

**Recenzja**  
**dorobku naukowego i rozprawy habilitacyjnej dra Krzysztofa Mariusza Graczyka**  
**zatytułowanej:**  
**“Modelowanie oddziaływań neutrin i elektronów z nukleonami w obszarze elastycznym**  
**i rezonansowym”**

Dr Krzysztof Mariusz Graczyk uzyskał tytuł magistra fizyki w Uniwersytecie Wrocławskim w 2000 roku. Tutaj też przygotował pracę doktorską p.t. „*Rozpraszanie neutrin na jądrach i nukleonach*”, którą obronił w 2005 roku. Promotorem pracy był prof. dr hab. Jan Sobczyk. Od obrony doktoratu do chwili obecnej dr Krzysztof Graczyk zatrudniony jest w Instytucie Fizyki Teoretycznej Uniwersytetu Wrocławskiego na etacie adiunkta. W 2008 roku odbył też staż podoktorski w *Dipartimento di Fisica Teoria, Universita degli Studi di Torino* w Turynie we Włoszech. Praktycznie od początku pracy naukowej dr Krzysztof Graczyk zajmuje się opisem oddziaływania neutrin. Sądzę, że te zainteresowania badawcze były związane z udziałem grupy wrocławskiej w eksperymencie ICARUS i potrzebą precyzyjnego opisanie procesów detekcji neutrin. Eksperymentalne wyznaczenie ich parametrów w Modelu Standardowym, a więc mas, kątów mieszania i fazy (faz) łamania symetrii CP w sektorze leptonowym, wymaga dużego wysiłku. Neutrina oddziałują bardzo słabo, głównie z nukleonami znajdującymi się w jądrach atomowych detektora, które jak wiemy, są strukturami silnie oddziałujących kwarków. To oddziaływanie, przy energiach neutrin produkowanych w akceleratorach, nie może być opisane tradycyjnym rachunkiem zaburzeń. Oprócz tego, precyzyjny opis wymaga uwzględnienia faktu, że nukleony oddziałują silnie z innymi nukleonami w jądrach. Wszystko to powoduje, że pełny opis detekcji neutrin wymaga stosowania różnych skomplikowanych przybliżonych procedur i symulacji Monte Carlo. Do obrony doktoratu dr Krzysztof Graczyk opublikował 8 prac naukowych w większości w ramach kolaboracji ICARUS. Dwie prace i dwa komunikaty konferencyjne były ściśle związane z tematyką doktoratu.

Po obronie pracy doktorskiej od 2006 roku dr Krzysztof Graczyk był autorem i współautorem 19 prac oraz 7 komunikatów konferencyjnych. Ze zbioru opublikowanych prac Autor wybrał 10 i przedstawił je jako dorobek naukowy mający stanowić rozprawę habilitacyjną. Wszystkie prace koncentrują się na tematyce oddziaływań neutrin z nukleonami i jądrami. Ze względu na skromne dane doświadczalne bezpośrednio testujące oddziaływanie neutrin, do analizy struktury nukleonów i jąder wykorzystuje się także znacznie bogatsze informacje dotyczące oddziaływania elektronów z jądrowymi tarczami. Takiej tematyce są też poświęcone publikacje Autora. Większość analiz teoretycznych było następnie wykorzystanych w pracach nad oprogramowaniem komputerowym w powstającym we Wrocławiu generatorze Monte Carlo. Dwa takie, bardzo potrzebne programy zostały utworzone, pierwszy o nazwie **NuWro** dla

oddziaływań neutrin, i nowy funkcjonujący od 2014 roku, eWro dla oddziaływań elektronów. W pracach nie załączonych do habilitacji autorzy badali: rozmiary protonu wynikające z dopasowywania w różnych eksperymentach ([A1], według oznaczeń w załączonym wykazie publikacji), sieci neuronowe i zastosowanie statystyki Bayesowskiej do opisu struktury hadronów ([A2]), obecność wirtualnego kwarku dziwnego w nukleonach ([A3]), efekty wymiany dwóch fotonów w oddziaływaniu elektronów i pozytonów z protonami (A[4]) oraz dualność kwarkowo—hadronową ([A5]). Prace, które pojawiły się w materiałach konferencyjnych były związane albo z dorobkiem habilitacyjnym albo publikacjami ([A1] – [A5]). Łącznie dr Krzysztof Graczyk opublikował 36 prac znajdujących się w bazie *Journal Citation Reports*. Prace te były cytowane ponad 600 razy, ich pełny *Impact Factor (IF)* to ponad 87, a indeks Hirscha Autora wynosi – 11. Należy też podkreślić dużą aktywność konferencyjną po doktoracie. Od 2005 roku, a więc w ciągu ostatnich 10 lat, uczestniczył w 13 konferencjach w tym 3 na zaproszenie organizatorów, wygłosił też 6 wykładów na zaproszenie w innych jednostkach badawczych. Uważam, że dorobek naukowy poza pracami przedstawionymi w habilitacji, jest bardzo dobry i świadczy o uznanej pozycji Autora w gronie specjalistów zajmujących się podobną tematyką badawczą.

Jak już było wspomniane wcześniej, jako swoją rozprawę habilitacyjną dr Krzysztof Graczyk przedstawił 10 publikacji ([H1] – [H10]), w których jest współautorem (w 7 z nich) oraz autorem (w 3 pracach). Prace te powstały w latach 2008 - 2014, wszystkie zostały opublikowane w czasopiśmie z wysokim *IF*. Tematyka jest związana z głównym nurtem działalności naukowej Autora a więc z modelowaniem oddziaływań neutrin i elektronów z nukleonami i jądrami atomowymi. Tak jak poprzednio, głównym celem jest uzyskanie dobrego sformułowania opisu oddziaływania neutrin produkowanych w akceleratorach i oddziałujących z cząstkami detektora w eksperymentach z krótką (kilkaset metrów) lub długą bazą (kilkaset kilometrów). Dane z eksperymentów elektronowych spełniają tutaj jedynie rolę pomocniczą, służą do lepszego opisu struktury nukleonów i nukleonów uwięzionych wewnątrz jąder. Dodatkową trudnością w detekcji neutrin w akceleratorowych eksperymentach oscylacyjny jest nieznanostwo ich energii, tak więc analiza eksperymentów oscylacyjnych wymaga dodatkowo poznania energii neutrin mierzonych w detektorze.

W dwóch pracach H[1] oraz H[2] poddano krytycznej ocenie popularny model Rein'a-Sehgal'a powszechnie używany w eksperymentalnych analizach produkcji pojedynczych pionów pojawiających się przy oddziaływaniu neutrin z nukleonami i jądrami. Przeanalizowano istniejące dane doświadczalne i zaproponowano użycie zmodyfikowanych wektorowych i aksjalnych czynników struktury nukleonów. Prace H[3] i H[4] były kontynuacją poprzednich rozważań. W pierwszej z nich ponownie przeanalizowano dane doświadczalne z dwóch eksperymentów z Argonne (ANL) oraz z Brookhaven (BNL), gdzie analizowano dane zderzenia neutrin mionowych z protonami,  $\nu_\mu p \rightarrow \mu^- p \pi^+$ . Pokazano, że wyniki tych eksperymentów są zgodne, znaleziono nowe wartości aksjalnego czynnika struktury  $C_5^A(0)$  oraz masy  $M_A$ . W pracy H[4] zrobiono podobne dopasowanie, z tym jednak iż założono, że nukleon wzbudza się do rezonansu  $\Delta(1232)$ . Kolejne trzy prace H[5], H[6] i H[7] poświęcone są zbadaniu wpływu efektów hadronowych w rozpraszaniu elastycznym elektron – proton. W H[5] wykorzystując najnowsze dane znaleziono ponownie elektromagnetyczne czynniki struktury protonu i neutronu. Po uwzględnieniu poprawek zgodność dopasowania z różnych eksperymentów było dobra. W pracy H[6] zaproponowano stosowanie statystycznej metody Bayesa do opisu czynników struktury hadronów, a w H[7] wykorzystano tę metodę włączając do opisu elektromagnetycznych

czynników struktury protonu poprawki dwu - fotonowe. Poprawki dwu - bozonowe ( $W, \gamma$ ) i ponownie dwu - fotonowe zostały uwzględnione w następnych dwóch pracach H[8] oraz H[9]. W pierwszej z nich H[8] zastosowano dwa sposoby wyznaczenia poprawki dwu - fotonowej z wkładem elastycznym i nieelastycznym. Nie otrzymano satysfakcjonującej zgodności w pełnym obszarze przekazu czteropędu, co sugeruje konieczność dalszych analiz. W pracy H[9] zbadano wpływ wymiany dwu - bozonowej ( $W, \gamma$ ) w reakcjach neutrin i antyneutrin z nukleonami. Pokazano, że przy energii (anty)neutrin rzędu 1 GeV taka podwójna wymiany bozonów daje do przekroju czynnego wkład kilku procent i jest różny dla neutrin elektronowych i mionowych. W ostatniej pracy H[10] przeanalizowano rozmiar protonu przy różnych sposobach parametryzacji i użytego przybliżenia, wykorzystując dane elastycznego rozpraszania elektron - proton.

Tematyka prac przedstawionych jako osiągnięcie naukowe jest ważna na obecnym rozwoju wiedzy o oddziaływaniach fundamentalnych. Precyzyjny pomiar parametrów macierzy mieszania w sektorze leptonowym, które jak sądzimy, dadzą kolejne eksperymenty oscylacji neutrin, jest istotnym elementem poszukiwania przyszłej teorii struktury i oddziaływań podstawowych składników materii. Duży udział dr Krzysztofa Graczyka w przygotowaniu 7 współautorskich prac z 10 przedstawionych jako osiągnięcie habilitacyjne, nie budzi wątpliwości. Dobrze oceniam przedstawione prace i uważam, że spełniają wymagane kryteria, aby uznać ten dorobek za podstawę ubiegania się o nadanie stopnia doktora habilitowanego.

Wśród innych rzeczy podlegających ocenie należy wspomnieć jeszcze, iż Autor:

- uczestniczył w trzech projektach badawczych a jednym kierował,
- otrzymał dwa wyróżnienia za pracę badawczą (stypendium im. Maxa Borna oraz stypendium Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego),
- brał udział w komitetach organizacyjnych międzynarodowych konferencji organizowanych w Polsce,
- prowadził szereg bardzo istotnych zajęć dydaktycznych dla studentów z matematyki, fizyki teoretycznej i programowania,
- był promotorem pomocniczym w przewodzie doktorskim,
- odbył kilka krótkich staży zagranicznych (oprócz dłuższego pobytu wymienionego wcześniej),
- recenzował prace w dobrym czasopiśmie zagranicznym,
- angażował się w pracę organizacyjną w Instytucie i na Uniwersytecie.

Uważam, że przedstawiony dorobek naukowy i publikacje stanowiące rozprawę habilitacyjną, spełniają wszystkie wymogi ustawowe, które wymagane są od kandydata ubiegającego się o stopień doktora habilitowanego. Biorąc to pod uwagę, a także znaczący dorobek dydaktyczny i organizacyjny, wnoszę o dopuszczenie dr Krzysztofa Graczyka do dalszych etapów przewodu habilitacyjnego.



Marek Zrałek