

Prof. Jacek Ciborowski  
Instytut Fizyki Doświadczalnej  
Uniwersytetu Warszawskiego  
Pasteura 5  
02093 Warszawa

Warszawa, 24 marca 2016

## **Recenzja**

**rozprawy doktorskiej mgr Adama Szabelskiego**

**zatytułowanej:**

**The gluon contribution to the Sivers effect measurement at the  
COMPASS experiment**

Rozprawa doktorska Adama Szabelskiego powstała w wyniku jego wieloletniego zaangażowania w prace międzynarodowej współpracy COMPASS. Autor uczestniczył w zbieraniu danych w CERN oraz analizie danych i interpretacji wyników czyli programie naukowym Współpracy.

We wstępie autor zamieszcza zwięzły opis zagadnień, które stanowią podstawę jego rozprawy doktorskiej. Streszcza w nim podstawowe zagadnienia dotyczące spinu nukleonu. Przydałoby się nieco więcej opisu, ponad jedno zdanie, na temat, jak ujmuje, funkcji Siversa dla gluonów, w tym miejscu gdyż ta wielkość jest tematem badań autora.

Formalizmowi głębokonieelastycznego rozpraszania naładowanych leptonów na nukleonach z uwzględnieniem spinu, oraz rozpraszania semi-inkluzywnego, poświęcony jest rozdział 2 pracy. W podrozdziale 2.3.2 autor wprowadza funkcje struktury zależne od pędu poprzecznego (TMD) i wspomina, że jedną z nich jest funkcja struktury Siversa. Nazwisko to pojawia się również symbolicznie w opisie zamieszczonym na rysunku 2.9. U góry strony 19 z kolei autor pisze o tym, że w niniejszej pracy skoncentruje się na modulacji Siversa. Z kolei w tytule podrozdziału 2.3.3 występuje „efekt Siversa”, podobnie jak w tytule rozprawy. Poniżej zaś autor pisze, że głównym tematem pracy jest wyznaczenie efektu Siversa dla gluonów. Przed rys. 2.11 występuje zaś pojęcie asymetrii Siversa a w podpisie rysunku - „mechanizm Siversa”. Później występuje też pojęcie rozkładu partonowego Siversa. W rozdziale 8 na str. 97 spotykam stwierdzenie: „gluon contribution to the Sivers effect” a

przed wzorem (8.6) – modulacja Siversa. Wzorem 8.4 zdefiniowana jest dwuhadronowa asymetria Siversa. Tak więc przydałby się spójne posługiwanie się nomenklaturą i precyzyjne określenie przedmiotu pomiaru autora, a przede wszystkim tego, co dokładnie autor rozumie się pod pojęciem „efektu Siversa” choć można się domyślać, że chodzi o asymetrię gdyż ona jest końcowym wynikiem analizy danych.

W Rozdziale 3 autor opisuje szczegółowo zagadnienia spinu nukleonu a w szczególności wkładu pochodzącego od gluonów. Przegląd pomiarów pochodzących z wieku experimentów jest wyczerpujący. W podrozdziale 3.3 autor stwierdza, że jedną z sygnatur orbitalnego ruchu partonów jest efekt Siversa (choć związek między tymi pojęciami jest zależny od modelu). W podrozdziale 3.3.1 przedstawia dotychczasowe wyniki pomiarów asymetrii Siversa – pojęcia wprowadzonego dość pobieżnie w texcie przed rys. 2.11 jako asymetria w rozkładach kąta azymutalnego pojedynczego hadronu w rozpraszaniu semi-inkluzywnym. Na wykresach 3.9 i 3.10 w opisie osi pionowej występuje symbol asymetrii Siversa – rozumiem, że to ta sama o której wspominałem powyżej.

W rozdziale 4 autor opisuje szczegółowo experiment COMPASS od strony technicznej. W rozdziale 5 zaś zamieszcza opis metod statystycznych leżących u podstaw procedury pomiaru asymetrii. Autor kolejno omawia w szczegółach definicję doświadczalną asymetrii, współczynnik rozcieńczenia (dilution factor) i wpływ polaryzacji wiązki i tarczy na pomiar asymetrii. Metoda wyznaczania asymetrii, opisana w podrozdziale 5, zawiera przedstawienie i dyskusję podstawowych metod: ważoną i metodą *maximum likelihood*. Szczegółowa procedura wyznaczania asymetrii w experimentcie COMPASS w różnych procesach fizycznych opisana jest w rozdziale 6. Są to procesy produkcji charmu, par hadronów, w tym par o dużych pędach poprzecznych.

Oryginalny wkład własny autora opisany jest począwszy od rozdziału 7. Polegał on na opracowaniu metody ważenia statystycznego w zastosowaniu do pomiaru asymetrii. W rozdziale 7 omówione są symulacje Monte Carlo i metoda sieci neuronowych. Na początku przedstawione jest porównanie wielu rozkładów doświadczalnych z przewidywaniami symulacji (rys. 7.4 i 7.5). Jak widać z tych rysunków, symulacje dobrze opisują rozkłady doświadczalne. W podrozdziałach 7.8-7.11 autor opisuje metodę sieci neuronowych, którą zastosował w analizie. Ten zakres materiału ujmuje jego osobisty wkład do analizy: sformułowanie zagadnienia, zastosowanie parametryzacji i metoda „uczenia” sieci.

W rozdziale 8 autor opisuje własny pomiar asymetrii Siversa na próbce przypadków fuzji fotonowo-gluonowej. Jego pomysłem było wyznaczenie

asymetrii Siversa dla gluonów przy skorzystaniu z metod selekcji przypadków fuzji fotonowo-gluonowej, jak robiono to w analizie eksperymentu COMPASS opisanej w podrozdziale 6.3. Autor wprowadził specyficzną metodę ważenia przypadków w tym pomiarze, opisaną w podrozdziale 8.3. Pomiar dla tarczy deuteronowej dany jest równaniem 8.20 a dla tarczy protonowej - 8.21. Obie wartości różnią się mniej więcej o jeden błąd statystyczny. W tym kontekście stwierdzenie autora że nie można wnioskować, czy efekt Siversa dla gluonów jest taki sam dla protonu i deuteronu wymaga doprecyzowania. W następnym podrozdziale autor przytacza, bardzo zbliżone liczbowo do powyższych, wyniki otrzymane metodą *maximum likelihood*. W podrozdziale 8.8 autor opisuje wyznaczanie asymetrii na próbce przypadków z produkcją mezonu  $J/\psi$ . Otrzymuje wyniki dla deuteronu i protonu (wzór 8.39) całkowicie zgodne z pomiarami wymienionymi powyżej (wzory 8.20, 8.21). Wszystkie kroki analizy danych prowadzące do ostatecznego wyniku uważam za poprawne. Niepewności systematyczne autor analizuje w rozdziale 9.

Głównym wynikiem analizy autora jest właśnie pomiar zacytowany we wzorze 8.39 i powtórzony w konkluzjach (rozdział 10). Autor stwierdza, że wartość liczbowa asymetrii Siversa dla protonu jest ujemna i różna od zera o 3 standardowe odchylenia. Uważam, że stwierdzenie to jest nieco przesadzone, gdyż uwzględniając niepewność systematyczna, jest to niewiele ponad 2 odchylenia standardowe. Narzuca się ponadto pytanie: jeśli autor rozważa hipotezę, że asymetria ta w przypadku protonu byłaby różna od zera a cytowana obok asymetria dla deuteronu jest zgodna z zerem, to jakie byłoby tego wytłumaczenie? Czy można coś powiedzieć o asymetrii oddzielnie protonu i neutronu? Czy można coś powiedzieć na podstawie tych pomiarów na temat wkładu orbitalnego momentu pędu oddzielnie do spinu protonu i spinu neutronu? Nie po raz pierwszy spotykam się z opisem wieloletniej i pracochłonnej analizy, w którym na końcu ginie przekaz fizyczny tej pracy, choćby nawet w formie hipotez.

Praca doktorska Adama Szabelskiego powstała w wyniku jego długoletniego uczestnictwa w pracach i analizie danych eksperymentu COMPASS. Autor posiada szeroką wiedzę z zakresu zarówno fizyki badanego zjawiska jak i warsztatu doświadczalnego. Przeprowadzenie opisanej analizy wymagało od niego dużego wkładu pracy i przyswojenia obszernej wiedzy szczegółowej. Praca zawiera jedynie nieliczne błędy redakcyjne: literówki (np. wzór 8.18), in therms zamiast in terms na str. 103 czy błąd w numeracji rozdziałów w nagłówku stron (brak rozdziału 7) i mała czcionka w nagłówku rozdziału 8.

W konkluzji stwierdzam, że przedłożona praca spełnia ustawowe wymagania stawiane rozprawom doktorskim i wnioskuję o dopuszczenie mgr Adama Szabelskiego do dalszych etapów przewodu doktorskiego.

