



UNIWERSYTET ŚLĄSKI, Instytut Fizyki
Zakład Fizyki Jądrowej i Jej Zastosowań
75 Pułku Piechoty 1, 41-500 Chorzów
tel.: (+48) 32 349 7636, E-mail: Jan.Kisiel@us.edu.pl

Chorzów, dnia 09.11.2018r.

Recenzja rozprawy doktorskiej Pani mgr Darii Kisielewskiej pt. Studies of CPT symmetry violation in matter-antimatter systems.

Symetrie są obecnie jednym z podstawowych własności/narzędzi wykorzystywanych przez fizyków. Symetria układu umożliwia np. sformułowanie zasad zachowania, co znajduje odzwierciedlenie w twierdzeniu Noether. Także w fizyce cząstek elementarnych własności symetrii pozwalają na określenie podstawowych ich własności oraz oddziaływań między nimi. Łamanie symetrii CPT, czyli złożenia sprzężenia ładunkowego, odbicia przestrzennego oraz odbicia czasu nie zostało dotychczas zaobserwowane w żadnych badanych układzie. Poszukiwania łamania symetrii CPT są prowadzone przez wiele grup eksperymentalnych, a jej ewentualne zaobserwowanie byłoby niewątpliwie wielkim odkryciem, tak jak niespodziewane odkrycie w roku 1964 łamania symetrii CP w rozpadach neutralnych kaonów, które zostało uhonorowane nagrodą Nobla. Pary kaonów neutralnych, splątane kwantowo, produkowane w rozpadzie mezonu ϕ wydają się być atrakcyjnym i obiecującym układem do poszukiwania efektów łamania symetrii, w tym nieobserwowanego dotychczas łamania złożenia symetrii C, P i T. Tych kilka zdań pokazuje jak istotny i aktualny temat został podjęty w przedstawionej do recenzji rozprawie doktorskiej Pani mgr D.Kisielewskiej, która jest poświęcona zarówno analizie danych jak i wykonaniu symulacji komputerowych dla przyszłego pomiaru. Eksperyment, którego analiza została przedstawiona w pracy, został wykonany w laboratorium we Frascati, przy wykorzystaniu detektora KLOE, a dane zostały zebrane dosyć dawno, bo w latach 2004-2005, a symulacje komputerowe dotyczyły wykorzystania J-PET (*Jagiellonian-PET*) do poszukiwania łamania symetrii CPT w anihilacji orto-Pozytonium.

Rozprawa doktorska Pani mgr D.Kisielewskiej składa się z ośmiu rozdziałów, wliczając w to wstęp (*Discrete symmetries in Physics*) i podsumowanie oraz spisu literatury liczącego 95 pozycji. Praca nie jest zbyt obszerna, a jej układ nie jest typowy dla prac z eksperymentalnej fizyki jądrowej/cząstek, ponieważ można wyróżnić dwa odrębne zagadnienia, które doktorantka podjęła. Pierwszym z nich jest testowanie łamania/zachowania w rozpadach pólleptonowych neutralnych mezonów K . Ta część rozprawy (rozdziały 2, 3 i 4) poświęcona jest analizie danych zebranych przez międzynarodową współpracę fizyków KLOE, wykonującą pomiary z wykorzystaniem zderzacza elektronowo-pozytonowego DAΦNE, pracującego we Frascati we Włoszech. Rozdział drugi zawiera opis detektora KLOE składającego się z dwóch zasadniczych „poddetektorów”: komory dryftowej przeznaczonej do identyfikacji i rekonstrukcji cząstek naładowanych, oraz kalorymetru

elektromagnetycznego, w którym analizowane są neutralne produkty reakcji. W rozdziale trzecim przedstawiono metody rekonstrukcji i selekcji przypadków rozpadów pólleptonowych $K_S \rightarrow \pi e \nu$, a w kolejnym, czwartym otrzymane wyniki asymetrii ładunkowej A_S i parametrów łamania symetrii CPT. Druga część rozprawy (rozdziały 5, 6 i 7) poświęcona jest badaniu możliwości wykorzystania detektora J-PET do testowania łamania/zachowania symetrii CPT w anihilacjach orto-Pozytonium. W tej części rozprawy zostały zawarte wyniki symulacji komputerowych uwzględniające zarówno przewidywania elektrodynamiki kwantowej jak i parametry układu detekcyjnego J-PET. I tak w rozdziale piątym przedstawiono opis detektora J-PET, a w rozdziale szóstym zawarte zostały szczegóły wykonanych symulacji Monte Carlo. Rozdział siódmy to dyskusja uzyskanych wyników symulacji i ocena możliwości pomiaru łamania symetrii CPT z wykorzystaniem detektora J-PET. Obie części rozprawy łączy badanie zachowania/łamania symetrii CPT w układach materia-antymateria zbudowanych z podstawowych składników materii: kwark-antykwar i lepton-antylepton. Z zadowoleniem odnotowuję wykaz publikacji związanych z tematem rozprawy (str. 3). W trzech z nich Pani mgr D.Kisielevska jest pierwszym autorem, co jednoznacznie przesądza o wiodącym wkładzie doktorantki w uzyskanie prezentowanych wyników. Takie zestawienie jest zwykle przedstawiane w przewodach habilitacyjnych.

Kilka uwag/zapytań do sposobu przeprowadzenia pomiaru, analizy wyników i ich interpretacji zamieszczam poniżej:

1. We wzorze (3.1), str. 17 na asymetrię ładunkową A_S kaonów krótkożyciowych pojawiają się wydajności ε^+ (ε^-) obserwacji/analizy rozpadów pólleptonowych $K_S \rightarrow \pi^+ e^- \nu$ ($K_S \rightarrow \pi^- e^+ \nu$), a wartość A_S zależy jedynie od stosunków wydajności obserwacji/analizy π^+/π^- oraz e^+/e^- . Zgadza się ze stwierdzeniem doktorantki, że stosunek wydajności $\varepsilon(\pi^+)/\varepsilon(\pi^-)$ zależy od różnic w oddziaływaniach jądrowych pionów dodatnich i pionów ujemnych, ale chętnie usłyszałbym na obronie uzasadnienie stwierdzenia, że stosunek wydajności $\varepsilon(\pi^+)/\varepsilon(\pi^-)$ został wyznaczony bezpośrednio z danych z wykorzystaniem próbki kontrolnej, ponieważ symulacje MC nie były w pełni wiarygodne (*reliable*).
2. Znaczna różnica w rozkładzie energii deponowanej w kalorymetrze przez mezony K_L (tzw. K_{crash}) pomiędzy danymi a symulacjami (Figure 3.2, str. 19) wymagała wprowadzenia dwóch współczynników „korygujących” $p1$ i $p2$, których wartości zostały otrzymane w poprzednich analizach przeprowadzanych przez współpracę fizyków KLOE. Jest to tłumaczone uproszczonym opisem kalorymetru w symulacjach. Jak bardzo ten opis jest uproszczony? I dlaczego różnice pomiędzy danymi a Monte Carlo zależą od $E_{clu}(K_{crash})$ – klastra energii zdeponowanej przez K_{crash} w kalorymetrze elektromagnetycznym?

Rozprawa doktorska Pani mgr D.Kisielewskiej jest napisana w języku angielskim, w sposób prosty i zrozumiały, a jej czytanie sprawiło mi dużą przyjemność. Nie mam uwag do strony językowej pracy, ale jednocześnie nie czuję się w pełni kompetentny do oceny pracy pod tym względem. Zamieszczone rysunki i tabele znakomicie uzupełniają tekst.

Poniżej zamieszczam kilka zauważonych błędów językowo-redakcyjnych:

1. str. vii, wiersz 3. od góry: powinno *performed*, a jest *preformed*,
2. str. 11, podpis pod Figure 2.1: chyba powinno być *transferred*, a jest *transferred*,
3. str. 28, wiersz 18. od góry: powinno być *Sections*, a jest *Section*,

4. str. 40, wiersz 2. od dołu: powinno być *performed*, a jest *preformed*.

W rozprawie przedstawiona jest analiza „starych” danych, zebranych przez międzynarodową współpracę fizyków KLOE w latach 2004-2005. Wiem, że nie jest łatwo nakłonić doktoranta do zajęcia się analizą danych sprzed wielu lat. Ponadto wiemy, że w wielu eksperymentach nie wszystkie zebrane dane doczekały się ostatecznej, czyli nadającej się do opublikowania, analizy. Tym większe słowa uznania zarówno dla Pani mgr D.Kisielewskiej jak i dla promotora. Uważam, że autorce udało się uzyskać bardzo interesujące wyniki. Wykonana analiza pozwoliła na uzyskanie obecnie najbardziej precyzyjnej wartości asymetrii ładunkowej A_S dla kaonu krótkożyciowego K_S . Wyznaczone zostały także wartości parametrów $Re(x)$ oraz $Re(y)$ opisujących stopień łamania symetrii CPT. Było to możliwe dzięki analizie większej ilości danych (1.63 fm^{-1}). Współpraca fizyków KLOE zapewne poprawi dokładność wyznaczenia w/w parametrów dzięki analizie danych zebranych w latach 2014-2018. Ich analiza powinna skutkować znacznym zmniejszeniem wartości błędu statystycznego. Jestem przekonany, że metody analizy danych przedstawione w rozprawie doktorskiej Pani mgr D.Kisielewskiej zostaną wykorzystane w analizie całej próbki danych. Na podkreślenie zasługuje także niezwykle staranna analiza błędów systematycznych, która jest zwykle czasochłonna i wymaga starannego rozpatrzenia możliwych źródeł tego błędu.

Uważam, że uzyskanie przez Panią mgr. D.Kisielewską bardzo wartościowych i oryginalnych wyników w obu częściach (eksperymentalna i symulacyjna) rozprawy świadczy o dojrzałości doktorantki. Autorka wykazała, że w bardzo dobrym stopniu opanowała nie tylko techniki pomiarowe stosowane w fizyce jądrowej/cząstek, ale także zaawansowane metody analizy danych oraz metody symulacji Monte Carlo. Umiejętne wykorzystanie w jednej rozprawie dwóch różnych układów materia-antymateria do badania zachowania/łamania symetrii CPT świadczy o dojrzałości doktorantki.

Po takim podsumowaniu wniosek końcowy może być tylko jeden: na podstawie przedłożonej do recenzji pracy doktorskiej Pani mgr Darii Kisielewskiej pt. *Studies of CPT symmetry violation in matter-antimatter* stwierdzam, że rozprawa spełnia warunki stawiane rozprawom doktorskim i wnioskuję o dopuszczenie doktorantki do dalszych etapów przewodu doktorskiego.



Prof. Jan Kisiel