

**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	Jacek Otwinowski, prof. dr hab., IFJ PAN, ul Radzikowskiego 152, 31-342 Kraków jacek.otwinowski@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	Badanie zjawiska splątania kwantowego na podstawie rozkładów krotności cząstek mierzonych w ultra-peryferycznych zderzeniach ciężkich jonów przy pomocy detektora ALICE na LHC. Ostatnie badania teoretyczne sugerują, że zjawisko splątania kwantowego może odgrywać istotną rolę w zderzeniach cząstek przy wysokich energiach. Związanej z tym zjawiskiem entropia splątania może być wyznaczona na podstawie pomiarów rozkładów krotności cząstek naładowanych i ich entropii Shannona. Pomimo wielu postępów fizyki teoretycznej i eksperymentalnej dokonanych w ostatnich latach, rola splątania kwantowego w takich zderzeniach nie jest w pełni zrozumiała. Nie wiadomo jak ilościowo wyznaczyć jej rolę w produkcji cząstek w wysokoenergetycznych zderzeniach, nawet najmniejszych systemów takich jak $e+e-$ i pp. Przewiduje się, że może ona mieć wpływ na kolektywny wpływ obserwowany w tych zderzeniach. Precyzyjny pomiar entropii splątania w wysokoenergetycznych zderzeniach jądrowych może otworzyć również nowy rozdział w badaniach teoretycznych chromodynamiki kwantowej. Kandydat który przejdzie selekcję będzie badał splątanie kwantowe w ultra-peryferycznych zderzeniach PbPb przy energii 5.36 TeV, wykorzystując zmodernizowany detektor ALICE w laboratorium CERN. Analiza będzie obejmowała pierwszy

		pomiar krotności cząstek naładowanych w takich zderzeniach w CERNie, co będzie wymagało rozwoju nowych technik bazujących na pomiarach takich rozkładów w zderzeniach hadron-hadron.
4	Wymagania w stosunku do kandydata (wykształcenie, umiejętności/kursy)	Mgr fizyki ze specjalizacją fizyki jądrowej lub cząstek. Podstawowa znajomość narzędzi do analizy dużych ilości danych i uczenia maszynowego. Dobra umiejętność programowania w językach Python i C++.
5	Wskazanie możliwych źródeł i zakresu finansowania spoza subwencji, np. stypendium naukowego, kosztów badań, wyjazdów itp.	Grant Ministerstwo Edukacji i Nauki DIR-WSIB.92.11.2023 – konferencje naukowe i pobyty naukowe w CERNie

1	Supervisor: name/surname, degree, affiliation, e-mail address	Jacek Otwinowski, prof. dr hab., IFJ PAN, ul Radzikowskiego 152, 31-342 Kraków jacek.otwinowski@ifj.edu.pl
2	Auxiliary supervisor (optional) affiliation,e-mail address	
3	Research subject title Short description, up to 250 words	Study entanglement entropy based on particle multiplicity distributions measured in ultra-peripheral PbPb collisions with ALICE detector at the LHC. Recent theoretical results suggest that quantum entanglement could have an important role in high energy collisions. The associated observable, entanglement entropy can be yielded from the experiments by measuring charged particle multiplicity distributions and their (Shannon) entropy. Despite of several theoretical and experimental advancements from the last few years, the exact role of quantum entanglement is not fully understood nor theoretically, neither experimentally. It is less known how to quantify it from such a complicated system as a high energy collision could be even in the smallest systems like e^+e^- or pp. However, it is indicated that it might cause the puzzling collectivity in such small systems, a reliable

		measurement of quantum entanglement in high energy reactions would open a wide field of theoretical challenges, too. The successful candidate will investigate the possibility to observe entanglement in high energy reactions with the upgraded CERN ALICE detector in ultra-peripheral PbPb collisions at 5.36 TeV center of mass energy. The analysis would consist of measurements of charged particle multiplicities that was never investigated at CERN and would require to develop new analysis techniques based on the already existing hadron-hadron measurements.
4	Additional requirements to the candidate (education, skills / courses)	M.Sc. in nuclear or particle physics. Basic knowledge of big data processing tools. Basic knowledge of machine learning methods. Good programming skills using Python and C++.
5	Possible sources of financing, other than subsidy, e.g., scientific scholarship, research and travel costs, etc.	Grant Ministerstwo Edukacji i Nauki DIR-WSIB.92.11.2023 – conferences and travel costs in CERN