

---

# Streszczenie rozprawy doktorskiej

---

Uniwersytet Szczeciński  
Instytut Fizyki

mgr Paolo Cremonese

Tytuł rozprawy doktorskiej: **Lensing of gravitational waves as a cosmological and astrophysical probe**

promotor: dr hab. Vincenzo Salzano, prof. US

W świetle niedawnego odkrycia fal grawitacyjnych i zwiększającej się liczby obserwacji tzw. okna grawitacyjnego w połączeniu z wieloaspektowymi obserwacjami elektromagnetycznymi, pojawia się potrzeba zastosowania nowych metod pozwalających w pełni wykorzystać te dane. Mając to na uwadze, w niniejszej pracy opisujemy i wykorzystujemy zjawisko soczewkowania grawitacyjnego. Jego następstwem jest wyraźny sygnał wdrukowany w kształt frontu falowego, który staramy się zastosować do lepszego oszacowania tła kosmologicznego oraz do uzyskania niezależnych i precyzyjnych informacji astrofizycznych.

W pierwszej części wykorzystujemy formalizm optyki falowej dla soczewkowanych fal grawitacyjnych oraz standardowe przybliżenie optyki geometrycznej dla sygnałów elektromagnetycznych, aby zbadać wpływ różnych parametrów kosmologicznych (w szczególności stałej Hubble'a  $H_0$ ) na opóźnienie czasowe przebywających różne drogi sygnałów. Pokazujemy, że nawet pojedyncze zdarzenie soczewkowania w scenariuszu "pesymistycznym" (mianowicie

z populacji pulsarów podobnej do obecnie osiąganego przez Układ Teleskopów PTA), w połączeniu z założeniem a priori na  $\Omega_m$  pochodzącym z satelity *Planck*, może doprowadzić do rozbieżności pomiaru  $H_0$  porównywalnej z dokonywanymi obecnie pomiarami przez niezależne misje. W scenariuszu "optymistycznym", gdzie liczba obserwowanych pulsarów jest tak duża jak w oczekiwanym w najbliższej przyszłości Układzie Teleskopów SKA, możemy osiągnąć o dwa rzędy wielkości mniejsze błędy pomiarowe. Wobec tego można powiedzieć, iż rola soczewkowania grawitacyjnego w rozwiązaniu problemu rozbieżności pomiaru parametru Hubble'a może być rozstrzygająca.

Ponieważ na nasze wyniki może nadal mieć wpływ jeden z najważniejszych problemów związanych z soczewkowaniem: degeneracja masy, więc w drugiej części rozprawy skupiamy się bardziej szczegółowo na tym problemie. Jest to dobrze znany problem soczewkowania grawitacyjnego polegający na ograniczeniu naszej zdolności do wnioskowania na podstawie obserwacji o właściwościach astrofizycznych soczewki lub parametrów kosmologicznych poprzez wystąpienie dużej degeneracji pomiędzy położeniem a masą soczewki. W rozprawie badamy wpływ tej degeneracji na soczewkowanie fal grawitacyjnych, przy czym rozróżniamy różne reżimy optyczne i skupiamy się na naziemnych detektorach fal grawitacyjnych. Odkrywamy, że w reżimie interferencji, a częściowo w reżimie optyki falowej, degeneracja masy może zostać złamana nawet za pomocą jednego zmienionego frontu fali soczewkowanej dzięki charakterystycznym kształtom sygnału interferencyjnego. Poprzez dopasowanie wzorów interferencyjnych, określamy również ilościowo jak dobrze można złamać degenerację masy. Stwierdzamy, że w ramach obecnej czułości detektorów fal grawitacyjnych, degeneracja masy może prowadzić do niepewności na poziomie  $1\sigma$  wynoszącej  $\sim 12\%$  masy soczewki i może nadal stanowić problem. Jednak w przypadku sygnałów o wyższym stosunku sygnału do szumu, niepewność może spaść do  $\sim 2\%$  masy soczewki – jest to znacznie mniej niż obecna niepewność uzyskiwana przez dynamiczne pomiary masy.

W ostatniej części rozprawy badamy jak efektywnie można wykorzystywać zjawisko soczewkowania fal grawitacyjnych i czy jesteśmy w stanie wykorzystać je do rozróżnienia pomiędzy różnymi modelami masy soczewek. Badamy soczewkowanie fal grawitacyjnych w kontekście źródeł jakie będą dostępne dla

detektora LISA (Interferometryczna Laserowa Antena Kosmiczna) i w kontekście reżimu optyki falowej. Skupiamy się na efektach fazowych zależnych od częstotliwości (czasu) wytwarzanych przez jedną soczewkę i które będą widoczne tylko na jednym soczewkowanym obrazie. Pokazujemy jak w reżimie interferencyjnym jesteśmy w stanie odróżnić front falowy, który jest soczewkowany od frontu, który soczewkowaniu nie ulega, a także jak odróżnić od siebie niezależne modele soczewek. W czystej optyce falowej wykonalność tego zadania zależy od stosunku sygnału do szumu oraz od stopnia efektu soczewkowania. W tym celu badamy fazę współczynnika wzmocnienia różnych modeli soczewek i ich wpływ na niesoczewkowany front falowy, a następnie wykorzystujemy nasze obliczenia stosunku sygnału do szumu w celu przedstawienia kilku przykładów zastosowania tej metody.

**Słowa kluczowe:** fala grawitacyjna, soczewkowanie grawitacyjne, kosmologia, ciemna materia, ciemna energia

Data, podpis

12/05/2022 