

dr hab. Elżbieta Stephan prof.UŚ
Instytut Fizyki
Uniwersytet Śląski
ul. 75 Pułku Piechoty 1
41-300 Chorzów
tel. (32) 349 7646
elzbieta.stephan@us.edu.pl

Recenzja rozprawy doktorskiej mgr.inż. Michała Drągowskiego
Polarization Effects in Scattering of Relativistic Electrons.

Dysertacja dotyczy badań efektów polaryzacyjnych w rozpraszaniu Møllera, czyli w elementarnym procesie rozpraszania elektronu na elektronie. Proces ten jest znany od około stu lat i wykorzystywany w polarymetrii elektronów przy stosunkowo wysokich energiach. Jest on nadal interesujący również z innych powodów: mierzone obserwabla polaryzacyjne dają wgląd w fizykę oddziaływań, w tym w zagadnienia symetrii, a ostatnio zainteresowanie problemem splątania oraz korelacjami polaryzacyjnymi po raz kolejny skierowało uwagę fizyków na rozpraszanie Møllera jako bazę do ich badania takich obserwabli i testowania efektów relatywistycznych. W przypadku elektronów opis relatywistyczny jest istotny już przy energii rzędu MeV i ten obszar znalazł się w centrum badań opisywanych w niniejszej pracy, których głównym celem był pomiar transferu polaryzacji w rozpraszaniu elektron-elektron.

Zastosowana metoda pomiaru polaryzacji wykorzystuje rozpraszanie Motta elektronów na ciężkich jądrach, w tym przypadku złota. Jest to bardzo dobrze znana i właściwa dla tego przedziału energii metoda polarymetrii. Zastosowany układ detekcyjny charakteryzowała duża prostota: były to w zasadzie trzy detektory z kolimatorami, z których jeden rejestrował elektron bezpośrednio wylatujący z rozpraszania Møllera, zaś pozostałe dwa służyły do rejestracji drugiego elektronu po jego rozproszeniu Motta. Wynikająca ze sprzężenia spin-orbita asymetria liczby zliczeń w detektorach Motta, ustawionych pod kątami wstecznymi, dawała informację o wielkości polaryzacji. Prostota układu nie oznacza bynajmniej, że eksperyment był łatwy. Jego zaprojektowanie i wykonanie w sposób, który pozwolił uzyskać istotny wynik fizyczny, wymagały znacznego nakładu pracy i rozwiązania szeregu problemów merytorycznych i technicznych.

Praca doktorska jest napisana w języku angielskim, ma logiczny układ i składa się z dziewięciu rozdziałów, bibliografii i dwóch dodatków. Jest bardzo obszerna – z wszystkimi dodatkami liczy 174 strony. Rozdział 1 stanowi wprowadzenie do tematu pracy i przedstawia motywację podjętych badań. W rozdziale 2 znalazły się teoretyczne podstawy i przewidywania dla badanej wielkości, w rozdziale 3 - opis układu eksperymentalnego, a w rozdziale 4 – opisy elektroniki i akwizycji danych. Dwa następne rozdziały poświęcone są symulacjom, a kolejne - analizie danych i niepewności systematycznych. Rozdział 9 zawiera uzyskane wyniki oraz wnioski. Dodatek A mógłby w zasadzie być integralnym rozdziałem pracy, ponieważ przedstawia studium wykonalności pomiaru korelacji polaryzacyjnych techniką podobną do zastosowanej w pracy do transferu polaryzacji. Dodatek B zawiera rysunki techniczne elementów układu.

Dyskusję rozpoczynam od rozdziału 5, ponieważ zawiera on informacje dotyczące symulacji, które mają istotne znaczenie nie tylko dla opisywanego pomiaru, ale ogólnie dla

techniki polarymetrii Motta. Podstawowym problemem, który napotykamy stosując tę metodę pomiaru polaryzacji elektronu, jest znaczna różnica między dobrze znaną teoretycznie i możliwą do wyliczenia zdolnością analizującą, tzw. funkcją Shermana, a jej postacią efektywną w przypadku zastosowania folii rozpraszającej o niezerowej grubości. Wynika to z wielokrotnych rozproszeń elektronów w folii. Folie na tyle cienkie, by efekt ten był zaniedbywalny, nie pozwalają na uzyskanie dobrej dokładności statystycznej w rozsądnym czasie, a poza tym są bardzo delikatne mechanicznie. W swojej pracy mgr Dąbrowski uzyskał wartości efektywnej funkcji Shermana w foliach o różnych grubościach na podstawie symulacji pakietem Geant 4, odpowiednio modyfikując oddziaływanie. Tym samym zachował pełną funkcjonalność pakietu Geant 4, co pozwala uwzględniać straty energii i cały mechanizm śledzenia cząstek w materiałach, a także umożliwia stworzenie realistycznego "układu eksperymentalnego". Jednocześnie w każdym rozproszeniu uwzględniane były modyfikacje polaryzacji, a także asymetryczne prawdopodobieństwo rozproszenia pod danym kątem. Amplitudy rozpraszania Motta zostały uzyskane przy pomocy programu ELSEPA. Wyniki symulacji zostały skonfrontowane z danymi eksperymentalnymi w szerokim zakresie energii odpowiadającym zakresowi stosowalności polarymetrii Motta. Satysfakcjonujące wyniki pozwalają na zastosowanie tego podejścia celem uzyskania wartości efektywnej funkcji Shermana dla tych energii, dla których precyzyjne dane nie są dostępne. Jest to wynik bardzo cenny i o uniwersalnym zastosowaniu w pomiarach polaryzacji poprzez rozpraszanie Motta.

Głównym zadaniem podjętym w doktoracie był pomiar transferu polaryzacji w rozproszeniu Møllera. Pomiar został wykonany z wykorzystaniem wysoko spolaryzowanej wiązki elektronów o energii 3 MeV z injektora akceleratora MAMI na Uniwersytecie J. Gutenberga w Moguncji. Jak już wspominałam wcześniej, układ pomiarowy, a co za tym idzie układ elektroniki i akwizycji, były bardzo proste. Do odczytu danych zastosowano DRS4 Evaluation Board, który pod wieloma względami działa podobnie do zaawansowanego oscyloskopu cyfrowego i pozwala na zapis przebiegów impulsów. Ta własność daje dosyć szerokie możliwości analizy off-line, m.in. pozwala na eliminację zdarzeń z nakładającymi się impulsami, czyli typu *pile-up*. Trudność pomiaru polegała m.in. na niewielkim prawdopodobieństwie rejestracji interesujących zdarzeń, które wymagały zajęcia dwóch rozproszeń: Møllera i Motta, odpowiednio na tarczy berylowej i złotej. Konieczność zastosowania kompaktowego układu, gdzie odległości detektorów od tarczy nie są zbyt duże, oznacza jednocześnie generację znacznego tła od rozproszeń w elementach komory, kolimatorach itd. Potrzebną statystykę można było uzyskać tylko z wysokim prądem wiązki, a to z kolei zwiększało ryzyko nakładania się sygnałów od kolejnych cząstek, a także mogło prowadzić do szybkiego zużycia elementów układu detekcyjnego. Zarówno pomiar, jak analiza musiały się skoncentrować na maksymalizacji sygnału i jednocześnie minimalizacji i eliminacji bardzo wysokiego tła. Realizacja tych celów zaczynała się od właściwego zaprojektowania układu pomiarowego i już na tym etapie potrzebne były symulacje. Kolejne zadania to optymalizacja detektorów, zarówno poprzez wybór sposobu zamiany światła na impuls elektryczny, jak i prace nad elektroniką odczytu.

Podczas analizy danych zastosowano kilka różnych metod selekcji zdarzeń i odejmowania tła, uzyskując zadowalające zgodności wyników. Na podkreślenie zasługuje również przeprowadzona przez doktoranta staranna analiza niepewności i efektów systematycznych. Stanowi ona bardzo ważny element decydujący o wartości wyniku. Pomimo bardzo trudnych warunków tła i szeregu możliwych źródeł „fałszywej” asymetrii, przeprowadzone analizy i symulacje pozwoliły na dobrą kontrolę efektów systematycznych.

Najważniejszy wynik prac to wartość transferu polaryzacji w rozpraszaniu Møllera wyznaczona dla konfiguracji symetrycznej w stanie końcowym. Po raz pierwszy została ona zmierzona dla dwu kątów polaryzacji względem płaszczyzny rozproszenia. Wynik jest zgodny

z przewidywaniami teoretycznymi. Ponadto uzyskane ograniczenie na funkcję korelacji wskazuje na obecność efektów relatywistycznych.

Wyniki przedstawione w pracy zostały już opublikowane, przy czym mgr M. Drągowski jest pierwszym autorem tych prac. Tym bardziej należy docenić przyjętą formę prezentacji tego materiału w postaci monografii: zawiera ona szereg szczegółów, na które zwykle nie ma miejsca w publikacjach, nawet tych o charakterze bardziej technicznym. Informacje zawarte w dysertacji są cenne nie tylko dla osób realizujących podobne projekty, ale również dotyczą zagadnień ogólniejszych, jak wspomniane wcześniej symulacje efektywnej funkcji Shermmana, prace dotyczące optymalizacji elektroniki dla sensorów SiPM czy adaptacja oprogramowania DRS4 do szczególnych zastosowań.

Praca została przygotowana bardzo starannie od strony edytorskiej, zarówno w zakresie językowym, jak i prezentacji treści na rysunkach i wykresach. Poniżej przedstawiam kilka uwag i pytań, które nasunęły się podczas czytania pracy:

1. Odczyt z wykorzystaniem SiPM często reaguje na zmiany temperatury. Czy była stosowana jakaś stabilizacja temperatury lub jej monitorowanie?
2. Moją wątpliwość budzi schematyczne przedstawienie konfiguracji na rysunku 3.4. O ile w przypadku konfiguracji A detektory są rzeczywiście umieszczone po stronie lewej i prawej, co odpowiada przeciwnej wartości iloczynu spinu i momentu orbitalnego, to sytuacja dla konfiguracji B jest mniej oczywista: wydaje się, że detektory L i R są po stronie lewej i asymetria między nimi powinna być czuła na polaryzację poziomą, a nie pionową.
3. Na rys. 7.21 wykresy w panelu a i b wyglądają identycznie, czy rzeczywiście różnią się sposobem selekcji zdarzeń?
4. O ile wyniki zaprezentowane na rysunku 9.1 oraz w tabeli 9.4 nie budzą wątpliwości, o tyle prezentacja funkcji korelacji na rys. 9.2 jest trochę mniej przejrzysta. Przydałby się komentarz, np. czy punkty eksperymentalne powinny leżeć pomiędzy określonymi liniami? Czy raczej czytelnik ma porównać różnice w przebiegach linii dla obliczeń relatywistycznych i nierelatywistycznych z wielkością niepewności wyniku?

Powyższe nieliczne uwagi krytyczne i pytania nie wpływają na jednoznacznie pozytywną ocenę pracy doktorskiej. Co więcej, przeprowadzenie w ramach doktoratu całości projektu: od zaprojektowania dedykowanego eksperymentu, przez konstrukcję i optymalizację układu eksperymentalnego, przeprowadzenie pomiaru, symulacji i analizy danych, aż do uzyskania ważnego wyniku fizycznego, zdecydowanie wyróżnia tę pracę. Należy podkreślić, że bardzo niewielkimi środkami udało się wykonać pomiar o dużym znaczeniu dla zrozumienia fundamentalnych procesów przy energiach relatywistycznych. Wkład doktoranta w rozwój dyscypliny obejmuje kilka ważnych zagadnień:

- opracowanie i przetestowanie metody wyznaczania efektywnej funkcji Shermmana na drodze symulacji;
- wykazanie stosowalności polarymetrii Motta w sytuacji rozbieżnej wiązki elektronów rozproszonych, w warunkach bardzo wysokiego tła;
- istotny wynik: wyznaczenie transferu polaryzacji w symetrycznej konfiguracji rozpraszania Møllera przy energiach relatywistycznych (w tym przypadku 3 MeV) dla dwu wartości kąta polaryzacji wiązki względem płaszczyzny rozproszenia;
- analizę wykonalności pomiaru korelacji polaryzacyjnych w rozpraszaniu Møllera.

Na podstawie przedłożonej do recenzji rozprawy doktorskiej Pana magistra Michała Drągowskiego pt. *Polarization Effects in Scattering of Relativistic Electrons* stwierdzam, że spełnia ona warunki stawiane rozprawom doktorskim i wnioskuję o dopuszczenie doktoranta do dalszych etapów przewodu doktorskiego. Z uwagi na wyżej opisany istotny wkład przeprowadzonych badań w rozwój dyscypliny wnioskuję również o wyróżnienie rozprawy.

Elżbieta Stephan