

Rozpraszanie elektronów na jądrach atomowych jest najlepszym źródłem precyzyjnych informacji o rozmiarach jąder i ich właściwościach elektromagnetycznych. Jądro atomowe zostało odkryte przez Rutherforda poprzez rozpraszanie cząstek alfa, ale elektron jest znacznie lepszą sondą jądrową, ponieważ jest cząstką punktową i może przenikać do wnętrza jądra. Dla bardzo niskich energii rozpraszany elektron może "zobaczyć" tylko całkowity ładunek jądra, a rozpraszanie elektronów można opisać prostym wzorem Rutherforda. Wraz ze wzrostem energii elektronów proces rozpraszania staje się bardziej skomplikowany, ponieważ efekty relatywistyczne stają się ważne już w samej kinematyce. Dodatkowo rozpraszanie wiąże się z odrzutem jądra i możliwością rozszczepienia jądra na dwie lub więcej mniejszych części. Teraz padający elektron "widzi" i oddziałuje z ładunkami oraz prądami (momentami magnetycznymi) wewnątrz jądra. Właściwy opis rozpraszania elektronów w obszarze energetycznym kilku GeV (gdzie całkowita energia elektronów jest kilka tysięcy razy większa niż ich energia spoczynkowa i porównywalna z energią spoczynkową tarczy jądrowej) wymaga relatywistycznego podejścia obejmującego nie tylko elektron, ale także układ jądrowy.

Neutrino jest również dobrą sondą, ale jego oddziaływanie z jądrami atomowymi jest niezwykle słabe. Ważnym faktem jest to, że rozpraszanie elektronów i neutronów jest ze sobą ściśle powiązane i możliwe jest traktowanie ich w podobny sposób. Mianowicie, elektrony i neutrony oddziałują z elektromagnetycznymi i słabymi ładunkami jądrowymi i prądami. Całkowite ładunki i prądy wewnątrz jądra otrzymują dominujący wkład od ładunków i prądów poszczególnych nukleonów. Inne ważne składowe, tak zwane prądy wielonukleonowe, reprezentują procesy, w których nukleony działają razem, oddziałując z sondą elektrosłabą. Prądy dwunukleonowe (najważniejsze spośród prądów wielonukleonowych) nie mogą być wybierane dowolnie, ale muszą być zgodne z oddziaływaniami, które wiążą nukleony w jądrze i są odpowiedzialne za oddziaływania w stanie końcowym części rozbitego jądra. Dwa główne problemy, którymi chcemy się zająć w naszym projekcie, to zatem wyprowadzenie i wykorzystanie oddziaływań relatywistycznych i spójnych z nimi prądów jądrowych (w tym prądów dwunukleonowych) w rozpraszaniu elektronów i neutronów na tarczach kilkunukleonowych. Umożliwi nam to zbadanie roli wkładów dwunukleonowych w pełnym prądzie jądrowym w różnych reżimach kinematycznych, znalezienie wielkości mierzalnych i warunków kinematycznych czułych na właściwości prądów dwunukleonowych, ale także zidentyfikowanie warunków, w których udział poszczególnych nukleonów w operatorze prądu jądrowego jest dominujący. Ten ostatni aspekt rozpraszania elektronów i neutronów jest również bardzo ważny, ponieważ właściwości neutronu nie mogą być badane przez bezpośrednie rozpraszanie elektron-neutron lub neutrino-neutron ze względu na brak w naturze tarczy neutronowej.

Elektrony, neutrony, nukleony i jądra są wyposażone w wewnętrzny moment pędu (spin), zwykle związany z ich momentami magnetycznymi. Wiązki i tarcze w reakcjach jądrowych mogą więc wykazywać konkretne ustawienia spinu. W reakcjach jądrowych często zdarza się, że spiny cząstek zmieniają swoje kierunki. Takie zjawiska nazywane są efektami polaryzacyjnymi, analogicznie do właściwości rozpraszania światła. W naszym projekcie planujemy zbadać te aspekty rozpraszania elektronów i neutronów na deuteronie (jądrami atomowymi), zgodnie z aktualnymi kierunkami badań, w szczególności mając na uwadze programy naukowe w Jefferson Lab (Newport News). Wielkości polaryzacyjne (na przykład asymetrie względem zmiany kierunku spinu wiązki lub tarczy, uporządkowanie spinów protonów i neutronów w rozpadzie deuteronu wywołanym przez elektrony i neutrony) zawierają więcej informacji o roli nienukleonowych stopni swobody w jądrach, mechanizmach reakcji i strukturze jądra niż w przypadku cząstek niespolaryzowanych. Oddziaływania silne, które wiążą ze sobą nukleony, zachowują symetrię względem odbicia przestrzennego oraz zmiany kierunku czasu, w przeciwieństwie do oddziaływań słabych z udziałem neutronów. Badanie wielkości polaryzacyjnych pozwoli nam zweryfikować niektóre fundamentalne właściwości oddziaływań silnych i słabych. Co więcej, zasadniczo tylko poprzez zjawiska polaryzacyjne można uzyskać dostęp do elektrosłabych współczynników kształtu neutronu.

Badaliśmy już rozpraszanie elektronów i neutronów na deuteronie, ale bez prądów dwunukleonowych. Mamy doświadczenie w budowaniu relatywistycznych potencjałów nukleon-nukleon, w wykorzystywaniu wielkości polaryzacyjnych do analizy właściwości neutronów, oraz w badaniu fizyki układów kilku nukleonów. Jesteśmy przekonani, że nasz program badawczy ma bardzo solidne podstawy i że mamy potencjał do osiągnięcia założonych celów projektu.