



Dr hab. Adam Kozela
tel 126628290,
NZ21 IFJ PAN

Kraków, 13.05.2015

Recenzja rozprawy doktorskiej mgr. AlaaEldeena Elmeshneba pt. „Muon capture on the deuteron and ^3He ”

Rozprawa doktorska magistra Elmeshneba została złożona na Wydziale Fizyki, Astronomii i Informatyki Stosowanej Uniwersytetu Jagiellońskiego w marcu 2015 roku. Jest napisana w języku angielskim, składa się z sześciu rozdziałów, czterech dodatków i liczy 71 stron. Pod względem edytorskim i językowym jej poziom oceniam bardzo wysoko, choć jest wciąż miejsce na drobne poprawki, szczególnie od strony graficznej. Chodzi tu nie tyle o dobór, czy prezentację treści rysunków, co znów należy pochwalić, ale raczej o mało istotne z merytorycznego punktu widzenia niezręczności kompozycji, jak na przykład dysproporcje w wielkości czcionki użytej do opisu osi pomiędzy niektórymi rysunkami i tekstem (np. strona 27). Drażni też zbyt duża odległość liczby atomowej od symboli pierwiastków (tutaj głównie wodoru i helu) stosowana konsekwentnie w niemal całej pracy.

Rozprawa poświęcona jest reakcjom wychwytu mionów na jądrach deuteru i helu-3. Okazuje się, że badanie tych procesów jest niezwykle istotne tak dla fizyki jądrowej jak i dla astrofizyki. Konfrontacja wyników obliczeń teoretycznych z eksperymentem pozwala na testy formalizmu stosowanego następnie do najbardziej podstawowych reakcji zachodzących poprzez oddziaływanie słabe, angażujących układy dwu- lub trzy-nukleonowe. Reakcje te, często praktycznie niedostępne eksperymentalnie mają, jak na przykład reakcja $p + p \rightarrow d + e + \nu_e$, fundamentalne znaczenie dla pełnego zrozumienia procesów zachodzących w gwiazdach, na przykład tych odpowiedzialnych za produkcję energii czy strumienia neutrin. Z drugiej strony poprawa dokładności wyznaczenia szybkości wychwytu mionów na deuterze może istotnie zmniejszyć niepewność wielkości tak podstawowej dla fizyki jądrowej jak długość rozpraszania neutron-neutron, praktycznie eliminując wkład teorii do tej niepewności.

Praca zawiera kompletne sformułowanie formalizmu mającego zastosowanie do opisu reakcji wychwytu mionów na jądrach deuteru i helu-3, wypracowanego przez grupę krakowską, której mgr Elmeshneba jest członkiem. Autor zamieszcza także wyniki obliczeń obejmujących szybkości wychwytu mionów ze stanu podstawowego, czy rozkłady energii wyemitowanych cząstek dla wybranych potencjałów jądrowych. Istoty wkład magistra Elmeshneba do zaprezentowanego formalizmu, polega na uwzględnieniu operatorów dwunukleonowych we wspomnianych reakcjach oraz zastosowaniu najnowszej, poprawionej wersji potencjału nukleon-nukleon wyprowadzonego w ramach Efektywnej Teorii Pola w piątym rzędzie rachunku zaburzeń.

Rozdział pierwszy pracy zawiera bardzo krótkie wprowadzenie do historii oddziaływań słabych ze szczególnym uwzględnieniem badań, głównie teoretycznych, poświęconych reakcji wychwytu mionu na deuterze i helu-3.

W rozdziale drugim autor zaznaja czytelnika z głównymi składnikami formalizmu używanego w dalszej części pracy. Wprowadza wyrażone w przestrzeni pędów elementy macierzowe prądu pojedynczego nukleonu oraz dodatkowe operatory pojawiające się w układach dwunukleonowych, które interpretuje jako prądy wymiany mezonowej o symetrii odpowiadającej wymianie pionu i mezonu ρ . Otrzymane, zależne od pędu, elementy macierzowe operatora gęstości i prądu pojedynczego nukleonu, wyliczone w bazie funkcji falowych o określonym całkowitym i względnym momencie pędu i spinie, prezentuje dla dwóch skrajnych energii neutrina i sześciu dominujących fal parcjalnych. Autor stosuje opracowaną przez grupę krakowską oryginalną technikę dekompozycji dowolnego potencjału jądrowego (automatized partial-wave decomposition) na zależne od pędu wyrażenia w tym przypadku rzutując na fale parcjalne operatory gęstości i prądu nukleonów, z zastosowaniem pakietów matematycznych do wstępnego analitycznego wyliczenia algebraicznej postaci tych wyrażeń.

Pod koniec tego rozdziału autor zwraca uwagę, że formalizm wprowadzający dwunukleonowe operatory gęstości i prądu nukleonów nie obejmuje tych generowanych przez wzbudzenie izobaru Δ . Wynika to z trudności w ich przedstawieniu w stosowanej w pracy reprezentacji pędowej. Umniejsza to nieco wartość wyników zaprezentowanych w pracy szczególnie, że według cytowanej pracy [Marcucci et al.], w obliczeniach prowadzonych w przestrzeni konfiguracyjnej ten składnik dynamiki odpowiadał za największe efekty wśród operatorów dwunukleonowych. W rozdziale trzecim autor prezentuje wyniki obliczeń dla reakcji wychwytu mionu na deuterze najpierw z uwzględnieniem jedynie operatorów jednonukleonowych, osobno dla stanu dubletowego i kwadrupletowego, z uwzględnieniem i bez oddziaływania neutronów w stanie końcowym, dla różnych potencjałów jądrowych. Dla potencjałów Bonn B i AV18 otrzymane wyniki porównuje z obliczeniami przeprowadzonymi przez grupę krakowską oraz Marcucci w przestrzeni konfiguracyjnej. Dopiero po wykazaniu doskonałej zgodności obu podejść autor uzupełnia formalizm o dwunukleonowe operatory gęstości i prądu i pokazuje, że ich wpływ jest raczej niewielki, przeciwstawiając to analogicznemu efektowi na fotodezintegrację deuteru.

Zupełnie nowym rezultatem są obliczenia dla nowej, poprawionej wersji potencjału wyprowadzonego z chiralnej teorii pola dla wszystkich pięciu dostępnych rzędów rozwinięcia oddziaływania nukleon-nukleon (do N^4LO). Do obliczeń tych użyto tylko jednonukleonowych operatorów gęstości i prądu. Otrzymane w najwyższym rzędzie wyniki są zgodne z pozostałymi potencjałami i wykazują bardzo pożądaną właściwość: pasmo zmienności wyliczonych szybkości wychwytu mionów dla ustalonej grupy pięciu wartości parametru użytego do regularyzacji teorii, maleje z rosnącym rzędem rozwinięcia osiągając szerokość jedynie 0.5%.

Rozdział czwarty zawiera wyniki szybkości wychwytu mionów na helu-3 prowadzącego do stanu dwuciałowego $\mu_e + {}^3\text{H}$. Tym razem autor zaniedbuje nadsubtelną helu-3, pozostawiając ten fakt bez komentarza. Wynik ostateczny dla potencjału AV18 uwzględniający tak siłę 3-nukleonową URBANA IX jak i prądy wymiany mezonowej (generowane przez operatory dwunukleonowe) jest w dość dobrej zgodności ze stosunkowo dobrze określoną wartością eksperymentalną. Podobnie jak w rozdziale poprzednim autor zamieszcza także analogiczne wyniki dla najnowszej wersji potencjału wyprowadzonego w ramach chiralnej teorii perturbacji. I tym razem rozrzut wyników dla pięciu różnych wartości parametru regularyzującego znacząco maleje z rosnącym rzędem rozwinięcia. Wartość otrzymana w najwyższym rzędzie o około 15% niedoszacowuje wartość eksperymentalną. Autor tłumaczy ten fakt brakiem istotnych składników dynamiki, jakimi w tym przypadku są siła 3-nukleonowa i prądy wymiany mezonowej.

Rozdział piąty, zawierający rozważania dotyczące wychwytu mionów prowadzącego do stanów trzy- i czterociałowych (odpowiednio $\mu + n + d$ i $\mu + n + n + n$) autor zamieszcza, jak sam pisze, dla zaprezentowania pełnego obrazu wychwytu mionów na helu-3, z udziałem własnym ograniczającym się do przeprowadzenia rozkładu na fale parcjalne operatora pojedynczego nukleonu.

W pracy, poza oświadczeniem o autorstwie, magister Elmenshneb konsekwentnie używa pierwszej osoby liczby mnogiej, sugerującej udział innych osób w osiągniętych wynikach. Sam ten fakt nie wzbudza mojego niepokoju, gdyż opisany zakres prac daleko wykracza poza wymagania stawiane pracy doktorskiej. Z drugiej strony jednak, utrudnia to wyłuskanie informacji co właściwie jest oryginalnym dziełem autora, oczywiście poza dokonaniem wymienionymi przez niego pod koniec rozdziału pierwszego. Należy także zauważyć, że duża część pracy jest wierną kopią artykułu opublikowanego w Physical Review C w 2011, którego współautorem jest magister Elmenshneb. O plagiacie jednak nie może być mowy: Magister Elmenshneb wielokrotnie cytuje ten artykuł, a pierwszy autor tej publikacji, promotor magistra Elmenshneba, z pewnością potwierdzi jego wkład i prawo do czerpania z wymienionej pracy.

Duży procent pracy stanowią wzory i wyrażenie matematyczne. Część z nich dotyczy rozważań kinematycznych, w których autor argumentuje zasadność stosowania dynamiki nierelatywistycznej do opisu reakcji wychwytu mionu poprzez porównanie maksymalnych wartości energii neutrin emitowanych w badanych reakcjach wyliczonych relatywistycznie i nierelatywistycznie. Ta część została sprawdzona i jest poprawna. Pozostałe wzory w olbrzymiej większości można znaleźć, jeśli nie w specjalistycznych podręcznikach to w artykułach publikowanych w prestiżowych, recenzowanych czasopismach naukowych. Olbrzymia część formalizmu matematycznego, stanowiąca o potęgę możliwości prezentowanego podejścia znajduje się w makrach i notebookach programów do symbolicznej algebry (autor wskazuje tu na program Matematica). Aby przekonać czytelnika (a pewnie i siebie) do poprawności tego formalizmu autor stosuje go do wyliczenia wartości czasu życia mionu oraz neutronu, a wyniki prezentuje w dodatkach. Zgadza się one świetnie z rzeczywistością i doskonale uwiarygadniają poprawność obliczeń obserwabli otrzymanych dla wychwytu mionów.

Moim największym zarzutem do przedstawionej pracy jest bardzo skrótowe potraktowanie problematyki badań eksperymentalnych dotyczących wychwytu mionów. Jest to temat niezwykle ciekawy już choćby przez to, że najwyraźniej w tym przypadku eksperymenty nie nadążają za rozwojem teorii. Czytelnikowi należy się wyjaśnienie dlaczego. W pracach eksperymentalnych zadajemy sobie wiele trudu, by zaprezentować aktualny status teorii - od prac teoretycznych oczekiwałbym w tym względzie pewnej symetrii.

Reasumując: zakres i jakość prezentowanej pracy, osiągnięte wyniki oraz ich znaczenie dla nauki skłaniają mnie do podjęcia decyzji o wnioskowaniu o dopuszczeniu magistra Elmenshneba do dalszej części przewodu doktorskiego.

Z poważaniem,

A. Kozela

Adam Kozela