

# Wstęp

## Kontakt i preferowana postać zgłoszeń rozwiązań

Adres mejlowy dedykowany tym warsztatom to `m.zielinski2+WWW` na serwerze `student.uw.edu.pl`. Można kierować na niego pytania, formułować wątpliwości itp.

Warto byłoby rozwiązania zaprezentować w sposób dość zwarty w pojedynczym pliku o przyjaznym formacie<sup>1</sup>, zawierając w nim zarówno wprost wspomniane w poniższych treściach elementy (wykresy itd.), jak i istotne fragmenty kodu lub niedługie opisy rozumowań i podjętych procedur, aby przedstawić swoje zaangażowanie<sup>2</sup>. Nie są to bezwzględne wymagania, ale polecałbym się trzymać jakiegoś ich ducha, np. plików może być dużo, jeśli będzie jasne czego każdy dotyczy i w jakiej kolejności należy je brać pod uwagę, bo np. wszystkie opisy będą umieszczone w jednym wyróżnionym pliku tekstowym, a resztą będą załączone grafiki, dane itp.

## Zakres

Nie będę się silił na pisanie własnych streszczeń na potrzeby kwalifikacji, kiedy dostępna jest polskojęzyczna praca doktorska dra Jana Skowrona z Obserwatorium Astronomicznego Uniwersytetu Warszawskiego [1], pod adresem <http://www.astrouw.edu.pl/~jaskowron/PhD/thesis/phd.pdf>. Do kwalifikacji polecam lekturę pracy do części 1.2.1 włącznie<sup>3</sup>.

Warto: przyjąć wzór 1.1; rozumieć wzór 1.7 na tyle, żeby widzieć analogię między wzorami 1.7 i 1.18<sup>4</sup>; rozumieć procedurę stosowania wzoru 1.7, w tym skąd się biorą naturalne wielkości Einsteina; przyjąć końcową formę wzoru 1.12 (1.15)<sup>5</sup>; rozumieć proces formowania krzywych Paczyńskiego; znać typową skalę czasową zjawiska mikrosoczewkowego oraz rozmiary kątowe rozważanych obiektów fizycznych lub miejsc geometrycznych.

Gdzie nie jest powiedziane inaczej, zadania dotyczą najprostszego przypadku mikrosoczewkowania grawitacyjnego z punktową masą soczewkującą oraz punktowym źródłem soczewkowanego światła o stałej jasności emitowanej.

## 1 Wzór na wzmocnienie

### 1.1 Wzmocnienie punktowe

Wykonać wykresy wzmocnienia punktowego  $\mu(u)$  w dwu skalach: liniowej oraz logarytmicznej w wielkościach gwiazdowych.

### 1.2 Efekt skończonego źródła

Wyznaczyć wzmocnienie  $\mu$  dla źródła nie punktowego, ale dla jednorodnie świecącej tarczy o promieniu kątowym  $\rho_*\theta_E$  (tj.  $\rho_*$  w jednostkach promienia Einsteina) umieszczonej centralnie za soczewką.

### 1.3 [Ambitne] Pociemnienie brzegowe

Spróbować wykonać powyższy punkt z uwzględnieniem pociemnienia brzegowego – zamiast przyjmować jasność powierzchniową za jednorodną, rozwinąć ją (zwyczajowo dla tego zagadnienia) w potęgach kosinusa. Na koniec zastosować przykładowe rozwinięcie z literatury – takie dla Słońca, do znalezienia na Wikipedii – i porównać wynik z otrzymanym w poprzednim punkcie.

<sup>1</sup>np. PDF, ale ze względu na formę warsztatów odpowiedni może być też przetworzony notebook Jupytera (a tego też można wyeksportować do PDF); niewyeksportowanych plików edytowalnych typu np. DOC unikałbym

<sup>2</sup>szczególnie w sytuacjach, w których realizacja zadania jest częściowa lub rezultaty budzą wątpliwości

<sup>3</sup>do strony 24

<sup>4</sup>czyli jak dodać później kolejną soczewkę

<sup>5</sup>dodawanie obu wzmocnień i sprowadzanie ich do końcowego wzoru nie wydaje się być dobrym ćwiczeniem z dziedziny astrofizyki

## 2 Formowanie krzywych jasności

### 2.1 Krzywe Paczyńskiego

Odtworzyć rysunek (co najmniej jego prawą część) 1.5 z pracy [1]. Pamiętać o skali wielkości gwiazdowych.

### 2.2 [Ambitne] Źródło na prostej orbicie

Spróbować wykreślić krzywą jasności punktowego źródła poruszającego się po okręgu poruszającym się jednostajnie i ustawionym prostopadle do osi soczewki. Wynik przedstawić jak na rys. 1.5 z pracy [1].

## 3 Nabieramy kolorów

### 3.1 Dużo w jednym

Zamiast wykreślać osobno niebo i krzywe jasności, przedstawić niebo tła (płaszczyznę źródeł) pokolorowane według wzmocnienia nabieranego w wyniku soczewkowania. Wykonać jedną kopię z dowolnie wybraną skalą kolorów<sup>6</sup> oraz jedną ze skalą intensywności od czerni do bieli (por. rys. 1.9 z pracy [1]).

## 4 Soczewkowanie silne

### 4.1 Transformata nieba

Dla źródła o parametrze zderzenia 0,4 (w jednostkach Einsteina) wykreślić niebo z naniesionymi trajektoriami obu obrazów (względem soczewki), tj. pokazać co widziałby obserwator o doskonałym *seeingu*<sup>7</sup> zamiast poruszającego się jednostajnie źródła za soczewką (por. rys. 1.4 z pracy [1]).

### 4.2 [Ambitne] Pomaluj niebo

Spróbować zsoczewkować całe niebo: przedstawić niebo widoczne przez doskonałego obserwatora powstałe przez soczewkowanie statycznej płaszczyzny źródeł, która jest reprezentowana przez dowolnie wybrany<sup>8</sup> obrazek. Inaczej mówiąc: jeśli niebo niesoczewkowane świeci wybranym kolorowym rysunkiem, jak będzie wyglądać po zsoczewkowaniu?

## 5 Tekstowe

### 5.1 Rzędy wielkości parametrów zjawisk w Galaktyce

Podać rzędy wielkości typowe dla mikrosoczewkowania w Galaktyce: skali czasowej, promienia *kątowego* Einsteina.

### 5.2 Parametry, czas i przestrzeń

- Czy zjawisko ma swój koniec w czasie? Jaki jest sens wprowadzania ściśle czasu Einsteina?
- Skoro promień kątowy Einsteina jest taki istotny czy naturalny, to dlaczego nic szczególnego nie widać (np. piku jasności) w momencie w którym źródło znajduje się w tej właśnie odległości od osi soczewki (tj.  $u = 1$ )?
- Spróbować porównać ze sobą odpowiedzi udzielone do obu powyższych punktów oraz porównać *ściśle sens* czasu Einsteina i promienia kątowego Einsteina.

---

<sup>6</sup> *colormap*

<sup>7</sup> rozdzielczości

<sup>8</sup> ale nie wychodzący poza (dość szerokie) granice przyzwoitości

### 5.3 Zmęczeni kosmicznymi laserami śmierci?

Dlaczego dowolnie duże (w okolicach osi optycznej) wzmocnienie mikrosoczewkowe  $\mu$  światła nie powoduje obserwowania na Ziemi nadzwyczajnie intensywnego światła mogącego wyrządzać krzywdy?

### 5.4 [Ambitne] *Spaleni słońcem*

Jak bardzo (czy dowolnie? jakie są fizyczne ograniczenia?) można by coś rozgrzać w świetle wzmocnionym mikrosoczewkowo? Można ograniczyć rozumowanie do obecności trzech ciał: źródła światła, masy soczewkującej, obserwatora do nagrzania.

## Wskazówki

Do dodania, w szczególności wraz z nadchodzącymi pytaniami.

## Literatura

- [1] *Analiza niestandardowych zjawisk mikrosoczewkowania grawitacyjnego gwiazd Galaktyki*, J. Skowron. Uniwersytet Warszawski, 2009. <http://www.astro.uw.edu.pl/~jskowron/PhD/thesis/phd.pdf>