

Opinia o pracy doktorskiej Pani mgr Anny Wojna-Pelczar

Praca doktorska zatytułowana "POLARIZED XENON FOR MEDICAL APPLICATIONS" (Spolaryzowany ksenon do zastosowań medycznych) opisuje podstawy fizyczne hiperpolaryzacji gazów szlachetnych, konstrukcję nowego polaryzatora wykorzystującego technikę "Spin Exchange Optical Pumping" (SEOP) i zawiera szczegółowe opisy jego elementów i parametrów, łącznie z ich optymalizacją. Skonstruowane urządzenie służy do produkcji spolaryzowanego ksenonu (^{129}Xe) wykorzystywanego do obrazowania rezonansem magnetycznym.

Praca została wykonana pod kierownictwem prof. Tomasza Dohnalika i pod nadzorem dra Tadeusza Pałasa w Instytucie Fizyki Uniwersytetu Jagiellońskiego.

Praca zawiera 108 stron, obejmujących wstęp i siedem rozdziałów, plus dwa dodatki oraz bibliografię. Rozdział 1 opisuje cel i źródło pracy, rozdział 2 - teorię polaryzacji metodą SEOP. Rodział 3 – to opis atomów uczestniczących w SEOP (metale alkaliczne, ksenon, bufor gazowy); rozdział 4 zawiera opis wykonanego polaryzatora a rozdział 5 - wyniki eksperymentalne, łącznie z otrzymaniem pierwszego sygnału rezonansowego ^{129}Xe . Podrozdziały 5.2 do 5.5 zawierają analizę profilów absorpcji rubidu oraz efektywności pompowania optycznego w zależności od ciśnienia, temperatury i widma lasera oraz składu i proporcji gazów buforowych. Rodzιάły 6 i 7 obejmują dyskusję, wnioski i perspektywy dalszych badań i zastosowań gazów spolaryzowanych. Praca odnosi się do 141 pozycji bibliograficznych. Dodatek A zawiera opis pierwszej wersji polaryzatora, użytej do początkowych testów. W Dodatku B opisany jest polaryzator typu MEOP (methastability exchange optical pumping) zbudowany do polaryzacji ^3He . Doktorantka brała udział w jego konstrukcji. Urządzenie to umożliwiło otrzymanie pierwszego w Polsce obrazu ^3He w płucach. W trakcie tych wstępnych prac Pani Wojna-Pelczar poznała tajniki pracy nad polaryzacją gazów.

Prace nad pompowaniem optycznym, wykorzystywanym do polaryzacji gazów szlachetnych, rozpoczął Dr. Kastler, za co otrzymał Nagrodę Nobla z fizyki w 1966. Pokazał on, że poprzez naświetlanie par metali alkalicznych kołowo spolaryzowanym światłem można otrzymać znacznie wyższe obsadzenie podpoziomów atomowych niż w równowadze termodynamicznej. To odkrycie zostało później wykorzystane do polaryzacji gazów szlachetnych takich jak ^3He i ^{129}Xe .

Spolaryzowany ksenon stosowany jest do badań materiałowych i biologicznych przy użyciu rezonansu magnetycznego. W odróżnieniu od najczęściej stosowanego rezonansu protonów, czułość ksenonu, dzięki możliwości jego hiperpolaryzacji, jest o ok. 10000 razy większa i umożliwia

obrazowanie gazów a nie tylko wody. ^{129}Xe jest szczególnie przydatny do badań biologicznych m.in. ze względu na jego duże przesunięcie chemiczne sięgające 7500 ppm. Bardzo obiecująca jest możliwość zastosowania spolaryzowanych gazów do obrazowania rezonansowego płuc, które zawierają znikome ilości wody, dlatego nie można ich obserwować przy pomocy obrazowania protonów. Co więcej, przesunięcie chemiczne ok. 200 ppm pomiędzy gazowym a rozpuszczonym w płucach ^{129}Xe dostarcza informacji o zaburzeniach struktur i wentylacji płuc wskutek chorób, takich jak przewlekła obturacyjna choroba płuc, mukowiscydoza czy rak płuc. Obiecujące są obecnie rozwijane zastosowania gazów spolaryzowanych z użyciem metody HyperCEST, dzięki której można obserwować ^{129}Xe w bardzo małych stężeniach (rzędu picomoli) *ex vivo* a wkrótce prawdopodobnie *in vivo*.

Dalszy rozwój metod opartych o gazy szlachetne takie jak ^{129}Xe czy ^3He zależy od możliwości wyprodukowania dużych ilości wysokospolaryzowanego gazu. Sygnał rezonansowy ^3He jest większy niż sygnał ^{129}Xe i stąd jego wcześniejsze zastosowania. Jednak na rynku pojawiły się braki ^3He ze względu na jego ubogie ziemskie złoża. Wynika stąd bardzo duże znaczenie przedstawionej pracy doktorskiej, która opisuje konstrukcję polaryzatora ksenonu oraz analizę doboru parametrów układu. Polaryzator został skonstruowany tak, by pracował pod ciśnieniem atmosferycznym i przy niskiej koncentracji ^{129}Xe w dużym 6-litrowym pojemniku zwanym komórką SEOP. W trakcie pracy wprowadzono szereg udoskonaleń, które umożliwiły zwiększenie efektywności polaryzacji.

W porównaniu do innych rozwiązań zaletą zaproponowanego urządzenia jest duża objętość spolaryzowanego Xe, potrzebna do zastosowań medycznych (np. do badania płuc pacjentów) oraz niskie ciśnienie.

Efektywność skonstruowanego polaryzatora wynosi ok. 1%, co jest stosunkowo mało w porównaniu do innych systemów. Jednak polaryzator ten działa w wyjątkowych warunkach pod ciśnieniem 1 bara, ma 6-litrową komórkę i laser z efektywną mocą 16 watów. Udoskonalony system produkuje ok. 0.25L spolaryzowanego ksenonu w czasie poniżej 5 min. Choć efektywność innych polaryzatorów jest wyższa, stosowane w nich są lasery o mocy rzędu 1 kW, pracują w wyższych ciśnieniach, i mają małe komórki SEOP o wielkości ok. 100-500 cm³. W zaproponowanym przez Panią Wojnę-Pelczar rozwiązaniu, jak stwierdza sama autorka, można użyć silniejszego lasera z zawężoną szerokością spektralną oraz zmienić ciśnienie i temperaturę, podwyższając znacznie wydajność polaryzatora.

Praca zawiera wiele schematów i zdjęć aparatury, szczególnie w rozdziale 4, co czyni ją jeszcze bardziej interesującą. Mam jednak kilka uwag dotyczących tej części pracy. Na kilku zdjęciach brak

jest opisu przedstawionych elementów; w podpisach są one co prawda wymienione, ale nie są zaznaczone na wszystkich rysunkach, w szczególności:

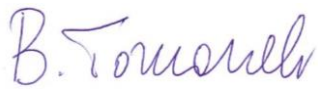
1. Na stronie 38 umieszczone jest zdjęcie (Rys. 4.1) przedstawiające szkielet systemu. Niestety pokazane elementy nie są opisane na zdjęciu, stąd dość trudno się zorientować gdzie są te części i do czego służą. Wydaje się, że lepiej byłoby najpierw przedstawić schemat całości systemu ze zdjęciem i opisem głównych elementów (obecnie obrazek 4.8) zamiast zaczynać od szkieletu. We wstępie szczególnie brakuje zdjęcia komórki, która jest zasadniczą częścią systemu a dalszy opis mówi o “niewiadomej” komórce. Zdjęcie komórki znajduje się dopiero na obrazku 5.14 na stronie 74, ale rozkład pola w komórce jest wcześniej. Wydaje się, że powinno być na odwrót, najpierw opis i usytuowanie komórki a potem rozkład pola w komórce.
2. Opis rysunku 4.1 umieszczony jest w sekcji 4.2, co wydaje się mylące.
3. Na stronie 40 autorka odnosi się do ulepszonej konfiguracji ale nie wiadomo czy chodzi o Rys. 4.4 czy też 4.3.
4. W tekście jest napisane, że opis zaworu M1 “przedstawiono na rys 4.8” – czy rzeczywiście jest to rysunek 4.8?
5. W rozdziale 4.3. autorka pisze o ampułce z 5 gramami rubidu połączonej z metalowym łącznikiem, ale niestety trudno się zorientować do jakiego zdjęcia się ten opis odnosi.
6. Rysunek 4.6 przedstawia zdjęcie elementów polaryzatora ale bez ich identyfikacji. Dlaczego nie zaznaczyć choćby głównych elementów, tak żeby je można było porównać ze schematem?
7. Na rys 4.13 dla lepszego zrozumienia możnaby zaznaczyć kierunki rozchodzenia się promieni.

Inne drobniejsze uwagi:

8. Wydaje się, że rozdział 5.1 zatytułowany “Optymalizacja systemu laserowego”, który jest w rozdziale “Wyniki” i zawiera ładny opis dopasowania częstości lasera nie powinien być w rozdziale “Wyniki”, ale wcześniej.
9. W rysunkach znaczek “oC” powinien być zamieniony na “°C”.
10. Rysunek 9.3 pokazujący obraz płuc człowieka, wydaje się mylący: nie wiadomo czy niskie i wysokie pole oznacza pole, w którym otrzymano obrazy czy też pole, w którym zachodziła polaryzacja? Jakie to pole było?

Jak zaznaczyłem, konstrukcja polaryzatora wymaga szczególnej uwagi przy jego projektowaniu i dokładności w wykonaniu. Cieszy mnie, że Pani mgr Wojna-Pelczar podjęła to wyzwanie i starannie rozważyła wszystkie czynniki, pokazując głęboką wiedzę teoretyczną tematu jak i umiejętności praktyczne. Pani Wojna-Pelczar podeszła do problemu w sposób bardzo metodyczny, który pozwolił jej na osiągnięcie założonego celu badawczego. Rozwinięcie zaproponowanej metody powinno w przyszłości pozwolić na zastosowanie metody w warunkach klinicznych do wczesnej diagnostyki i bezinwazyjnej obserwacji terapii chorób płuc.

W podsumowaniu stwierdzam, że przedstawiona praca spełnia wymogi pracy doktorskiej i wnoszę o dopuszczenie Pani Anny Wojny-Pelczar do dalszego etapu obrony pracy.

A handwritten signature in purple ink, reading "B. Tomanek". The signature is written in a cursive, flowing style.

Doc. dr hab. Bogusław Tomanek