

Prof. Dr hab. Krzysztof Kurek,  
Narodowe Centrum Badań Jądrowych,  
ul. Andrzeja Sołtana 7,  
05-400 Otwock, Polska

Warszawa 20.04.2022.

Uniwersytet Wrocławski Wydział Fizyki i Astronomii DZIEKANAT (2)		
Wpłynęło do WFA	06 -05- 2022	Zat.
Nr z rej. przes. wpływających		
wyf. do jedn. org	data	symbol
znak sprawy		

**Recenzja pracy doktorskiej pani Beaty Kowal pt.  
„Efekty polaryzacyjne w oddziaływaniach neutrin z nukleonami”, wykonanej  
pod kierunkiem dr hab. Krzysztofa Graczyka w Instytucie Fizyki Teoretycznej  
Uniwersytetu Wrocławskiego.**

Rozprawa doktorska pani mgr Beaty Kowal poświęcona jest analizie efektów polaryzacyjnych w reakcjach oddziaływań neutrin z jądrami i nukleonami. Odkrycie oscylacji neutrin a następnie badanie parametrów tych oscylacji w eksperymentach z tzw. długą i krótką bazą ma fundamentalne znaczenie dla zrozumienia teorii oddziaływań elementarnych i ew. rozszerzenia Modelu Standardowego i opiera się właśnie na analizie w/w procesów. Dlatego poprawny opis reakcji oddziaływań neutrinonukleon i neutrinonukleon ma duże znaczenie dla interpretacji wyników eksperymentów i precyzji pomiarów parametrów oscylacji. Wykorzystanie dodatkowo spinowych stopni swobody a priori może poprawić znajomość modeli teoretycznych opisujących reakcje neutrin np. poprzez lepsze dopasowanie parametrów modeli do danych. Problemem jednak pozostaje ewentualny pomiar obserwabli spinowych w tych reakcjach.

W rozprawie doktorskiej pani mgr Beata Kowal rozważa reakcje rozpraszania neutrinonukleon w obszarze energii neutrin dla eksperymentów akceleratorowych, gdzie dominują procesy kwazielastyczne oraz procesy z produkcją pojedynczego pionu. Opis tych procesów jest bardzo trudny teoretycznie i wymaga opisu modelowego; w tym obszarze kinematycznym nie jest możliwy opis oparty wyłącznie w ramach Modelu Standardowego i Chromodynamiki Kwantowej.

Praca doktorska pani Kowal składa się z 6 rozdziałów, 5 dodatków i spisu literatury, który liczy 196 pozycji.

W rozdziale pierwszym traktowanym jako wstęp autorka przedstawiła krótki opis procesu oscylacji neutrin, listę eksperymentów mierzących własności neutrin i oscylacji oraz obecny stan pomiarów doświadczalnych parametrów oscylacji (różnic kwadratów mas i kwadratów kątów mieszania). W trzeciej części wstępu znajduje się opis procesów kwazielastycznych i procesów produkcji pojedynczego pionu oraz wprowadzone są czynniki postaci charakteryzujące strukturę nukleonu w tych oddziaływaniach oraz prądy pierwszego (zgodne z Modelem Standardowym) i drugiego rodzaju (wkłady niedozwolone przez Model Standardowy). W procesie produkcji pojedynczego pionu autorka wprowadza dwa mechanizmy: rezonansowy i nierezonansowy i dyskutuje problem względnej fazy oraz definiuje dwa modele, które są analizowane w dalszej części pracy. Oba wybrane modele do opisu tego procesu bazują na modelu sigma który jest dobrym przybliżeniem niskoenergetycznej teorii oddziaływań silnych.

W rozdziale drugim autorka wprowadza pełny opis procesu kwazielastycznego oddziaływania neutrin z nukleonami wprowadzając obserwable spinowe, prądy Modelu Standardowego i poza nim oraz pełną parametryzację tensora hadronowego. Formalizm opisuje oddziaływania w najniższym rzędzie rachunku zaburzeń (pojedyncza wymiana bozonu  $W$ ) co jest oczywiście bardzo dobrym przybliżeniem w rozważanym obszarze kinematycznym. Nowym elementem, nierozważanym do tej pory w literaturze są wprowadzone dwu- i trójspinowe obserwable oraz rozpraszanie neutrin na spolaryzowanej tarczy. Opis takich procesów jest oryginalnym wkładem otrzymanym w ramach pracy doktorskiej. Według autorki otrzymane wyniki sugerują, że ew. obserwacja obserwabli spinowych może – przy założeniu postaci dipolowej czynnika postaci posłużyć do określenia masy osiowej od której odpowiednie obserwable spinowe – jak wynika z obliczeń istotnie zależą. Podobny wniosek dotyczy badania oddziaływań poza Modelem Standardowym. Nie kwestionując otrzymanych wniosków należy pamiętać, że pomiar takich obserwabli jest – według mojej wiedzy obecnie praktycznie niemożliwy a już na pewno bardzo trudny. Rozdział trzeci pracy dedykowany jest opisowi procesu produkcji pojedynczego pionu w reakcji neutrin z nukleonami. Opiswane są tu dwa procesy: ze wzbudzeniem stanu rezonansowego (praktycznie oznacza to rezonans Delta) oraz produkcja bez stanu rezonansowego. Oba te procesy mogą się mieszać co rodzi problem względnej fazy. W pracy uwzględniono dwa modele dla takich procesów, oba bazujące na modelu sigma (co uważam za dobrze uzasadnione przybliżenie niskoenergetycznej teorii oddziaływań silnych). Autorka wspomina także o modelu kwarkowym użytym do opisu takich reakcji (ref.[158]) ale nie rozważa tego modelu. Dla kompletności opisu ciekawe byłoby porównanie także tego modelu. Oba rozważane modele (dla liniowego i nieliniowego modelu sigma) są opisane w tym rozdziale wraz z wynikającymi z nich efektywnymi sprzężeniami stanowiącymi podstawę dalszych obliczeń. W rozdziale czwartym przedstawione są wyniki dla obserwabli spinowych końcowego leptonu, końcowego nukleonu i asymetrii spinowej tarczy obliczonych dla procesów nieelastycznych z produkcją jednego pionu. Rozdział piąty zawiera opis użytych narzędzi obliczeniowych a rozdział szósty krótkie podsumowanie i wnioski. W dodatkach znajdują się użyteczne dla tego typu obliczeń relacje, opis notacji i wzory.

Obliczenia wykonane przez autorkę rozprawy należą do bardzo skomplikowanych i trudnych. Trudność bierze się z dwóch powodów: formalizm opisu spinowych stopni swobody nawet w najniższych rzędach rachunku zaburzeń jest skomplikowany ze względu na wielką ilość wzajemnych konfiguracji spinowych, które należy uwzględnić oraz ze względu na trudność opisu struktury nukleonu w obszarze energii charakterystycznym dla oddziaływań neutrin akceleratorowych.

Pełna parametryzacja tensora hadronowego jest skomplikowana.

Obliczenia wymagają zastosowania opisu modelowego oraz zaawansowanych technik i metod obliczeniowych oraz umiejętności posługiwania się skomplikowanymi kodami do obliczeń symbolicznych.

Część pokazanych obliczeń i wyników została już opublikowana (co pokazuje spis literatury)

Praca napisana jest klarownie i świadczy o dobrej znajomości dziedziny przez autorkę. Mam tylko kilka drobnych uwag redakcyjnych - na stronie 11 i 13 są literówki w słowie neutrina i nukleon. Zestawy rysunków również nie są łatwe do zrozumienia a ich ilość oraz skąpy opis utrudnia zrozumienie wniosków.

Nie mając zastrzeżeń do obliczeń uważam, że autorka zbyt optymistycznie traktuje potencjalną możliwość pomiaru opisanych obserwabli. Przykładem jest akapit na stronie 27 gdzie rozważana jest możliwość określenia asymetrii poprzez pomiar kombinacji przekrojów czynnych dla różnych konfiguracji spinowych.

Widać, że autorka (i chyba także promotor) nie są zaznajomieni z możliwościami eksperymentalnymi. Takie konstrukcje asymetrii prowadzą do ogromnych niepewności systematycznych, co dodatkowo przy słabych statystykach czyni taki pomiar nieefektywnym. Nie zmienia to postaci rzeczy, że obliczenia i wyniki są ciekawe i poprawiają zrozumienie fizyki oddziaływań neutrin z nukleonami.

Jak już wspomniałem brakuje mi w pracy rozważenia modelu kwarkowego w opisie (użyte zostały dwa modele oparte na modelach sigma) dla porównania i kompletności pracy ale wybór autorki uważam za w pełni uzasadniony i nie umniejsza to wartości pracy.

Podsumowując: praca dotyczy aktualnych zagadnień w fizyce, zwłaszcza w kontekście spodziewanych nowych danych doświadczalnych. Prezentowane wyniki obliczeń stanowią oryginalny wkład w dziedzinę i mają znaczenie dla dalszych badań. Przedstawiona rozprawa spełnia wymagania stawiane rozprawom doktorskim. Stawiam wniosek o dopuszczenie autora do dalszych etapów przewodu doktorskiego.



Krzysztof Kurek

