

# Biofizică

# CURS 11

1. Principii fizice ale imagisticii medicale: (radiografie, ecografie, CT, MRI, scintigrafie, PET)

# Magnetic Rezonance Imaging

- Rezonanta Magnetica Nucleara (metoda fizica)
- Magnetic Rezonance Imaging (MRI) (procedura)

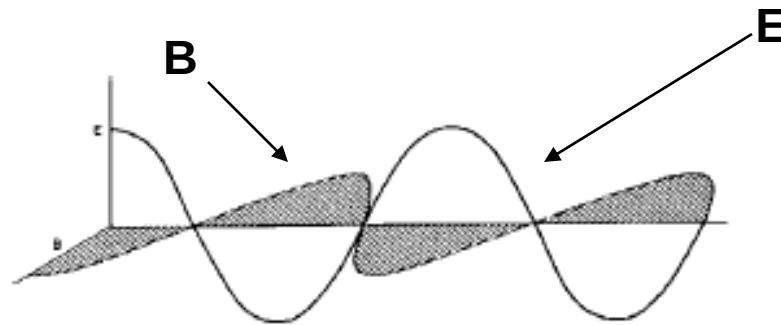
Rezonanță = transfer eficient de energie între două sisteme care pot să oscilează cu aceleași frecvențe

Magnetică = sunt implicate interacțiuni magnetice

Nucleară = folosește proprietățile magnetice ale nucleonilor

# Noțiuni introductive

Radiație → câmp (oscilație) electromagnetic



Inducția câmpului magnetic  
**B [T]**

Ex: câmp magnetic terestru  
= 0.3-0.6 Gauss

câmp folosit în instalații  
MRI = 1-3T = 10000-30000  
Gauss

| Designation                        | Frequency [hertz]                         | Wavelength [m]                              | Energy [eV]                                 |
|------------------------------------|-------------------------------------------|---------------------------------------------|---------------------------------------------|
| Gamma Rays                         | $1.0 \times 10^{18} - 1.0 \times 10^{27}$ | $3.0 \times 10^{-10} - 3.0 \times 10^{-19}$ | $4.1 \times 10^3 - 4.1 \times 10^{12}$      |
| X-rays                             | $1.0 \times 10^{15} - 1.0 \times 10^{25}$ | $3.0 \times 10^{-7} - 3.0 \times 10^{-17}$  | $4.1 - 4.1 \times 10^{10}$                  |
| Ultraviolet light                  | $7.0 \times 10^{14} - 2.4 \times 10^{16}$ | $4.3 \times 10^{-7} - 1.2 \times 10^{-8}$   | 2.9-99                                      |
| Visible light                      | $4.0 \times 10^{14} - 7.0 \times 10^{14}$ | $7.5 \times 10^{-7} - 4.3 \times 10^{-7}$   | 1.6-2.9                                     |
| Infra red light                    | $1.0 \times 10^{11} - 4.0 \times 10^{14}$ | $3.0 \times 10^{-3} - 7.5 \times 10^{-7}$   | $4.1 \times 10^{-4} - 1.6$                  |
| Microwave Radar and Communications | $1.0 \times 10^9 - 1.0 \times 10^{12}$    | $3.0 \times 10^{-1} - 3.0 \times 10^{-4}$   | $4.1 \times 10^{-6} - 4.1 \times 10^{-3}$   |
| Television broadcast               | $5.4 \times 10^7 - 8.0 \times 10^8$       | 5.6-0.38                                    | $2.2 \times 10^{-7} - 3.3 \times 10^{-6}$   |
| FM radio broadcast                 | $8.8 \times 10^7 - 1.1 \times 10^8$       | 3.4-2.8                                     | $3.6 \times 10^{-7} - 4.5 \times 10^{-7}$   |
| AM radio broadcast                 | $5.4 \times 10^5 - 1.7 \times 10^6$       | $5.6 \times 10^2 - 1.8 \times 10^2$         | $2.2 \times 10^{-9} - 6.6 \times 10^{-9}$   |
| Electric power                     | $10 - 1 \times 10^3$                      | $3.0 \times 10^7 - 3.0 \times 10^5$         | $4.1 \times 10^{-14} - 4.1 \times 10^{-12}$ |

radiofrecvență

# Notiuni introductive

- Structura si proprietatile magnetice ale atomului

Proprietatile magnetice ale nucleului:

Protoni → sarcina,  $\mu = 2.79\mu_n$

Neutroni → neutru,  $\mu = 1.91\mu_n$

$\mu_n$ -magnetonul nuclear

$$\mu_n = \frac{e\hbar}{2m_p}$$

numar impar de nucleoni → moment magnetic

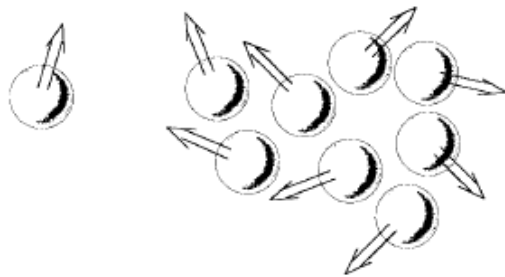
1 mm<sup>3</sup> H<sub>2</sub>O contine  $\approx 7 \cdot 10^{19}$  nuclei H

organismul uman ~70% apa

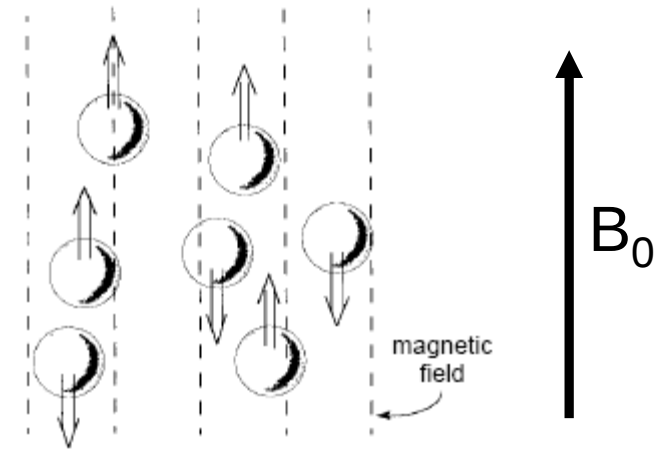
# Principiile fizice ale RMN

- Descrierea fenomenului RMN

Sisteme magnetice în stare naturală



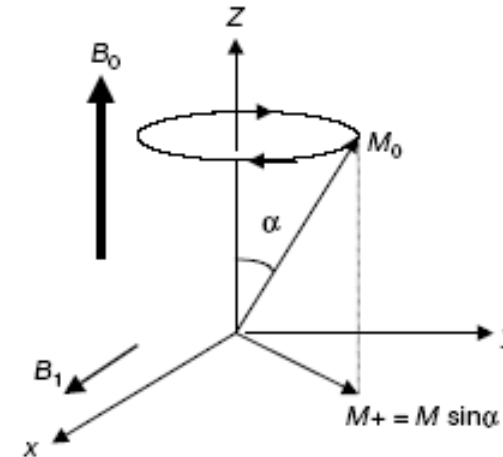
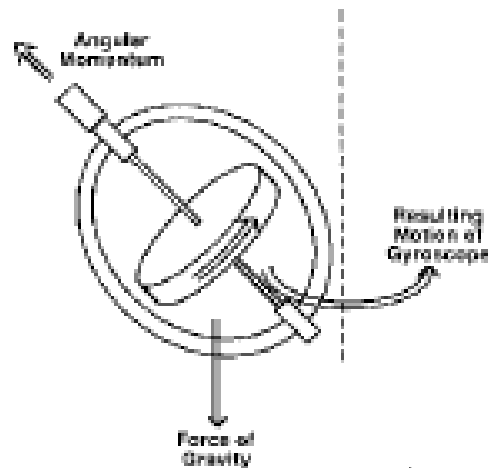
În prezența unui câmp extern



# Principiile fizice ale RMN

În prezența câmpului extern  
se produce o mișcare de precesie  
a momentelor magnetice

Precesia= rotație de ordinul II = “rotația” unui obiect care deja se rotește  
în jurul axei sale



Miscare de precesie → miscarea de rotație în jurul axei câmpului  $B_0$

# Principiile fizice ale RMN

- Frecvența mișcării de precesie se numeste frecvență Larmour

$$f = \gamma \cdot B$$

În cazul protonilor

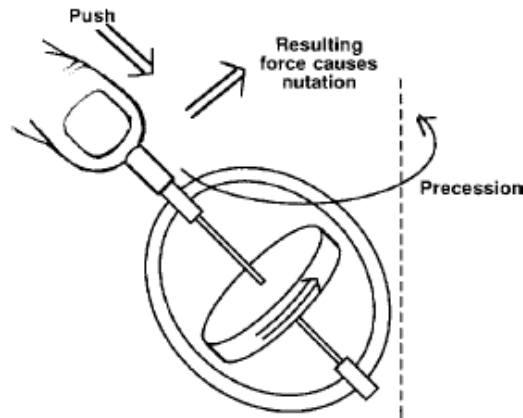
$$\gamma - \text{factor giromagnetic} = 42.6 \frac{\text{MHz}}{\text{T}}$$

Ex: În cazul magnetului de 1T

$$f = (42.6 \frac{\text{MHz}}{\text{T}}) \cdot 1\text{T} = 42.6\text{MHz}$$

# Principiile fizice ale RMN

- interacția protonilor deja orientați cu un câmp magnetic suplimentar, perturbator

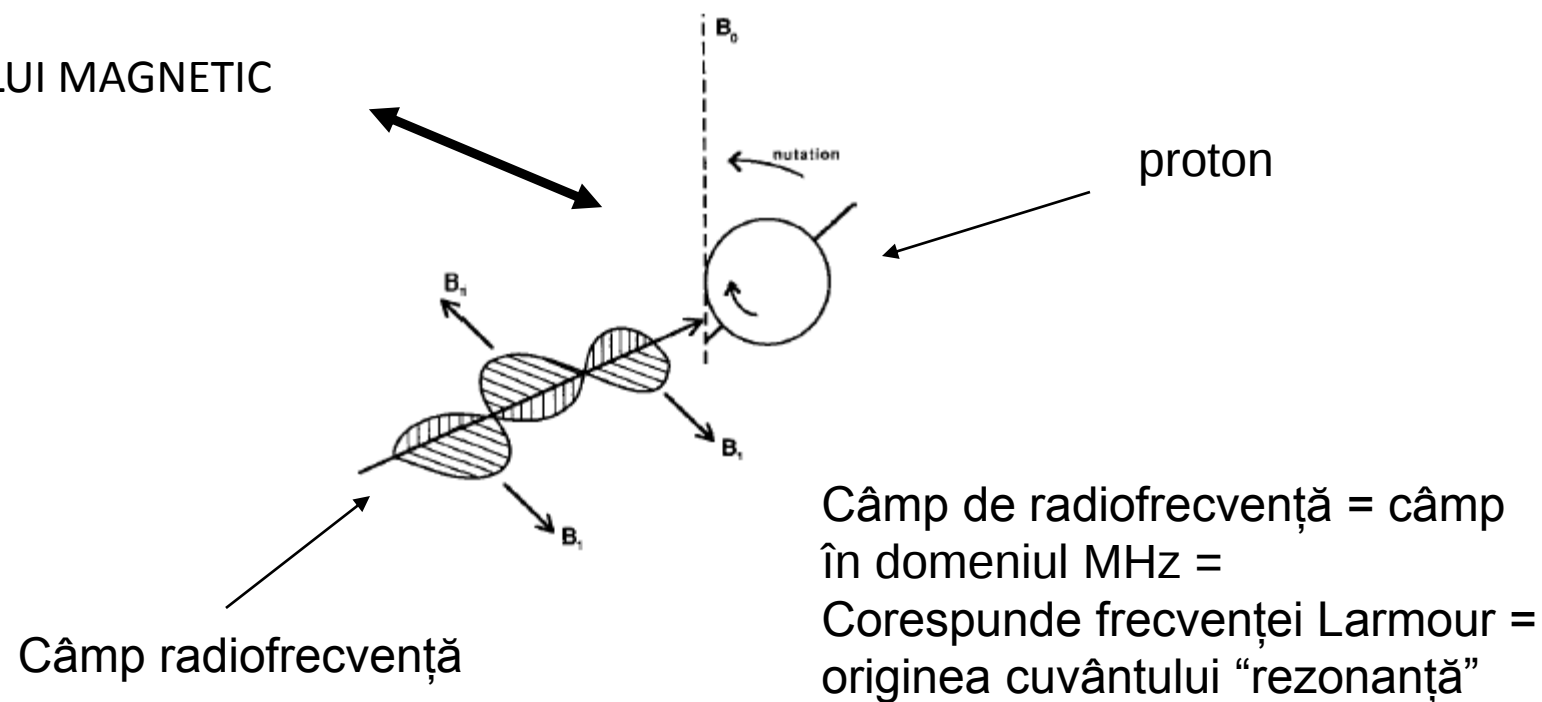


- Nutație = schimbarea unghiului de precesie ca urmare a interacției cu o forță

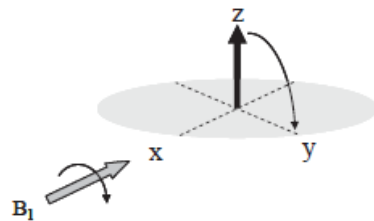
# Principiile fizice ale RMN

Forța care se exercită din exterior este câmpul de radiofrecvență (RF)

ROTIREA MOMENTULUI MAGNETIC

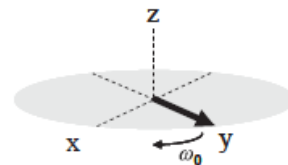


# Principiile fizice ale RMN



Unghiul de rotație al  
momentului magnetic

$$\alpha = \gamma B_1 \tau_{B1}.$$



$\tau_{B1}$  = timpul de aplicare al câmpului de radiofrecvență

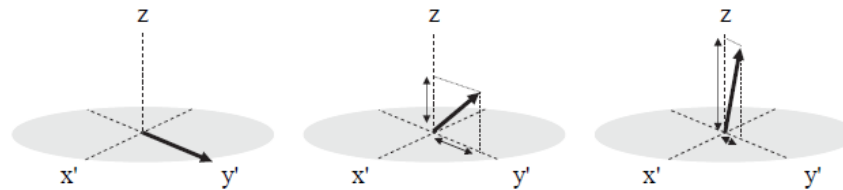
De obicei se aleg parametrii astfel încât  $\alpha = 90^\circ$

# Principiile fizice ale RMN

Legea inducției (Faraday)

$$e = -\frac{d\Phi}{dt}$$

Încetarea pulsului de radiofrecvență → relaxare (revenirea la starea inițială)



# Principiile fizice ale RMN

- Procese de relaxare,  $T_1$ ,  $T_2$

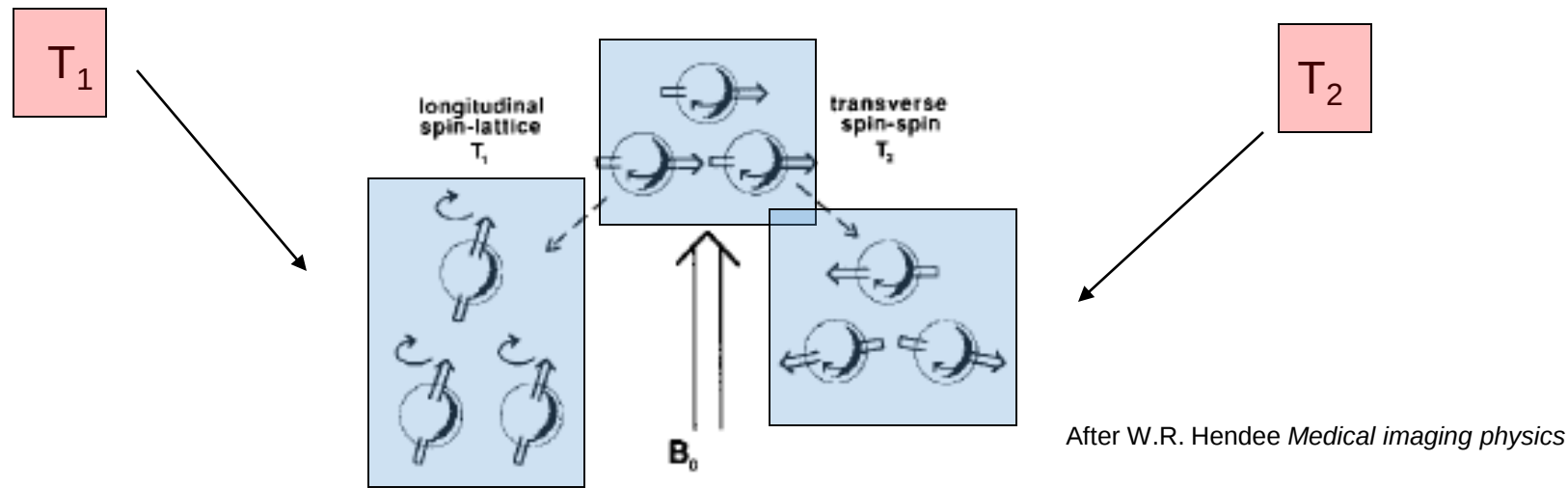
În urma încetării aplicării pulsului de radiofrecvență protonii revin în starea fundamentală  
(*momentele magnetice revin în poziția inițială*)  $\leftrightarrow$   
*procese de relaxare*

1. Relaxare longitudinală  $T_1 \approx$  sute de milisecunde ( $T_1 = \alpha f^\beta$ )

2. Relaxare transversală  $T_2 \approx$  zeci de milisecunde

Semnalul obținut în urma acestor dezexcitări este semnalul folosit în RMN

# Principiile fizice ale RMN

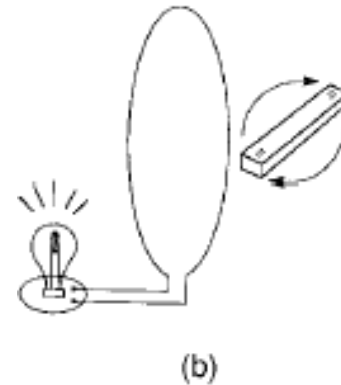
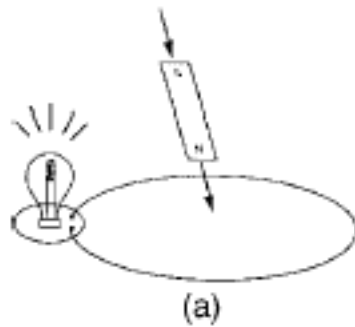


Relaxarea longitudinală= întoarcerea spinilor la alinierea cu  $B_0$  în urma încetării pulsului RF;  $T_1$  arata cat de repede revin protonii la poziția inițiala

Relaxarea transversală = datorita interacției între protoni, precesia nu mai este “în faza” timpul de relaxare  $T_2$  arata cât de repede pierd protonii proprietatea de a oscila în fază

# Principiile fizice ale RMN

- Culegerea semnalului, antene



Un camp magnetic **variabil** genereaza intr-un conductor un curent electric

Conductor  $\leftrightarrow$  antena, bobina

# Principiile fizice ale RMN

| Tissue              |     | T1 |     | T2  |      |
|---------------------|-----|----|-----|-----|------|
| Skeletal muscle     | 732 | ±  | 132 | 47  | ± 13 |
| Liver               | 423 | ±  | 93  | 43  | ± 14 |
| Kidney <sup>a</sup> | 589 | ±  | 159 | 58  | ± 24 |
| Adipose             | 241 | ±  | 68  | 84  | ± 36 |
| Brain               |     |    |     |     |      |
| Gray matter         | 813 | ±  | 138 | 101 | ± 13 |
| White matter        | 683 | ±  | 116 | 92  | ± 22 |

<sup>a</sup> Average of medulla and cortex.

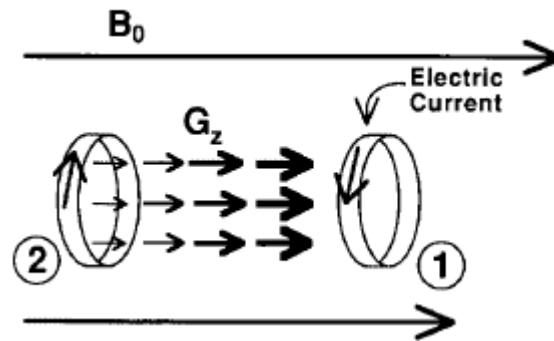
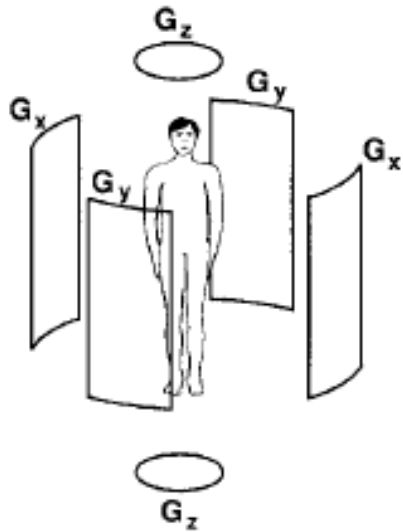
Source: Data from Bottomley, P. A., Foster, T. H., Argersinger, R. E., et al. *Med. Phys.* 1984; 11: 524–547.

$T_1$  mai lung pentru lichide decat pentru solide; mai scurt în țesuturile cu grăsime, crește cu intensitatea  $B_0$

$T_2$  variază cu structura moleculara, cu starea de agregare, este mai lung pentru lichide decât pentru solide, crește cu intens  $B_0$

$T_2^*$ -datorat neomogenităților câmpurilor externe

# Principiile fizice ale RMN



After W.R. Hendee *Medical imaging physics*

# Principiile fizice ale RMN

Exista 3 parametrii FIZICI care diferențiază între ele semnalele primite:

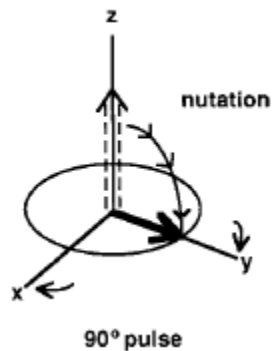
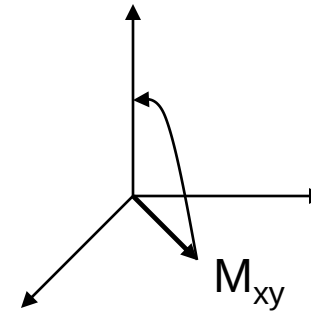
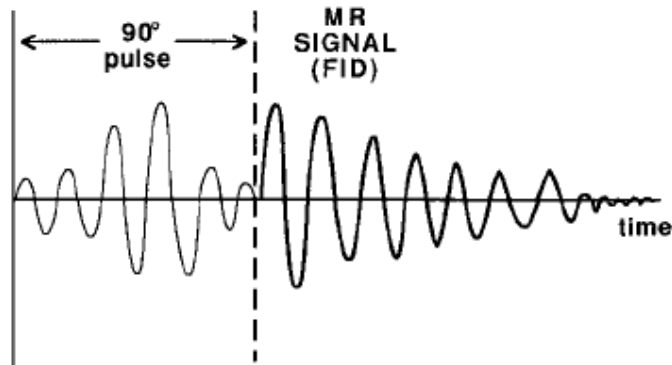
Densitatea de protoni

$T_1$  (cat de repede revine (crește) magnetizarea longitudinală)

$T_2$  (cat de repede pierde protonii proprietatea de a oscila în fază)

# Principiile fizice ale RMN

Producerea semnalului: SECVENȚE



după un puls de 90° magnetizarea  
se găsește în planul XY  
scăderea vectorului magnetizare  
(revenirea la paralelismul cu  $B_0$ )  
generează semnalul măsurat

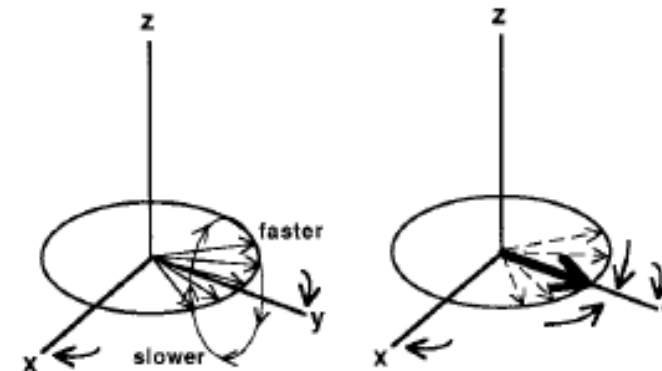
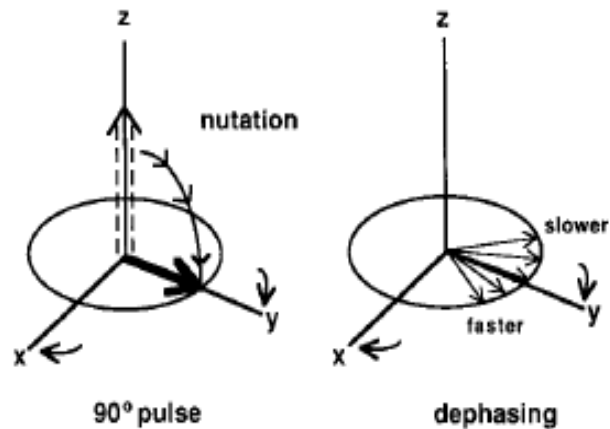
# Principiile fizice ale RMN

Probleme: datorita neomogenitatilor campului  $B_0$  apare un defazaj suplimentar al protonilor  $\rightarrow$  scurtarea lui  $T_2 \rightarrow$  corectia se face aplicand un puls de  $180^\circ$

Puls RF de  $90^\circ$



Puls RF de  $180^\circ$

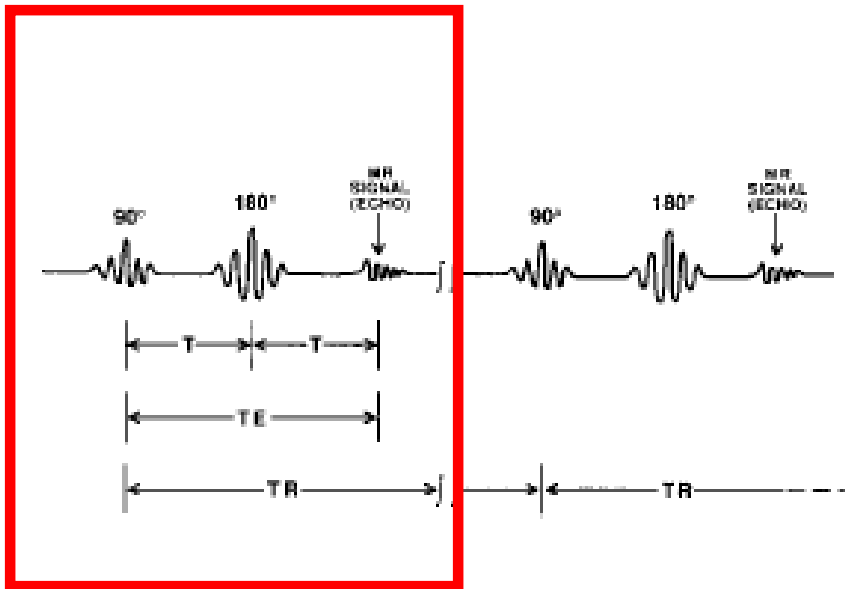


# Principiile fizice ale RMN

Secventa:

Puls  $90^\circ \rightarrow$  pierderea coerenței  $\rightarrow$  puls  $180^\circ \rightarrow$  colectare ecoului (semnalului)

pulsul de 180 se aplica la  $TE/2$



$TE \rightarrow$  "distanța" temporală între pulsul  $90^\circ$  și ecou (time to echo)

$TR \rightarrow$  "distanța" până la repetarea procesului ; apariția următorului puls de  $90^\circ$  (repetition time)

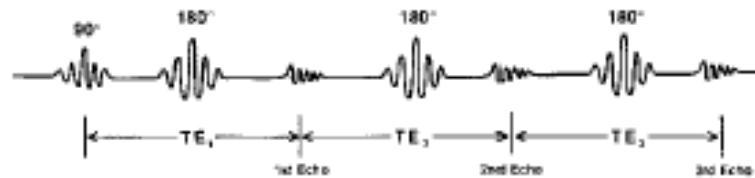
PARAMETRII CE TREBUIE SETAȚI

# Principiile fizice ale RMN

Atentie:  $TR > TE$ ; de obicei  $TR \approx 10TE$

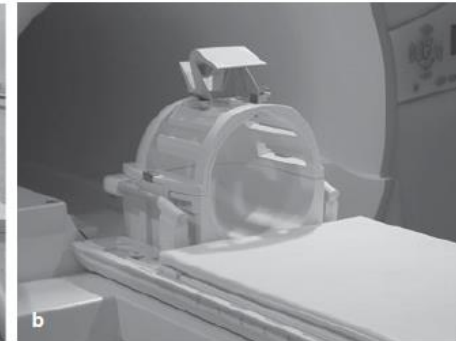
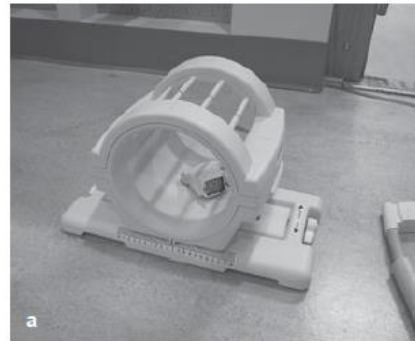
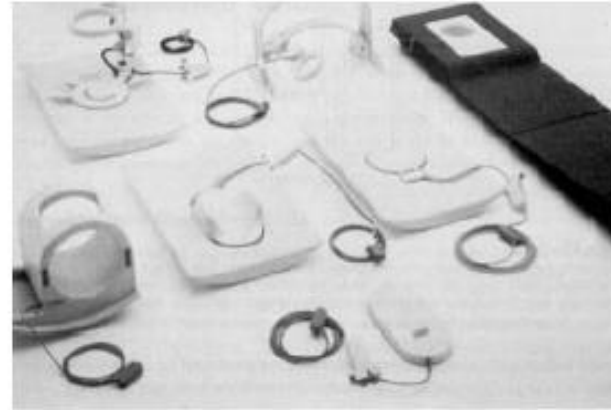
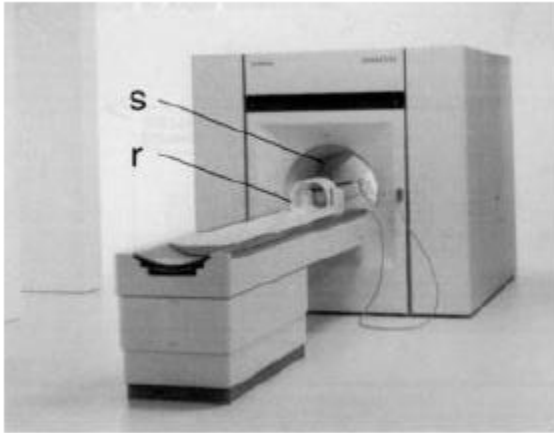
se pot culege ecouri multiple:

$90^\circ \rightarrow 180^\circ \rightarrow \text{ecou} \rightarrow 180^\circ \rightarrow \text{ecou} \text{ (etc)}$



# Principiile fizice ale RMN

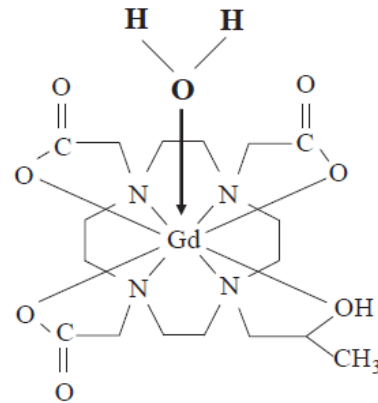
- Aparatura



# Principiile fizice ale RMN

Contrast:

- a) scurtarea T1 (agenți paramagnetici) (pozitivi)
- b) scurtarea semnalului MR (agenți superparamagnetici)(negativi)



# Medicină nucleară

## **Scintigrafie**

Injectare intravenoasa a unui marker radioactiv

Stabilizarea markerului în regiunile de interes

Detectarea semnalului radioactiv

# Medicină nucleară

## Scintigrafie

Proprietăți ale markerului radioactiv:

- timp de viață scurt (semnal mare) dar suficient de mare pentru a permite o investigație eficientă fără a iradia pacientul foarte mult
- emisie  $\gamma$  fara  $\alpha$  sau  $\beta$  (acestea sunt absorbite de organism și generează radiație suplimentară)
- energia fotonilor  $\gamma$  sa fie mai mare de 100keV pentru a putea ieși din țesut
- trebuie să fie bine absorbit/fixat în organul țintă și relativ slab în rest

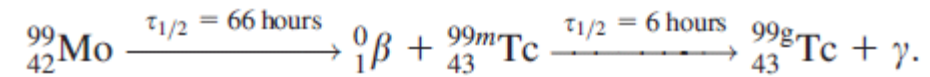
FOLOSIT UZUAL

Marker technetium  $^{99m}\text{Tc}$

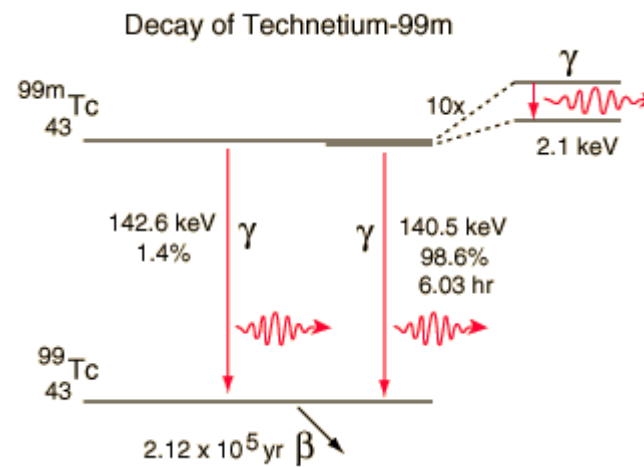
Emisie :  $\gamma$  la 140keV

# Medicină nucleară

## Scintigrafie



dupa N Barrie and A. Webb *Introduction to medical imaging*



# Medicină nucleară

## Scintigrafie

Detecrie: cameră gamma situată deasupra pacientului

Cristal scintilator convertește energia fotonilor gamma în fotoni în domeniul vizibil

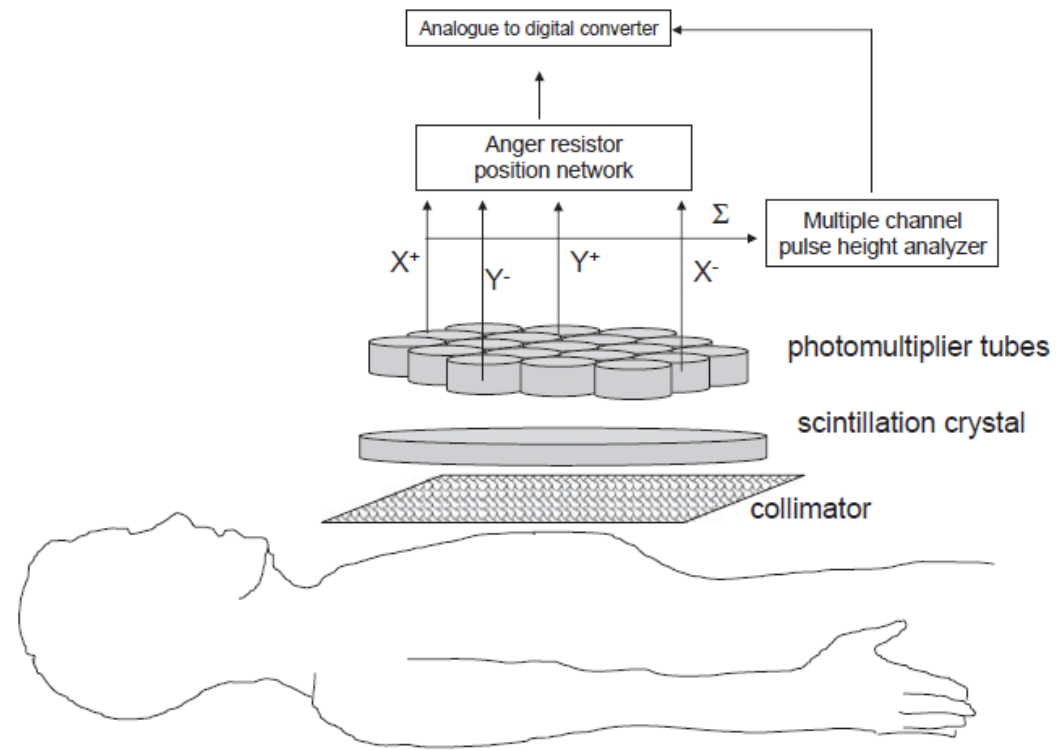
Fotonii în domeniul vizibil sunt detectați de un fotomultiplicator care generează un semnal electric

SNR(raport semnal zgomot) slab rezoluție joasă  $5 \div 10\text{mm}$ ,  
sensibilitate foarte bună (nanograme de marker produc răspuns)

# Medicină nucleară

## Scintigrafie

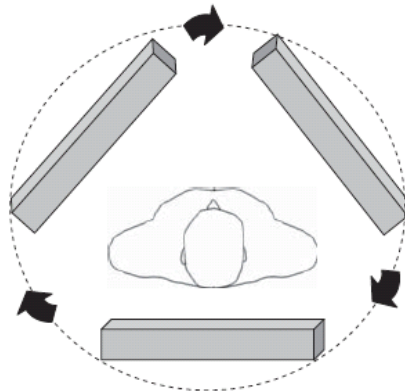
Camera gamma



# Medicină nucleară

**SPECT** single photon emission computed tomography

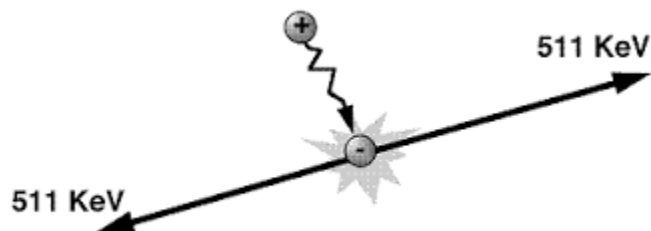
Serie de imagini bidimensionale (scintigrafii) cu ajutorul a doua sau trei camere gamma → generarea unei imagini tridimensionale



dupa N Barrie and A. Webb *Introduction to medical imaging*

# Medicină nucleară

## PET



PET positron emission tomography

Injectarea unor markeri capabili să emită pozitroni

Anihilarea pozitronilor generează doi fotoni de 511KeV având traieectorii la  $180^{\circ}$

Combinații PET/CT sau PET/RMN

Rezoluție 3÷6 mm, SNR mult mai bun decât SPEC

# Medicină nucleară

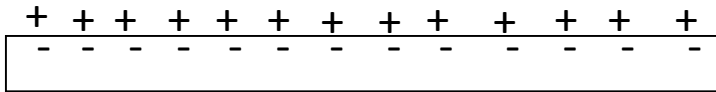
| Radionuclide     | Half-life<br>(minutes) | Radiotracer                | Clinical applications                        |
|------------------|------------------------|----------------------------|----------------------------------------------|
| $^{18}\text{F}$  | 109.7                  | $^{18}\text{F}$ FDG        | oncology, inflammation,<br>cardiac viability |
| $^{11}\text{C}$  | 20.4                   | $^{11}\text{C}$ -palmitate | cardiac metabolism                           |
| $^{15}\text{O}$  | 2.07                   | $\text{H}_2^{15}\text{O}$  | cerebral blood flow                          |
| $^{13}\text{N}$  | 9.96                   | $^{13}\text{NH}_3$         | cardiac blood flow                           |
| $^{82}\text{Rb}$ | 1.27                   | $^{82}\text{RbCl}_2$       | cardiac perfusion                            |

dupa N Barrie and A. Webb *Introduction to medical imaging*

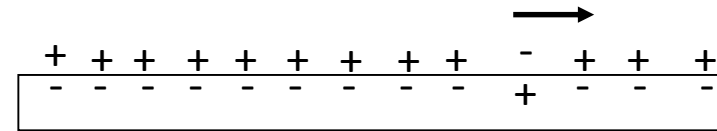
FDG  
fluorodeoxyglucoză

# ECG

Polarizarea și depolarizarea unei fibre



Dipol electric



Dipol electric: două sarcini apropiate, egale și de semn contrar

Dipol electric → câmp electric

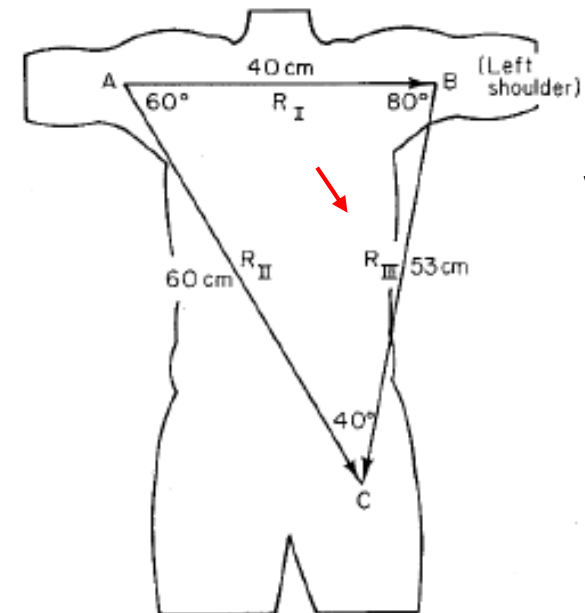
# ECG

*Înregistrări standard I, II și III.  
(Bipolare)*

$$I = v_B - v_A,$$

$$II = v_C - v_A,$$

$$III = v_C - v_B.$$

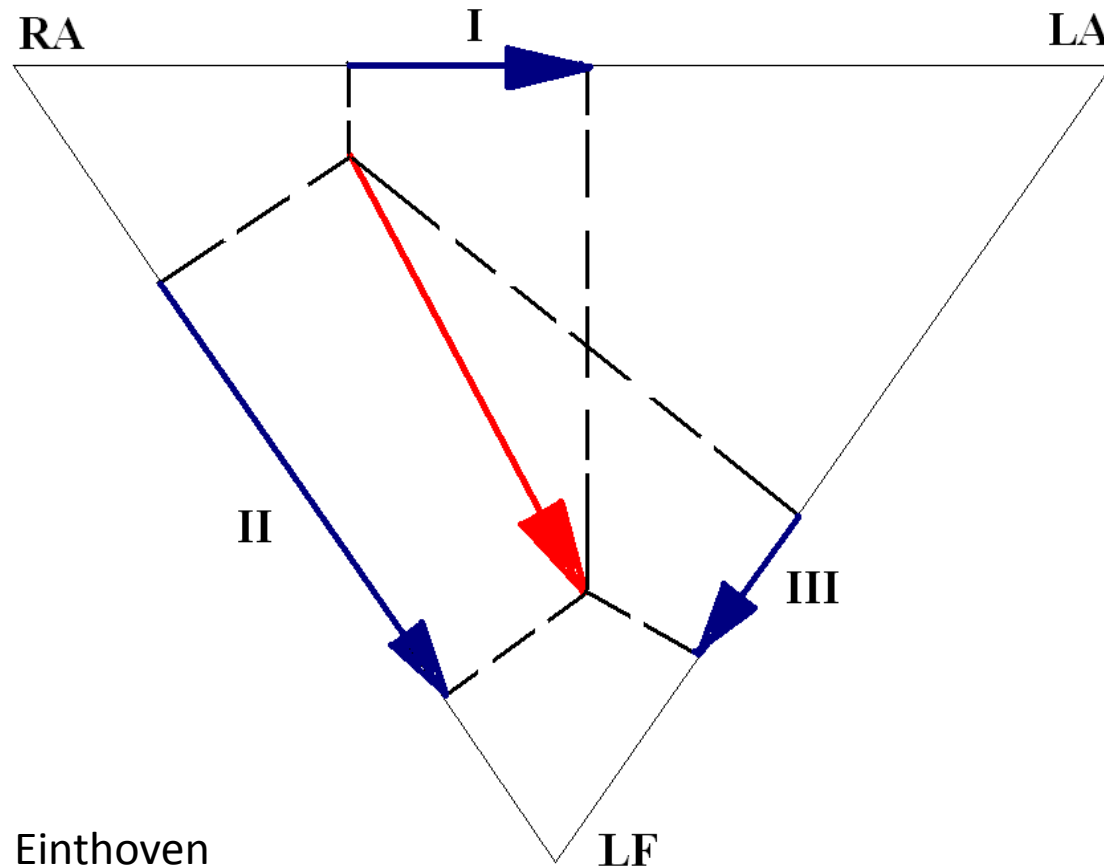


Vectorul cardiac

Triunghiul Einthoven

# ECG

Diferența de potențial electric  $\approx$  proiecția (momentului)dipolului

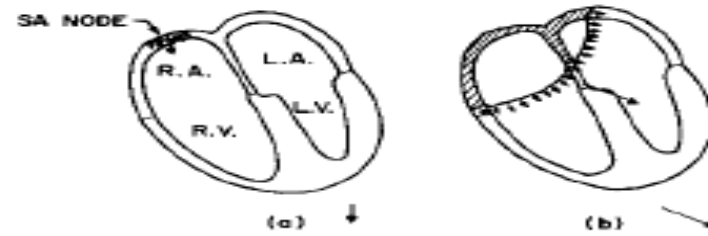


Triunghiul Einthoven

$$u_I + u_{III} = u_{II}$$

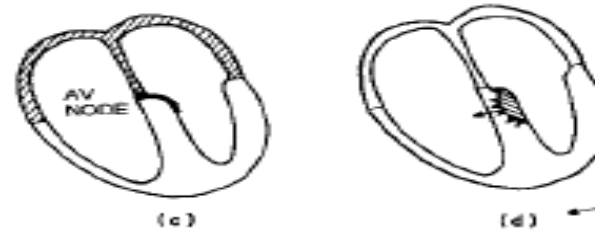
# ECG

P depolaryarea atriilor



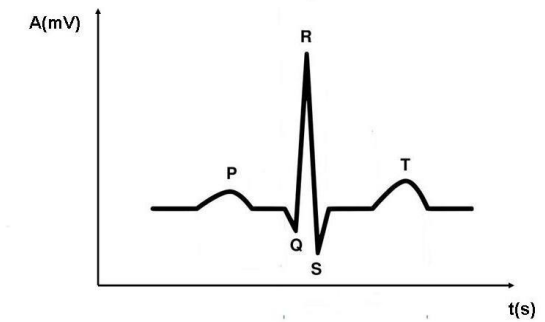
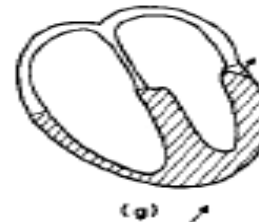
Toate fibrele sunt depolarizate

⇒ PQ



Depolarizare în ventricule

⇒ QRS



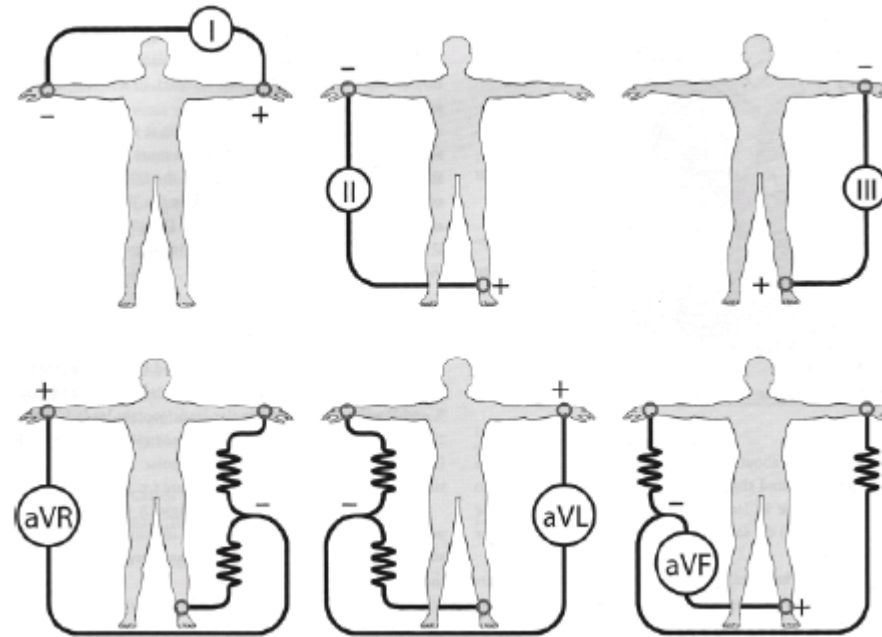
T

Repolarizarea ventriculelor

# ECG

Înregistrări monopolare periferice  $aVR$ ,  $aVL$ ,  $aVF$   
(Goldberger system)

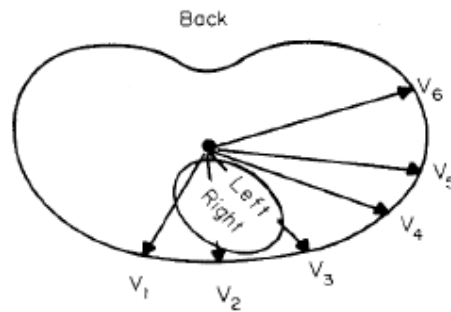
$$aVR = v_A - \frac{1}{2}(v_B + v_C) = -\frac{1}{2}(I + II),$$
$$aVL = v_B - \frac{1}{2}(v_A + v_C) = \frac{1}{2}(I - III),$$
$$aVF = v_C - \frac{1}{2}(v_A + v_B) = \frac{1}{2}(II + III).$$



after Herman Irving *Physics of the human body*

# ECG

*Înregistrări precordiale\**  
(monopolare)



\*Am. J. Phys. **41**:  
824–831. Copyright 1973, American Association of Physics  
Teachers.