

Z50 - OBRAZOWANIE MAGNETYCZNYM REZONANSEM JĄDROWYM W ZIEMSKIM POLU MAGNETYCZNYM

II Pracownia Fizyczna

Wydział Fizyki, Astronomii i Informatyki Stosowanej, Uniwersytet Jagielloński

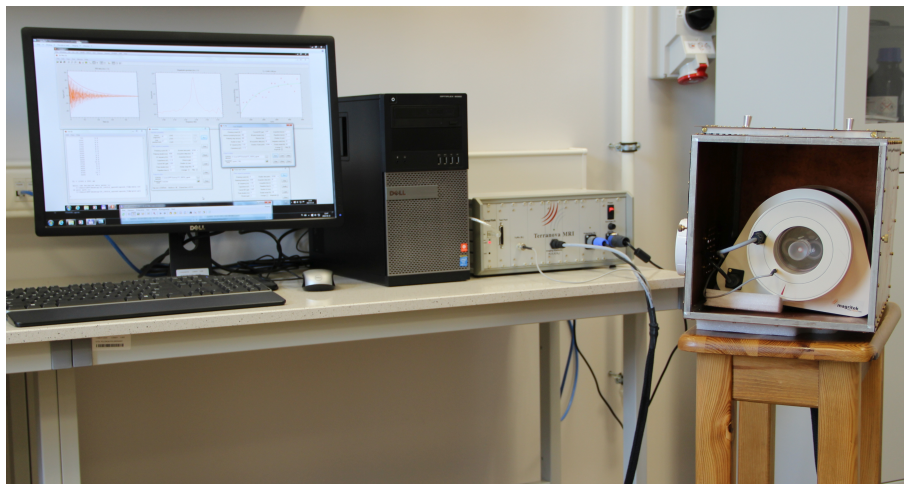
Celem ćwiczenia laboratoryjnego jest uzyskanie w ziemskim polu magnetycznym sygnału rezonansu magnetycznego pochodzącego od jąder wodoru znajdujących się w cząsteczkach wody. Wykorzystując zestaw edukacyjny Terranova-MRI firmy Magritek, studenci badają procesy relaksacji (relaksację podłużną oraz relaksację poprzeczną) w wysocje jednorodnym polu magnetycznym Ziemi. Wykorzystanie tomografii magnetycznego rezonansu jądrowego (w ćwiczeniu używane są dwie metody obrazowania: sekwencja echa spinowego i sekwencja echa gradientowego) umożliwi studentom otrzymanie dwuwymiarowych obrazów badanych fantomów zawierających wodę.

Zagadnienia do przestudiowania

1. Zjawisko magnetycznego rezonansu jądrowego. Czynniki giromagnetyczny i precesja Larmora [1, 4].
2. Równowaga termodynamiczna opisana statystyką Boltzmanna. Polaryzacja i magnetyzacja spinowa próbki wody w zadanej temperaturze i umieszczonej w polu magnetycznym o zadanej indukcji [1, 2, 4].
3. Impulsowe metody badania zjawiska magnetycznego rezonansu jądrowego, generowanie impulsów $\pi/2$ oraz π . Sygnał swobodnej precesji [2, 3, 4, 6].
4. Relaksacja podłużna (spinowo – sieciowa) charakteryzowana czasem relaksacji T_1 [1, 4, 6].
5. Relaksacja poprzeczna (spinowo – spinowa) charakteryzowana czasem relaksacji T_2 . Wpływ niejednorodności pola magnetycznego na czas relaksacji poprzecznej (T_2^*). Metoda echa spinowego [1, 4, 6].
6. Obrazowanie magnetyczno rezonansowe: zastosowanie gradientów pola magnetycznego do kodowania przestrzennego sygnału, przestrzeń odwrotna i przestrzeń obrazowa, transformata Fouriera. Sekwencja echa spinowego w obrazowaniu magnetyczno rezonansowym. Sekwencja echa gradientowego w obrazowaniu magnetyczno rezonansowym [3, 5, 6].
7. Pole magnetyczne Ziemi. Kierunek i wartość wektora indukcji pola magnetycznego w zadanej lokalizacji. Jednorodność ziemskiego pola magnetycznego. [strona internetowa Instytutu Geofizyki Polskiej Akademii Nauk <http://www.igf.edu.pl/>]
8. Obwód rezonansowy LC. Klatka Faradaya. Wpływ zakłóceń elektromagnetycznych na pomiary sygnałów magnetycznego rezonansu jądrowego [5, 6].

Zadania obliczeniowe

1. Pomiary odbywają się w polu magnetycznym Ziemi. Bieżące dane geomagnetyczne rejestrowane przez Zespół Obserwacji Geomagnetycznych w stacji obserwacyjnej w Belsku dostępne są pod adresem internetowym Instytutu Geofizyki Polskiej Akademii Nauk <http://www.igf.edu.pl/>. Przed rozpoczęciem pracy laboratoryjnej studenci proszeni są o wyznaczenie estymowanej dla miejsca wykonywania ćwiczenia wartości deklinacji magnetycznej (<http://www.ngdc.noaa.gov/geomag-web/>). Uzyskane dane pomogą ustawić układ cewek (składający się z cewki polaryzującej, cewek gradientowych oraz cewki nadawczo – odbiorczej) względem aktualnego ziemskiego pola magnetycznego oraz umożliwią ustalenie częstości rezonansowej dla protonów. Należy wyrazić w Hz częstość rezonansową dla jąder wodoru w wypadkowym polu magnetycznym Ziemi (w dniu wykonywania ćwiczenia i dla położenia geograficznego II Pracowni Fizycznej).
2. Na podstawie przybliżonego wzoru $M = \frac{e \frac{2\mu B_0}{k_B T} - 1}{e \frac{2\mu B_0}{k_B T} + 1} \cong \frac{\mu B_0}{k_B T} = \frac{\gamma \hbar B_0}{2k_B T}$ proszę oszacować magnetyzację jądrową protonów ($\gamma = 267.513 \cdot 10^6 \text{ rads}^{-1}T^{-1}$ w wodzie o temperaturze pokojowej znajdującej się w ziemskim polu magnetycznym. Ile razy ta magnetyzacja wzrośnie, jeżeli umieścimy wodę podgrzaną do temperatury ciała człowieka w typowym medycznym tomografie rezonansu magnetycznego, w którym pole magnetyczne o indukcji 1.5 T wytwarza prąd płynący w nadprzewodzącym uzwojeniu elektromagnesu?
3. Na terenie II Pracowni Fizycznej uruchamiane są silne elektromagnesy, których pole rozproszone może dodawać się do pola ziemskiego w miejscu wykonywania ćwiczenia Z50. Proszę wyznaczyć, jakie pole magnetyczne zwiększy częstość obserwowanego w ćwiczeniu rezonansu magnetycznego o 5 Hz.



Rysunek 1: Zestaw pomiarowy

Aparatura i materiały

Zestaw edukacyjny Terranova-MRI firmy Magritek jest szczegółowo opisany w instrukcji dostarczonej przez producenta [6, 7]. Cewki układu (cewka nadawczo – odbiorcza, cewki gradientowe i cewka polaryzująca) wraz z badanym fantomem umieszczone są w małej klatce Faradaya. Eksperyment jest kontrolowany z poziomu programu Prospa [6] zainstalowanego na komputerze (pracującym z systemem Windows). Badanymi fantomami są pojemniki wypełnione wodą.

Program ćwiczenia

1. Omówienie zagadnień fizycznych związanych z ćwiczeniem. Zapoznanie się z aparaturą doświadczalną (zwłaszcza budową układu cewek) i programem Prospa nadzorującym pracę konsoli rezonansu magnetycznego.
2. Ustawienie układu cewek w polu magnetycznym Ziemi.
3. Pomiar poziomu zakłóceń wewnątrz klatki Faradaya.
4. Dostrojenie cewki nadawczo - odbiorczej do częstości rezonansu.
5. Shimowanie układu - korekta prądów offsetowych w cewkach gradientowych.
6. Eksperymentalne wyznaczenie czasu trwania impulsów $\pi/2$ oraz π .
7. Pomiary czasu relaksacji (podłużnej i poprzecznej) w fantomach zawierających wodę destylowaną oraz wodę z dodatkiem jonów skracających czasy relaksacji.
8. Obrazowanie wybranych fantomów z wykorzystaniem sekwencji echa spinowego oraz sekwencji echa gradientowego.

Opracowanie wyników

Pomiar czasu relaksacji podłużnej T_1 wykonuje się zmniejszając czas trwania polaryzacji próbki i mierząc wartość (magnitudo) sygnału swobodnej precesji. Pomiar czasu relaksacji podłużnej T_1 można także zrealizować zmieniając czas pomiędzy zakończeniem polaryzowania próbki a podaniem impulsu $\pi/2$ i mierząc wartość (magnitudo) sygnału swobodnej precesji. Pomiar czasu relaksacji poprzecznej T_2 wykonuje się zmieniając tak zwany czas echa, czyli czas pomiędzy podaniem impulsu $\pi/2$ i podaniem impulsu π i mierząc wartość sygnału swobodnej precesji. Konsola Terranova-MRI wykonuje te pomiary automatycznie i dopasowuje krzywą z parametrem czasu relaksacji. Proszę opracować otrzymane dane pomiarowe innym (niezależnym od Prospa) programem statystycznym, odrzucając wyniki, na które miały wpływ zakłócenia występujące podczas pomiarów. Pomiary czasu relaksacji podłużnej i czasu relaksacji poprzecznej należy wykonać dla różnych próbek: wody destylowanej i wodnych roztworów siarczanu miedzi (II) o różnych stężeniach. Jaki wpływ na zmianę czasów relaksacji ma stężenie jonów miedzi? Pomiary wykonane w ziemskim polu magnetycznym i przy niewielkiej magnetyzacji próbek charakteryzują się dużymi szumami. Można je badać porównując uśrednione wartości sygnałów zebranych z obszaru wypełnionego cieczą zawierającą jądra wodoru i obszaru gdzie nie było cieczy. Służy do tego zestaw procedur statystycznych dostępnych w oprogramowaniu Prospa. Proszę przedyskutować wpływ wykonania kilku iteracji (wraz z uśrednieniem) obrazowania na wartość stosunku sygnału do szumu.

Zasady BHP

Najbardziej zewnętrzna cewka (solenoid) wytwarza silne pole magnetyczne o maksymalnej indukcji 0.018 T. Pole to zwiększa magnetyzację jądrową badanej próbki. Układ sterujący konsoli, przed rozpoczęciem

każdego pomiaru, włącza (na maksymalnie 6 sekund) i po zadanim czasie wyłącza prąd płynący w tej cewce. Duża wartość tego prądu rozgrzewa uzwojenie cewki. Układ cewek wewnątrz klatki Faradaya wymaga chłodzenia powietrzem!

Uwaga na rozproszone pole magnetyczne wytwarzane przez cewkę polaryzującą (telefony komórkowe, karty magnetyczne, rozruszniki serca).

Niektóre fantomy zawierają wodny roztwór siarczynu miedzi (o maksymalnym stężeniu nie przekraczającym 0.5%). Nie należy ich otwierać!

Literatura

- [1] J.W. Hennel, *Wstęp do teorii magnetycznego rezonansu jądrowego*, wyd. Instytutu Fizyki Jądrowej im. H. Niewodniczańskiego, Kraków 1997 (wydanie II).
- [2] A. Hryniewicz, E. Rokita, *Fizyczne metody badań w biologii, medycynie i ochronie środowiska*, PWN, Warszawa 1999.
- [3] B. Ciesielski, W. Kuziemski, *Obrazowanie metodą magnetycznego rezonansu w medycynie*, Oficyna Wydawnicza TUTOR, Gdańsk-Toruń 1994; książka jest dostępna w czytelni Biblioteki Instytutu Fizyki UJ.
- [4] J.P. Hornak, *The Basics of NMR*, <http://www.cis.rit.edu/htbooks/nmr/>; interaktywna prezentacja podstaw magnetycznego rezonansu jądrowego.
- [5] J.P. Hornak, *The Basics of MRI*, <http://www.cis.rit.edu/htbooks/mri/>; interaktywna prezentacja podstaw magnetycznego rezonansu jądrowego.
- [6] M.E. Halse, *Terranova-MRI Student Guide*, Magritek Limited, 2006; instrukcja wypożyczana studentom przystępującym do wykonywania ćwiczenia (dostępna w formie drukowanego podręcznika lub w pliku PDF na płycie CD dostarczonej przez producenta).
- [7] Informacje firmy Magritek: <http://magritek.com/products-terranova-overview>.