

**Zgłoszenie zagadnienia badawczego realizowanego  
w Krakowskiej Interdyscyplinarnej Szkole Doktorskiej  
w dyscyplinie nauki fizyczne**

**w Jednostce: Instytut Fizyki Jądrowej im. Henryka Niewodniczańskiego  
Polskiej Akademii Nauk**

1	<b>Nazwisko i imię promotora,</b> tytuł/stopień naukowy, jednostka, adres e-mail	David Alvarez Castillo dr hab. IFJ PAN, NZ15 dalvarez@ifj.edu.pl
2	Nazwisko i imię promotora pomocniczego (opcjonalnie), jednostka, adres e-mail	---
3	<b>Temat zagadnienia badawczego+</b> krótki (do 250 słów) opis tematyki badawczej	<b>Dane astrofizyczne do wykrywania fal grawitacyjnych za pomocą teleskopu Einsteina i podobnych detektorów nowej generacji.</b>  Celem tego projektu jest opracowanie i aktualizacja modeli dla obiektów zwartych, pierwotnych czarnych dziur i innych źródeł astrofizycznych jako danych wejściowych zarówno przejściowych, jak i ciągłych fal grawitacyjnych do przyszłych detekcji przez Teleskop Einsteina i Cosmic Explorer. Projekt ten obejmuje a) modelowanie kształtu fali dla zwartych układów podwójnych, ekstremalne efekty materii w gwiazdach neutronowych, modelowanie wyższych harmonicznnych fal grawitacyjnych, b) symulacje równania niepewności stanu, opracowywanie modeli EoS dla materii egzotycznej (materii kwarkowej, materii bogatej w hiperony, kondensatów mezonowych), które zostaną zastosowane do historii chłodzenia, szybkich konfiguracji rotacyjnych i fuzji układów podwójnych, c)

		<p>przeprowadzanie symulacji fuzji binarnych, ewolucji pozostałości po fuzji i pól magnetycznych obejmujących symulacje MHD, d) opracowywanie wczesnych ostrzeżeń i prognoz wieloprzebiegowych: prognozowanie sygnału przed fuzją i symulacja sygnałów elektromagnetycznych po fuzji. Ponadto analiza ta umożliwi testowanie ogólnej teorii względności i fizyki fundamentalnej poprzez poszukiwanie zmodyfikowanej grawitacji i alternatywnych teorii, precyzyjne modelowanie pierścieniowania czarnych dziur, syntezę populacji do modelowania astrofizycznego i kosmologicznego, w tym modeli populacji obiektów zwartych i badań pierwotnych czarnych dziur, a także symulacje kosmologiczne i sygnały tła pochodzące ze stochastycznego tła fal grawitacyjnych i ekspansji kosmicznej. Ponadto zostanie wdrożony rozwój potoku analizy danych i integracja uczenia maszynowego, takiego jak sztuczna inteligencja do wykrywania sygnałów, rozwój narzędzi do szacowania parametrów (np. zastosowanie metod bayesowskich) i technik redukcji szumów.</p>
4	Wymagania w stosunku do kandydata (wykształcenie, umiejętności/kursy)	<p>Magister w dziedzinie fizyki, matematyki, informatyki lub naukach pokrewnych.</p> <p>Doświadczenie w podstawowym kodowaniu i podstawowa wiedza z zakresu ogólnej teorii względności.</p>
5	Wskazanie możliwych źródeł i zakresu finansowania spoza subwencji, np. stypendium naukowego, kosztów badań, wyjazdów itp.	---

1	<b>Supervisor: name/surname, degree, affiliation, e-mail address</b>	David Alvarez Castillo
---	--	------------------------

		<p>dr. hab.</p> <p>IFJ PAN, NZ15</p> <p>dalvarez@ifj.edu.pl</p>
2	Auxiliary supervisor (optional) affiliation, e-mail address	---
3	<p><b>Research subject title</b> Short description, up to 250 words</p>	<p><b>Astrophysical inputs for detection of gravitational waves with the Einstein telescope and with similar next-generation detectors.</b></p> <p>The aim of this project is to develop and update models for compact objects, primordial black holes and other astrophysical sources as inputs of both transient and continuous gravitational waves for future detections by the Einstein Telescope and Cosmic Explorer. This project comprises a) waveform modeling for compact binary systems, extreme matter effects in neutron stars, modeling gravitational waves higher harmonics, b) equation of state uncertainty simulations, developing EoS models for exotic matter (quark matter, hyperon-rich matter, meson condensates) which will be applied for cooling histories, fast rotation configurations and mergers of binary systems, c) carrying out binary merger simulations, post-merger remnant evolution and magnetic fields comprising MHD simulations, d) developing early warning and multi-messenger predictions: pre-merger signal prediction and simulation of post-merger electromagnetic signals. Furthermore, this analysis will allow for testing general relativity and fundamental physics by searching for modified gravity and alternative theories, precision black hole ringdown modeling, population synthesis for astrophysical and cosmological modeling, including compact object population models and primordial black hole studies, and cosmological simulations and background signals coming from stochastic gravitational-wave background and cosmic expansion. Additionally, data analysis pipeline development and Machine Learning integration, like artificial intelligence for signal detection, the development of parameter estimation tools (e.g., application of Bayesian methods) and noise reduction techniques will be implemented.</p>
4	Additional requirements to the candidate (education, skills / courses)	Master of Science in Physics, Mathematics, Computer Science or related.

		Experience with basic coding and basic knowledge of General Relativity.
5	Possible sources of financing, other than subsidy, e.g., scientific scholarship, research and travel costs, etc.	OPUS Grant funds if available.