

Katowice, 15 maja 2015

dr hab. Elżbieta Stephan
Zakład Fizyki Jądrowej i Jej Zastosowań
Instytut Fizyki
Uniwersytet Śląski
ul. Uniwersytecka 4
40-007 Katowice
tel. (32) 359 1878
elzbieta.stephan@us.edu.pl

Recenzja rozprawy doktorskiej AlaaEldeena Elmesheba
Muon capture on the deuteron and ^3He .

Praca mgr A. Elmesheba dotyczy obliczeń dla czterech reakcji wychwytu mionu ujemnego przez jądra atomowe o liczbie masowej A równej 2 i 3. Proces wychwytu mionu przez lekkie jądra atomowe jest bardzo ciekawy z wielu powodów. Jest to proces półleptonowy, niosący informację o oddziaływaniu słabym z udziałem nukleonów, podobnie zresztą jak rozpad β , choć od tego ostatniego różni się zasadniczo wartością przekazu czteropędu. Z drugiej strony funkcje falowe jądra początkowego i stanu końcowego po wychwycie mionu odnoszą się do układów (związanych lub nie) złożonych z kilku nukleonów. Stąd można sobie wyobrazić testowanie współczesnych modeli oddziaływań nukleonów w tym procesie, jako komplementarne do badań w sektorze procesów czysto hadronowych oraz elektromagnetycznych. Badanie wychwytu mionu na deuteronie pozwala także wyciągnąć wnioski dotyczące procesów o znaczeniu astrofizycznym. Procesy wychwytu zachodzą w atomach mionowych, więc istotną rolę odgrywają też zjawiska z obszaru fizyki atomowej, jak przesunięcie Lamba i rozszczepienie stanów wynikające z oddziaływań nadsubtelnych.

W swojej rozprawie Autor podejmuje ważną próbę kompleksowego i spójnego opisu procesu wychwytu mionu ujemnego przez najlżejsze jądra atomowe. Postawione zadanie wymaga połączenia doświadczeń grup teoretyków będących ekspertami m.in. w zakresie opisu operatora słabego prądu 1-nukleonowego, konstrukcji operatorów prądów 2-nukleonowych w oparciu o istniejące modele oddziaływania nukleon-nukleon, obliczeń stanów związanych i rozproszonych dla kilku nukleonów, obliczeń dla procesów elektromagnetycznych, umiejętności przedstawiania różnych operatorów w bazie fal cząstkowych. Aktywny i istotny wkład doktoranta w tak ambitne badania wskazuje na bardzo dobre opanowanie przez niego zaawansowanych metod obliczeniowych, zarówno analitycznych, jak numerycznych.

Rozprawa jest napisana w języku angielskim. Na wstępie została krótko przedstawiona historia i obecny stan badań teoretycznych reakcji wychwytu mionu na lekkich jądrach. Rozdział drugi dotyczy operatora słabego prądu jądrowego, przy czym punkt wyjścia stanowi operator 1-nukleonowy, rozszerzony następnie o przyczynki wynikające z wymiany mezonów. Kolejne trzy rozdziały poświęcone są obliczeniom prowadzonym dla poszczególnych reakcji wychwytu mionu przez jądro deuteru i ^3He . Na bieżąco prezentowane są wyniki uzyskiwane przy określonych założeniach i z wykorzystaniem różnych modeli oddziaływania. Najważniejsze wyniki zostały podsumowane i przedyskutowane w rozdziale 5. W załącznikach A-D Autor omawia pewne zagadnienia techniczne odnoszące się do przeprowadzonych obliczeń, m.in. etapy wstępne, pozwalające na kontrolę stosowanych narzędzi. Przy okazji daje to pewne wyobrażenie

o poziomie komplikacji prowadzonych obliczeń. Rozprawę zamyka spis literatury zawierający 53 pozycje. Układ rozprawy jest logiczny i przejrzysty. Część wyników pracy została już opublikowana. Dotyczy to w szczególności większości wyników prezentowanych w rozdziale 4, odnoszącym się do rozbicia (breakupu) helu.

Praca stanowi istotny krok w kierunku spójnego opisu procesu wychwytu mionu przez najbliższe jądra atomowe. Jednym z ważnych atutów jest konsekwentne sprawdzanie zasadności pewnych przybliżeń i uproszczeń opisu. Autor dowodzi m.in. zasadności stosowania podejścia nierelatywistycznego, bada różnice w otrzymanej wartości stałej wychwytu dla reakcji na deuteronie w przypadku pełnej analizy fal parcjalnych i stosowania przybliżenia fali płaskiej, analizuje wpływ dołączenia do operatora prądu 1-nukleonowego wyrazów odnoszących się do wymiany mezonów. Tam, gdzie to tylko możliwe, konfrontuje uzyskane wyniki z wcześniej publikowanymi wartościami otrzymanymi inną techniką, uzyskując zadowalającą zgodność. W obliczeniach wykorzystywane są różne modele potencjałów dwunukleonowych, a w części poświęconej reakcjom wychwytu mionu przez jądro ${}^3\text{He}$ także potencjał trzynukleonowy Urbana IX w połączeniu z potencjałem Argonne 18. Szczególnie interesujące są wyniki uzyskane z nowymi, poprawionymi potencjałami chiralnymi opublikowanymi niedawno przez E. Epelbauma i współpracowników.

Pomimo dużego zainteresowania i wielu lat badań, precyzyjne dane dotyczące wychwytu μ^- na najbliższych jądrach nie są liczne. Wynika to z oczywistych trudności eksperymentalnych. Niepewności pomiarowe w przypadku wychwytu na deuterze przekraczają zwykle 10%, natomiast dużo lepsza jest dokładność wyniku pomiaru stałej wychwytu w przypadku procesu ${}^3\text{He}(\mu^-, \nu_\mu){}^3\text{H}$. Wyniki obliczeń stałej wychwytu prezentowane w pracy doktorskiej leżą systematycznie poniżej wartości mierzonych, ale różnica zmniejsza się, gdy do jądrowego prądu słabego oprócz oprócz operatora 1-nukleonowego dołączone zostają wyrazy związane z wymianą mezonów. Pozostałe kilka procent rozbieżności może potencjalnie wynikać z pominięcia w operatorze 2-nukleonowym przyczynków od wzbudzenia izobaru Δ . Jeśli chodzi o dane dla kanałów breakupu, to w tym wypadku sytuacja od strony bazy danych eksperymentalnych jest najtrudniejsza: niepewności są znaczne, można też dyskutować nad wpływem efektów systematycznych. Trudno więc jednoznacznie rozstrzygnąć, czy obserwowane rozbieżności między danymi a obliczeniami są znaczące. Można jednak podejrzewać, że uproszczony opis operatora prądu zaniedbujący oddziaływania kilkunukleonowe nie wystarcza do odtworzenia wartości stałej wychwytu dla tych procesów. Został jednak niewątpliwie poczyniony ważny krok w kierunku ich spójnego opisu.

Poniżej przedstawiam szereg uwag i wątpliwości:

1. Brak odwołań do szeregu rysunków (2.1, 2.2, 2.7) - szkoda, bo rysunki te bardzo pomagają czytelnikowi zrozumieć tekst, dobrze ilustrując badane procesy i przyjęte założenia.
2. Rodział 2.1 zaczyna się od ogólnego sformułowania operatora prądu pojedynczego nukleonu dla przypadku dowolnego jądra. Następnie pojawiają się jednak wzory specyficzne dla wychwytu mionu na deuteronie (np. 2.16) bez wyjaśnienia, że obecnie przedmiotem rozważań jest ten szczególny przypadek. Zapewne dlatego, że jak wyżej wspomniałam brak odwołania do rysunku 2.1.
3. Rozważania na stronach 29-31 dotyczą procesu gdy w kanale wyjściowym wylatują dwa neutrony, oczywiście nierozróżnialne; czy to oznacza, że E_1 oznacza energię dowolnego z nich? Dlaczego obliczenia różniczkowego rozkładu Γ przeprowadzono w zmiennej E_ν , a nie od razu w funkcji zmiennej bezpośrednio mierzalnej, np. właśnie E_1 ?
4. Analiza zbieżności wyników zależnie od rzędu obliczeń w nowej wersji ChPT (tabele 3.2 i 4.2) jest bardzo ciekawa. Czy nie można było dla porównania przeprowadzić analogicznej analizy dla starszych obliczeń ChPT?

5. W serii rysunków 2.3-2.6 Autor pozostawił niepotrzebnie duże odległości między panelami, w wyniku czego same rysunki są bardzo wąskie, a obliczenia, zwykle najciekawsze dla małych p , często się zlewają. Estetyka prezentacji mogła też znacznie zyskać przy ustalonej jednej szerokości panelu.

Autor nie ustrzegł się kilku błędów edytorskich (np. etykieta wzoru 4.8, podpis tabeli 2.1), ale ogólna jakość edytorska pracy jest dobra.

Powyższe uwagi krytyczne i pytania nie wpływają na jednoznacznie pozytywną ocenę pracy doktorskiej, która podejmuje z sukcesem trudne i jeszcze mało zbadane zagadnienie wychwyty mionów przez lekkie jądra atomowe. Jestem przekonana, że opracowane metody i uzyskane wyniki będą stanowić cenny punkt odniesienia dla przyszłych badań w tym zakresie. Mogą też być motywacją dla tyleż trudnych co ciekawych pomiarów eksperymentalnych tych reakcji.

Na podstawie przedłożonej do recenzji rozprawy doktorskiej Pana magistra AlaaEldeena Elmeshneba pt. *Muon capture on the deuteron and ^3He* stwierdzam, że spełnia ona warunki stawiane rozprawom doktorskim i wnoszę o dopuszczenie doktoranta do dalszych etapów przewodu doktorskiego.


Elżbieta Stephan