

**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	Nazwisko i imię promotora, tytuł/stopień naukowy, jednostka, adres e-mail	dr hab. Rafał Maciula Zakład Teorii Silnych Oddziaływań i Układów Wielu Ciał (NZ21) rafal.maciula@ifj.edu.pl
2	Nazwisko i imię promotora pomocniczego (opcjonalnie), jednostka, adres e-mail	
3	Temat zagadnienia badawczego+ krótki (do 250 słów) opis tematyki badawczej	Modelowanie produkcji cząstek powabnych w zderzeniach proton–jądro w kierunku do przodu Celem rozprawy jest opracowanie i porównanie nowoczesnych modeli teoretycznych opisujących produkcję cząstek powabnych w zderzeniach proton–jądro w eksperymentach akceleratora LHC, z uwzględnieniem również konfiguracji fixed-target. Szczególny nacisk zostanie położony na obszar kierunku do przodu, wyjątkowo wrażliwy na strukturę hadronów, dynamikę przy dużym x oraz nieperturbacyjne procesy QCD. W ramach pracy uwzględnione zostaną kluczowe mechanizmy wpływające na produkcję powabu: efekty jądrowe, wielokrotne rozpraszanie partonów, możliwy wkład wewnętrznego powabu w protonie, procesy rekombinacji oraz specyficzne własności hadronizacji w obszarze do przodu, w tym zjawiska takie jak rekonekcja koloru. Istotnym elementem projektu będzie tuning generatora Pythia 8 pod kątem opisu hadronizacji powabu, co pozwoli na wiarygodne modelowanie obserwowanych rozkładów i asymetrii. Praca obejmie analizę zjawisk takich jak asymetrie produkcyjne mezonów D i $\bar{D}$, nadprodukcja barionów powabnych względem mezonów oraz korelacje kinematyczne w produkcji par cząstek powabnych. Porównane zostaną dwa podejścia

		teoretyczne: kolinearne NLO oraz k_T-faktoryzacja, uwzględniająca pędy poprzeczne partonów inicjujących proces. Otrzymane wyniki zostaną zestawione z danymi eksperymentalnymi ALICE i LHCb, prowadząc do stworzenia spójnego, zweryfikowanego eksperymentalnie opisu produkcji powabu w zderzeniach proton–jądro. Model zostanie również skonfrontowany z danymi obserwatorium IceCube dotyczącymi neutrin atmosferycznych. Projekt będzie realizowany w grupie badawczej o ugruntowanej pozycji międzynarodowej oraz bogatym dorobku w obszarze proponowanej tematyki, we współpracy z renomowanymi ośrodkami zagranicznymi, takimi jak CERN w Szwajcarii, Lund University w Szwecji oraz Universidade Federal de Pelotas w Brazylii. Realizacja projektu obejmować będzie przygotowywanie i publikowanie artykułów naukowych w czołowych czasopismach z dziedziny fizyki o wysokim wpływie i globalnym zasięgu.
4	Wymagania w stosunku do kandydata (wykształcenie, umiejętności/kursy)	Wymagane są: podstawowa znajomość systemu Linux, znajomość języka angielskiego na poziomie co najmniej B2 oraz tytuł magistra w dziedzinie nauk ścisłych. Mile widziane: umiejętność pracy z oprogramowaniem ROOT, Pythia 8 i MadGraph oraz podstawy programowania w językach C++ i Fortran.
5	Wskazanie możliwych źródeł i zakresu finansowania spoza subwencji, np. stypendium naukowego, kosztów badań, wyjazdów itp.	W przypadku uzyskania przez promotora grantu naukowego doktorant będzie otrzymywał stypendium naukowe finansowane ze środków tego projektu.

1	Supervisor: name/surname, degree, affiliation, e-mail address	dr hab. Rafał Maciuła Department of the Theory of Strong Interactions and Many Body Systems (NZ21) rafal.maciula@ifj.edu.pl
2	Auxiliary supervisor (optional) affiliation, e-mail address	
3	Research subject title Short description, up to 250 words	Modeling of forward production of charm particles in proton–nucleus collisions The goal of this dissertation is to develop and compare modern theoretical frameworks describing the production of charm particles in proton–nucleus collisions in LHC experiments, including configurations operating in fixed-target mode. Particular emphasis will be placed on the forward region, which is exceptionally sensitive to hadron structure, large-x dynamics, and nonperturbative QCD effects. The work will account for key mechanisms influencing charm production: nuclear effects, multiple parton scattering, the possible contribution of intrinsic charm in the proton, recombination processes, and the specific features of hadronization in the forward region, including phenomena such as color reconnection. An important component of the project will be the tuning of the Pythia 8 generator to describe charm hadronization, enabling reliable modeling of experimentally observed distributions and asymmetries. The dissertation will analyze phenomena such as the production asymmetries of D and $\bar{D}$ mesons, the enhanced production of charm baryons relative to mesons, and kinematic correlations in the production of charm-particle pairs. Two theoretical approaches will be compared: collinear NLO calculations and k_T-factorization, which incorporates the transverse momenta of initial-state partons. The obtained results will be confronted with experimental data from ALICE and LHCb, leading to a coherent and experimentally validated description of charm production in proton–nucleus collisions. The model will also be compared with IceCube measurements of atmospheric neutrinos. The project will be carried out within a research group with a strong international standing and extensive expertise in the proposed field, in collaboration with renowned international

		institutions such as CERN in Switzerland, Lund University in Sweden, and the Federal University of Pelotas in Brazil. The work will involve preparing and publishing research articles in leading high-impact international physics journals.
4	Additional requirements to the candidate (education, skills / courses)	Required qualifications: basic familiarity with the Linux operating system, English proficiency at a minimum B2 level, and a master's degree in a STEM discipline. Preferred qualifications: experience with ROOT, Pythia 8, and MadGraph, as well as basic programming skills in C++ and Fortran.
5	Possible sources of financing, other than subsidy, e.g., scientific scholarship, research and travel costs, etc.	Upon the supervisor's successful acquisition of a research grant, the doctoral candidate will be provided with a project-funded scholarship.