

**Magnetyczny rezonans
jądrowy- subtelna technika
obrazowania struktur obiektów
biologicznych**

Bolesław AUGUSTYNIAK

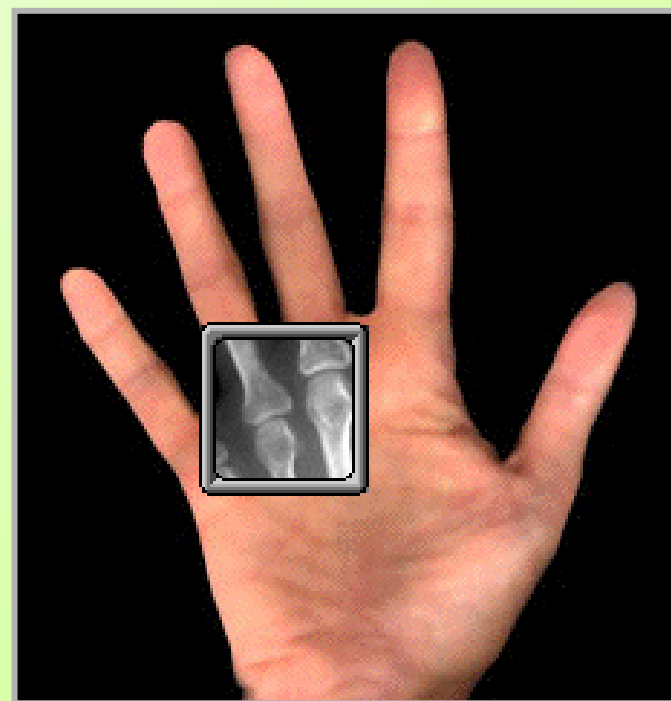
Politechnika Gdańska

Dlaczego chcemy 'zobaczyć' to, co jest w środku ?

- **POZNAĆ STRUKTURĘ**
- **DIAGNOZOWAĆ PRZYCZYNĘ CHOROBY**

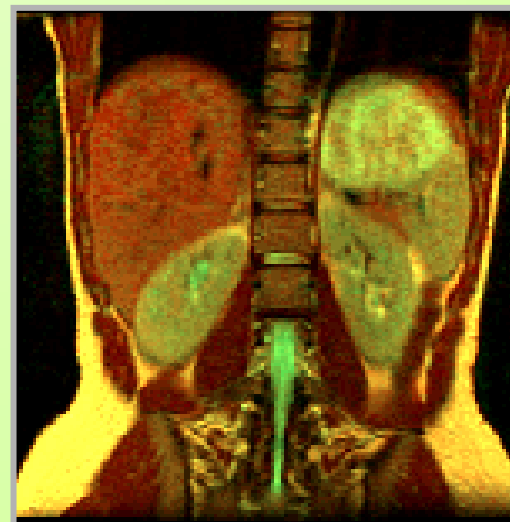
Jak to zrobić ?

- **W SPOSÓB NIENISZCZĄCY**
- **SZYBKO**
- **SKUTECZNIE**



Wykorzystywane zjawiska fizyczne

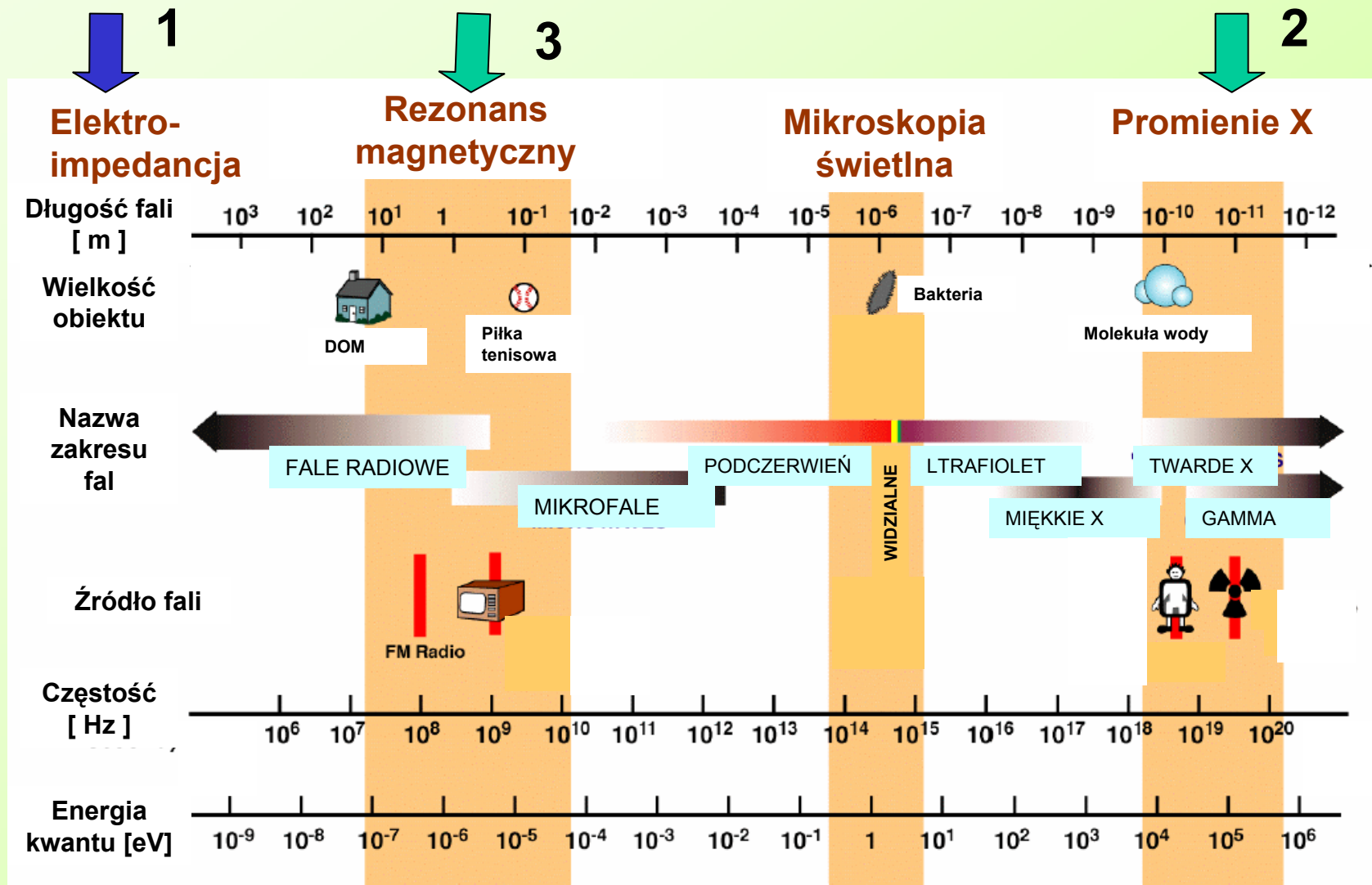
1. rozpływ prądów
(elektro-impedancja)
2. promienie X
3. magnetyczny
rezonans jądrowy
(NMR)



WSPÓLNY MIANOWNIK – ?

TECHNIKI ELEKTROMAGNETYCZE

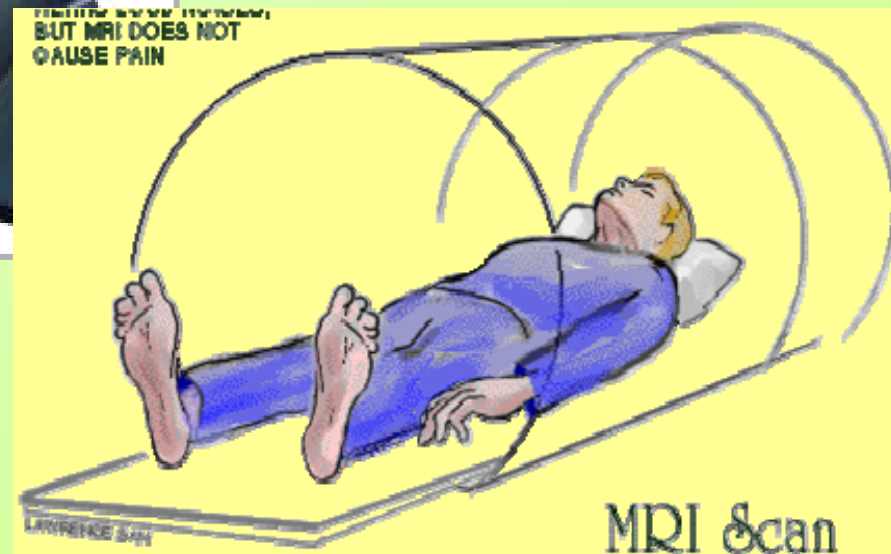
Zakresy fal EM stosowanych w diagnostyce medycznej



Magnetyczny rezonans jądrowy (NMR)



Siemens 3T Alegra



Historia NMR

1946 zjawisko rezonansu jądrowego - **Bloch i Purcell**

1952 **nagroda Nobla** - **Bloch i Purcell**

1950 NMR jako metoda analizy chemicznej

1973 obrazowanie back-projection -- **Lauterbur**

1975 obrazowanie z wykorzystaniem FT - **Ernst**

1977 obrazowanie echo-planar - **Mansfield**

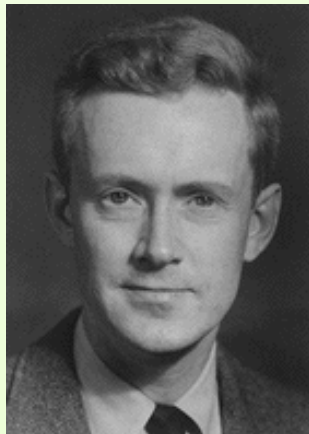
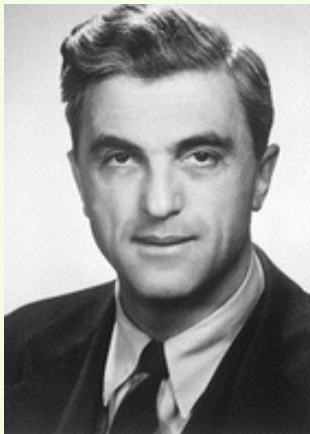
1980 FT MRI pokazana - **Edelstein**

1987 MR angiografia - **Dumoulin**

1991 **nagroda Nobla** - **Ernst**

2003 **nagroda Nobla** - **Lauterbur i Mansfield**

Historia NMR nobliści



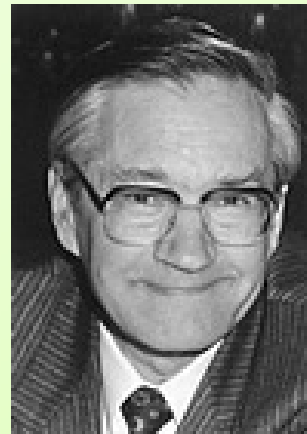
Felix. Bloch Edward Purcell

1952 fizyka

rozwój nowych precyzyjnych
metod pomiarów magnetyzmu
jądrowego

2003 medycyna

odkrycia dotyczące obrazowania
za pomocą rezonansu
magnetycznego



Richard R. Ernst

1991 chemia

wkład do rozwoju
metodologii NMR o
dużej rozdzielczości



Paul C. Lauterbur



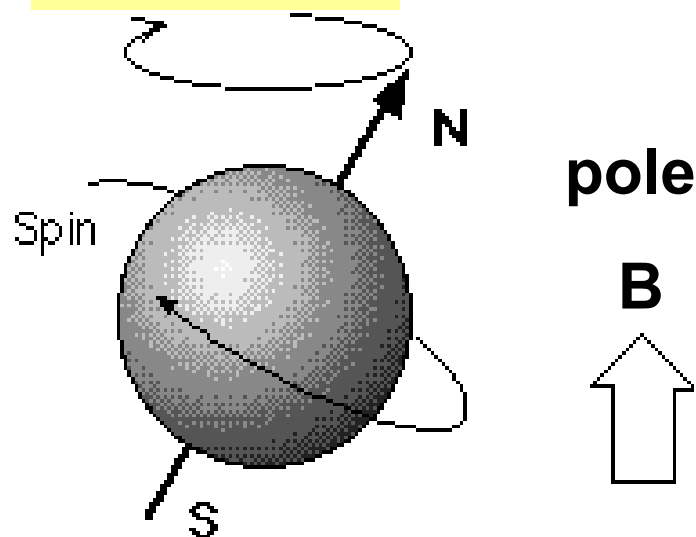
Sir Peter Mansfield

Podstawy fizyczne NMR

- Momenty magnetyczne
- Pomiar czasu relaksacji

Momenty magnetyczne jąder w stałym polu B

precesja



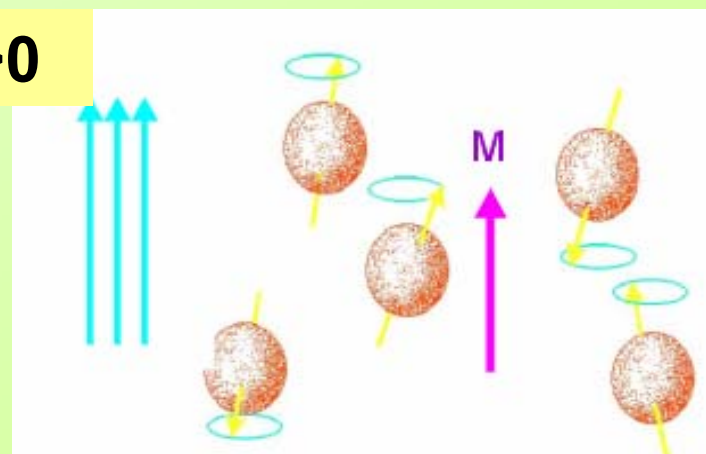
Częstość precesji Larmora

$$\omega = \gamma B$$

$B = 0$



$B > 0$

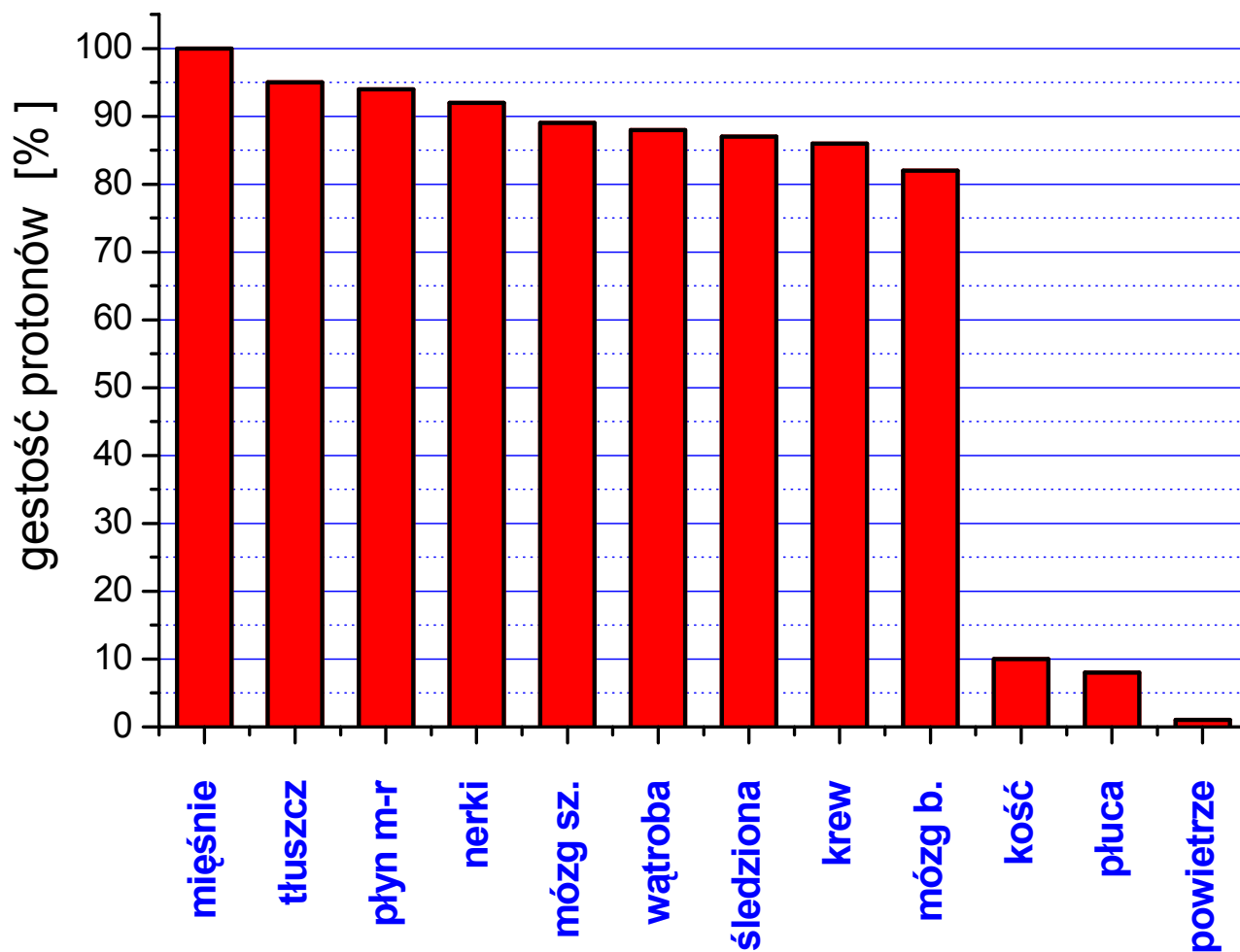


Dla wodoru: $f_L \text{ [MHz]} = 42,6 B_0 \text{ [T]}$

'dostępne' precesje

cząstka	Spin	ω_{Larmor}/B $\text{s}^{-1}\text{T}^{-1}$	ν/B
elektron	1/2	1.7608×10^{11}	28.025 GHz/T
proton	1/2	2.6753×10^8	42.5781 MHz/T
deuteron	1	0.4107×10^8	6.5357 MHz/T
neutron	1/2	1.8326×10^8	29.1667 MHz/T
^{23}Na	3/2	0.7076×10^8	11.2618 MHz/T
^{31}P	1/2	1.0829×10^8	17.2349 MHz/T
^{14}N	1	0.1935×10^8	3.08 MHz/T
^{13}C	1/2	0.6729×10^8	10.71 MHz/T
^{19}F	1/2	2.518×10^8	40.08 MHz/T

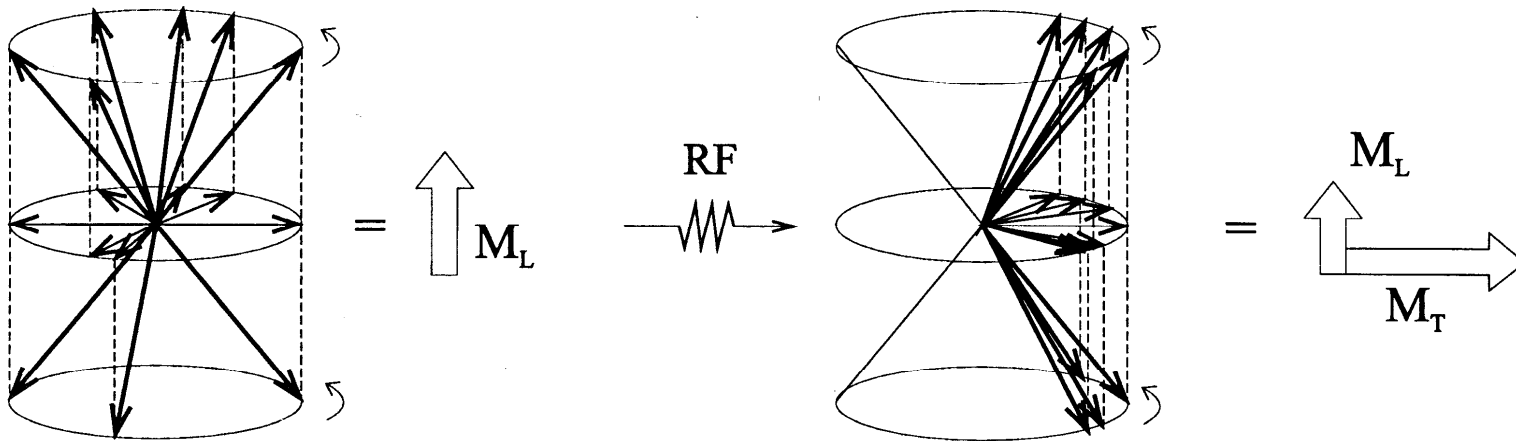
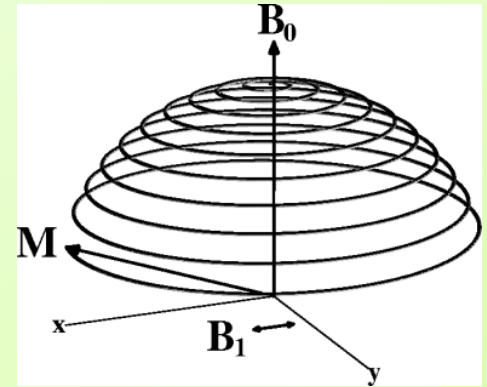
Koncentracja jąder wodoru w tkankach



Momenty magnetyczne jąder a pole magnetyczne zmienne

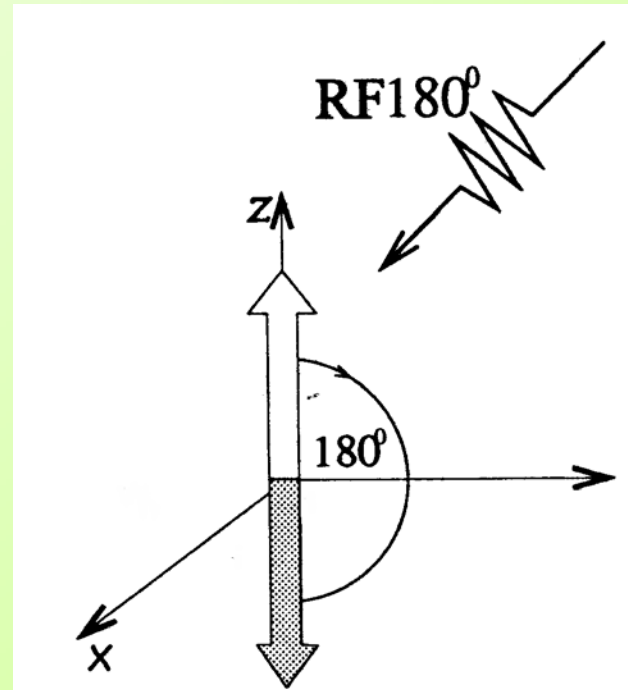
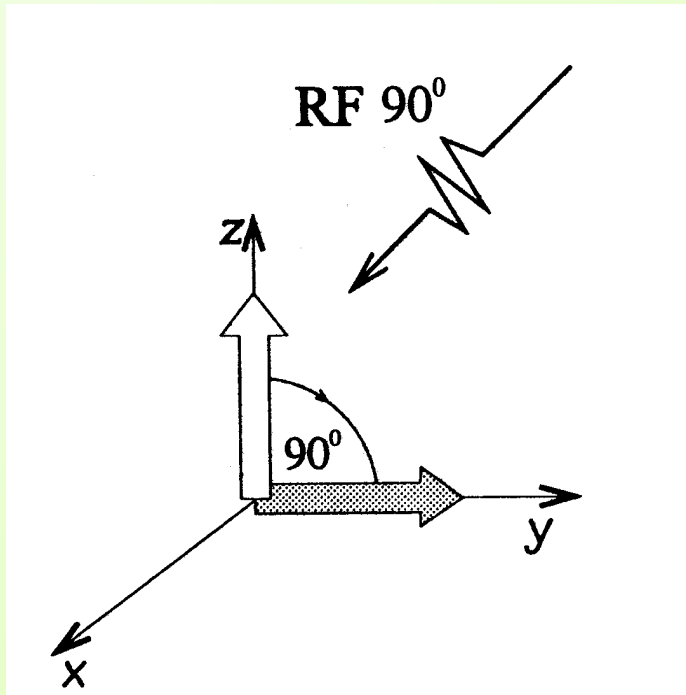
Impuls RF o czasie τ i f_L

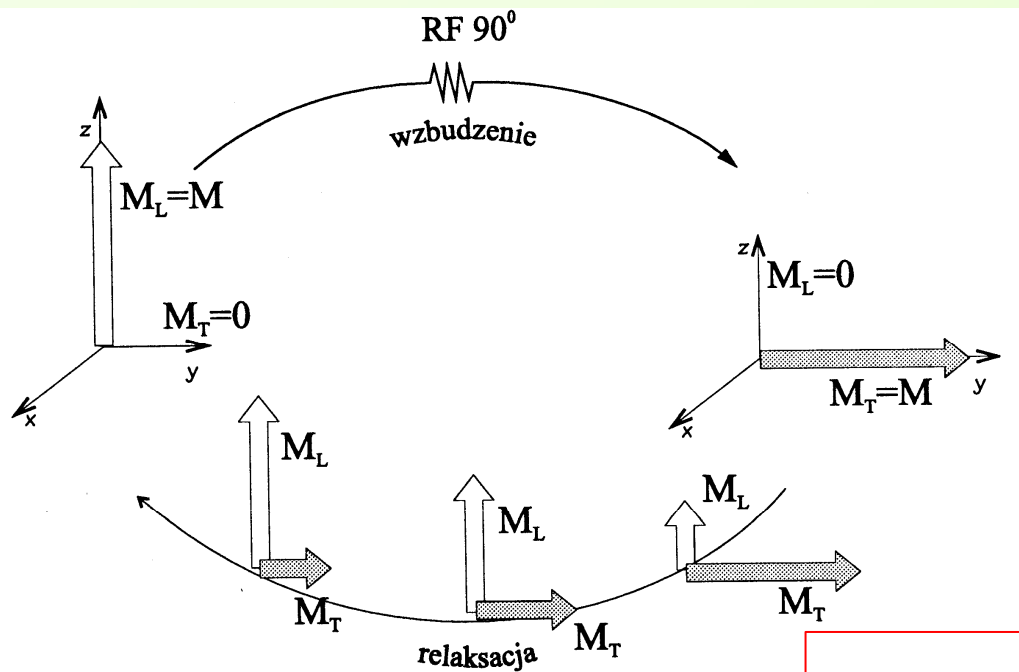
Pole B_1 impulsu jest prostopadłe do B_0



Powstaje składowa M_T (wirująca)

Impuls RF 90° i 180°

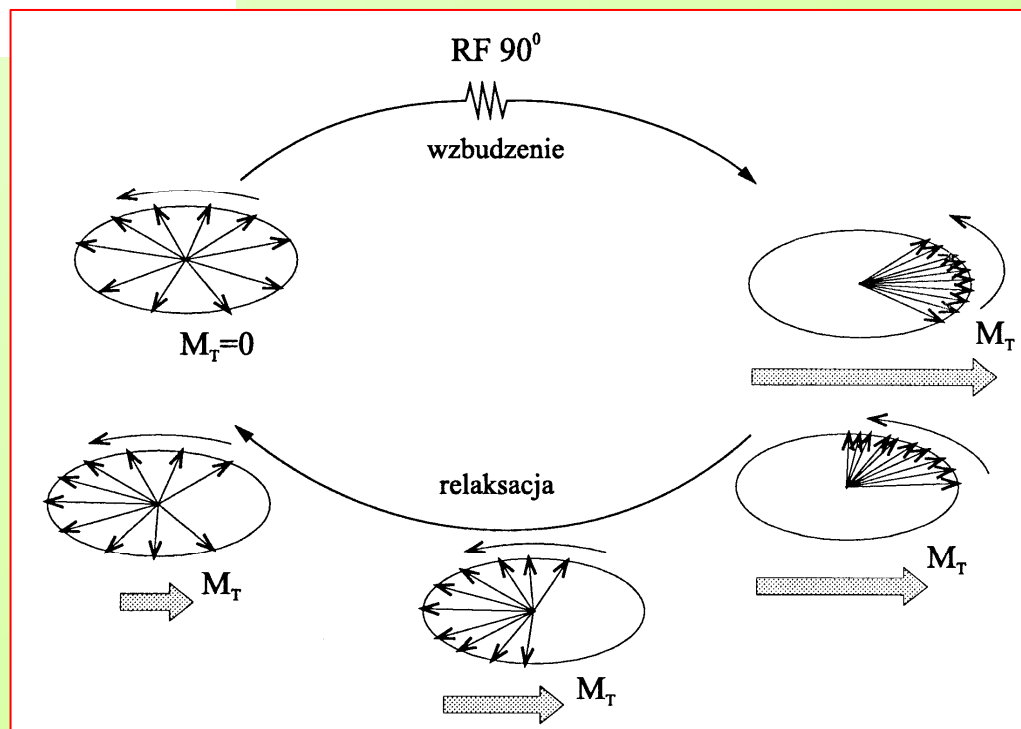


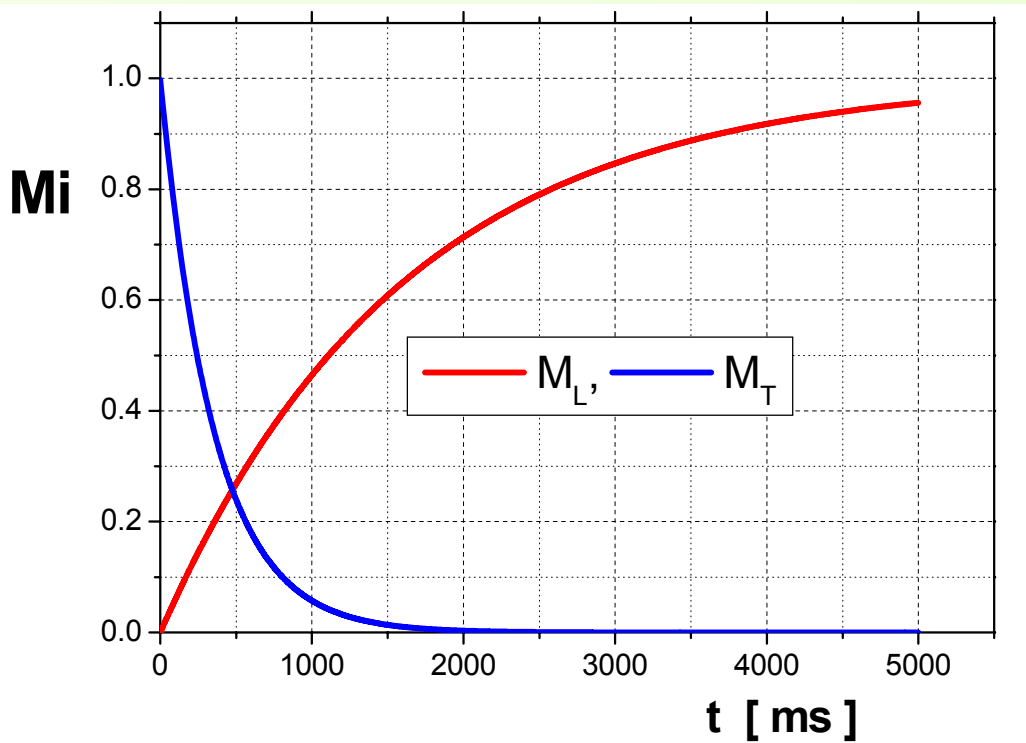


Relaksacja namagnesowania po wyłączeniu impulsu 90°

Powrót M do kierunku równoległego do B_0

Relaksacja składowej poprzecznej → utrata koherencji





Czasy relaksacji T_1 i T_2

Składowa podłużna

Oddziaływanie spin-sieć

M_L wraca do M ze stałą czasową T_1

$$M_L(t) = M (1 - e^{-t/T_1})$$

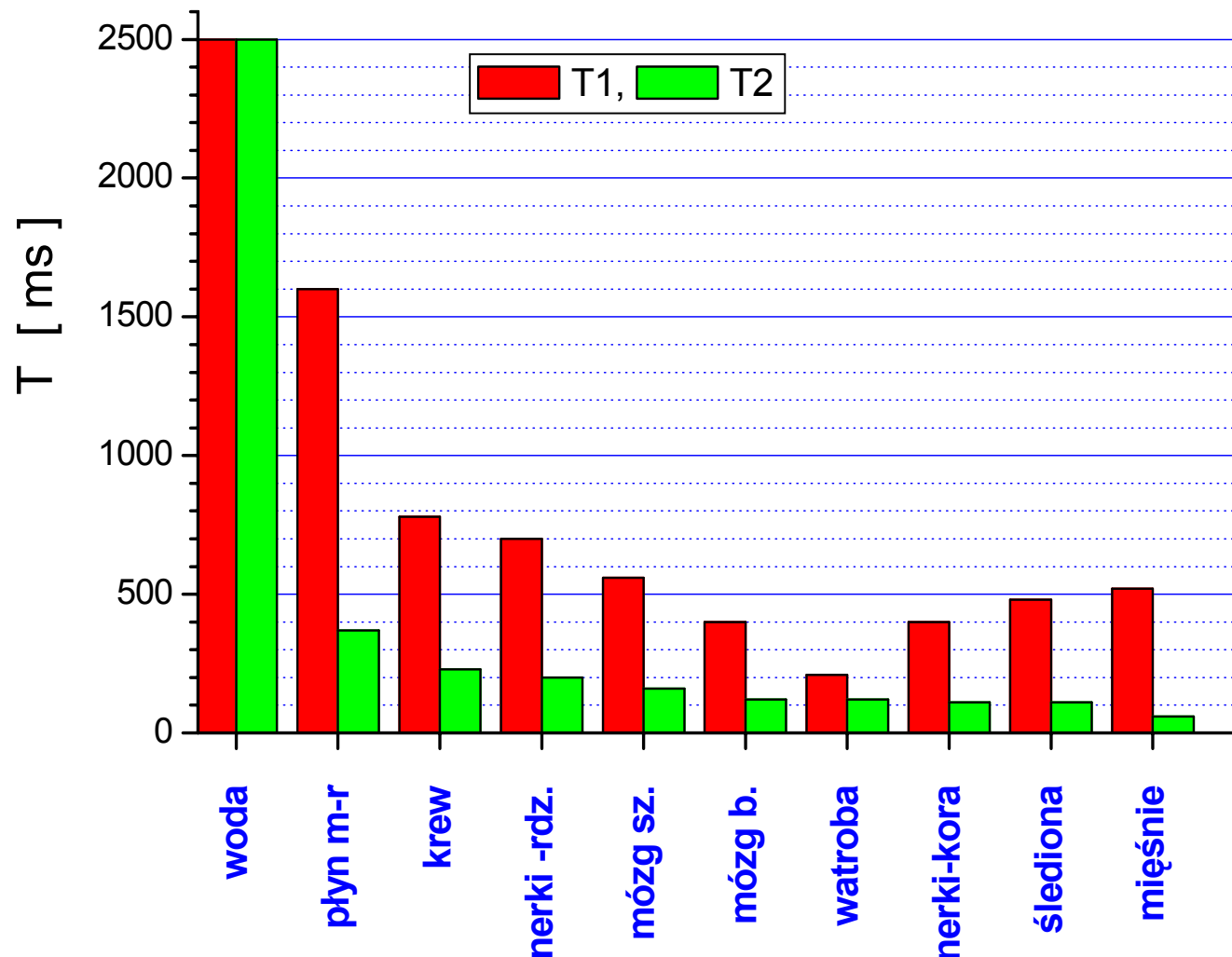
Składowa poprzeczna

Oddziaływanie spin-spin

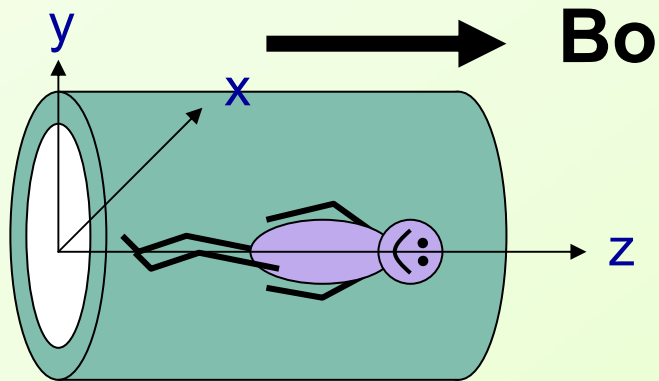
$M_T \rightarrow 0$ ze stałą czasową T_2

$$M_T(t) = M \cdot e^{-t/T_2}$$

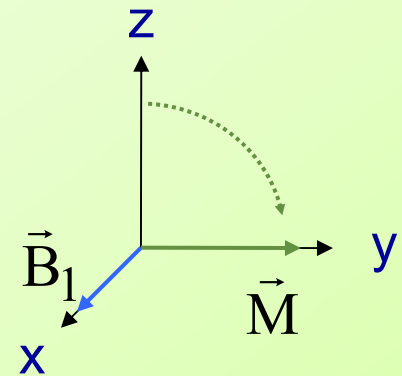
Czasy relaksacji T_1 i T_2 dla tkanek



Pomiar czasów relaksacji dla tkanek

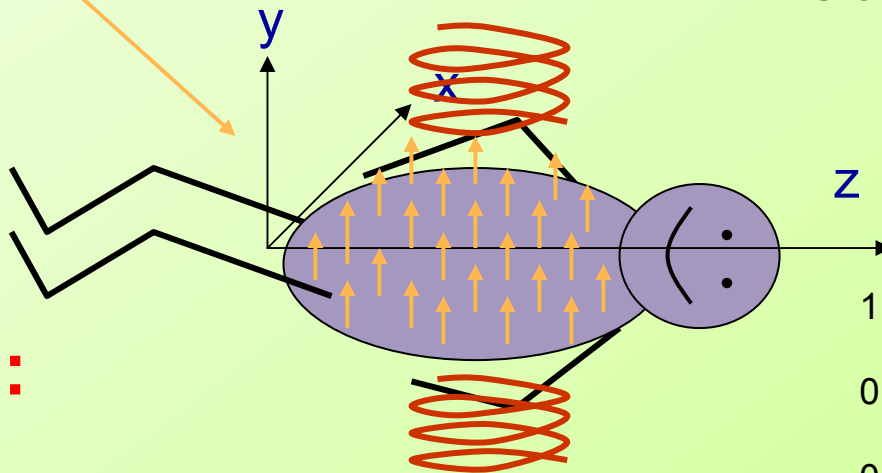


wzbudzenie:
impuls RF 90°



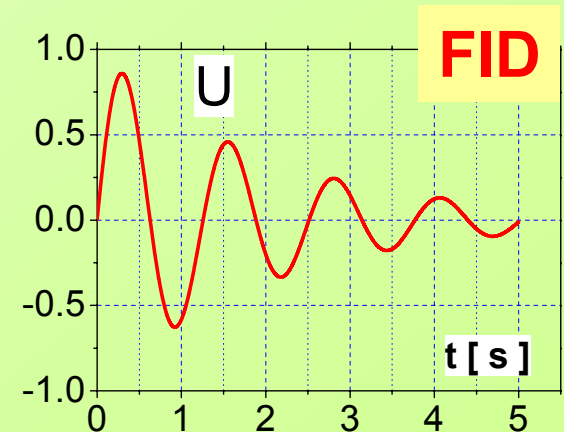
Wirujące pole o składowej M_T

Cewka wzbudzająca
impuls RF

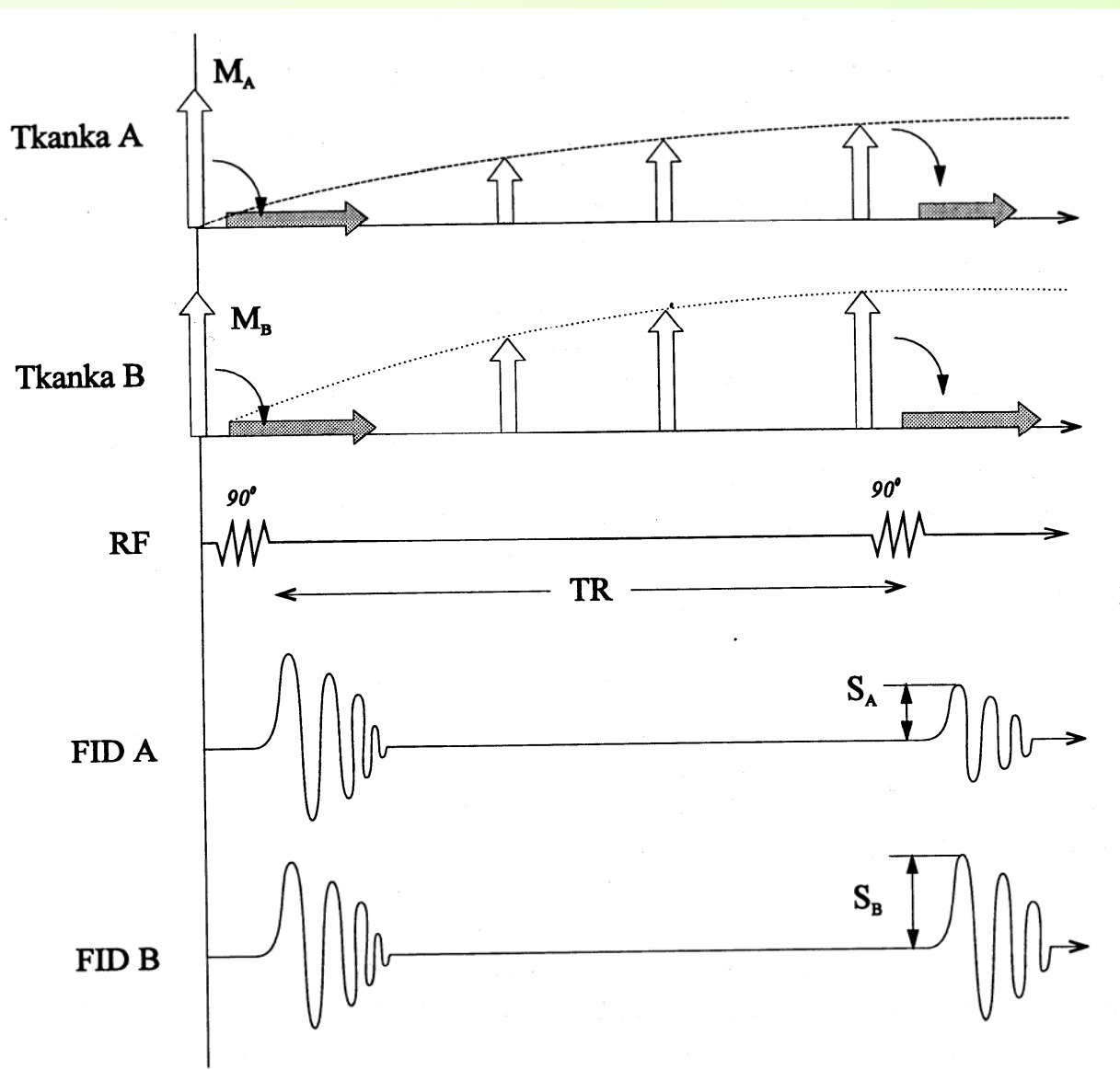


Detekcja:

Indukowane napięcie w tej cewce na
skutek zmiany składowej M_T



Metodyka pomiaru czasu T_1



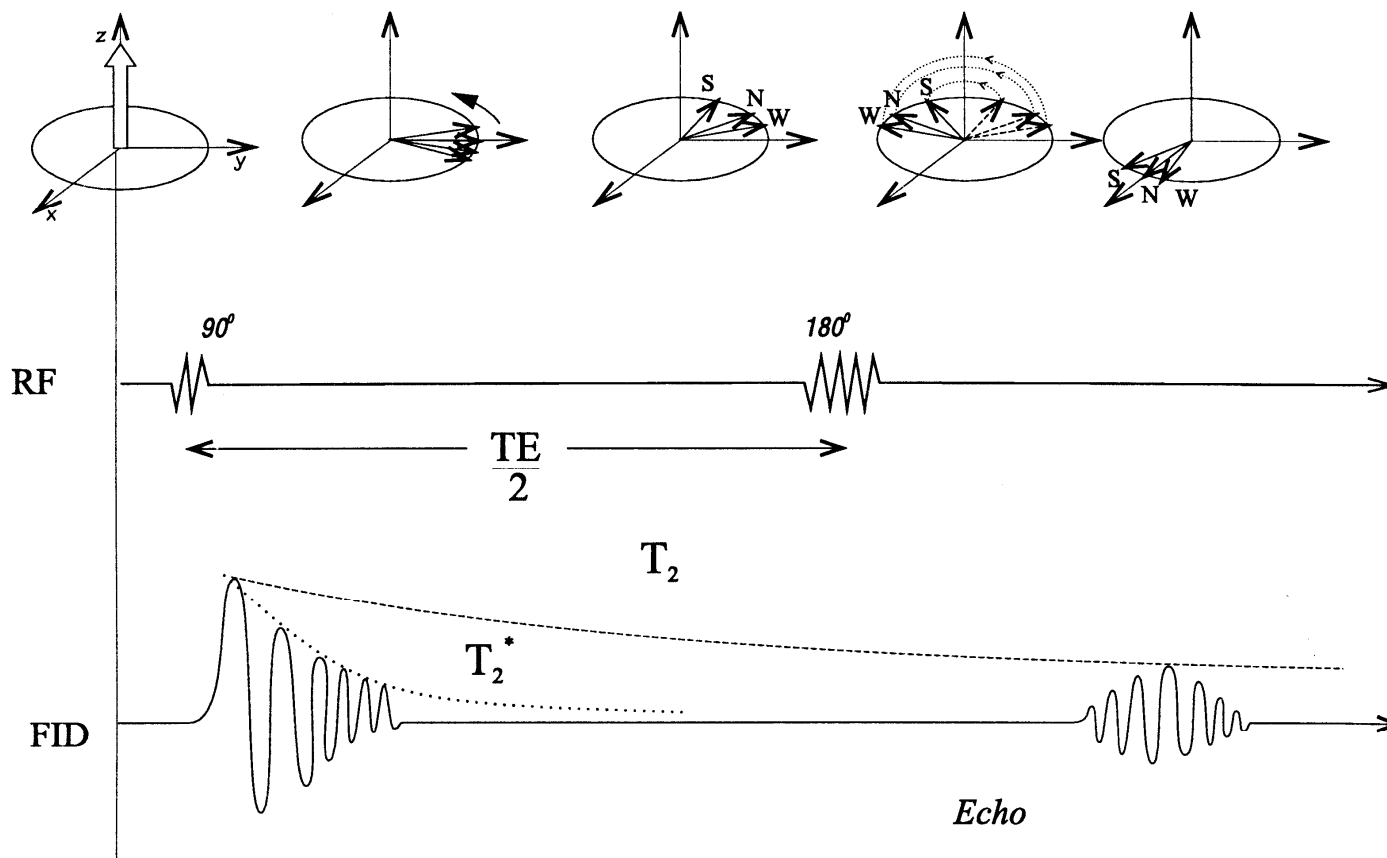
Tkanki A i B różnią się czasem T_1

Drugi impuls 90° doprowadza M do stanu M_T ->

próbki
szybkości
'powrotu' M_L

Metodyka pomiaru czasu T_2

Metoda echa spinowego SE

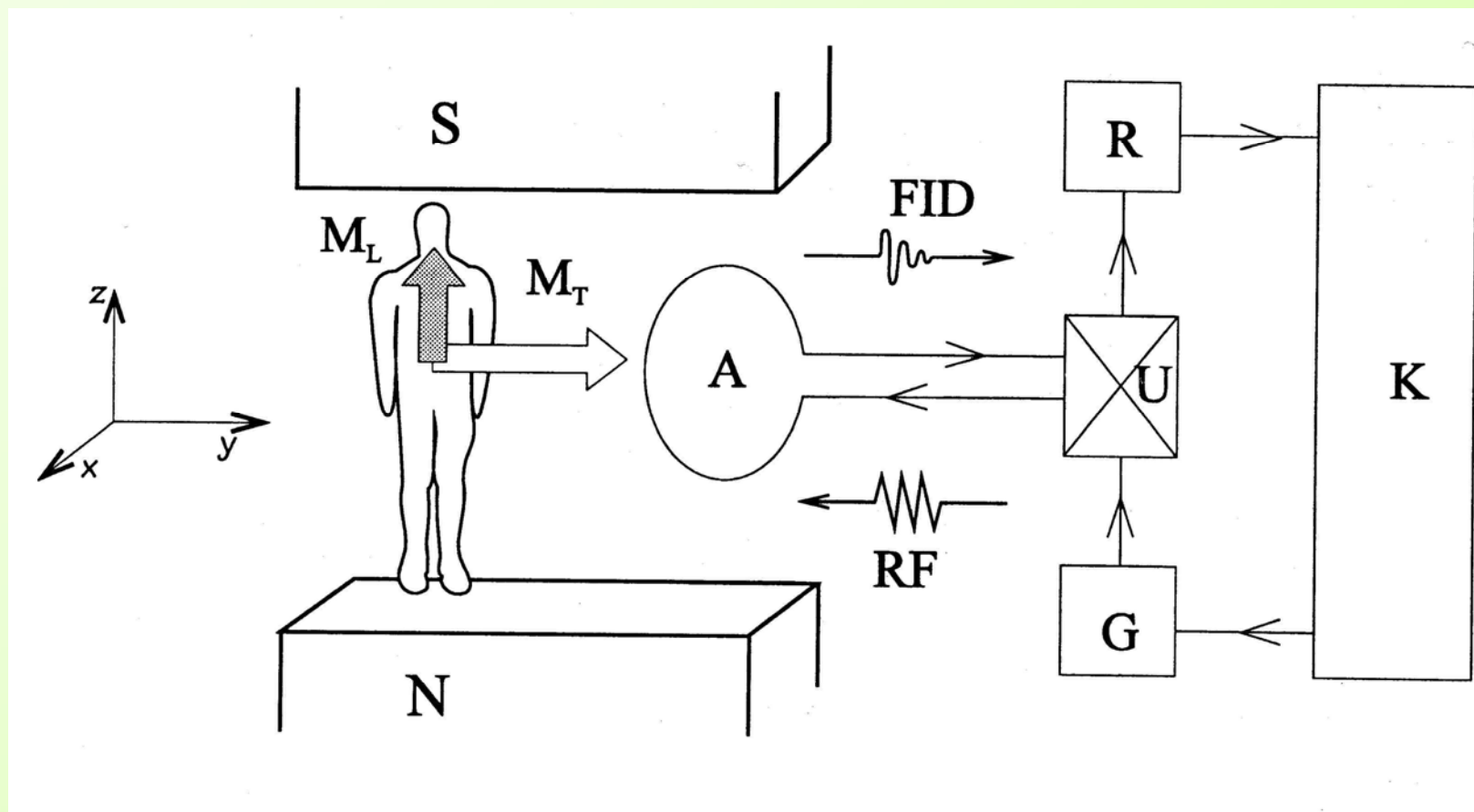


Niejednorodne B_0
→ różne
częstości –
rozfazowanie M_T

Impuls 180° po
czasie $\frac{1}{2} TE$ →
odwraca fazy
wirującej składowej
 M_T

po czasie $\frac{1}{2} TE$ ponowne zfazowanie → echo FID

Układ blokowy aparatu NMR



NS – magnes główny, **A** – cewka nadawczo-odbiorcza, **U** – komutator,
G – nadajnik, **R** – odbiornik, **K** – układ sterowania i analizy sygnałów

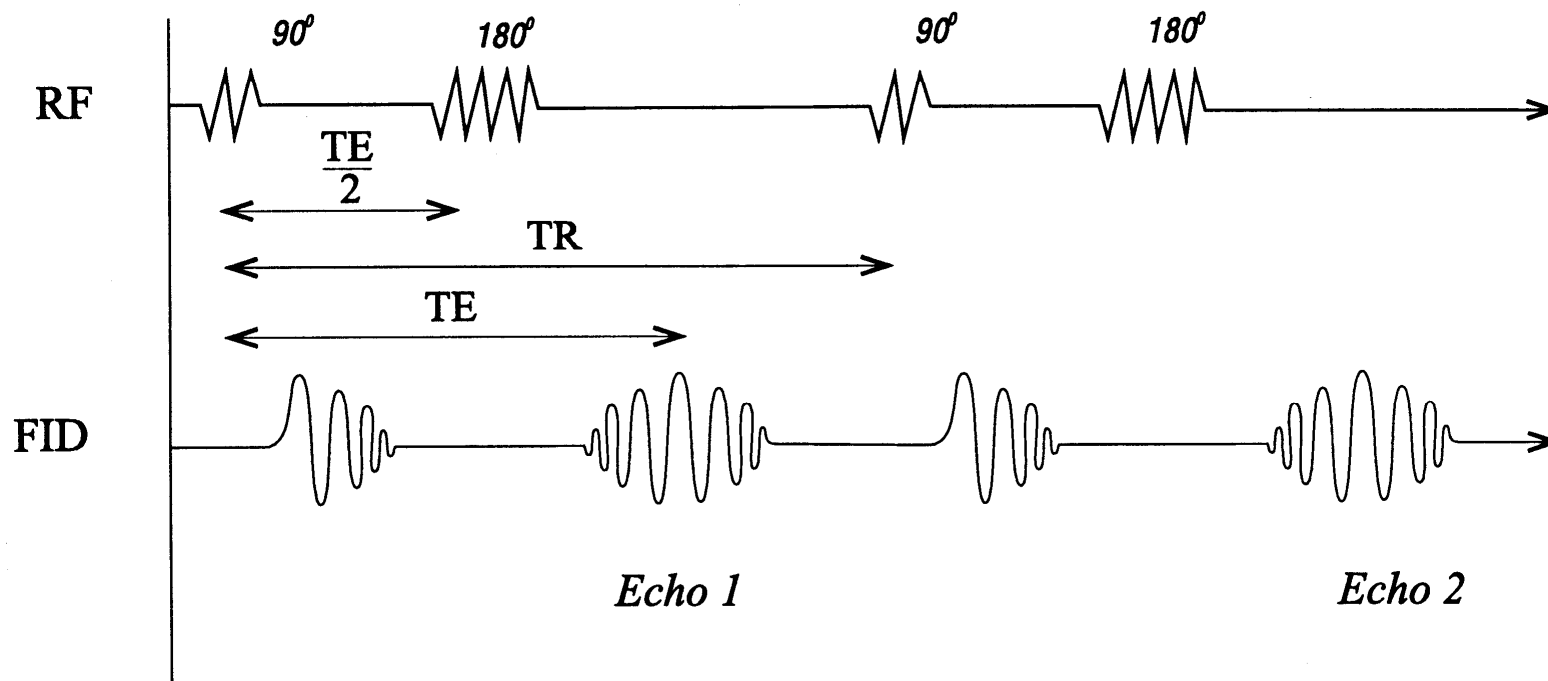
Jak rozróżnić tkanki i jak je zobaczyć?

- Identyfikacja rodzaju tkanki
- Obrazowanie przestrzenne

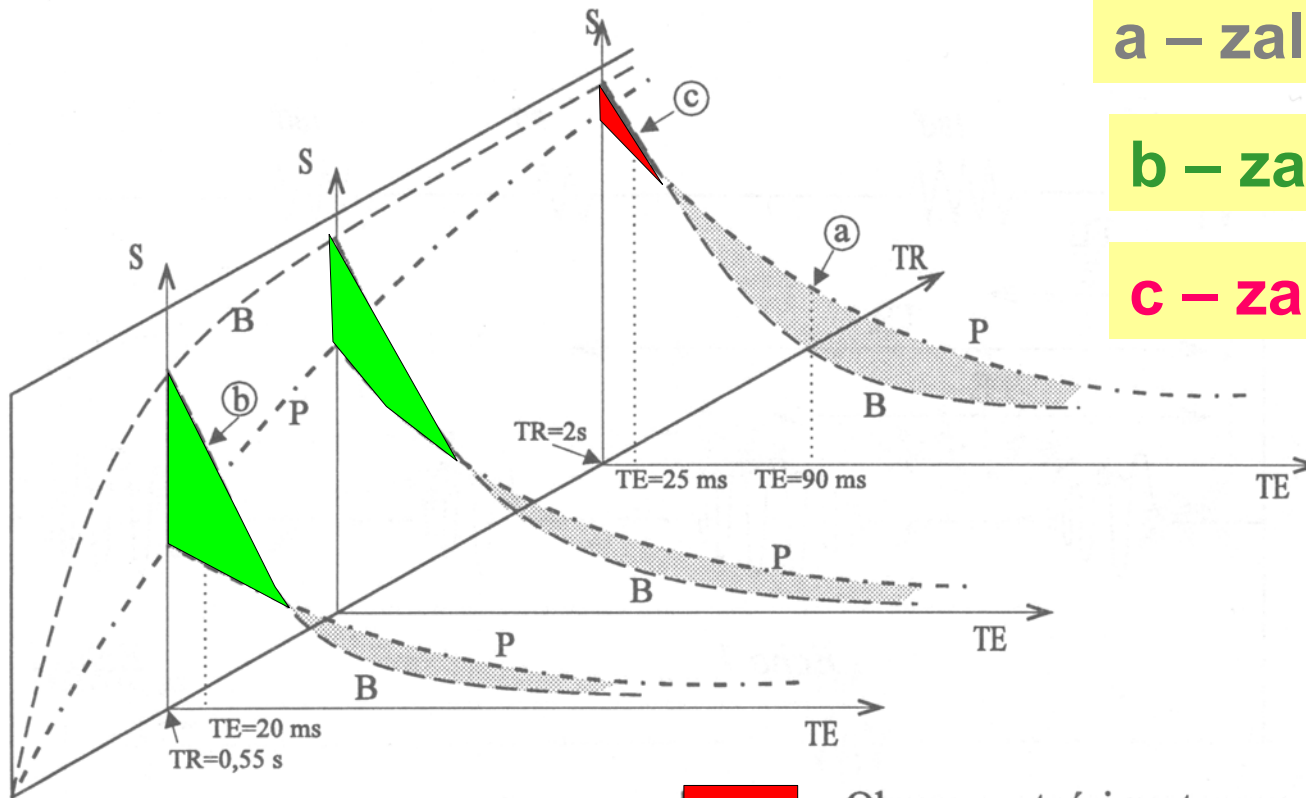
Różnicowanie tkanek

- poprzez dobór odstępu między impulsami RF - czas repetycji TR
- poprzez dobór odstępu między impulsami 180° - czas TE

Repetycja impulsów a sygnał wyjściowy



Wpływ TR i TE na echo



a – zależny od T2

b – zależny od T1

c – zależny od g. pr.

-  Obrazy gęstości protonowej
-  Obrazy zależne od czasu T_1
-  Obrazy zależne od czasu T_2

P – tkanki o długich T_1 i T_2 (płyn rdz. – mózgowy)

B – tkanki o krótszych T_1 i T_2 (istota biała)

Wpływ doboru TR i TE na echo - 2

Lp	TR [ms]	TE [ms]	Typ obrazu kolejność intensywności
a	pośredni długi 1000-2000	Długi 100	od T2 płyn r.-m. > istota szara >istota biała
b	krótki-pośredni 200-1000	Krótki <30	od T1 istota biała > istota szara > płyn r.-m.
c	Długi 2000	Krótki <30	od p istota szara > istota biała > płyn r.-m.

Wpływ TR i TE na obrazy NMR



a) 22 cm FOV, 5 mm Thk, SE,
TR/TE = 5500/105 ms, 512x256



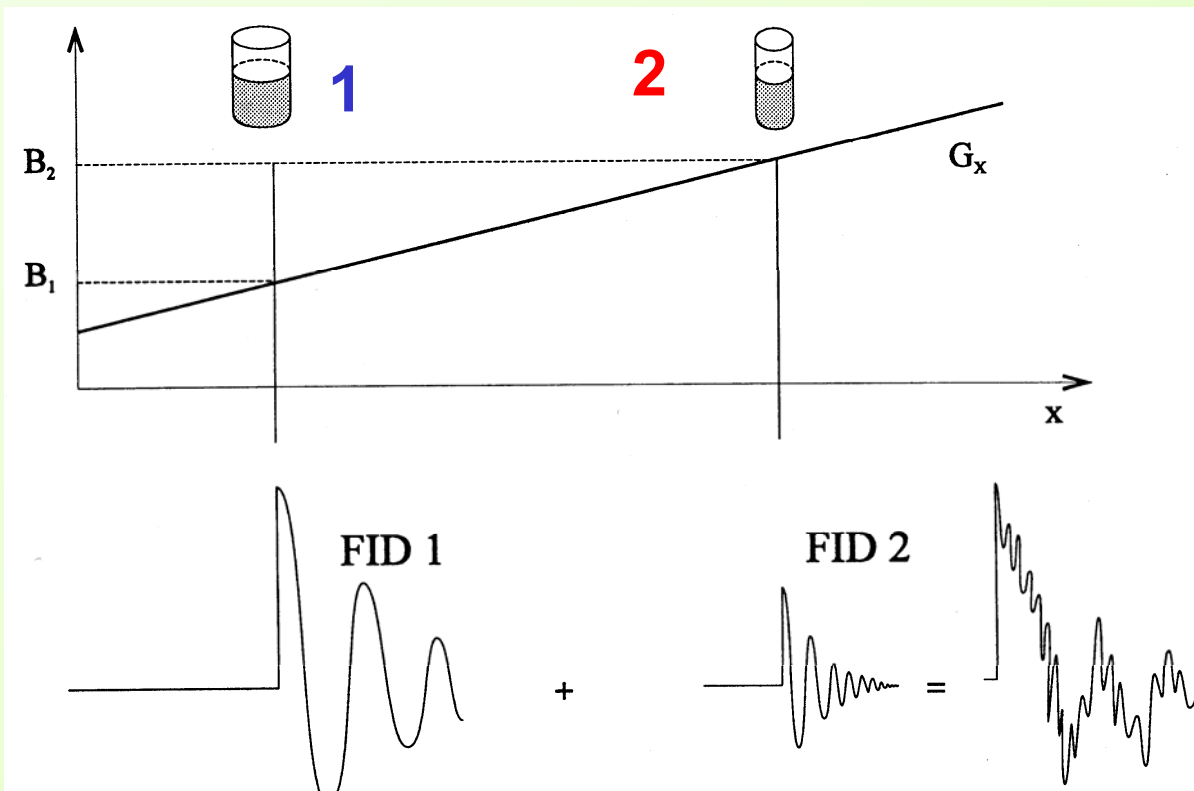
b) 22 cm FOV, 5 mm Thk, SE,
TR/TE = 450/14 ms, 256x192

NMR – metody obrazowania

Jak stworzono OBRAZ tkanek ?

- Wpływ gradientu pola B na echo
- Wybór warstwy przecięcia
- Lokalizacja elementu w warstwie

Wpływ gradientu pola B na sygnał FID



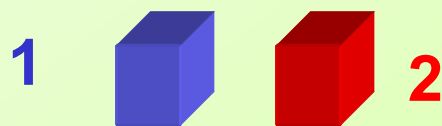
Liniowa zmiana

$$B = B_0 + G_x x$$

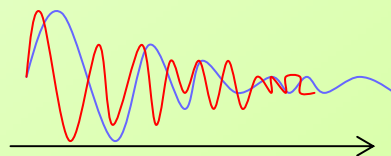
Kodowanie
położenia

$$df/dx = G_x \gamma$$

$$dx = A df$$

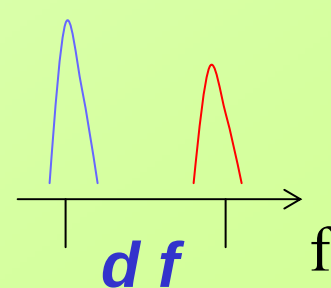


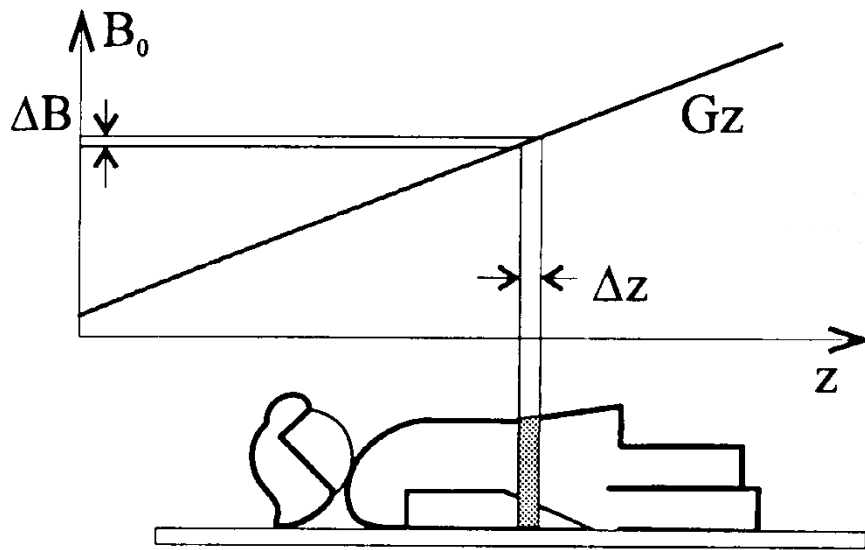
Gradient B



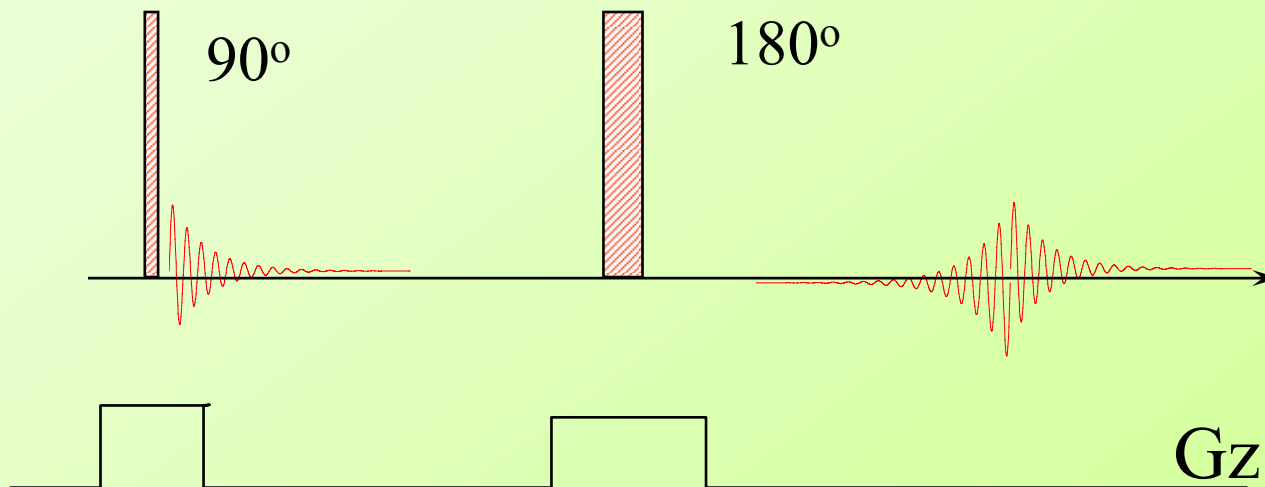
czas

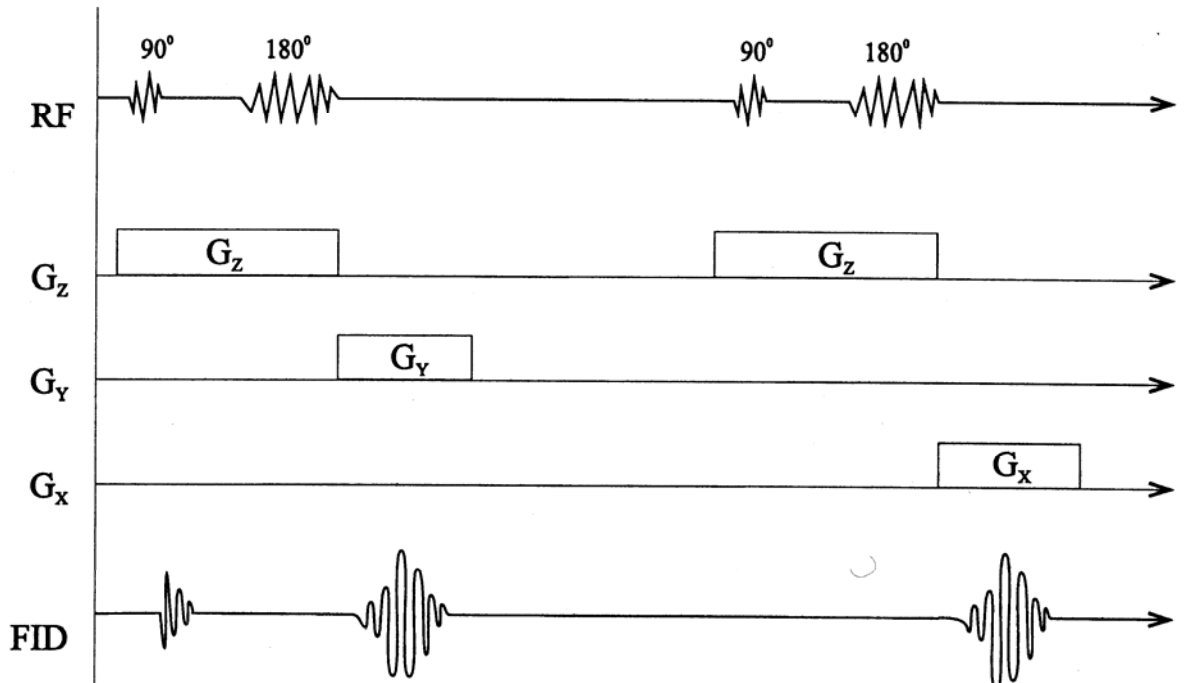
FFT



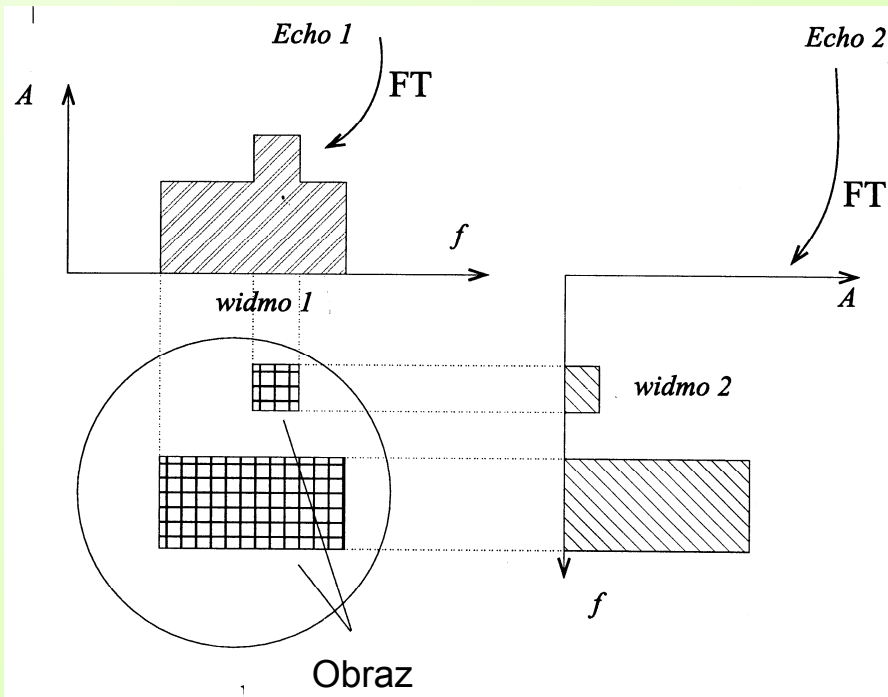


Wybór warstwy
wzdłuż osi z

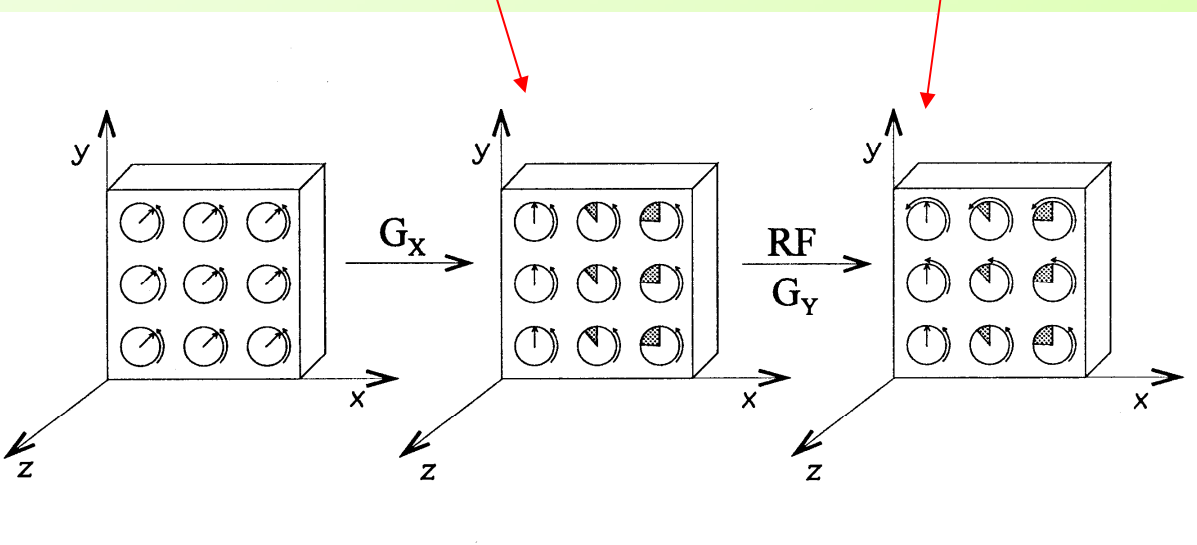
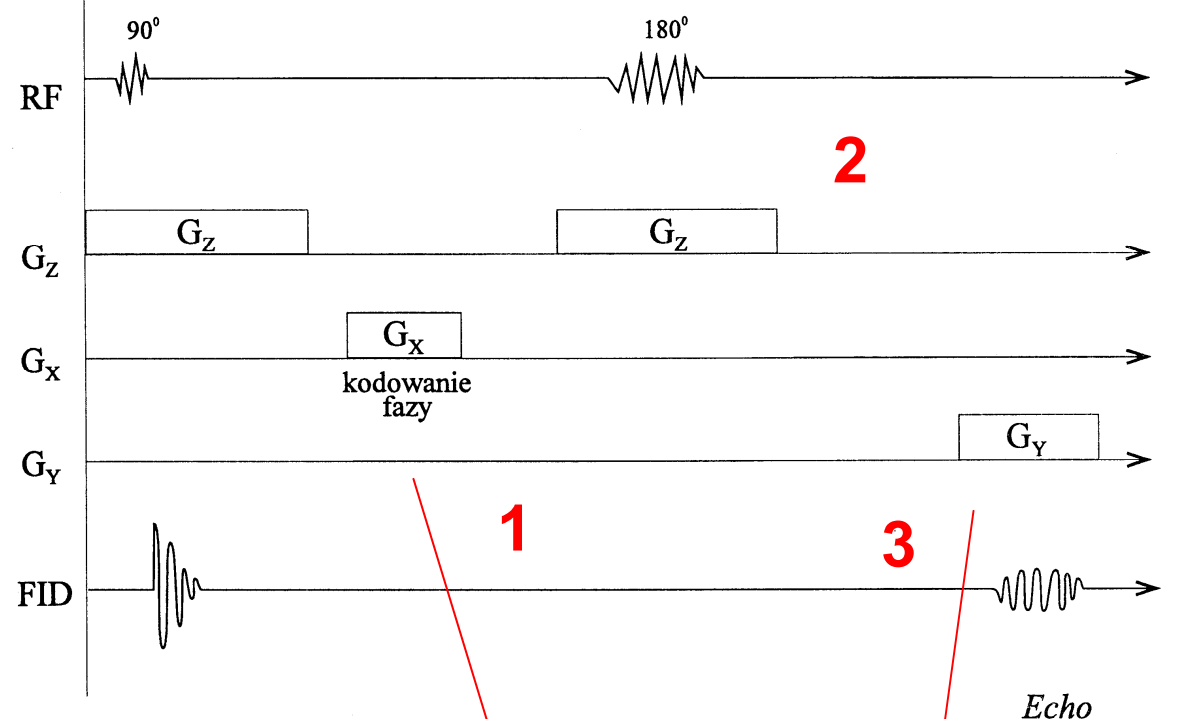




Wybór elementu (x,y) w warstwie a) metoda projekcji zwrotnej



- A zastosowanie gradientów pola dla kierunku x oraz dla kierunku y dla kodowania położenia ze zmiany częstości
- B FF dla FID
- C Dekodowanie położenia z widma FT – tworzenie obrazu



Wybór elementu (x,y) w warstwie

b) metoda kodowania fazy i częstości 2D-FT

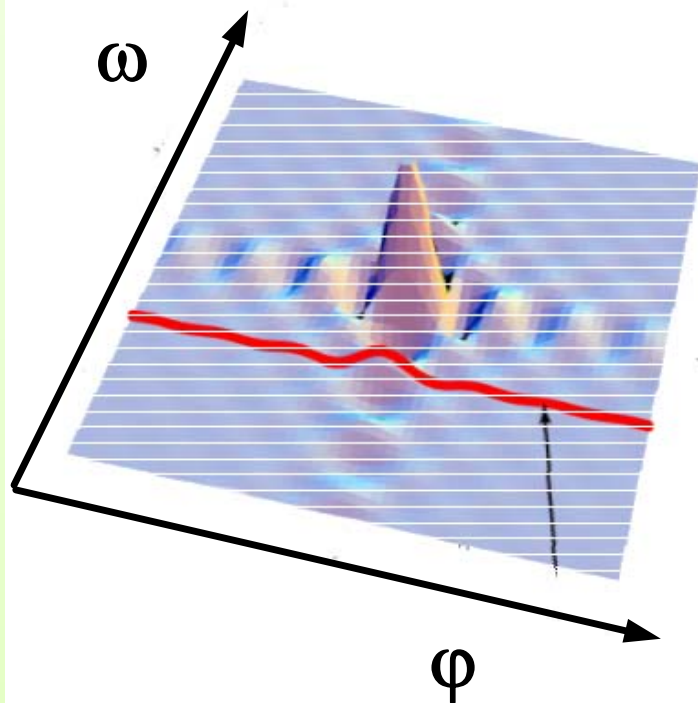
1) gradient w x – kodowanie fazy FID

2) Impuls TE/2 'odwracający' fazy

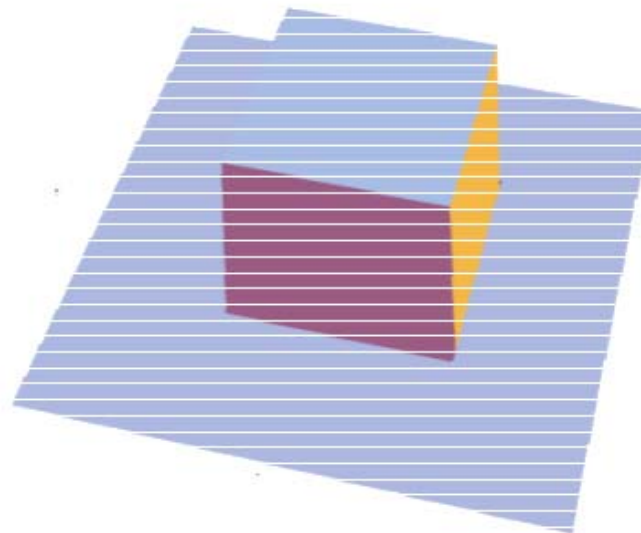
3) gradient w y podczas wystąpienia echa - kodowanie częstości FID

Dekodowanie fazy i częstotliwości

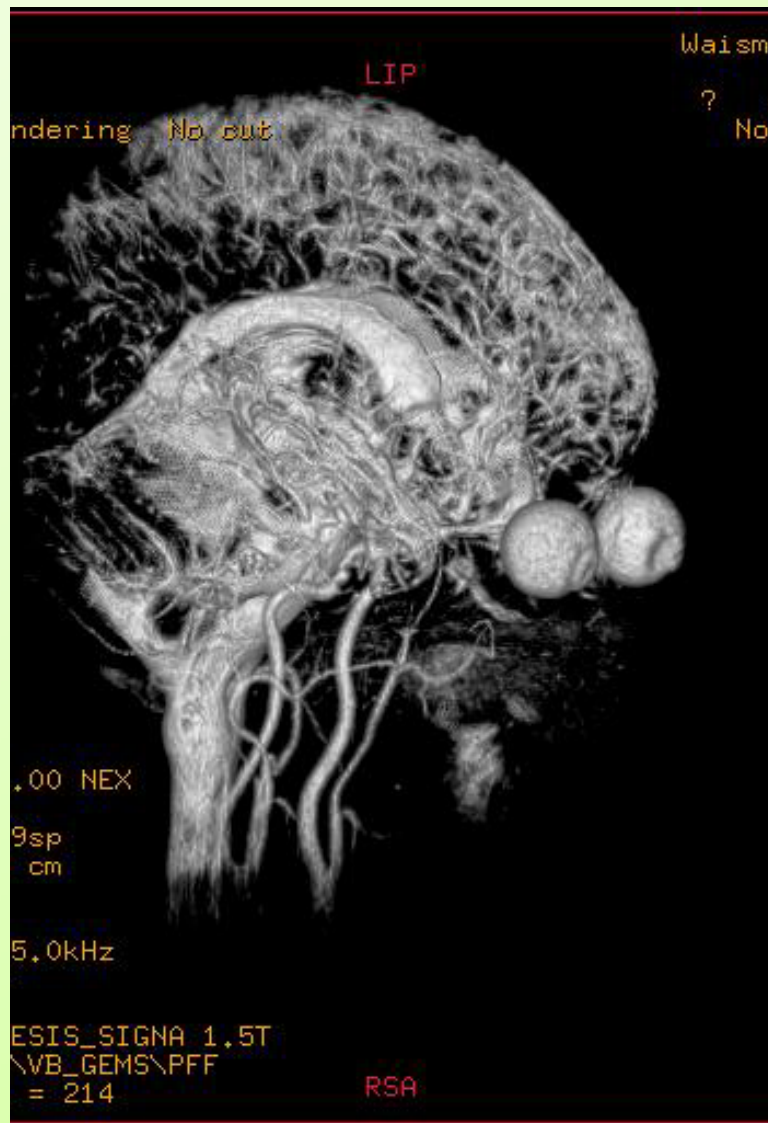
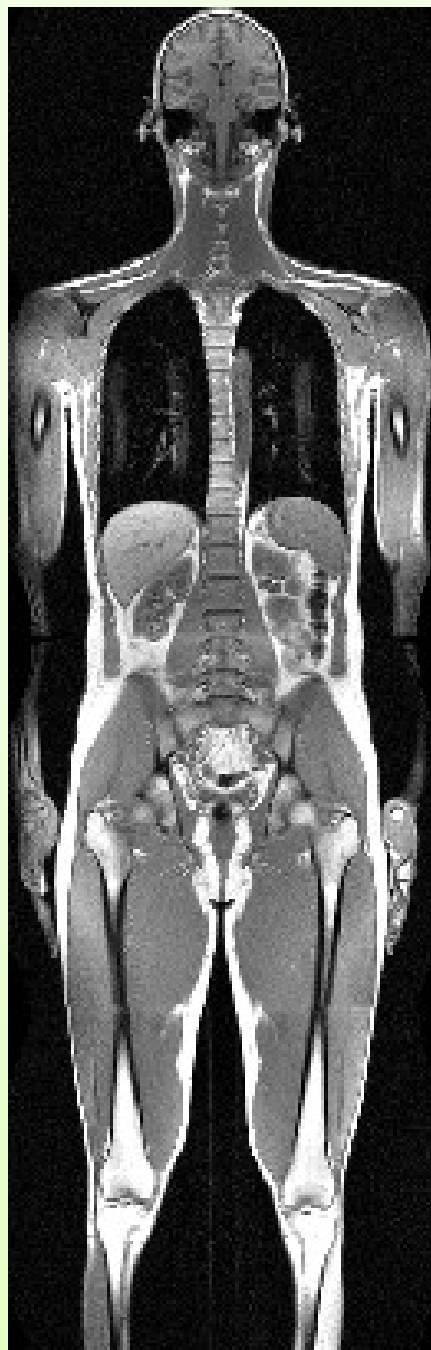
Informacja w dziedzinie
faza-częstość

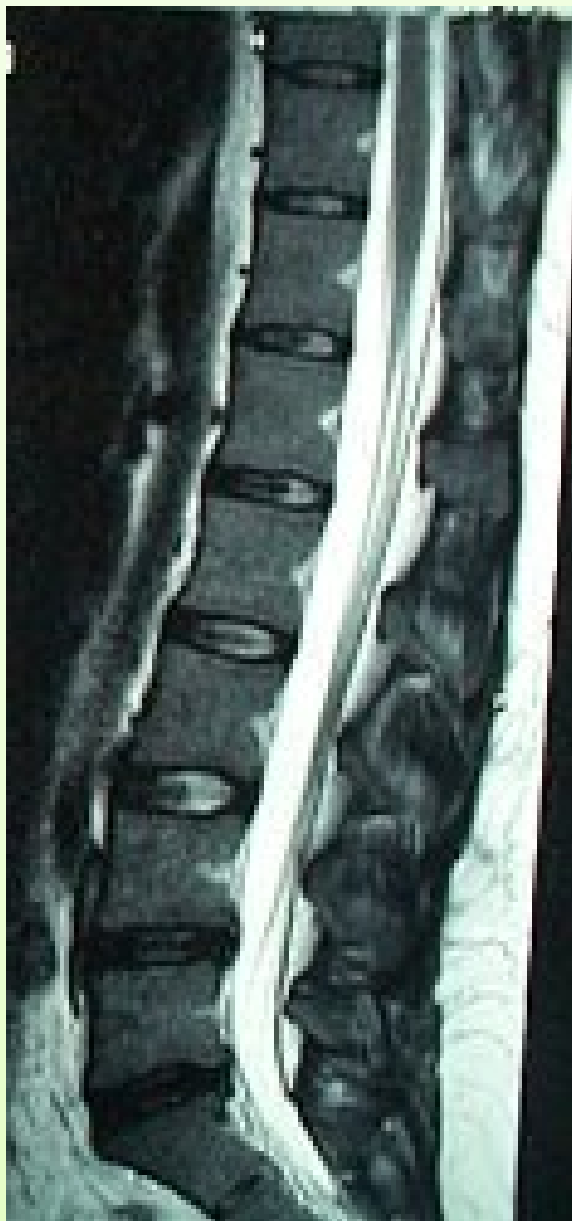


zrekonstruowany obraz



Obrazy NMR





Obrazy NMR -2

Kręgosłup

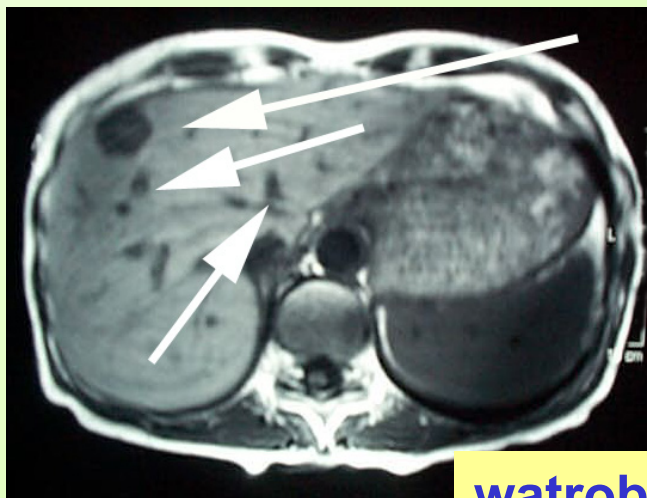
Obrazy NMR -3



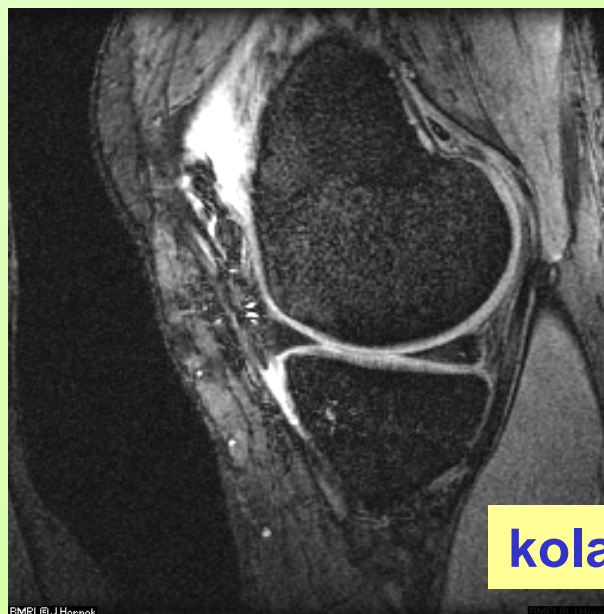
głowa



bark



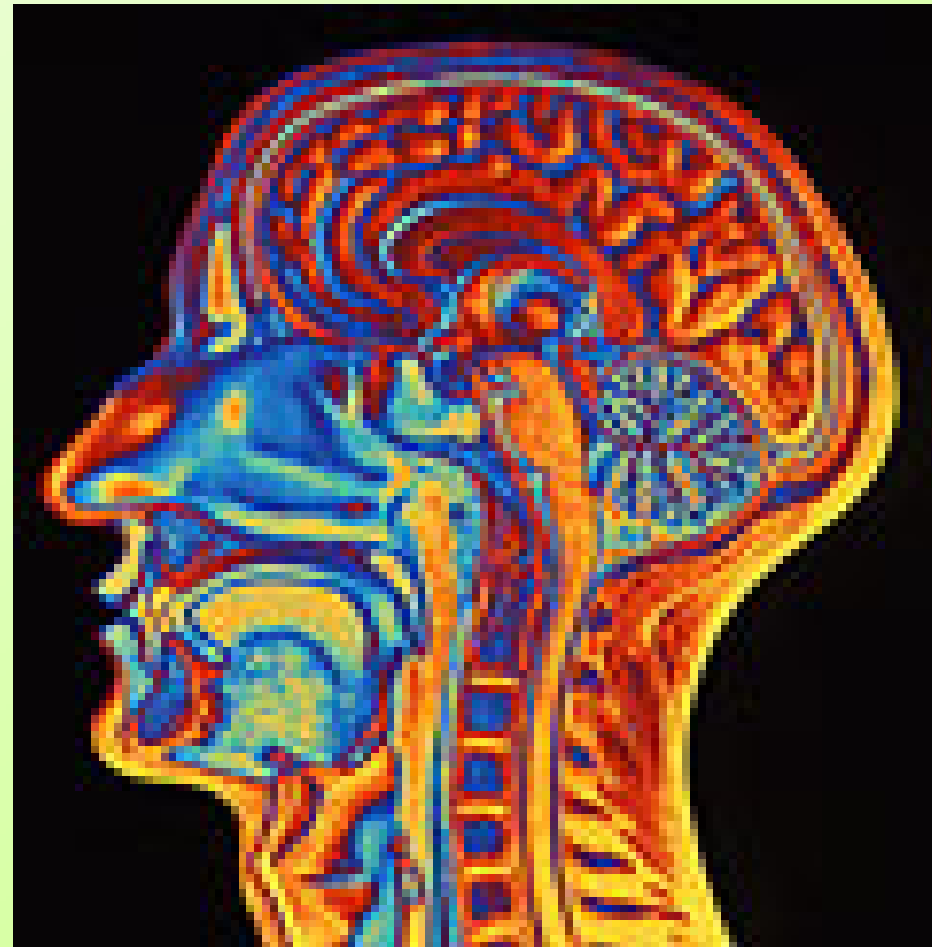
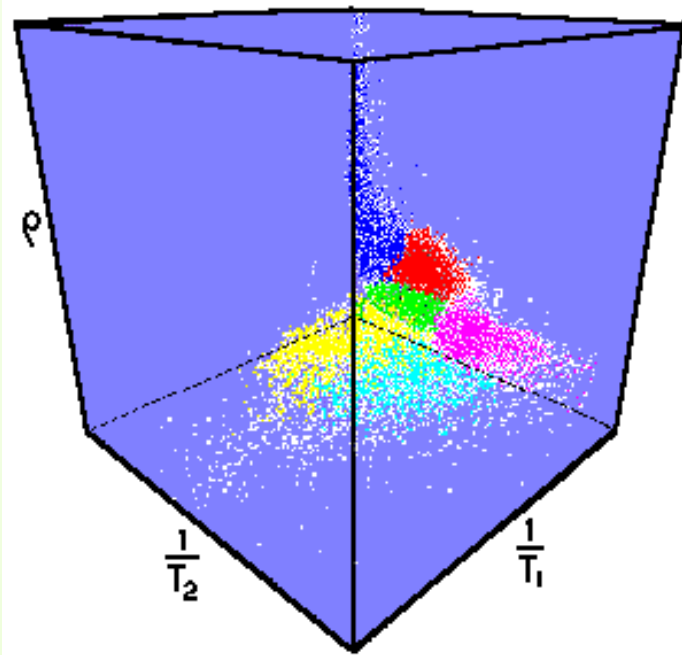
wątroba

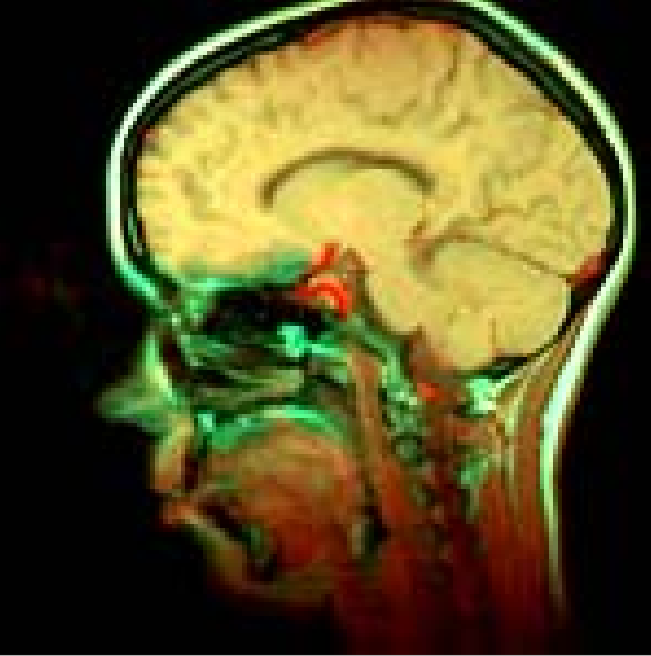


kolano

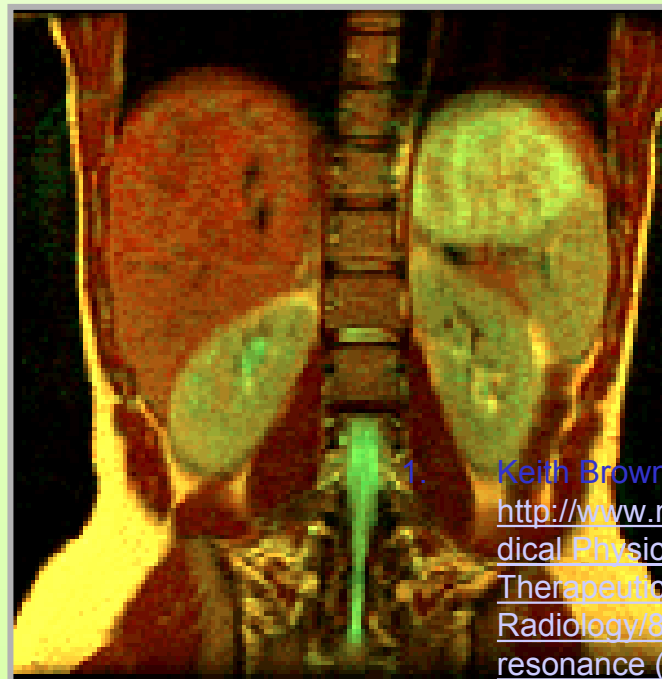
Zobaczyć w kolorach

wykorzystać T1, T2 i
gęstość ρ protonów





c.d.



Keith Brown

1. Keith Brown, [http://www.nd.edu/~nsl/Lectures/mphysics/MedicalPhysics/PartII/PhysicsofDiagnosticandTherapeuticSystems/Chapter8_DiagnosticRadiology/8.3Physicsofnuclearmagneticresonance\(NMR\)/Physicsofnuc](http://www.nd.edu/~nsl/Lectures/mphysics/MedicalPhysics/PartII/PhysicsofDiagnosticandTherapeuticSystems/Chapter8_DiagnosticRadiology/8.3Physicsofnuclearmagneticresonance(NMR)/Physicsofnuc)

Zasady bezpieczeństwa dla NMR

Dopuszczalne warunki badania

Instytucja	$B [T]$	dB/dt	En. absorbowana średnio całe ciało tkanki
National Center for Devices and Radiol. Health, 1982	2	3 [T/s]	0,4 W/kg 2 W/kg
National Radiation Protection Board, 1983	2,5	20 [T/s] (10 ms)	0,4 W/kg 4 W/kg
Federal Health Office 1984	2,0	Indukowany prąd < 30 mA/m ²	1 W/kg 5 W/kg

Podsumowanie 3 technik

- Przedstawiono trzy techniki określone wspólnym mianem 'elektromagnetyczne'.
- Wykorzystano bardzo różne zjawiska fizyczne. Wszystkie te zjawiska dotyczą jednak oddziaływania pola elektrycznego i magnetycznego na jądra lub elektrony.
- Elektromagnetyczne techniki obrazowania struktur obiektów biologicznych mają ponad 100 lat i są w ciągłym i dynamicznym rozwoju.
- Techniki te są niezastąpionym narzędziem w rękach współczesnych lekarzy
- Nie można określić granic 'możliwości' w tej dziedzinie.
- Co 'zobaczymy' za 10 lat ?

Główne źródła informacji dla NMR

1. B. Gonet; Obrazowanie magnetyczno-rezonansowe, PZWL, Warszawa 1997.
2. B. Ciesielski, W. Kuziemski; Obrazowanie metodą magnetycznego rezonansu w medycynie, TUTOR, Toruń 1994.
3. pusty
4. J. P. Hornak; www.cis.rit.edu/htbooks/mri/inside.htm
5. B. Roysam, www.ecse.rpi.edu/censsis/BioCourse/Lecture06-plain.ppt
6. pusty
7. Diagnostic Radiology, [http://www.nd.edu/~nsl/Lectures/mphysics/MedicalPhysics/Part II. Physics of Diagnostic and Therapeutic Systems/Chapter 8. Diagnostic Radiology/8.4 NMR imaging-MRI/NMR imaging-MRI.ppt](http://www.nd.edu/~nsl/Lectures/mphysics/MedicalPhysics/PartII.PhysicsofDiagnosticandTherapeuticSystems/Chapter8.DiagnosticRadiology/8.4NMRimaging-MRI/NMRimaging-MRI.ppt)
8. Keith Brown, [http://www.nd.edu/~nsl/Lectures/mphysics/MedicalPhysics/Part II. Physics of Diagnostic and Therapeutic Systems/Chapter 8. Diagnostic Radiology/8.3 Physics of nuclear magnetic resonance \(NMR\)/Physics of nuc](http://www.nd.edu/~nsl/Lectures/mphysics/MedicalPhysics/PartII.PhysicsofDiagnosticandTherapeuticSystems/Chapter8.DiagnosticRadiology/8.3Physicsofnuclearmagneticresonance(NMR)/Physicsofnuc)