

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

w Jednostce: IFJ PAN

1	Nazwisko i imię promotora, tytuł/stopień naukowy, jednostka, adres e-mail	Dr hab. Jakub Bielecki IFJ PAN jakub.bielecki@ifj.edu.pl
2	Nazwisko i imię promotora pomocniczego (opcjonalnie), jednostka, adres e-mail	Dr Axel Jardin IFJ PAN axel.jardin@ifj.edu.pl
3	Temat zagadnienia badawczego + krótki (do 250 słów) opis tematyki badawczej	<p>Opracowanie syntetycznej diagnostyki i metod interpretacji danych dla plazmy fuzyjnej przy wsparciu uczenia maszynowego</p> <p>W urządzeniach fuzyjnych takich jak tokamak podstawowe parametry plazmy można wyznaczać na podstawie pomiarów promieniowania rentgenowskiego i neutronowego. Analiza widma emitowanych neutronów może posłużyć do wyznaczenia stosunku jonów paliwa, temperatury jonowej – na podstawie termicznego poszerzenia linii widmowych oraz prędkości rotacji plazmy, podczas gdy lokalna emisyjność plazmy w zakresie miękkiego promieniowania rentgenowskiego zawiera informacje o temperaturze elektronowej plazmy, konfiguracji magnetycznej i stężeniu domieszek. Parametry te można wyznaczyć na drodze inwersji tomograficznej oraz za pomocą tzw. syntetycznych diagnostyk.</p> <p>Celem pracy doktorskiej jest opracowanie syntetycznej diagnostyki rentgenowskiej i neutronowej oraz metod interpretacji danych w zastosowanych fuzyjnych, przy wykorzystaniu narzędzi uczenia maszynowego.</p> <p>Pierwsza część tej pracy polega na stworzeniu uproszczonych modeli detektorów dla dostępnych technologii (np. diody półprzewodnikowe, spektrometria oparta na rozpraszaniu protonów na cienkiej folii, spektrometria z detektorami typu GEM (Gas Electron Multiplier) i inne), umożliwiając przewidywanie ich czułości i funkcji odpowiedzi na promieniowanie rentgenowskie i neutronowe. Następnie modele te poddane zostaną walidacji przy użyciu kodów numerycznych</p>

		<p>takich jak: Magboltz, Geant4 lub SRIM/TRIM. W drugiej części pracy metody uczenia maszynowego zostaną wykorzystane do wsparcia i przyspieszenia rozwoju tych syntetycznych narzędzi diagnostycznych. Wygenerowany zostanie zestaw syntetycznych danych pomiarowych, w celu stworzenia zbioru treningowego, testowego oraz ewaluacyjnego. Następnie kilka wybranych metod uczenia maszynowego zostanie przetestowane z użyciem tych danych. W tym celu zastosowane zostaną narzędzia numeryczne dostępne na superkomputerze ARES w Akademickim Centrum Komputerowym CYFRONET (np. TensorFlow). Ostatecznie najlepsze metody zostaną zastosowane do wyznaczania funkcji odpowiedzi detektorów oraz sprawdzenia możliwości rekonstrukcji parametrów plazmy takich jak: temperatura, koncentracja domieszek, stosunek jonów paliwa itp. Wyniki uzyskane w pracy doktorskiej ułatwią optymalizację projektów detektorów oraz pozwolą na bardziej szczegółowe eksperymentalne badanie transportu cząstek, jonizacji domieszek, rozkładu szybkich jonów i charakteru emisji promieniowania z plazmy, przy wykorzystaniu dużych zestawów danych pomiarowych.</p>
4	<p>Wymagania w stosunku do kandydata (wykształcenie, umiejętności/kursy)</p>	<p>Wymagane:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Znajomość fizyki ogólnej, • Podstawowa znajomość fizyki plazmy, • Dobra znajomość języka angielskiego, umożliwiająca płynną komunikację, • Znajomość statystyki i doświadczenie w analizie danych. <p>Zalecane:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Znajomość diagnostyki rentgenowskiej lub neutronowej, • Doświadczenie z technikami uczenia maszynowego (np. sieci neuronowe, maszyny wektorów nośnych, drzewa decyzyjne etc.), • Umiejętność programowania (np. Python, Matlab, C++), • Doświadczenie ze środowiskiem TensorFlow lub PyTorch, • Doświadczenie z klastrami obliczeniowymi (HPC).
5	<p>Wskazanie możliwych źródeł i zakresu finansowania spoza subwencji, np. stypendium naukowego, kosztów badań, wyjazdów itp.</p>	

1	Supervisor: name/surname, degree, affiliation, e-mail address	Dr hab. Jakub Bielecki IFJ PAN jakub.bielecki@ifj.edu.pl
2	Auxiliary supervisor (optional) affiliation, e-mail address	Dr Axel Jardin IFJ PAN axel.jardin@ifj.edu.pl
3	Research subject title Short description, up to 250 words	<p>Development of fusion plasma synthetic diagnostics and data interpretation methods with the support of Machine Learning</p> <p>In tokamak fusion devices, essential plasma parameters can be inferred from X-ray and neutron measurements. The analysis of emitted neutron spectra can give access to the fuel ion ratio, ion temperature from thermal broadening and rotation velocity, while the local X-ray plasma emissivity contains information about electron temperature, magnetic equilibrium and concentration of impurities that can be inferred with the help of dedicated tomographic inversion and synthetic diagnostic tools.</p> <p>The aim of the PhD thesis is to develop X-ray and neutron synthetic diagnostics and associated data interpretation methods for fusion applications, with the support of Machine Learning (ML) tools.</p> <p>The first part of this thesis consists in creating simplified detector models for available technologies (e.g. semiconductor diodes, thin-foil proton recoil, gas electron multiplier and others) allowing to predict their sensitivity and energy response function to X-rays and neutron flux emitted by a thermonuclear plasma. This task will include the validation of these models with numerical frameworks such as Magboltz, Geant4 or SRIM/TRIM. In a second part, ML methods will be used to support and speed up the development of these synthetic diagnostic tools. A well-described set of synthetic measurement data will be generated to create the training, test and evaluation data sets. Next, several ML methods will be selected and tested. For this purpose, dedicated tools available at Ares supercomputer at Academic Computer Centre CYFRONET will be applied (e.g. TensorFlow). Finally, the best performing methods will be applied for predicting the detector response and its capabilities to reconstruct plasma parameters: temperature, impurity concentration, ion fuel ratio, etc. Such achievement will</p>

		open perspectives for detector design optimization, as well as to study in more detail experimental particle transport, impurity ionization balance, fast ion distribution and local emissivity features in the plasma with large measurement datasets.
4	Additional requirements to the candidate (education, skills / courses)	<p>Required:</p> <ul style="list-style-type: none"> • General physics, • Basic knowledge of plasma physics, • Fluent English, • Experience with statistics and data analysis. <p>Recommended:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Knowledge of X-ray and/or neutron plasma diagnostic, • Experience with Machine Learning methods (e.g. Neural Networks, Support Vector Machine, decision trees etc), • programming skills (e.g. Python, Matlab, C++), • experience with TensorFlow, PyTorch, • Experience with High Performance Computing Clusters.
5	Possible sources of financing, other than subsidy, e.g., scientific scholarship, research and travel costs, etc.	