

Eksperyment COMPASS – badanie trójwymiarowej i spinowej struktury nukleonu

Struktura silnie oddziaływających cząstek, tzw. hadronów, wśród których wyróżniamy między innymi nukleony i mezony, jest opisywana przez teorię silnych oddziaływań, tzw. Chromodynamikę Kwantową - QCD (ang. Quantum Chromo-Dynamics). W podejściu QCD własności i wewnętrzna struktura nukleonów i mezonów są zdeterminowane przez oddziaływania ich elementarnych składników kwarków i gluonów (wspólnie określanych jako 'partony').

Celem niniejszego projektu jest doświadczalne badanie trójwymiarowej i spinowej struktury nukleonu na poziomie jego elementarnych składników, co sytuuje ten projekt w nowej dziedzinie badań QCD, która wykracza poza powszechnie stosowany dotychczas opis jednowymiarowy. Opis trójwymiarowej struktury nukleonu jest możliwy w ramach formalizmu TMD (ang. Transverse Momentum Dependent distributions) lub w ramach formalizmu GPD (ang. Generalised Parton Distributions). Oba te opisy, które są komplementarne, uwzględniają korelacje pomiędzy podziałem podłużnym (wzdłuż podłużnego nukleonu) z poprzecznymi stopniami swobody kwarków i gluonów, takimi jak podział poprzeczny (TMD) lub podział w płaszczyźnie niepoprzecznej (GPD), a także korelacje ze spinem nukleonu. W szczególności umożliwia one badanie roli orbitalnego momentu podłużnego kwarków i gluonów w wyznaczeniu spinu nukleonu. Problem ten znany jako 'zagadka spinu protonu', pomimo że sformułowany przed ponad 30-letni, nadal pozostaje nierozwiązany. Podczas gdy całkowity wkład spinu kwarków do spinu nukleonu jest obecnie dobrze znany i wynosi około 30%, wiedza na temat roli spinu gluonów i orbitalnego momentu podłużnego kwarków i gluonów jest nadal ograniczona. Kolejnym interesującym zagadnieniem związanym z trójwymiarową strukturą nukleonu to tzw. 'tomografia nukleonu', tzn. wyznaczenie na podstawie rozkładów GPD zależności pomiędzy rozkładem przestrzennym partonów w płaszczyźnie niepoprzecznej do kierunku podłużnego nukleonu i podziałem podłużnym partonów.

W niniejszym projekcie rozkłady TMD i GPD będą badane na podstawie pomiarów asymetrii przekrojów czynnych dla trzech procesów: ekskluzywnej produkcji mezonów i fotonów w kierunku boku nieelastycznym rozpraszaniu mionów (tematyka GPD), kierunku boku nieelastycznej semi-inkluzywnej produkcji hadronów z podziałem poprzecznym (tematyka TMD) oraz produkcji par mionów w procesie Drelli-Yana w rozpraszaniu pionów na nukleonach (również tematyka TMD). Pomiary będą prowadzone w ramach Współpracy COMPASS w CERN-ie za pomocą rozpraszania wysoko energetycznych mionów lub mezonów – na nukleonach. Układ do doświadczalnego eksperymentu COMPASS składa się z dużego, dwustopniowego spektrometru o szerokiej akceptancji kinematycznej oraz różnych tarcz, zarówno niespolaryzowanych, jak i spolaryzowanych podłużnie lub poprzecznie. Jest on umieszczony na wiązce M2 z CERN-owskiego akceleratora SPS, która może zawierać hadrony, lub spolaryzowane miony o energiach w zakresie od 50 do 280 GeV. Wysoko energetyczne wiązki mionów i pionów o długości (o długości 1,2 m) tarczy spolaryzowane stanowią unikalne do doświadczalnego komponenty umożliwiające badanie struktury nukleonu w niedostępnym wcześniej obszarze kinematycznym. Wszechstronny program badań struktury nukleonu oraz spektroskopii hadronów realizowany w eksperymencie COMPASS uzasadnia określenie go jako '**laboratorium QCD**'.

Realizacja projektu zaowocuje nowymi wynikami w zakresie badań podstawowych dotyczących trójwymiarowej struktury nukleonów na najwyższym dostępnym poziomie. Wyniki wniosą znaczny wkład do weryfikacji podstawowych przewidywań chromodynamiki kwantowej (QCD), takich jak (ograniczona) uniwersalność rozkładów partonów, czy ewolucja QCD rozkładów TMD, a także wpływ na znaczące zwiększenie precyzji parametryzacji fenomenologicznych modeli struktury nukleonu. Obecnie COMPASS jest jedynym europejskim eksperymentem poświęconym badaniu spinowej struktury nukleonu i jest komplementarny względem eksperymentów realizowanych w Stanach Zjednoczonych w Laboratorium Jeffersona i przy akceleratorze RHIC.

Polskie grupy badawcze z NCBJ, PW oraz UW uczestniczą w pracach eksperymentu COMPASS od jego początku i wniosły istotny wkład w jego realizację. Kolejną fazą programu eksperymentu, w ramach której jest realizowany niniejszy projekt, rozpoczęła się w 2012 r. zgodnie z zatwierdzonym przez CERN nowym projektem programowym eksperymentu 'COMPASS-II proposal'. Współpraca jest realizowana w ramach 'Memorandum of Understanding for the Upgrade and Operation of the COMPASS Experiment (NA58)' podpisanego przez strony polskie i CERN.