

**Recenzja pracy doktorskiej mgr Mileny Piotrowskiej pt.
„Study of Conventional and non-conventional scalar and vector mesons”**

Opis pracy:

Rozprawa doktorska (dalej „praca”) napisana jest w języku angielskim i poświęcona jest badaniu konwencjonalnych i niekonwencjonalnych mezonów skalarnych i wektorowych z wykorzystaniem podejścia opartego na analizie Lagranżjanów w ramach kwantowej teorii pola. Liczy 138 stron czyli dość dużo jak na pracę z fizyki teoretycznej, składa się z ośmiu rozdziałów i trzech dodatków.

Pierwszy rozdział to wprowadzenie do podstaw QCD w kontekście mezonów jako rezonansów w Modelu Standardowym, opis metody badania za pomocą Lagranżjanu oraz parametryzacji i klasyfikacji rezonansów. Przedstawiona jest lista publikacji na której opiera się treść całej pracy. Krótko opisana jest jej struktura i tematy w niej poruszone.

W rozdziale drugim starannie opisana jest dwuciałowa kinematyka rozpadów mezonów, wyprowadzone są postaci Lagranżjanów i amplitud rozpadów różnych stanów spinowych mezonów i produktów ich rozpadów.

W rozdziale trzecim, używając kwantowej teorii pola, przedstawiony jest opis różnych (silnych i radiacyjnych) rozpadów radialnie i orbitalnie wzbudzonych mezonów należących do dwóch nonetów istniejących stanów dwukwarkowych. Wyniki zostały porównane z danymi doświadczalnymi oraz zbadany został nieznanymi jeszcze wektorowy stan $\phi(1959)$.

Rozdział czwarty poświęcony jest badaniu dobrze znanego mezonu wektorowego $K^*(892)$ pod kątem jego struktury wewnętrznej. Zaprezentowany jest unitaryzowany model efektywnej kwantowej teorii pola użyty w kolejnych rozdziałach do badania bardziej kontrowersyjnych stanów.

W rozdziale piątym badany jest lekki, bardzo popularny obecnie i dość kontrowersyjny, mezon $K_0^*(700)$ pod kątem jego struktury wewnętrznej, pochodzenia i parametrów.

Rozdział szósty poświęcony jest analizie mezonów $\psi(4040)$ i $Y(4008)$ wykonanej przez badanie ich funkcji sferycznej i ich rozpadów do układów wielokanałowych. Specjalna uwaga położona jest na strukturę wewnętrzną $Y(4008)$.

W rozdziale siódmym badane są stany aksialno-wektorowe $\chi_{c1}(2P)$ i $X(3872)$ przy szczególnie uważnej analizie natury $X(3872)$.

Rozdział ósmy to wnioski płynące ze wszystkich przeprowadzonym analiz oraz dyskusja ich wyników.

W dodatkach A, B i C prezentowane są kolejno: jawne postaci i symetrie Lagranżjanów użytych w rozdziale trzecim, analiza wpływu wartości parametru obciążenia i postaci funkcji wierzchołkowej użytych do badania mezonu $\psi(4040)$ na otrzymane wyniki w rozdziale szóstym, dyskusja wpływu zmienności wszystkich swobodnych parametrów użytych w rozdziale siódmym na parametry stanu $X(3872)$.

Opis wyników pracy:

Jednym z pierwszych wyników zawartych w tej pracy są wyprowadzone i jawnie przedstawione wyrażenia na Lagranżjany i amplitudy potrzebne do badania wpływu zmian wprowadzanych w nich przez pętle mezonowe sprzężone do pierwotnego stanu kwark-antkwark. Podobnie jest z analizą dobrze znanego mezonu $K^*(892)$. Można co prawda powiedzieć, że nie wnosi ona wiele nowego z merytorycznego punktu widzenia to jednak z formalnego wnosi dużo bo przedstawia wzór poprawnego i skutecznego podejścia tj. unitarnego i stworzonego w ramach efektywnej kwantowej teorii pola i rachunków jednopętlowych.

W przypadku silnych i radiacyjnych rozpadów radialnych i orbitalnych wzbudzeń mezonów przedstawione są m.in. przewidywania teoretyczne, które nie mogą być obecnie porównane z danymi doświadczalnymi. Jak sama autorka wskazuje stwarza to otwarte pole do dalszych badań, szczególnie w detektorach CLAS12 i GlueX. W dalszej części pracy przedstawiona jest dyskusja nad hipotetycznym stanem $\phi(1959)$. Jego parametry jak i rozpady (silne i radiacyjne) są przez autorkę wyliczone i zestawione do potwierdzenia doświadczalnego.

Kolejnym wynikiem opisanym w pracy jest ważna dla współczesnej fenomenologii lekkich mezonów analiza niekonwencjonalnego mezonu $K0^*(700)$. Jest on obecnie bardzo intensywnie dyskutowany w wielu pracach teoretycznych a szczególnie tych z podejściem dyspersyjnym. Następnie pokazane jest, że zarówno wkłady różniczkowe jak i nieróżniczkowe w użytym Lagranżjanie są potrzebne w opisie rozpadu do kanału $K\pi$. Pokazuje to możliwe i czasami konieczne (jak w tym przypadku) sposoby modyfikacji pierwotnego Lagranżjanu.

Wyniki badań wektorowych mezonów cc w okolicy 4 GeV pokazują jasno, że użycie Lagranżjanu przedstawionego w pierwszych rozdziałach nie musi zawsze prowadzić do dynamicznego powstawania rezonansów, nawet jeśli po włączeniu pętli mezonowych powstaje nowy biegun amplitudy. Daje to istotny wkład do dyskusji nad istnieniem mezonu $Y(4008)$ i nad źródłem zjawisk obserwowanych w okolicy 4 GeV w kanale wektorowym.

Analizy kanału 1^{++} w okolicy 4 GeV czyli mezonów $\chi_{c1}(2P)$ i $X(3872)$ dostarczają ciekawych argumentów za interpretacją natury $X(3872)$. Badane są parametry tego mezonu i szczególne cechy jego rozpadów (np. łamanie symetrii izospinowej). Wszystkie te cechy wytłumaczone są w prostym modelu kwantowej teorii pola przez konstrukcję relatywistycznego Lagranżjanu ze stanem cc skojarzonym z $\chi_{c1}(2P)$. Wytłumaczone jest też dlaczego mezon $X(3872)$ nie został jeszcze zaobserwowany doświadczalnie.

Komentarze recenzenta:

Praca ta ma, może się wydawać, trochę niecodzienną strukturę – zestawu pięciu podobnych w formie rozdziałów zaczynających się zawsze od dość szczegółowego streszczenia, następującego za nim rozwinięcia formalizmu, części rachunkowej i podsumowania. Zaletą tej formy jest gotowa możliwość łatwego przedstawienia każdego z tych rozdziałów w formie osobnej publikacji oraz możliwości studiowania go niezależnie od pozostałych czterech rozdziałów. To co w mojej opinii może być, chyba niechcianym skutkiem ubocznym takiej struktury pracy jest występowanie w niej wielu powtórzeń opisu metody analizy, niektórych definicji i wniosków. Prowadzi to do oczywistego wydłużenia tekstu rozprawy bo w przypadku pominięcia ich i zaledwie powoływania się na raz wcześniej zdefiniowane pojęcia można by skrócić tekst o nawet kilkanaście procent. Nie uważam jednak tę cechę za negatywną ale tylko wydłużającą jednorazowe studiowanie całej rozprawy napisanej jednak dobrym naukowym językiem angielskim.

Za szczególnie wartościowe naukowo uważam analizy przedstawione w rozdziałach 6 i 7 czyli „Charmonium vector states $\psi(4040)$ and $Y(4008)$ ” oraz „Axial-vector states $\chi_{c1}(2P)$ and $X(3872)$ ”. Ich szczególna wartość polega na dojściu Autorki pracy do odważnych i dobrze uzasadnionych wniosków (różniących się od dość powszechnie przyjętych) odnośnie natury mezonu $Y(4008)$ i własności $X(3872)$. Oprócz samej ich wartości merytorycznej pokazują one elastyczność przyjętej metody zaburzania pierwotnego Lagranżjanu, mianowicie brak konieczności dynamicznego produkowania jednego dodatkowego mezonu ze z góry określonymi i łatwymi do przewidzenia własnościami.

Bardzo ciekawy i wiele mówiący jest test poprawności dopasowania opisany na stronach 68-70. Jego zastosowanie przez Autorkę podnosi wiarygodność otrzymanych wyników a szczególnie przyjętych przez nią metod. Pokazuje też, że Autorka potrafi dostatecznie krytycznie patrzeć na nie.

Ważne jest też, że w pracy jawnie badane są wpływy zmienności wszystkich swobodnych parametrów danych amplitud na wyniki końcowe. Nie zostawia to niepewności co do wiarygodności otrzymanych wyników i takie podejście do analiz naukowych uważam za bardzo dobre i godne polecenia innym autorom i innym analizom. Wszystko to stanowi dobry punkt odniesienia dla podobnych innych analiz być może też innych autorów.

Jako punkty, które można by poprawić lub odnośnie których można by prosić Autorkę pracy o komentarz uważam następujące:

- 1) dlaczego streszczenia na stronach 1 i 2 w języku polskim i angielskim różnią się między sobą tak znacznie?
- 2) jako niekoniecznie potrzebne w pracy uważam:
 - a) kolumny P i C w tabeli 1.1,
 - b) liczne powtórzenia tych samych definicji w całej pracy
- 3) uważam, że w pracy przydałyby się np.
 - a) nawet krótkie komentarze do elementów występujących w niektórych wzorach (np. 2.57-2.62),
 - b) krótki komentarz do stwierdzenia „...usual error propagation formula.” na stronie 33.,
 - c) komentarze na temat niezgodności z danymi doświadczalnymi (np. na stronie 41),
 - d) krótka dyskusja rysunku 7.6,
 - e) wyjaśnienie dlaczego w podrozdziale 7.3.2 „In the following, we use the numerical values of the parameters of case I.”,
 - f) informacja o narzędziu którym wykonywane były dopasowania do danych. Takie jak np. MINUIT pozwala wyznaczać błędy poszczególnych swobodnych parametrów.
 - g) więcej komentarzy na temat wyników na sieciach,
 - h) informacje przy dyskusji rysunku 5.2 o parametrach progowych, czy były one kontrolowane podczas dopasowywania i ile wynoszą,
 - i) dyskusja na temat różnic w masach dla podejścia Breit-Wigner i tzw. „biegunowego” (lub „amplitudowego”) np. w kontekście wzoru (4.20) w porównaniu z $M_0 = 0.89166$ GeV,
 - j) odnośnik do źródła wartości: „... $g\rho = 5.5 \pm 0.5$ is the coupling constant in the $\rho\pi\pi$ channel, ...”
 - k) informacja o tym czy błędy wartości teoretycznych przewidywań w wielu tabelach są liczone zawsze tak samo i jak,
 - l) dyskusja o płatach Riemanna na stronach 77 i 78: w przypadku np. czterech kanałów rozpadów mamy 16 płatów i bieguny związane z danymi rezonansami mogą leżeć na wielu z nich,
- 4) jako błędne uważam:
 - a) wzór (4.13): czy powinien być tam pierwiastek z s' ? ($\sqrt{s'}$),
 - b) brak w tabeli 3.10 informacji o szerokości rozpadu $\phi(1680) \rightarrow \gamma K$, na stronie 44 jest informacja o niej z odniesieniem do tej tabeli

Wszystkie powyższe uwagi są bardzo małej wagi i na pewno nie umniejszają jakości i wagi otrzymanych w pracy wszystkich wyników. Podsumowując: w mojej opinii praca ta dowodzi, że mgr Milena Piotrowska posiada wysoki poziom wiedzy na temat fizyki teoretycznej, ma spore umiejętności przedstawiania jej w formie pisanej oraz dużą sprawność rachunkową w zakresie prowadzonych przez nią badań. Zarówno wyniki pracy przez nią wykonanej jak i stosowane metody świadczą o jej dużej dojrzałości jako fizyka.

Uważam, że ustawowe i zwyczajowe wymagania stawiane rozprawom doktorskim zostały w pełni spełnione. Wniosuję zatem o przyjęcie pracy doktorskiej Pani Mileny Piotrowskiej oraz o dopuszczenie jej do dalszych etapów przewodu doktorskiego.

dr. hab. Robert Kamiński