

Opinia o rozprawie doktorskiej mgr Magdaleny Sieniawskiej „Rotating neutron stars: dense-matter interiors and gravitational-wave searches using the time-domain \mathcal{F} - statistic method”

Odkrycie fal grawitacyjnych w 2015 roku i zaobserwowanie w 2017 roku pierwszego sygnału fal grawitacyjnych wyemitowanego podczas zlewania się dwóch gwiazd neutronowych otworzyło nowy etap badań nad czarnymi dziurami i gwiazdami neutronowymi. Rozprawa doktorska mgr Magdaleny Sieniawskiej jest poświęcona badaniu ograniczeń, jakie można nałożyć na własności bardzo gęstej materii korzystając z obserwacji rotujących gwiazd neutronowych w zakresie fal elektromagnetycznych i fal grawitacyjnych.

Rozprawa doktorska mgr M. Sieniawskiej składa się z sześciu rozdziałów. W rozdziale pierwszym przedstawiono najważniejsze informacje o strukturze gwiazd neutronowych i własnościach bardzo gęstej materii. Kolejne cztery rozdziały zawierają główne wyniki rozprawy i są oparte na czterech współautorskich publikacjach. Do rozprawy dołączone są oświadczenia współautorów tych prac, z których wynika, że mgr M. Sieniawska wniosła dominujący wkład w przygotowanie odpowiednich programów numerycznych i efektywnym przeprowadzeniu niezbędnych obliczeń numerycznych, była też pomysłodawca dwóch z czterech projektów badawczych.

W drugim rozdziale – Estimating the equation of state from measurement of neutron star radii with 5% accuracy przedstawiono bardzo dokładną analizę wpływu równania stanu bardzo gęstej materii występującej w centralnych częściach gwiazd neutronowych na globalne parametry gwiazd – ich masę i promień. Masy gwiazd neutronowych są znane dla około 70 gwiazd, najdokładniej dla układów podwójnych. Znacznie trudniej jest wyznaczyć promień gwiazdy neutronowej. Stosowane obecnie metody pozwalają na wyznaczenie promienia gwiazdy neutronowej z dokładnością zaledwie 10%. Prowadzone obecnie obserwacje przez satelitę NICER (Neutron star Interior Composition Explorer) i przez planowaną przez ESA misję ATHENA (Advanced Telescope for High Energy Astrophysics) powinny pozwolić na podniesienie dokładności pomiarów promienia gwiazdy neutronowej do 5%. W rozprawie pokazano, że tak dokładne wyznaczenie promienia pozwoli na nałożenie ograniczeń na wartości centralnych parametrów gęstości i ciśnienia z dokładnością do 10% dla gwiazd o małych masach i z dokładnością do 40% dla gwiazd o dużej masie. Globalne parametry takie jak powierzchnia gwiazdy i spłaszczenie można będzie wyznaczyć z dokładnością 8 – 10%.

W rozdziale trzecim Tidal deformability and other global parameters of compact stars with strong phase transition zbadano jak na własności gwiazd neutronowych wpływa możliwość zmiany stanu bardzo gęstej materii w ich centrum. Gęstości występujące w centralnych częściach gwiazd neutronowych mogą kilkunastokrotnie przewyższać gęstość standardowej materii jądrowej. Nie można wykluczyć, że przy tak dużych gęstościach może zachodzić przejście fazowe od standardowej materii barionowej do plazmy kwarkowo gluonowej. To przejście fazowe może spowodować rozdwojenie zależności masy od promienia gwiazdy, czyli gwiazda neutronowa o tej samej masie może mieć różny promień z zależności od własności materii w jej centrum. W tym rozdziale zbadano odkształcenia gwiazdy spowodowane przez oddziaływania pływowe i zmianę innych parametrów gwiazdy w zależności od tego, czy równanie stanu bardzo gęstej materii dopuszcza możliwość przejścia fazowego, czy nie. W tym celu zbudowano stabilne modele gwiazd neutronowych dopuszczając możliwość przejścia fazowego w samym centrum

gwiazdy. Materia kwarkowa była opisywana przez tak zwany worek MIT. Te hybrydowe modele gwiazd neutronowych zostały wykorzystane do oszacowania parametru deformacji, gdy gwiazda jest poddana oddziaływaniu pływowemu. Korzystając z danych o zlewających się gwiazdach neutronowych uzyskanych z obserwacji sygnału fal grawitacyjnych GW170817 oceniono wartość parametru deformacji. Przeanalizowano jak ~~wartość parametru deformacji ogranicza globalne parametry gwiazdy jak jej masę i promień.~~

W rozdziale czwartym Continuous gravitational waves from neutron stars: current status and prospects przeanalizowano różne fizyczne sytuacje, które powodują, że obracająca się gwiazda neutronowa emituje ciągły sygnał fal grawitacyjnych. W szczególności omówiono elastyczną deformację gwiazdy, pole magnetyczne, oscylacje i swobodną precesję. Dla wszystkich tych przypadków oceniono amplitudę h_0 fali grawitacyjnej. Przedyskutowano najważniejsze strategie obserwacyjne, jakie mogą być wykorzystywane do odkrycia ciągłych fal grawitacyjnych oraz informacje, jakie o własnościach gwiazd neutronowych można będzie uzyskać z analizy takich sygnałów.

W rozdziale piątym Follow-up procedure for gravitational wave searches for isolated neutron stars using the time-domain \mathcal{F} -statistic method przedstawiono metodę poszukiwania ciągłego, ale bardzo słabego sygnału fal grawitacyjnych w archiwizowanych danych z detektorów LIGO i VIRGO. Zaproponowano procedurę Followup, która polega na zastosowaniu statystycznych metod wyszukiwania sygnału wzorcowego w zarejestrowanym sygnale detektora. Zakłada się, że ciągły sygnał jest koherentny i cały czas występuje w zarejestrowanym sygnale z detektora. Pokazano, że ta metoda pozwala na wykrycie słabego sygnału ukrytego w białym szumie detektora.

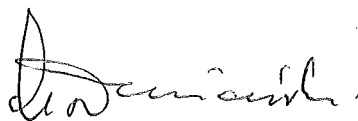
W rozdziale szóstym zebrano najważniejsze wyniki przedstawione w rozprawie.

Wyniki naukowe przedstawione w rozprawie są bardzo bogato ilustrowane kolorowymi diagramami, jest ich 55. Imponujący jest też spis referencji składający się z ponad 430 pozycji.

Przygotowując rozprawę doktorską mgr Magdalena Sieniawska wykazała się bardzo dobrą znajomością własności gwiazd neutronowych, bardzo gęstej materii i procesów generacji i analizy sygnałów fal grawitacyjnych oraz umiejętnością przygotowywania złożonych programów numerycznych i efektywnego analizowania i przedstawiania wyników obliczeń numerycznych.

Uważam, że rozprawa doktorska mgr Magdaleny Sieniawskiej „Rotating neutron stars: dense-matter interiors and gravitational-wave searches using the time-domain \mathcal{F} -statistic method” spełnia wszystkie ustawowe i zwyczajowe wymagania stawiane rozprawom doktorskim i wnoszę o dopuszczenie jej do publicznej obrony.

Uważam, że rozprawa doktorska mgr M. Sieniawskiej jest na ponad przeciętnym poziomie i zasługuje na wyróżnienie.



Prof. dr hab. Marek Demiański

Warszawa, 9 marca 2020r.