

**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. Renata Kopeć, prof. IFJ PAN Instytut Fizyki Jądrowej Polskiej Akademii Nauk w Krakowie, Zakład Fizyki Medycznej, Centrum Cyklotronowe Bronowice (ZFM CCB) renata.kopec@ifj.edu.pl
2	Nazwisko i imię promotora pomocniczego (opcjonalnie), jednostka, adres e-mail	dr inż. Jan Gajewski Instytut Fizyki Jądrowej Polskiej Akademii Nauk w Krakowie, Pracownia Badań i Rozwoju, Zakład Fizyki Medycznej, Centrum Cyklotronowe Bronowice (PBiR ZFM CCB) jan.gajewski@ifj.edu.pl (mail do kontaktu)
3	Temat zagadnienia badawczego + krótki (do 250 słów) opis tematyki badawczej	Charakterystyka jakości promieniowania w radioterapii hadronowej z wykorzystaniem detektorów półprzewodnikowych W Centrum Cyklotronowym Bronowice (CCB) Instytutu Fizyki Jądrowej PAN w Krakowie realizowana jest nowoczesna terapia onkologiczna z wykorzystaniem wiązek protonowych. Aktualnie plany terapeutyczne dla pacjentów leczonych w CCB są przygotowywane przy użyciu komercyjnego systemu do planowania leczenia, który zakłada stałą wartość względnej efektywności biologicznej (RBE) protonów wynoszącą RBE=1.1. RBE jest jednak zależne od różnych parametrów fizycznych i biologicznych, takich jak dawka czy średnia wartość liniowego przekazu energii (LET), opisująca jakość promieniowania. Parametry te nie są uwzględniane w obecnym podejściu do planowania leczenia zakładającym stałą wartość RBE, dlatego analizowane są metody optymalizacji planów terapeutycznych uwzględniające te zmienne. Efektywność biologiczna może być związana nie tylko z wartością średnią LET, lecz także z jego pełnym spektrum. Przyjęcie tych założeń

		wskazuje, że wartość RBE może mieścić się w przedziale od około 0,9 do 1,7. Przedmiotem proponowanego projektu doktorskiego jest opracowanie zaawansowanych metod obliczeniowych opartych na technikach Monte Carlo, które pozwolą uwzględnić zmienność RBE w zależności od wartości średniej LET lub jego spektrum podczas planowania leczenia. W ramach projektu zaplanowano również eksperymenty z wykorzystaniem półprzewodnikowego detektora pikselowego TimePix firmy ADVACAM oraz wiązek protonowych dostępnych w IFJ PAN. Badania te będą obejmować szczegółową analizę parametrów wiązki oraz weryfikację wyników obliczeń Monte Carlo. Przewidziane są również systematyczne analizy widm LET dla planów terapeutycznych pacjentów leczonych w CCB oraz pomiary tych widm w fantomach wodnych i antropomorficznych. Otrzymane wyniki pozwolą na głębsze zrozumienie mechanizmów fizycznych i biologicznych zachodzących w organizmie pacjenta podczas radioterapii protonowej.
4	Wymagania w stosunku do kandydata (wykształcenie, umiejętności/kursy)	Tytuł magistra z fizyki, matematyki, informatyki lub nauk pokrewnych. Znajomość języka angielskiego na poziomie przynajmniej średniozaawansowanym (B2), umożliwiającym swobodną komunikację. Znajomość podstaw dozymetrii i fizyki radiacyjnej, a także podstawowa wiedza z dziedziny radioterapii jonowej. Znajomość podstaw analizy danych w środowisku programistycznym Python.
5	Wskazanie możliwych źródeł i zakresu finansowania spoza subwencji, np. stypendium naukowego, kosztów badań, wyjazdów itp.	W trakcie ewaluacji jest wniosek o finansowanie projektu badawczego w ramach programu współpracy międzynarodowej Weave-UNISONO prowadzonego przez NCN. W ramach projektu planowane są wyjazdy stażowe do ośrodków zagranicznych.

1	Supervisor: name/surname, degree, affiliation, e-mail address	dr hab. Renata Kopeć, prof. IFJ PAN Institute of Nuclear Physics, Polish Academy of Science, Medical Physics Division, Cyclotron Centre Bronowice (PBiR ZFM CCB) renata.kopec@ifj.edu.pl
2	Auxiliary supervisor (optional) affiliation,e-mail address	dr inż. Jan Gajewski Institute of Nuclear Physics, Polish Academy of Science. Research and Development Section, Medical Physics Division, Cyclotron Centre Bronowice (PBiR ZFM CCB) jan.gajewski@ifj.edu.pl (contact mail)
3	Research subject title Short description, up to 250 words	Characterization of Radiation Quality in Hadron Therapy Using Semiconductor Detectors At the Bronowice Cyclotron Center (CCB) of the Institute of Nuclear Physics in Krakow, advanced cancer therapy using proton beams is being conducted. Currently, treatment plans for patients treated at CCB are developed using a commercial treatment planning system that assumes a constant relative biological effectiveness (RBE) of protons, set at $RBE = 1.1$. However, RBE depends on various physical and biological parameters, such as dose and the mean linear energy transfer (LET), which describes radiation quality. These parameters are not considered in the current approach, which assumes a fixed RBE value. Therefore, methods for optimizing treatment plans that take these variables into account are being explored. Biological effectiveness may depend not only on the mean LET value but also on its full spectrum. These considerations indicate that the RBE value may range from approximately 0.9 to 1.7. The proposed doctoral project aims to develop advanced computational methods based on Monte Carlo techniques to account for RBE variability as a function of LET during treatment planning. The project also includes experiments using the TimePix semiconductor pixel detector from ADVACAM and the proton beams

		available at IFJ PAN. These studies will involve a detailed analysis of beam parameters and validation of Monte Carlo calculations. Additionally, systematic analyses of LET spectra for therapeutic plans of patients treated at CCB and measurements in water and anthropomorphic phantoms are planned. The results obtained will provide a deeper understanding of the physical and biological mechanisms occurring in the patient's body during proton radiotherapy.
4	Additional requirements to the candidate (education, skills / courses)	Master degree in physics, mathematics, informatics or relative disciplines. Knowledge of English at least at an intermediate level (B2), enabling fluent communication. Basic knowledge of radiation physics, dosimetry and ion radiotherapy.
5	Possible sources of financing, other than subsidy, e.g., scientific scholarship, research and travel costs, etc.	An application for funding of a research project under the Weave-UNISONO international cooperation programme run by the National Science Centre (NCN) is currently under evaluation. As part of the project, research internships/visits to institutions abroad are planned.