



UNIwersytet MIKOŁAJA KOPERNIKA  
INSTYTUT FIZYKI

ul. Grudziądzka 5/7 87-100 TORUŃ

<http://www.fizyka.umk.pl/>

Tel. centr. (48 56) 611 33 10

Fax (48 56) 622 53 97

Sekretariat: (48 56) 622 63 70

e-mail: [ifiz@fizyka.umk.pl](mailto:ifiz@fizyka.umk.pl)



Dr hab. Daniel Lisak  
Uniwersytet Mikołaja Kopernika,  
Instytut Fizyki  
ul. Grudziądzka 5,  
87-100 Toruń

Toruń, 11.11.2015

**Recenzja pracy doktorskiej pani Anny Wojny-Pelczar pt. „Polarized xenon for medical applications”.**

Rozprawa doktorska poświęcona jest zaprojektowaniu i konstrukcji układu do polaryzacji  $^{129}\text{Xe}$  dla zastosowań magnetycznego rezonansu jądrowego przede wszystkim w diagnostyce medycznej. Grupa krakowska pod kierunkiem profesora Dohnalika osiągnęła dotąd wiele sukcesów w rozwoju metody NMR używając spolaryzowanego  $^3\text{He}$ , również z udziałem autorki rozprawy. Prace te zaowocowały pierwszą w Polsce demonstracją tej innowacyjnej i bardzo czułej metody do badania ludzkich płuc i kilkoma publikacjami w uznanych czasopismach naukowych. W samej rozprawie doktorskiej poświęconej polaryzacji  $^{129}\text{Xe}$  wyniki dotyczące spolaryzowanego  $^3\text{He}$  zostały w skrócie opisane w dodatku B.

Rozwój metod polaryzacji  $^{129}\text{Xe}$  i jej utrzymania w jak najdłuższym czasie jest kluczowy dla wykorzystania go zamiast trudno dostępnego  $^3\text{He}$  w obrazowaniu medycznym. Spolaryzowany  $^{129}\text{Xe}$  uzyskuje się metodą *spin exchange optical pumping* (SEOP), która w praktyce wymaga rozwiązania szeregu problemów eksperymentalnych zanim będzie można uzyskać wysoki stopień polaryzacji gazu i dostatecznie dużą wydajność jego produkcji. Tematyka pracy jest oryginalna i bardzo aktualna w kontekście badań światowych jak i spodziewanych praktycznych zastosowań, przede wszystkim w diagnostyce chorób płuc. Zbudowany w ramach pracy doktorskiej polaryzator SEOP jest drugim tego typu urządzeniem na świecie wykorzystującym ciśnienie atmosferyczne gazu i dużą objętość komórki SEOP (6 L), zapewniającą wydajną produkcję spolaryzowanego gazu. Takie rozwiązanie skutkuje też dłuższym czasem relaksacji korzystnym dla wydajności procesu polaryzacji i większą efektywnością transferu polaryzacji z Rb do  $^{129}\text{Xe}$ . Z drugiej strony zapewnienie jednorodnych, optymalnych dla polaryzacji  $^{129}\text{Xe}$  warunków fizycznych w całej objętości dużej komórki stwarza problemy doświadczalne, np. jednorodne oświetlenie całej objętości laserem polaryzującym elektrony walencyjne rubidu oraz wytworzenie jednorodnego pola magnetycznego i temperatury. Zaprojektowanie i optymalizacja układu wymagała zbadania efektów fizycznych wpływających na proces polaryzacji rubidu, jej transferu do xenonu oraz szybkości depolaryzacji przez procesy relaksacyjne. Wyznaczone zostały

optymalne ciśnienia Xe, Rb i gazów buforowych oraz temperatura i ciśnienie w komórce SEOP. Należy podkreślić, że układ doświadczalny polaryzatora  $^{129}\text{Xe}$  jest bardzo złożony, a jego zaprojektowanie, budowa i testowanie z pewnością były czasochłonne i wymagające dużej wiedzy z zakresu fizyki atomowej, jak i zdolności inżynierskich. Wszystkie elementy składowe urządzenia zostały indywidualnie zaprojektowane i wykonane w ramach pracy doktorskiej.

Analizując otrzymane ostatecznie wyniki stopnia polaryzacji  $^{129}\text{Xe}$  wydaje się, że można by jeszcze sporo ulepszyć. Uzyskany stopień polaryzacji rzędu 1.5 % jest istotnie niższy niż te podawane przez autorów konkurencyjnych konstrukcji (10 do nawet 90 %). Trzeba jednak zauważyć, że w niniejszej pracy używano lasera o mocy zaledwie 16 W, w porównaniu z 200 W w konstrukcji Nikolaou i współpracowników z 2014 r. Autorka ma świadomość potencjalnych możliwości dalszego rozwoju zbudowanego polaryzatora i opisuje je w rozdziale 6. Wydaje się, że wkrótce polaryzator  $^{129}\text{Xe}$  ma szansę stać się jednym z najbardziej wydajnych na świecie.

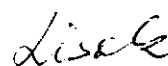
Praca napisana została w języku angielskim. Składa się z siedmiu rozdziałów i dwóch dodatków tworzących logicznie powiązaną całość. Tekst napisany jest w sposób poprawny i zrozumiały, chociaż stosunkowo często pojawiają się drobne błędy edytorskie i rzadko językowe. W szczególności dużo jest braków spacji pomiędzy wyrazami oraz indeksów dolnych i górnych na rysunkach. Nie wpływa to oczywiście na wartość naukową pracy.

Poniżej przedstawiam pewne uwagi do poprawności i kompletności pracy:

- w rozdziale 1.2 „Thesis summary” brakuje do kompletności podsumowania rozdziału 3,
- strona 17: stała Boltzmanna ma różne oznaczenia  $k_B$  lub  $k$ ,
- str. 19: „Binary collisions are dominant in the high pressure” - warto by podać, jakie ciśnienia możemy tu uważać za wysokie
- str. 22, wzór (2.18): symbol „ $G_1$ ” nie jest zdefiniowany,
- str. 23: ostatnie zdanie rozdziału (nad tabela 2.2) wydaje się niedokończone,
- str. 24: w zdaniu „... NIST and Wisconsin groups ...” warto by podać odpowiednie cytowania,
- str. 26: w tabeli 2.4 lub tekście odnoszącym się bezpośrednio do niej brakuje opisu użytych symboli:  $B_0$ ,  $B$ ,  $B^-$ ,  $S$ ,  $V$ ,
- str. 27: napisano „... at 77 K (liquid nitrogen temperature the spin-lattice relaxation time is about 2.5 h”. Ponieważ zdanie wcześniej napisano, że zamrożenie  $^{129}\text{Xe}$  służy m.in. minimalizacji procesów relaksacji, więc warto by dodać jak ma się ten czas do czasu relaksacji przed zamrożeniem  $^{129}\text{Xe}$ ?
- str. 28: w ostatnim akapicie brak nr rysunku „(Fig. ??)” i chyba brak rysunku,
- str. 40: w ostatnim akapicie brak nr rysunku „In the improved setup (Fig. ??)”,
- str. 41: w opisie pod rysunkami i w tekście rozdziału są odniesienia do rysunków 4.4 (a) i (b) oraz 4.5 (a) i (b) ale rysunki te nie mają części (a) i (b),
- str. 51 ostatni akapit: „PCV tube” – zapewne miało być „PVC tube” (*Polyvinyl chloride*)
- str. 81: autorka pisze że metoda MRI z wykorzystaniem  $^{129}\text{Xe}$  jest wystarczająco czuła do wykrycia nowotworu płuc w bardzo wczesnym stadium. Warto by to poprzeć odpowiednim cytowaniem.
- str. 95: brak odnośnika literaturowego w 3 wierszu rozdziału 9.2

Powyższe uwagi w niewielkim stopniu wpływają na wysoką wartość naukową pracy. Największą jej wartością jest sam zbudowany, unikalny w skali światowej układ polaryzatora  $^{129}\text{Xe}$ , który może teraz posłużyć do wielu projektów badawczych, zarówno z fizyki jak i interdyscyplinarnych projektów medycznych. Bardzo cenna jest tu współpraca grupy badawczej ze szpitalem Jana Pawła II w Krakowie w zakresie obrazowania MRI. Sama fizyka procesów polaryzacji i relaksacji  $^{129}\text{Xe}$  nie jest jeszcze do końca zbadana, czego przykładem jest anomalna zależność otrzymywanej polaryzacji od ciśnienia Xe demonstrowana przez Whitinga i współpracowników (referencja [88]). Wydaje się też, że istnieje duży potencjał do dalszego zwiększenia wydajności polaryzacji, np. przez zastosowanie lasera o większej mocy i pewne modyfikacje układu optycznego. W ramach pracy doktorskiej wykonano również obliczenia teoretyczne i pomiary szybkości procesów zderzeniowych prowadzących do przekazania polaryzacji i jej utraty w układzie Rb –  $^{129}\text{Xe}$  w obecności gazów buforowych  $\text{N}_2$  i  $^4\text{He}$ . Wyniki te pozwoliły na optymalizację warunków pracy polaryzatora i stanowią cenny materiał dla potencjalnych czytelników zainteresowanych budową polaryzatora  $^{129}\text{Xe}$ .

Podsumowując, praca doktorska stanowi oryginalne podejście do problemu efektywnej polaryzacji  $^{129}\text{Xe}$ . Dotyczy bardzo aktualnych problemów współczesnej fizyki, a osiągnięte wyniki mają także istotne znaczenie dla rozwoju diagnostyki medycznej i badań materiałowych. Zakładane ambitne cele pracy zostały zrealizowane, a przy okazji otrzymano wiele cennych wyników doświadczalnych. W moim przekonaniu praca spełnia wszelkie ustawowe i zwyczajowe wymagania stawiane rozprawom doktorskim z fizyki. Dlatego wnioskuję o dopuszczenie pracy do dalszych etapów przewodu doktorskiego.

  
Daniel Lisak

