



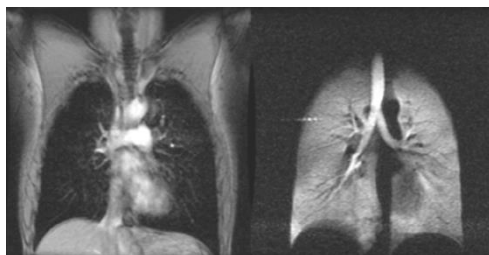
## Obrazowanie płuc gazami szlachetnymi

*Anna Wojna  
Instytut Fizyki UJ*

Dzięki rozwojowi nauki i techniki lekarze mają obecnie do dyspozycji wszelkiego rodzaju aparaturę medyczną pozwalającą na dogłębne badanie ludzkiego ciała. Jednym z najnowszych osiągnięć jest użycie magnetycznego rezonansu z wykorzystaniem spolaryzowanych gazów szlachetnych do obrazowania płuc. Co kryje się za tą skomplikowaną brzmiącą nazwą?

**Polaryzacja jądrowa** określa różnicę pomiędzy liczbą jąder atomowych o spinach ułożonych zgodnie i przeciwnie do pola magnetycznego, co przekłada się na efektywne namagnesowanie ośrodka proporcjonalne do tej różnicy. Takie namagnesowanie ośrodka jest warunkiem obserwacji rezonansu magnetycznego. Zwykle w równowadze polaryzacja jądrowa jest równa zero.

Obrazowanie **magnetycznym rezonansem jądrowym (MRJ)** polega na tworzeniu mapy ciała ludzkiego na podstawie sygnału wysyłanego przez jądra atomów wodoru obecne w ludzkim organizmie. W tkankach ciała mamy bardzo dużo wody i dzięki temu możemy dokładnie różnicować tkanki w zależności od ich uwodnienia. Często zmiany patologiczne zmieniają stan uwodnienia, przez co można je łatwo dostrzec. Badanie to jest nieinwazyjne i bardzo dokładne. W przypadku płuc mamy nieco utrudnioną sytuację – płuca są ubogim w wodę narządem i na zdjęciu pochodzącym z obrazowania MRJ wyglądają jak czarna plama na tle rozświetlonego ciała ludzkiego, bogatego w jądra atomów wodoru. Gdy jednak wypełnimy płuca neutralnym, spolaryzowanym gazem takim jak hel albo ksenon i zmodyfikujemy nasz system MRJ tak, by zamiast atomów wodoru „widział” jądra helu lub ksenonu, sytuacja przedstawia się w jaśniejszych barwach – i to w sensie dosłownym! Hel albo ksenon wypełniają płuca i dzięki temu możemy stworzyć nie tylko obrazy statyczne płuc, ale też obserwować rozchodzenie się tych gazów w najdrobniejszych zakamarkach płuc. Obraz staje się jaśniejszy tam, gdzie gazu jest więcej, dlatego jest to doskonałe narzędzie do wyłapywania niedrożnych obszarów płuc, będących objawem postępującej choroby.

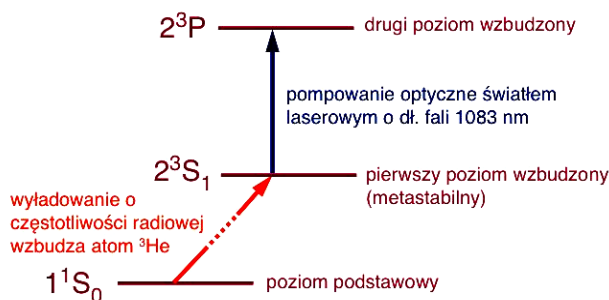


Rys. 1. Obrazy płuc wykonane metodą magnetycznego rezonansu jądrowego z użyciem standardowej procedury pomiaru sygnału z jąder atomów wodoru (po lewej) i z użyciem spolaryzowanego helu (po prawej) (źródło: Duke Univ., CAMRD, 1997)

Jakie warunki muszą spełniać hel i ksenon? Zjawisko jądrowego magnetycznego rezonansu opiera się na oddziaływaniu jądra atomowego z zewnętrznym polem magnetycznym. Tutaj narzucona zostaje pierwsza cecha, jaką musi mieć jądro atomu umieszczane w skanerze magnetycznego rezonansu, by było „widzialne” – musi mieć ono niezerowy moment magnetyczny. Warunek ten spełniają izotopy z nieparzystą liczbą nukleonów: **izotop helu**  $^3\text{He}$  oraz **izotop ksenonu**  $^{129}\text{Xe}$ . Aby uzyskać dobry obraz w MRJ musimy również osiągnąć należytą widoczność naszego kontrastu, czyli rejestrowany sygnał musi być wystarczająco silny, by otrzymany obraz był bardzo dokładny – w końcu interesują nas nawet najmniejsze elementy, takie jak pęcherzyki płucne, mające średnio wielkość około 0,3 mm! Musimy w tym celu nasz gaz silnie spolaryzować optycznie.

Optyczna polaryzacja gazów wykonywana jest przy użyciu kołowo spolaryzowanego światła laserowego. Dokonujemy tego w Laboratorium Optycznej Polaryzacji Gazów Szlachetnych, mieszczącym się w Instytucie Fizyki Uniwersytetu Jagiellońskiego. Na czym polega ten proces?

Wytłumaczymy to na przykładzie  $^3\text{He}$ . Każdy atom możemy przedstawić w postaci poziomów energetycznych. Najniższym energetycznie jest tzw. stan podstawowy. Po dodaniu energii do takiego układu (np. poprzez wyładowanie elektryczne o częstotliwości radiowej) możemy atom  $^3\text{He}$  wzbudzić do wyższych poziomów energetycznych. Mówimy wtedy, że atom jest w stanie wzbudzonym pierwszym, drugim... itd. W przypadku  $^3\text{He}$  wzbudzone atomy następnie przechodzą z powrotem do niższych energetycznie poziomów, ale najwięcej z nich „zostaje” na pierwszym poziomie wzbudzonym, gdyż czas życia dla tego poziomu jest bardzo długi w stosunku do innych. Pierwszy poziom wzbudzony w  $^3\text{He}$  nazywany jest z tego powodu stanem metastabilnym.



Rys. 2. Schemat optycznej polaryzacji atomów  $^3\text{He}$  (poziomy energetyczne nie są w skali)

Gdy mamy atomy  $^3\text{He}$  na poziomie metastabilnym, dokonujemy tzw. pompowania optycznego. Za odkrycie i zbadanie pompowania optycznego Alfred Kastler dostał Nagrodę Nobla w dziedzinie fizyki w roku 1967 i zapewne nie

podejrzewał, że ta metoda przysłuży się do stworzenia nowej metody diagnostyki medycznej. **Pompowanie optyczne** polega na wybiórczym obsadzeniu pewnych poziomów energetycznych wyróżniających się zadaniem kierunkiem momentu magnetycznego, z użyciem kołowo spolaryzowanego światła laserowego dostrojonego do przejścia między tymi poziomami. Wskutek procesu pompowania optycznego otrzymujemy spolaryzowane atomy  $^3\text{He}$  będące w stanie metastabilnym. Aby móc jednak wykorzystać je w obrazowaniu MRJ, musimy mieć atomy w stanie podstawowym. Realizuje się to poprzez zderzenia atomów spolaryzowanych w stanie metastabilnym z atomami niespolaryzowanymi, będącymi w stanie podstawowym. Wskutek zderzeń następuje przekaz polaryzacji na atomy w stanie podstawowym.



Rys. 3. Zderzenia z przekazem polaryzacji na atomy  $^3\text{He}$  będące w stanie podstawowym

Proces optycznej polaryzacji zachodzi w specjalnych warunkach fizycznych, które utrzymujemy w urządzeniach nazwanymi *polaryzatorami*. Musimy zapewnić atomom  $^3\text{He}$  jednorodne pole magnetyczne oraz odpowiednie ciśnienie. Konieczne jest też zapewnienie wysokiej czystości, gdyż obecność obcych atomów, np. tlenu, niszczy polaryzację.

W naszym laboratorium mamy dwa polaryzatory dla  $^3\text{He}$ . Jeden pracuje w niskich ciśnieniach i w niskim polu magnetycznym, natomiast drugi w wysokich ciśnieniach i w wysokim polu (1,5 tesli). Drugi polaryzator jest używany w skanerze medycznym w szpitalu im. Jana Pawła II w Krakowie i wykorzystuje pole magnetyczne skanera (rys. 4). Obecnie kończymy pracę nad polaryzatorami do  $^{129}\text{Xe}$ .

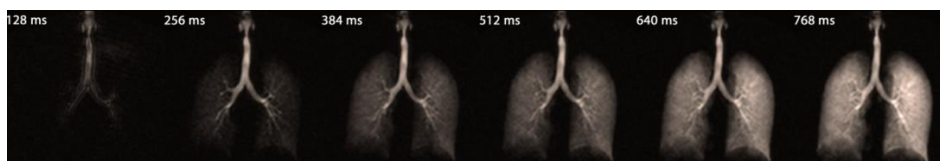
$^{129}\text{Xe}$  polaryzuje się nieco inaczej. Wymagana jest obecność atomów rubidu oraz gazów buforowych azotu ( $\text{N}_2$ ) i helu (izotop  $^4\text{He}$ ). Na początku dokonujemy pompowania optycznego w atomach rubidu, a następnie polaryzacja jest przekazywana wskutek zderzeń do atomów  $^{129}\text{Xe}$ .

Warto sobie postawić pytanie, po co nam kolejna metoda diagnostyczna płuc? Zdjęcie *rentgenowskie* jest prostą i taną metodą diagnostyczną. Jednak każdy, kto kiedykolwiek miał takie badanie wie, że nie można go powtarzać zbyt często. Rentgenografia nie pozwala również na dokładną diagnozę płuc – wszelkie zmiany w płucach muszą być już rozwinięte, by mogły być dostrzeżone, a samo zdjęcie jest zapisem informacji o trójwymiarowych płucach na zdjęciu, które ma dwa wymiary.



Rys. 4. Polaryzator  $^3\text{He}$  zaprojektowany do pracy w środku medycznego skanera (fot. Bartosz Głowacz)

Dużo dokładniejsza jest **tomografia komputerowa**, która pozwala obrazować dowolnie wybrany obszar ciała ludzkiego. Niestety jest ona oparta na tej samej zasadzie co rentgenografia – zebranie informacji o tkance wymaga narażenia pacjenta na **promieniowanie X** – co ogranicza tę metodę ze względu na liczbę możliwych powtórzeń badania w maksymalnie krótkim czasie. Ograniczenie to jest szczególnie ważne w przypadku młodych pacjentów. Technika magnetycznego rezonansu pozwala na lepszą, niż tomografia komputerowa, jakość obrazowania tkanek miękkich, a wykorzystanie spolaryzowanych gazów szlachetnych pozwala na – do tej pory niemożliwe w tak dokładnym stopniu – obrazowanie płuc. Możemy to badanie powtarzać wielokrotnie. Pozwala ono również na obserwację zmian dynamicznych, takich jak rozchodzenie się gazu w płucach (rys. 5). Metoda ta zatem może sprawdzić się zarówno w diagnostyce jak i w monitorowaniu zmian wskutek stosowania leków i terapii podczas leczenia, również u młodych pacjentów.



Rys. 5. Rozchodzenie się spolaryzowanego  $^3\text{He}$  w płucach (źródło: IR4M, CNRS, Univ. Paris-Sud, France)