

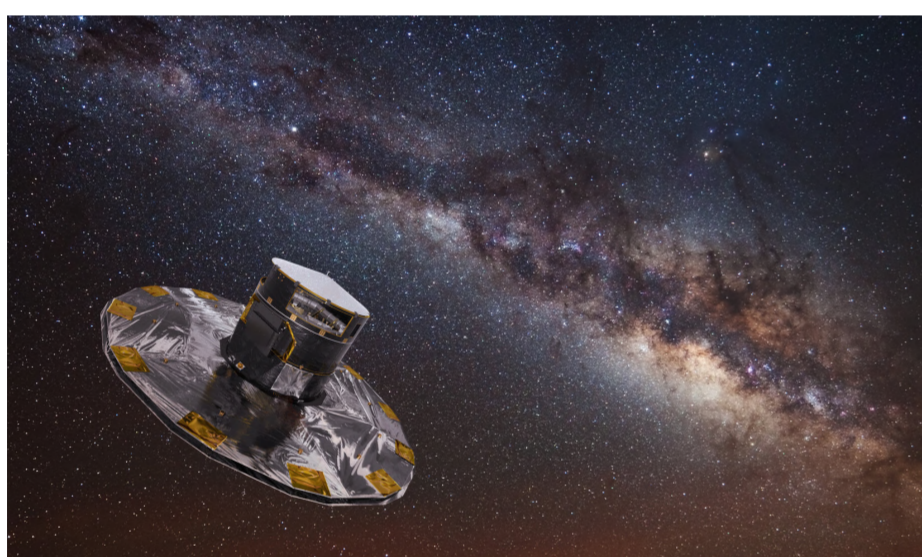
# POSZUKIWANIE CZARNYCH DZIUR

Eliza Płotnikowa, Maksymilian Celiński, Paweł Szewczyk

Celem projektu było znalezienie kandydatów na czarne dziury. Jest to istotny temat w ostatnich latach, dlatego postanowiliśmy się tym zająć.

## O misji Gaia

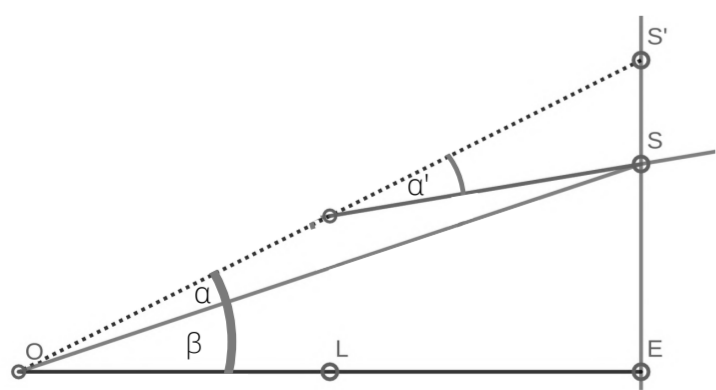
Gaia to misja Europejskiej Agencji Kosmicznej, której celem jest wykonanie niezwykle precyzyjnej mapy naszej Galaktyki. Sonda przyjrzy się każdej gwiazdzie co najmniej 70 razy, określając ich położenie, prędkość i jasność. Dane udostępniane są w seriach danych. Katalogiem, z którego skorzystaliśmy był EDR3, okrojona wersja pełnego katalogu, który będzie dostępny w 2022 roku.



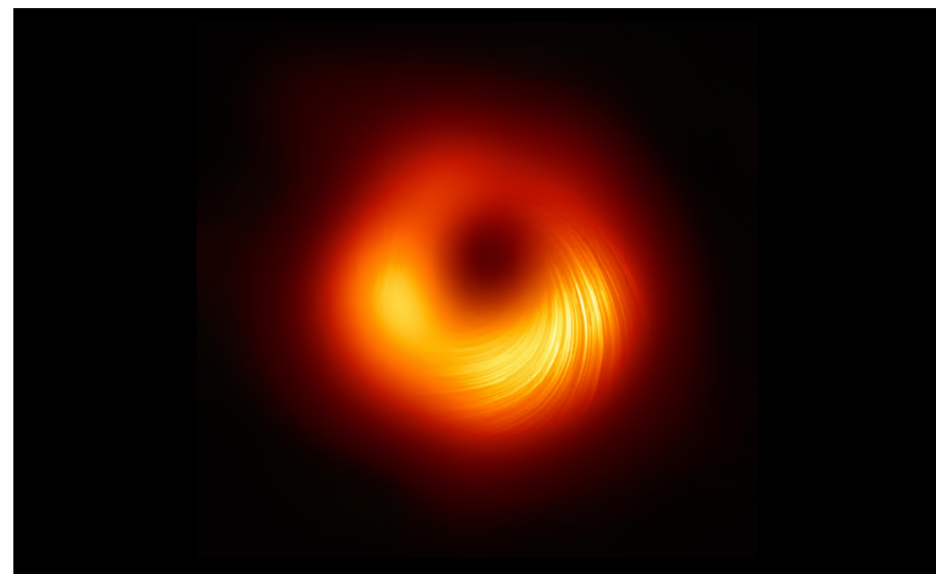
Ryc. 1. Wizualizacja sondy Gaia na tle Drogi Mlecznej.

## Wprowadzenie

Soczewkowanie grawitacyjne jest zjawiskiem, powszechnie używanym do wykrywania różnych obiektów astronomicznych. Fenomen ten polega na zmianie trajektorii strumienia fotonów przez masywny obiekt. Pierwszą próbę zaobserwowania soczewkowania grawitacyjnego podjął Arthur Eddington w 1919 roku.



Ryc. 2. Geometryczne przedstawienie powstawania obrazu. O — obserwator; L — masywny obiekt; S — rzeczywiste położenie gwiazdy; S' - obserwowane położenie gwiazdy;  $\alpha$  — pozorna zmiana położenia;  $\beta$  — odległość kątowa źródła od soczewki;  $\alpha'$  - kąt załamania światła.



Ryc. 3. Zdjęcie czarnej dziury wykonane przez zespół EHT, opublikowane w 2021 roku.

## Metodologia

Głównym narzędziem, z którego korzystaliśmy, było oprogramowanie TopCat, który pozwala na analizę i wizualizację danych astronomicznych przez naukowców i pasjonatów z całego świata. Poszukiwaliśmy korelacji między różnymi parametrami korzystając z bazy danych EDR3, z której wyróżniliśmy grupę miliona gwiazd o magnitudo większym od 13, a malejącym parametrze ruwe, czyli znormalizowanej niepewności pomiarowej.

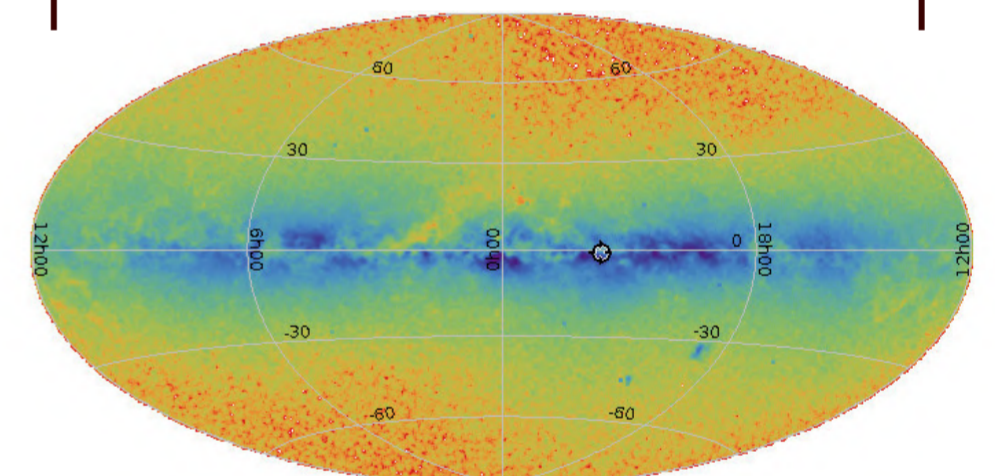
Następnie użyliśmy programu TopCat do wygenerowania wizualizacji zależności błędu pomiaru jasności w różnych filtrach od jasności. Odseparowaliśmy grupę ponad 900 gwiazd w okolicy płaszczyzny galaktyki o dużych wartościach tego błędu, czyli tam, gdzie spodziewalibyśmy się anomalii.

## Dyskusja

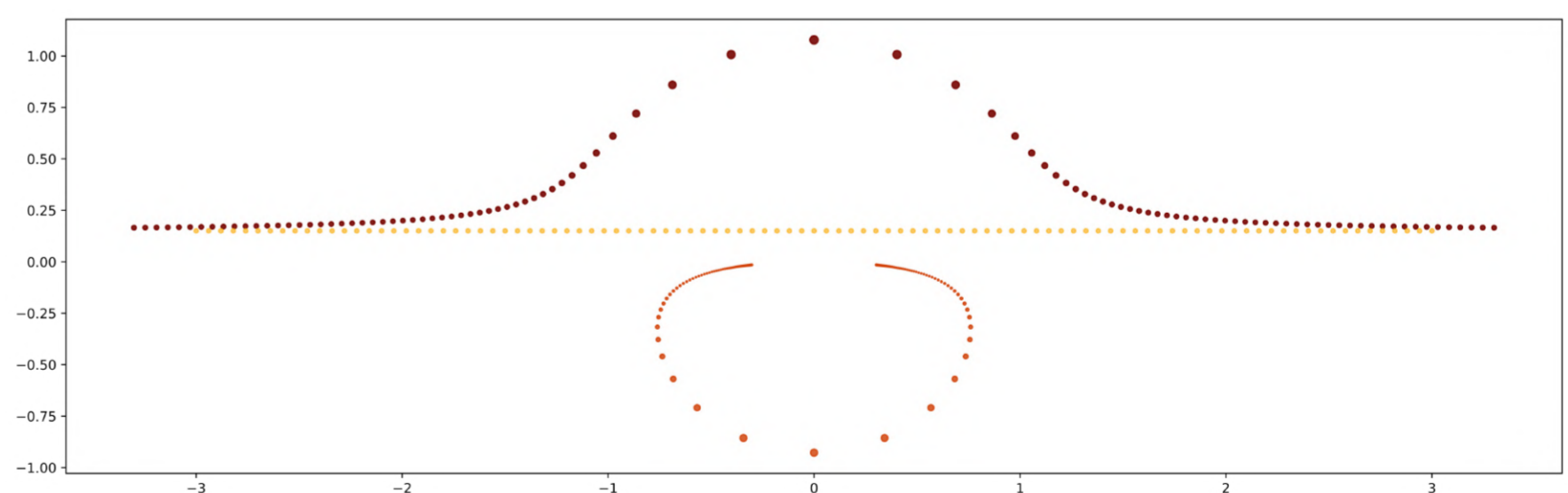
Po oddzieleniu naszej próbki, na podstawie błędu w pomiarze jasności i odchyleniu paralaksy, otrzymaliśmy 909 gwiazd, które potencjalnie mogłyby wskazywać nam na istnienie w ich okolicy czarnych dziur. Taką próbkę należałoby poddać dalszej analizie, w szczególności po opublikowaniu katalogu DR3, czyli pełnej wersji bazy danych.

Dodatkowo warto byłoby rozważyć wycięcie obszarów takich jak środek galaktyki, czy gromady gwiazd, w celu zwiększenia szansy znalezienia soczewki.

W trakcie pracy znalezione zostały charakterystyczne grupy gwiazd o wysokim błędzie, które skupione były w jednym punkcie. Mogłyby to być potencjalne soczewki grawitacyjne, jednak po sprawdzeniu tego w bazie danych, okazało się, że znajduje się tam gromada gwiazd.



Ryc. 5. Mapa położenia w galaktyce gwiazd odselekcjonowanych przy pomocy parametru ruwe.



Ryc. 4. Wizualizacja zjawiska soczewkowania grawitacyjnego.

..... - rzeczywisty ruch gwiazdy na niebie

..... - pozorny ruch gwiazdy na niebie

## Wyniki

Udało się wyznaczyć próbkę ponad 900 gwiazd, które potencjalnie mogłyby być soczewkami grawitacyjnymi. Grupę tę można zawęzić na podstawie błędu jasności w każdym z filtrów.

## Podsumowanie

Potencjalna grupa gwiazd wyselekcjonowana podczas projektu może wskazywać na występowanie tam soczewki grawitacyjnej, którą byłaby czarna dziura.