



## Obrazowanie płuc rezonansem magnetycznym przy użyciu hiperspolaryzowanych gazów szlachetnych

*Tomasz Dohnalik  
Instytut Fizyki UJ*

### **Wprowadzenie**

Najlepszą znaną metodą obrazowania tkanek człowieka jest obrazowanie magnetycznym rezonansem<sup>1</sup>. Metoda ta pozwala na oglądnięcie, z fantastyczną precyzją, właściwie wszystkich organów człowieka, z wyjątkiem płuc. Powodem jest mała gęstość tkanki płuc, co powoduje, że ich obrazu nie widać w klasycznej tomografii rezonansu magnetycznego. Przykładowy obraz klatki piersiowej z praktycznie nie zobrazowanym obszarem płuc widzimy na rys 1.



Rys. 1. Zdjęcie klatki piersiowej uzyskane w obrazowaniu rezonansem magnetycznym

### **Magnetyczny rezonans**

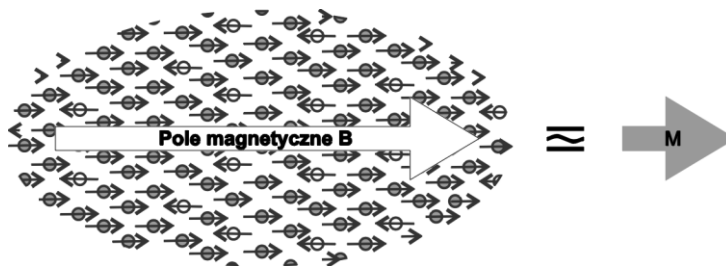
Na czym polega badanie rezonansem? Badaną tkankę musimy najpierw „namagnesować”. Jak to można zrobić?

Orientujemy momenty magnetyczne protonów (jądra wodoru budujące cząsteczkę wody) przez umieszczenie tkanki w ogromnym polu magnetycznym 1,5–2 Tesli (około 15 000 razy pole ziemskie). Elementarne magnesiki – momenty magnetyczne protonów związane z ich spinem – chcą się ustawić w kierunku pola, podobnie jak igła magnetyczna kompasu, co powoduje, że pojawia się niewielkie namagnesowanie.

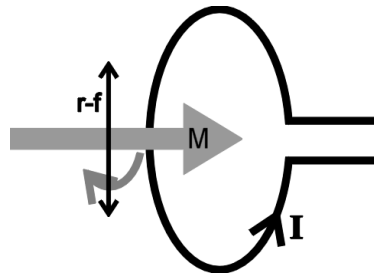
Gdyby wszystkie magnesiki tkanki ustawiły się w tę samą stronę, wówczas namagnesowanie byłoby maksymalnym możliwym do osiągnięcia dla danej tkanki. W praktyce osiąga ono zaledwie około 0,00001 namagnesowania maksymalnego. Ważne jest jednak to, że jest ono proporcjonalne do liczby protonów w namagnesowanym obszarze oraz wystarczająco duże do obserwacji rezonansu magnetycznego. Tak namagnesowaną tkankę można przedstawić w mikroskopowym (kwantowym) obrazie (rys. 2).

---

<sup>1</sup> Fizycy używają nazwy: magnetyczny rezonans jądrowy.



Rys. 2. Magnesowanie silnym polem magnetycznym. Oddziaływanie z polem powoduje, że dominuje ustawienie momentów magnetycznych w jedną stronę, a więc pojawia się namagnesowanie tkanki



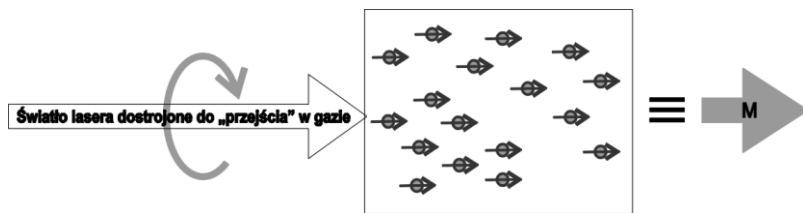
Rys. 3. Oddziaływanie z polem o częstotliwości radiowej (r-f), odpowiadającej częstości rezonansu, przeorientowuje namagnesowanie. Indukuje to prąd I, wprost proporcjonalny do wielkości namagnesowania, a więc także do gęstości tkanki

Po takim przygotowaniu tkanki włączamy pole o częstości radiowej. Istnieje ściśle określona częstość pola (proporcjonalna do wartości pola magnetycznego B), dla której zachodzi rezonans. W rezonansie zmienia się kierunek naszego namagnesowania. Ta zmiana indukuje w antenie odbiorczej prąd proporcjonalny do początkowego namagnesowania, a więc gęstości protonów; ta z kolei odzwierciedla własności tkanki (rys. 3).

Warunki do zajścia rezonansu stwarzamy tylko w ściśle określonym obszarze obiektu poprzez dodanie dość skomplikowanych zmian, czyli gradientów pola magnetycznego. W ten sposób zbieramy informacje o całej strukturze obiektu.

### Zastosowanie rezonansu magnetycznego w obrazowaniu płuc

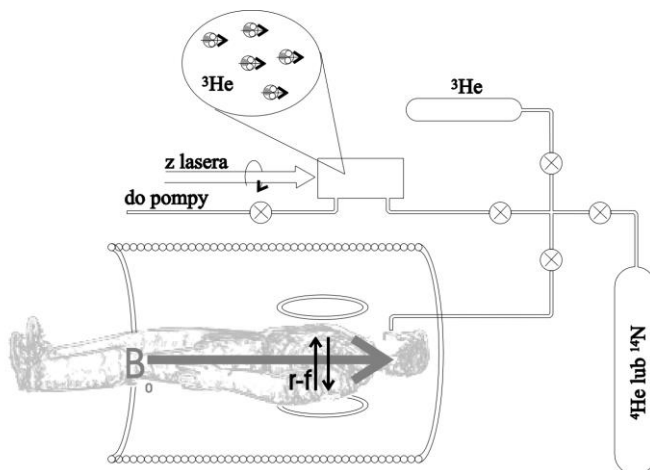
Jądra wybranych gazów szlachetnych posiadają też elementarne namagnesowanie związane ze spinem. Ich orientację, czyli zbiorowe uporządkowanie, możemy otrzymać, przekazując do powłoki elektronowej moment pędu – kręt – spolaryzowanej kołowo wiązki światła laserowego, która jest pochłaniana przez gaz. Przez zderzenia ta elektronowa orientacja momentu pędu przekazywana jest jądom. Uzyskujemy więc namagnesowanie gazu pochodzące od jądrowych momentów magnetycznych, mogące utrzymywać się bardzo długo (wiele godzin).



Rys. 4. Pochodząca z lasera, spolaryzowana kołowo wiązka światła, powoduje przejścia w atomach helu. W tych przejściach przekazywany jest kręt (moment pędu) do jąder atomów tego gazu. Powstaje wówczas duże namagnesowanie, wystarczające do detekcji rezonansu magnetycznego

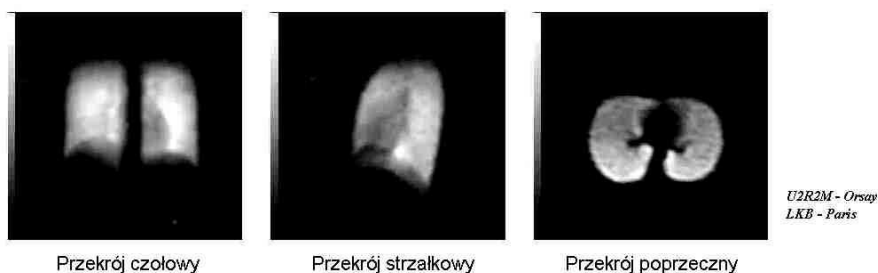
Taki optyczny sposób orientowania gazu pozwala osiągnąć namagnesowanie praktycznie równe maksymalnemu! (rys. 4). Kompensuje to małą gęstość gazu, którą można zaaplikować pacjentowi podczas każdego wdechu, w porównaniu z gęstością protonów zawartych w tkance.

Schemat urządzenia (tomografu) do otrzymania obrazu płuc, w którym wykorzystujemy opisaną powyżej metodę, pokazuje rys. 5. Pacjent podczas badania tomograficznego wdycha powietrze wzbogacone spolaryzowanym optycznie za pomocą wiązki laserowej izotopem helu ( $^3\text{He}$ ). Pacjent umieszczony jest w polu magnetycznym wytworzonym przez elektromagnes (rys. 5). Pole to określa częstość rezonansu. Pole częstotliwości radiowej (r-f) wywołuje rezonans rejestrowany przez antenę (małe cewki na rys. 5). Specjalny zestaw cewek wytwarzających gradienty pola magnetycznego (nie zaznaczone na rys. 5) umożliwia rozróżnienie rezonansu pochodzącego od różnych miejsc w obszarze badanej tkanki, co w konsekwencji pozwala na zrekonstruowanie obrazu płuc.



Rys. 5. Ideowy schemat urządzenia do obrazowania rezonansem magnetycznym przy użyciu spolaryzowanego optycznie izotopu helu

Na rys. 6 przedstawiono obrazy płuc w różnych przekrojach, otrzymane w Laboratorium Kastlera-Brossela w Paryżu, z którym fizycy z Zakładu Optyki Atomowej UJ współpracują nad rozwijaniem tej metody. Te obrazy otrzymano przy pewnych modyfikacjach pozwalających użyć bardzo niewielkich ilości gazu ( $^3\text{He}$ ), który jest izotopem stosunkowo drogim. Dzięki temu metoda ta jest tańsza, a to pozwala realnie myśleć o jej stosowaniu w Polsce. Proszę porównać te obrazy z obrazem przedstawionym na rys. 1. Wreszcie widzimy płuca w całości!



Przekrój czołowy

Przekrój strzałkowy

Przekrój poprzeczny

Rys. 6. Obrazy płuc w kilku przekrojach otrzymane przez zespoły laboratorium Kastlera-Brossela ENS w Paryżu i laboratorium CNRS w Orsay za pomocą aparatury przedstawionej na rys. 5

Choroby płuc są jedną z głównych przyczyn przedwczesnej śmiertelności, zwłaszcza w rejonach ekologicznie skażonych. Zastosowanie przedstawionej metody daje nadzieję na powszechne badania profilaktyczne i diagnozowanie płuc. Pozwoli to na wykrywanie chorób odpowiednio wcześniej i zastosowanie skutecznej terapii.

Dla lepszego zrozumienia podstaw rezonansu magnetycznego i obrazowania tkanek za pomocą opisanej metody polecam bardzo jasno napisaną książeczkę Jacka Hennela i Teresy Kryst-Widźgowskiej pod tytułem *Na czym polega tomografia magnetyczno-rezonansowa?*, wydaną przez Instytut Fizyki Jądrowej w Krakowie w roku 1995. Informacje o tym, jak polaryzujemy gaz szlachetny, na przykład izotop helu ( $^3\text{H}$ ), można znaleźć pod adresem:

<http://www.lkb.ens.fr/recherche/flquant/accueil.html>