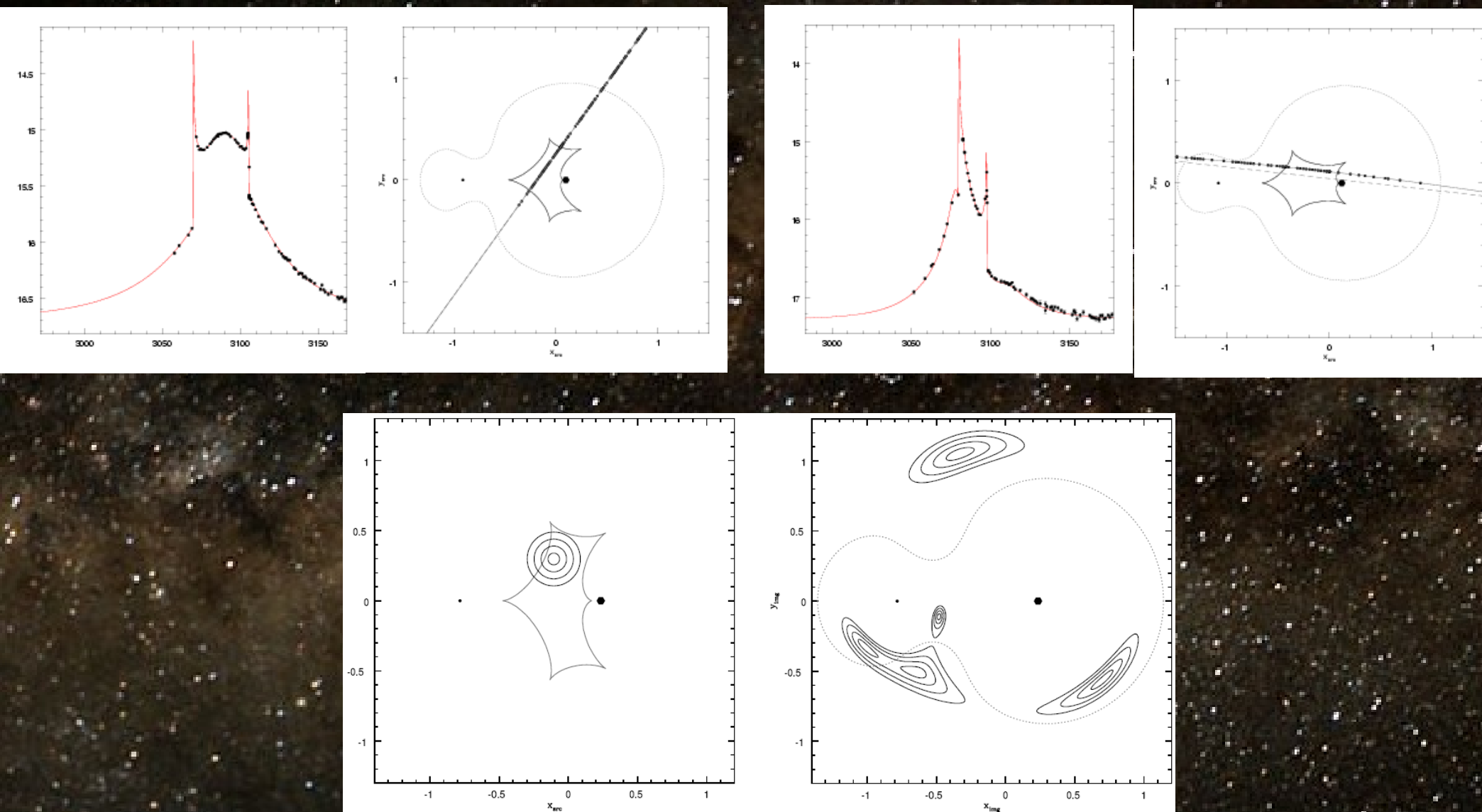
Planety

- planeta działa jako soczewka dla jednego z obrazów



planeta: 1.5 masy Jowisza, gwiazda $\sim 0.3 M_{\odot}$

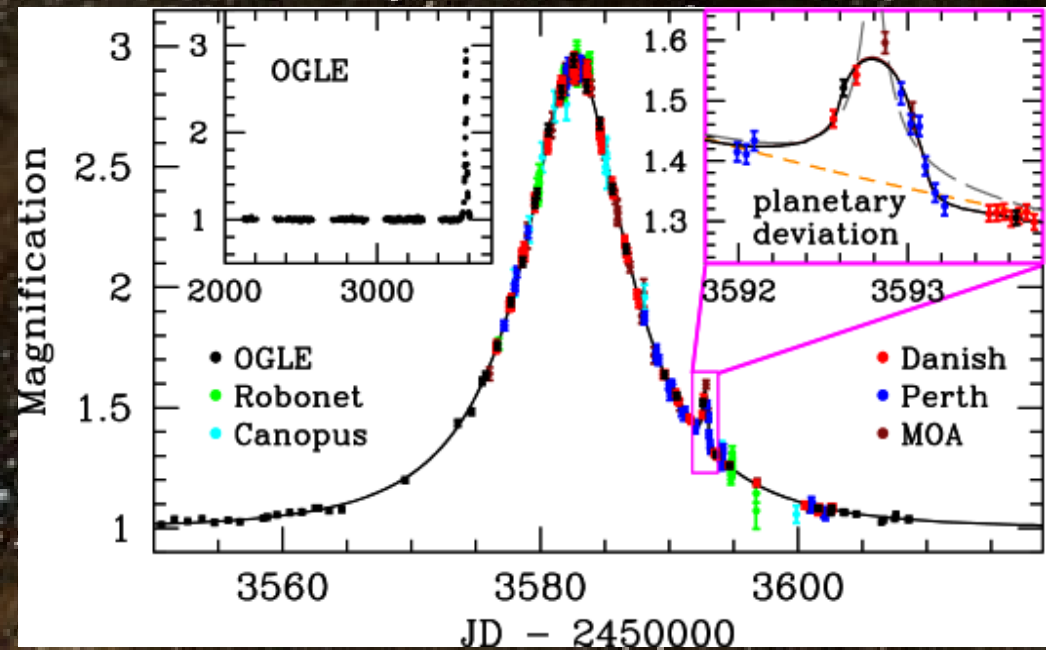
Układy podwójne



Gwałtowne pojaśnienie związane z powstaniem dodatkowych obrazów

Im mniejsza planeta, tym krócej trwająca odchyłka

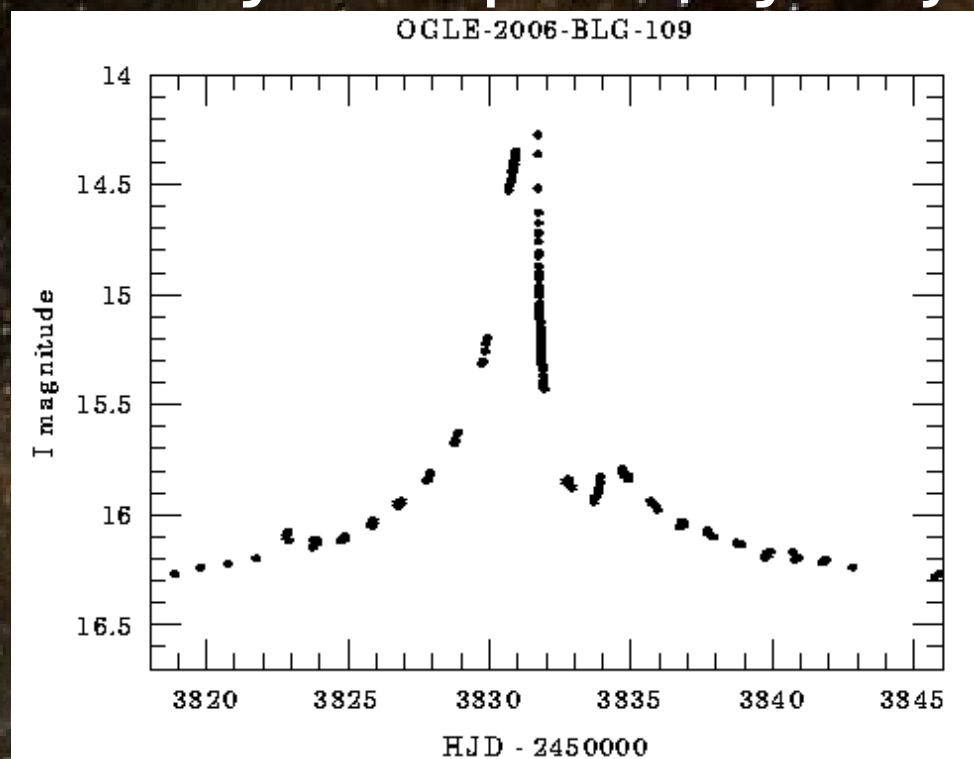
- planeta: 5.5 masy Ziemi
- gwiazda: 0.2 masy Słońca



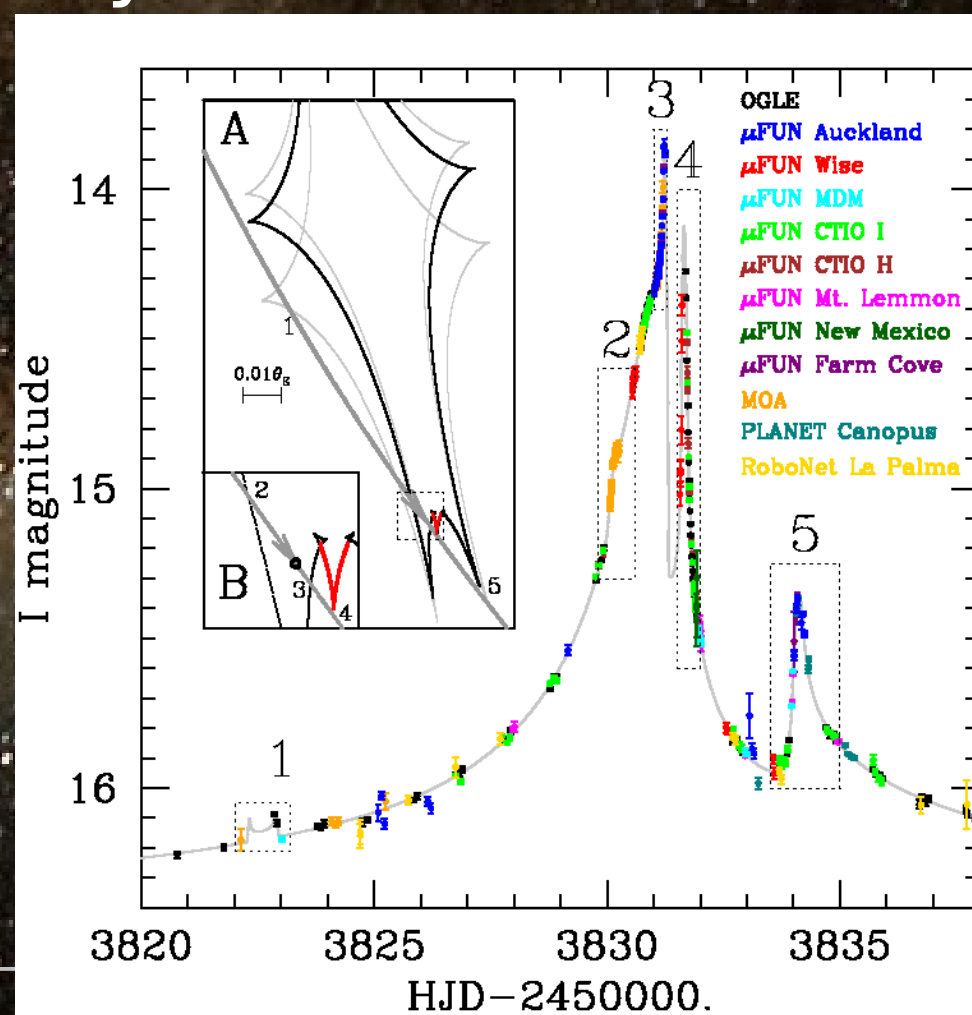
- Potrzebna koordynacja działań obserwatoriów wokół Ziemi
- Szybka wymiana informacji
- Automatyczny detektor anomalii planetarnych (np. OGLE EEWS)

Planety cd.

- odkrytych jest już 6 planet metodą mikrosoczewkowania
- w tym 2 planety w jednym układzie

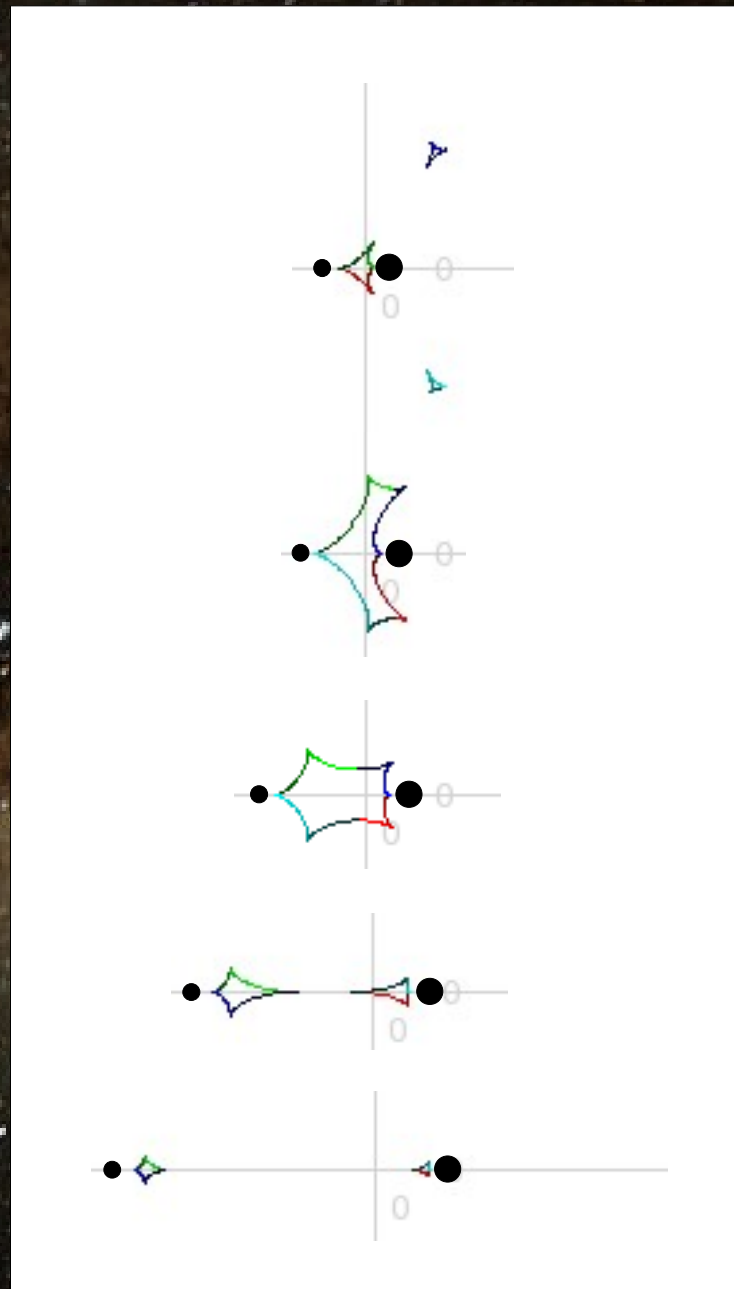


OGLE-2006-BLG-109
układ podobny do układu Jowisz/Saturn

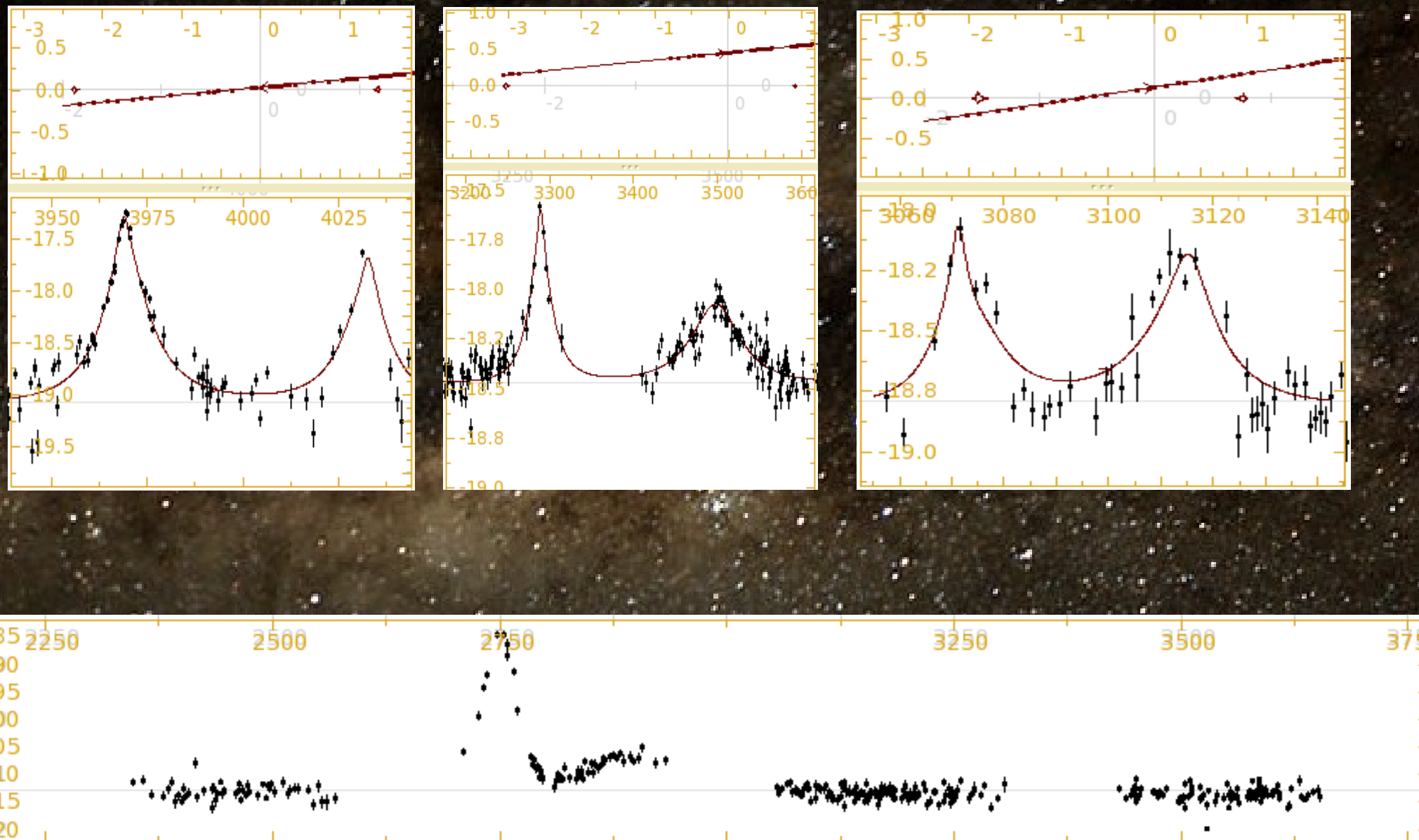


Na dużych orbitach

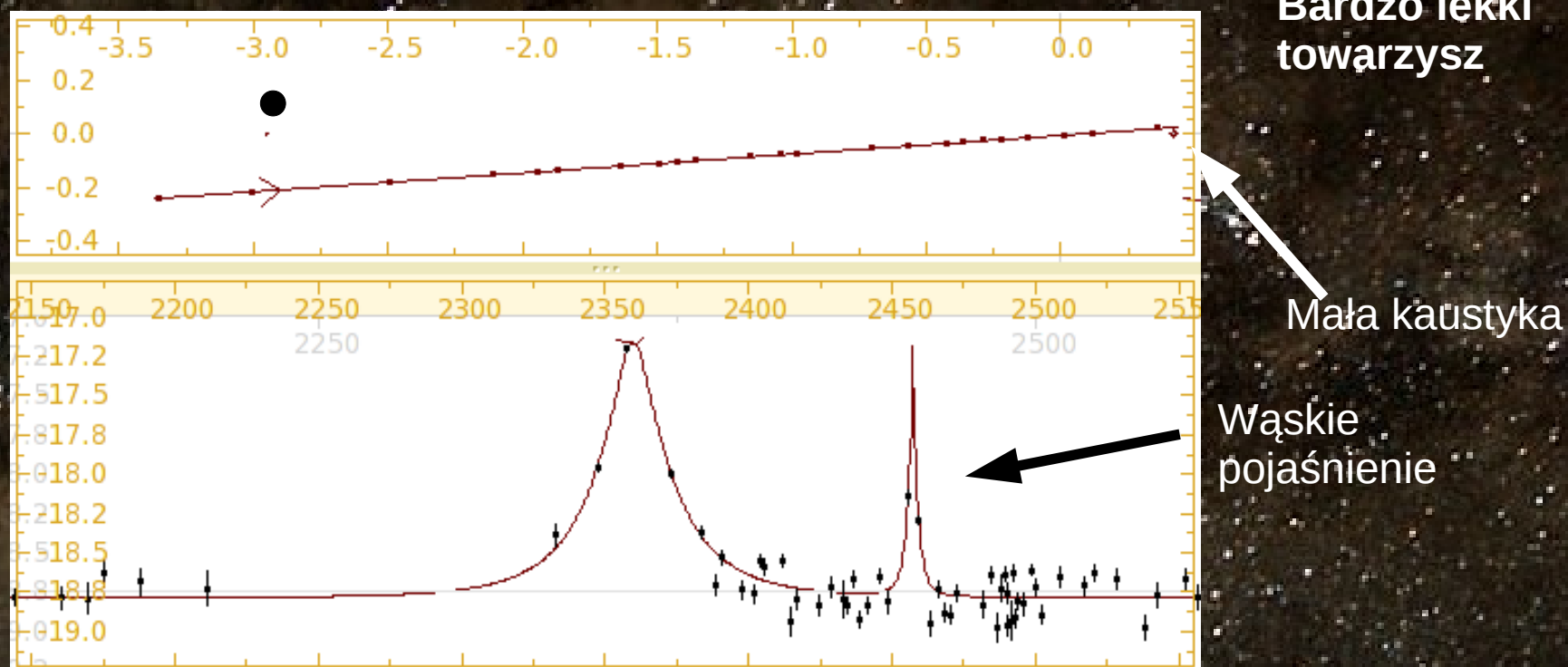
- Kształt kaustyk zmienia się wraz z separacją układu i stosunkiem mas składników
- Przy dużych separacjach podwójna soczewka zaczyna przypominać dwie pojedyncze soczewki



Dwa rozłączne wyjaśnienia



Ekstremalny stosunek mas



- Z tej krzywej blasku wynika stosunek mas $q \sim 0.008$
- W przypadku gwiazdy o masie Słońca $q \sim 0.008 \rightarrow 8 M_J$

Podsumowanie

- Soczewkowanie grawitacyjne to rozległe pojęcie.
- Wiąże się w wieloma efektami.
- Każdy znajdzie coś dla siebie.

Koniec

Dziękuję za uwagę



Obserwatorium Astronomiczne UW

<http://www.astrouw.edu.pl/>

OGLE

Early Warning System

<http://www.astrouw.edu.pl/~ogle/ogle3/ews/ews.html>

Udalski 2003, Acta Astron., 53, 291