

Πυρηνική Φυσική

Μερικές εφαρμογές

Α. ΛΙΟΛΙΟΣ

Μάθημα Πυρηνικής

Ένωση Φυσικών Ιατρικής Ελλάδας

REF:

**attikoPresentation.pptx –
Ένωση Φυσικών Ιατρικής Ελλάδας**

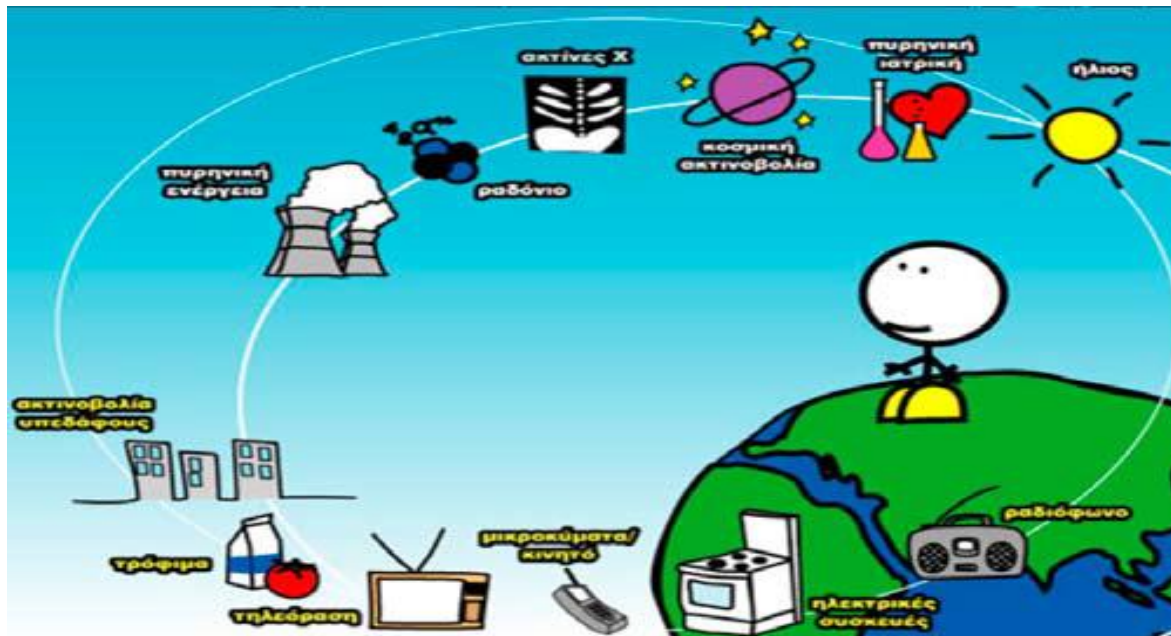
Ακτινοβολία (radiation)

Η ακτινοβολία είναι ενέργεια σε μορφή ΗΜ-κυμάτων
ή κινούμενων υποατομικών σωματιδίων.

ιοντίζουσα

μη ιοντίζουσα

Όλοι δεχόμαστε ακτινοβολία από ένα μεγάλο σύνολο φυσικών και τεχνητών πηγών που βρίσκονται παντού γύρω μας.



Ιοντίζουσες ακτινοβολίες

Ακτίνες α

Ακτίνες γ

Ακτινοβολία β

Φωτόνια

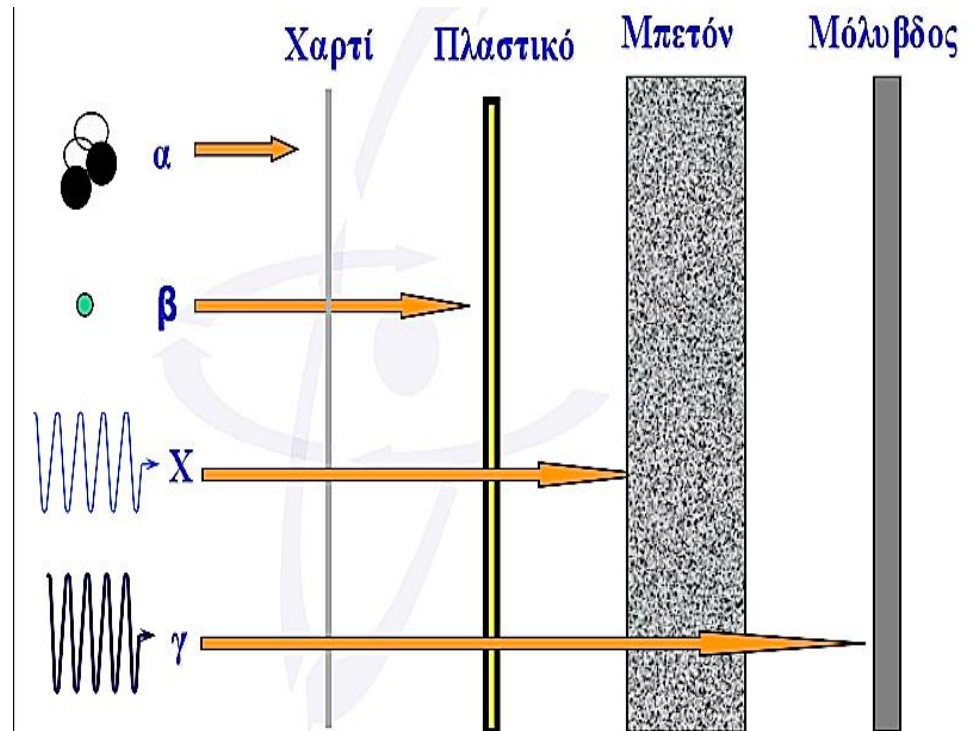
Ηλεκτρόνια

Πρωτόνια

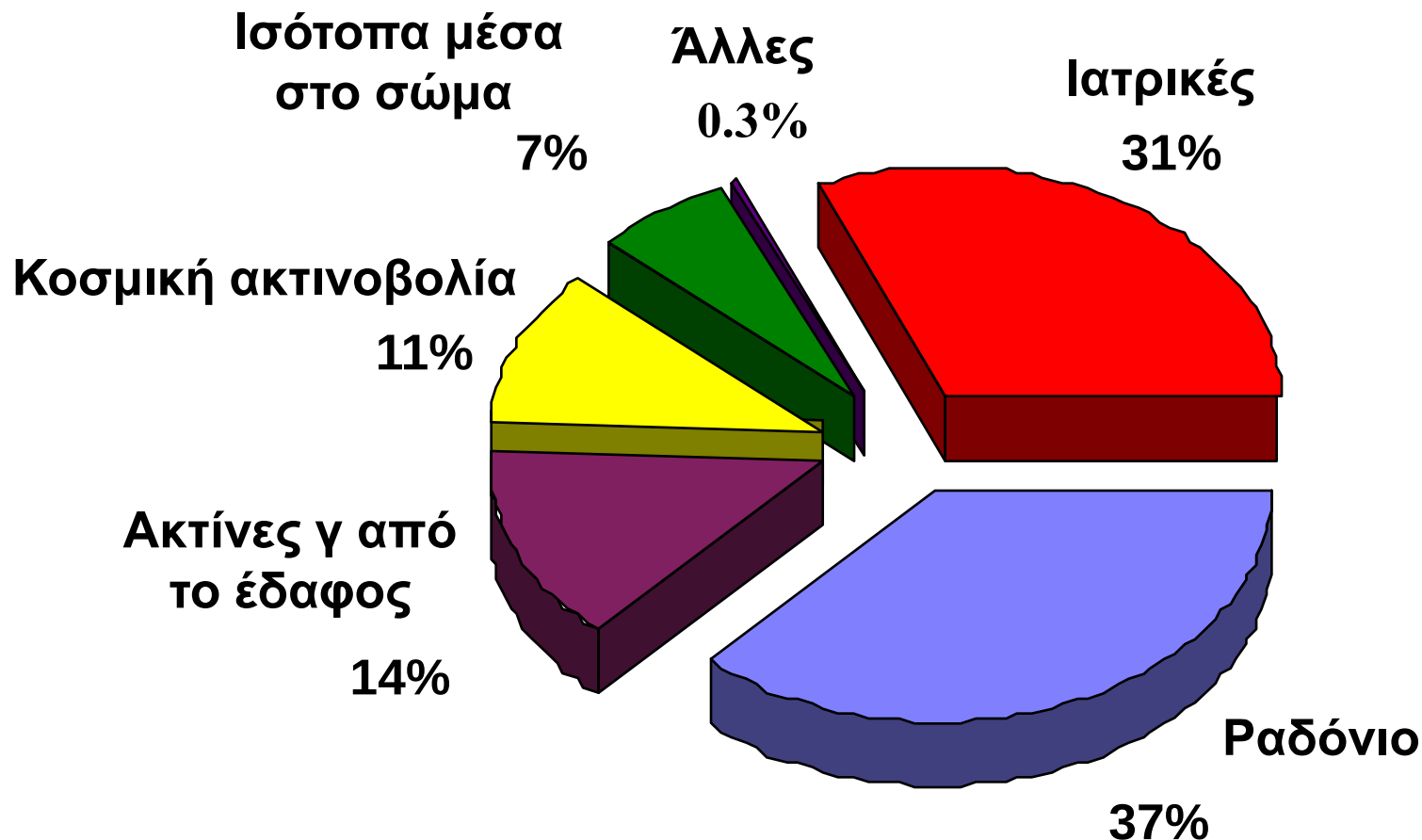
Σωματία α

Νετρόνια

Πυρηνικά σωματίδια



Συνεισφορά των πηγών ακτινοβολίας στη δόση του Ευρωπαϊκού πληθυσμού



Ραδιενεργές σειρές

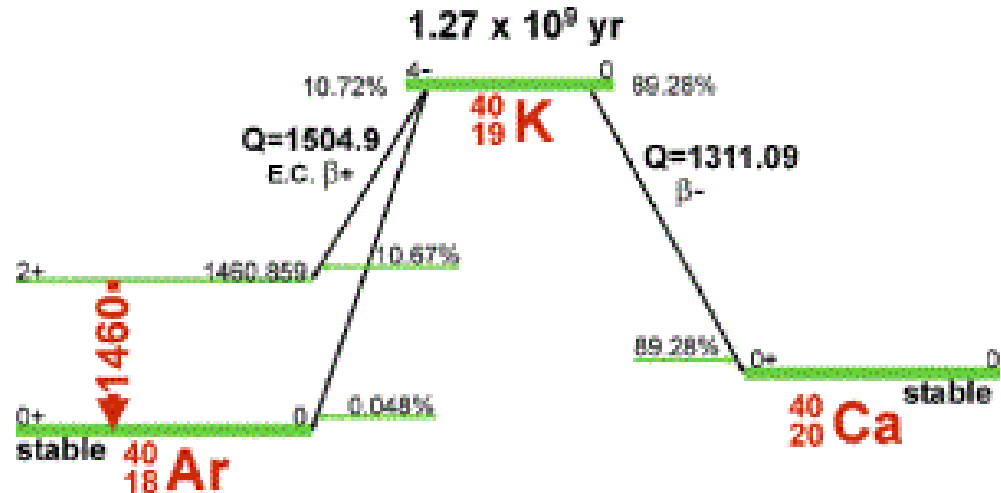
Αρχέγονοι και εξαιρετικά μακρόβιοι βαρείς ραδιενεργοί πυρήνες (**U** και **Th**) που υπάρχουν στο περιβάλλον μας, διασπώνται παράγοντας σειρές θυγατρικών πυρήνων.

Επίσης, υπάρχουν και άλλοι αρχέγονοι και εξαιρετικά μακρόβιοι, όμως όχι τόσο βαρείς, ραδιενεργοί πυρήνες που δεν παράγουν σειρά θυγατρικών πυρήνων, π.χ. το **⁴⁰K**.

Το ^{40}K

Το ^{40}K ($Z=19$, $N=21$), μαζί με τα δύο σταθερά ισότοπα ^{39}K και ^{41}K , αποτελούν τα τρία φυσικά ισότοπα του καλίου (σε ποσοστό 93.3%, 0.012%, 6.7% για τα ^{39}K , ^{40}K και ^{41}K αντίστοιχα).

Ο μέσος χρόνος ζωής του ^{40}K είναι 1.25 Gy και διασπάται σύμφωνα με το σχήμα:



Υπολογίζεται ότι στο ανθρώπινο σώμα (70 kg) υπάρχουν περίπου 40 g καλίου-40, τα οποία αντιστοιχούν σε ενεργότητα περί τα 12 kBq (2° σε ενεργότητα στο σώμα μας είναι ο C-14).

Μία μπανάνα περιέχει 0.5 g καλίου-40 που δίνει ενεργότητα περί τα 15 Bq.

Ραδόνιο – ένα φυσικό ραδιενεργό αέριο

Natural radioactivity in the ground

uranium-238 $\Rightarrow \Rightarrow$ **radium-226** $\Rightarrow$
4.5 billion years 1600 years

radon-222 *gas* has time to leak into the air $\Rightarrow \Rightarrow$
almost 4 days

lead-210 $\Rightarrow \Rightarrow$ **lead-206**
22 years stable

radon progeny (daughters)

radioactive isotopes of **lead**, **bismuth**, and **polonium** can be
inhaled and deposited in the lungs

ΕΙΣΟΔΟΙ ΡΑΔΟΝΙΟΥ:

1. Cracks in solid floors
2. Construction joints
3. Cracks in walls
4. Gaps in suspended floors
5. Gaps around service pipes
6. Cavities inside walls
7. The water supply
8. Floor drains

**BUT DOESN'T GET OUT
of tightly sealed homes**



Sources

Έδαφος

Υδατα εδάφους

Υλικά λιθοδομής

Sinks (for Rn and progeny)

Εξαερισμός

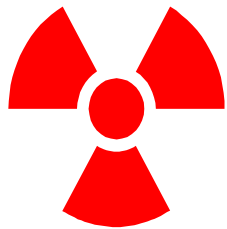
Αραίωση

Επικάθιση

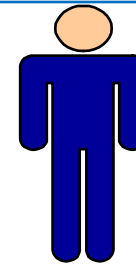
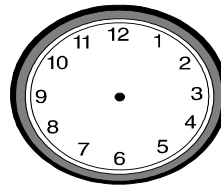
Radioactivity Units

CURIE (Ci)	Unit of Activity (A)	A = # of decays per second	1 curie = 3.7×10^{10} Decays per second 1 decay per second
Becquerel (Bq) = 27 pCi			
Roentgen RAD	Absorption Dose Unit of Absorbed Dose (D)	D = the energy absorbed per gram of tissue in the body	1 rad = 100 ergs per gram 1 Gy = 1 joule/kg
Gray (Gy) = 100 rad			
Roentgen REM	Equivalent Man (or Mammal) Unit of Dose Equivalent (H)	H = the absorbed dose multiplied by a biological effectiveness factor (Q)	$rem = Q \times D$ alpha particles are more dangerous than beta particles
Sievert (Sv) = 100 rem			
ROENTGEN	Unit of Ionizing Ability in Air	= charge created in a volume of air	= 1 statcoul/cm ³

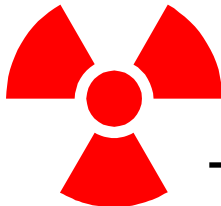
Προφυλάξεις από την έκθεση σε ακτινοβολία



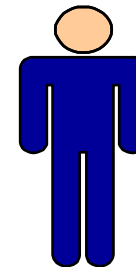
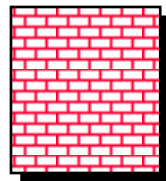
Χρόνος



απόσταση



θωράκιση



Σήματα ραδιενέργειας

ΙΟΝΤΙΖΟΥΣΑ
ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ



ΡΑΔΙΕΝΕΡΓΟΣ ΠΗΓΗ
Ή ΣΥΣΚΕΥΗ



ΠΗΓΗ ΥΨΗΛΗΣ
ΡΑΔΙΕΝΕΡΓΕΙΑΣ



ΣΥΣΚΕΥΑΣΙΑ
ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ
ΡΑΔΙΕΝΕΡΓΩΝ



Κίνδυνος από ακτινοβολία

Πιθανότητα θανάτου 1: 1.000.000 αντιστοιχεί σε:

- Μια ακτινογραφία
- 40 κουταλιές βούτυρο
- 100 ψητές μπριζόλες
- 2 ημέρες στη Νέα Υόρκη
- 1,5 τσιγάρο
- 500 χλμ με αυτοκίνητο
- 1500 χλμ με αεροπλάνο



Δραστηριότητα	Μείωση προσδόκιμου ζωής
20 τσιγάρα ημερησίως	6.5 έτη
Παχυσαρκία (15%)	2.7 έτη
Εργασία σε ορυχεία	328 μέρες
Εργασία σε οικοδομή	302 μέρες
Ενασχόληση με γεωργία	277 μέρες
Τροχαία ατυχήματα	200 μέρες
Κατανάλωση αλκοόλ	130 μέρες
Οικιακά ατυχήματα	95 μέρες
Εργασία σε εργοστασιακές εγκαταστάσεις	43 μέρες
Εργασία σε χώρους ακτινοβολίας	30 μέρες
Ακτινοβολία ιατρικών εξετάσεων	6 μέρες

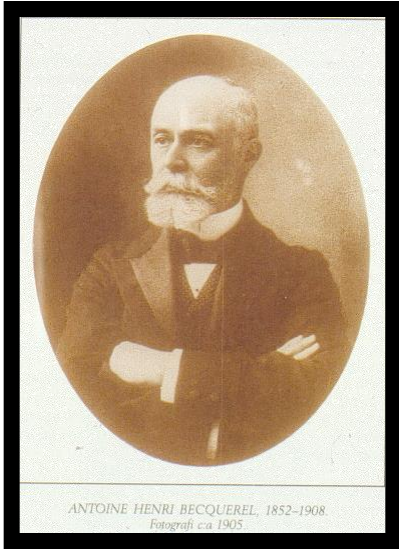
Ιατρική Φυσική: Τί είναι;

Είναι ο κλάδος της Φυσικής επιστήμης που εφαρμόζει τις αρχές της Φυσικής στην Ιατρική με στόχο την πρόληψη, την διάγνωση και την θεραπεία ασθενειών και την βελτίωση της υγείας των ανθρώπων

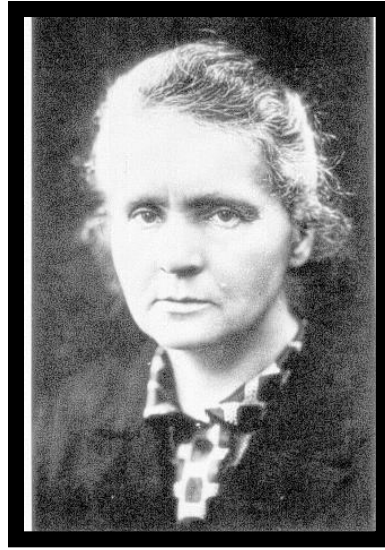


Ιστορική αναδρομή

Η εφαρμογή των ακτινοβολιών στην Ιατρική ξεκίνησε στα τέλη του 19ου αιώνα, αμέσως μετά την ανακάλυψη των ακτίνων – Χ από τον Ρέντγκεν.

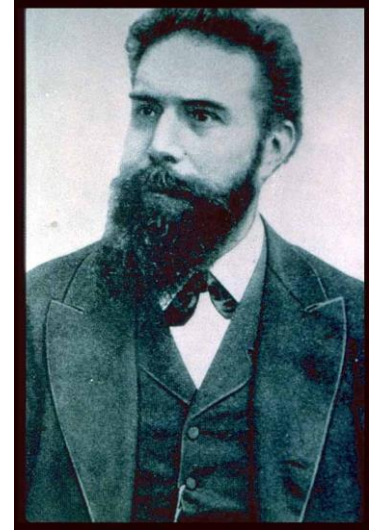


Henri Becquerel
1852-1908



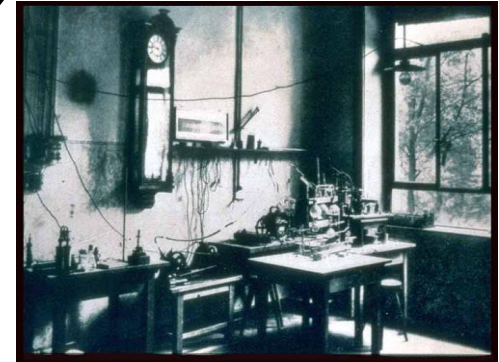
Maria Curie
1867-1934

Έκτοτε αναπτύχθηκε πλήθος εφαρμογών των ακτινοβολιών τόσο ιοντιζουσών, όσο και μη ιοντιζουσών, τόσο στη διάγνωση όσο και στη θεραπεία.

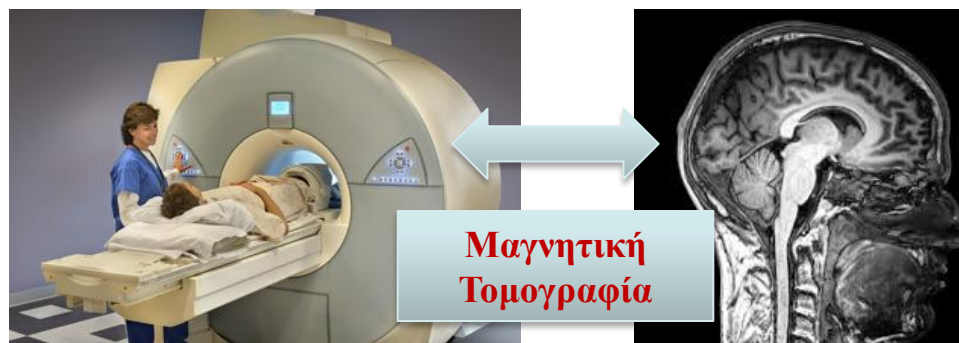


Wilhelm Conrad ROENTGEN (1845-1923)

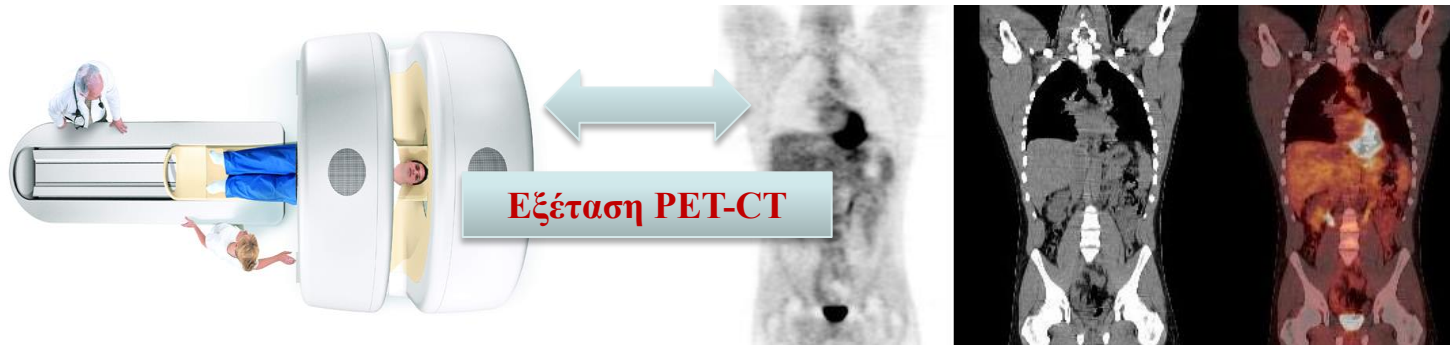
Η 1^η Ακτινογραφία (το χέρι της γυναίκας του ROENTGEN)



Εφαρμογές ακτινοβολιών στην Ακτινοδιάγνωση



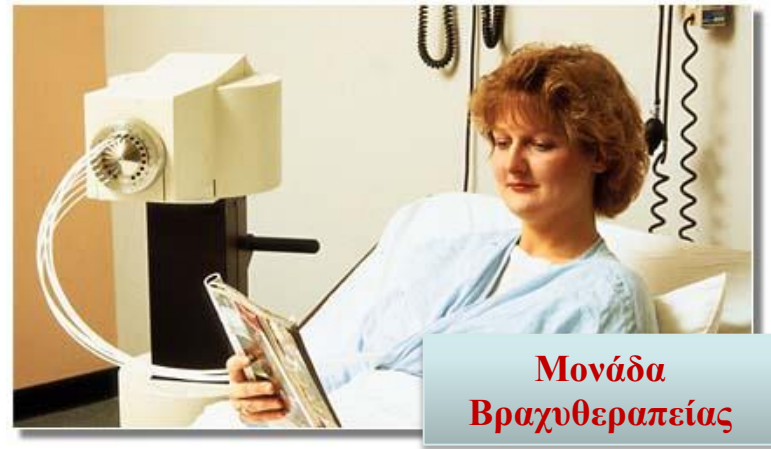
Εφαρμογές ακτινοβολιών στην Πυρηνική Ιατρική



Εφαρμογές ακτινοβολιών στην Ακτινοθεραπεία



**Γραμμικός
Επιταχυντής**



**Μονάδα
Βραχυθεραπείας**



Cyber Knife

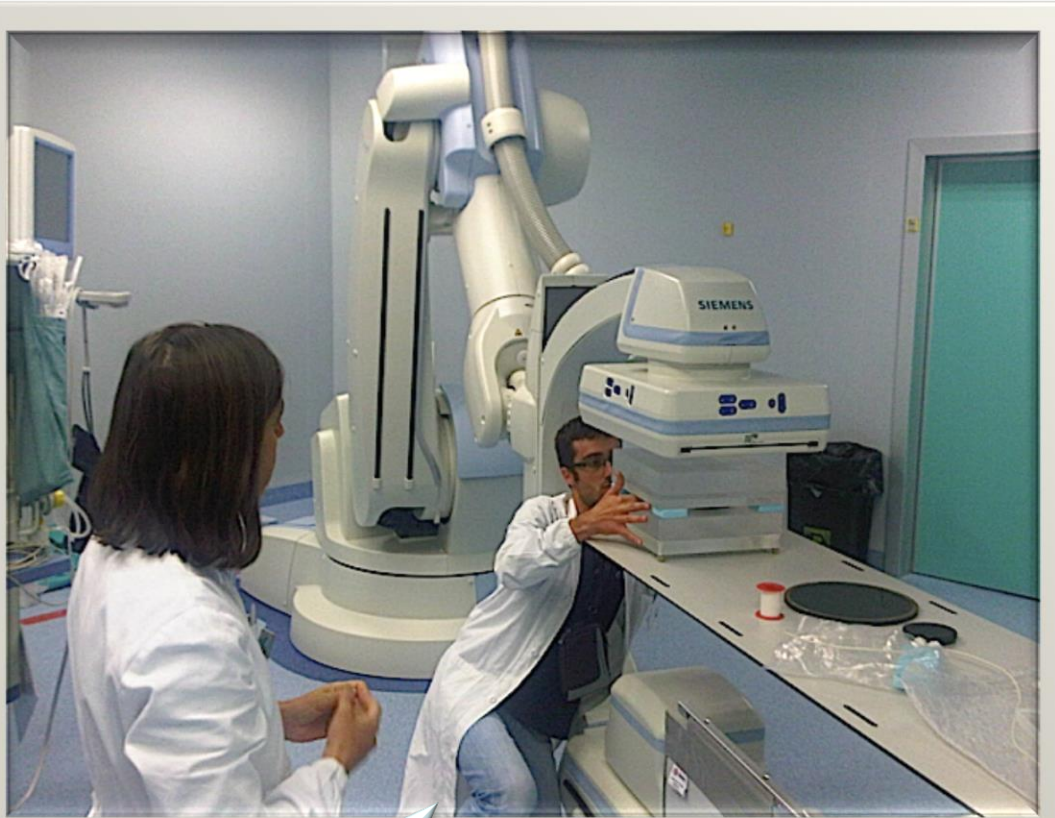


Gamma Knife

Ο Ακτινοφυσικός ορίζεται υπεύθυνος για:

- Έλεγχο σωστής λειτουργίας μηχανημάτων ακτινοβολίας
- Ακτινοπροστασία των εργαστηρίων
- Εκπαίδευση σε ζητήματα ακτινοπροστασίας
- Βελτιστοποίηση διαγνωστικών και θεραπευτικών εφαρμογών

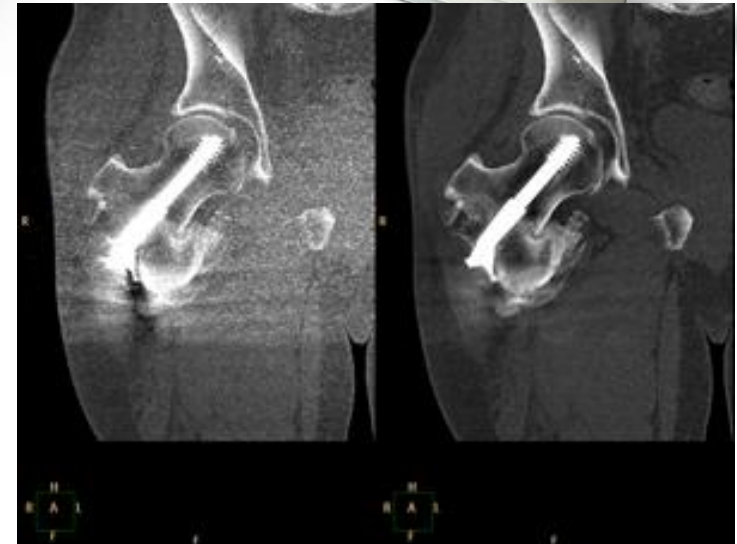
Ρόλος Ακτινοφυσικού στην ΑΚΤΙΝΟΔΙΑΓΝΩΣΗ



ΕΛΕΓΧΟΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ
ΜΗΧΑΝΗΜΑΤΟΣ



ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ
ΕΞΕΤΑΣΕΩΝ



ΠΡΙΝ

ΜΕΤΑ

Ρόλος Ακτινοφυσικού στην ΠΥΡΗΝΙΚΗ ΙΑΤΡΙΚΗ



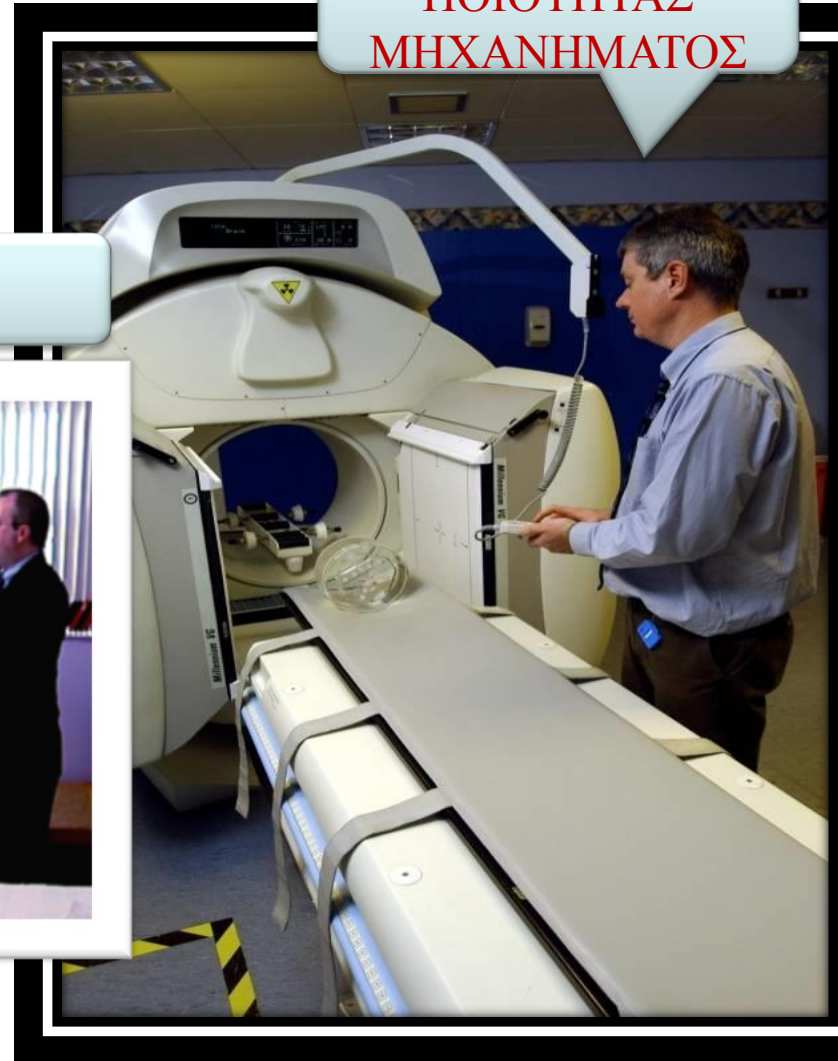
ΔΟΣΕΙΣ
ΡΑΔΙΟΦΑΡΜΑΚΟΥ



ΜΕΤΡΗΣΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ

ΓΡΑΠΤΕΣ
ΟΔΗΓΙΕΣ

ΕΛΕΓΧΟΣ
ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ
ΜΗΧΑΝΗΜΑΤΟΣ

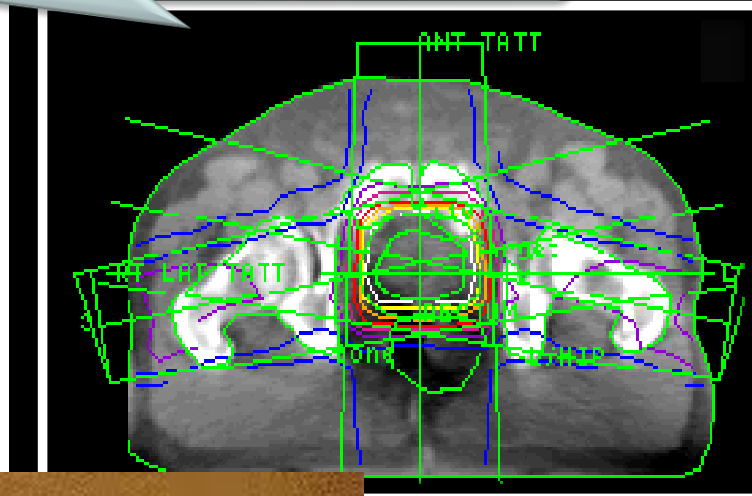


Ρόλος Ακτινοφυσικού στην ΑΚΤΙΝΟΘΕΡΑΠΕΙΑ



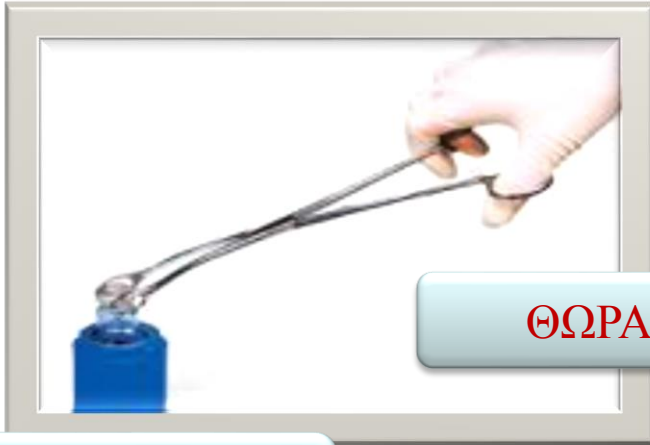
ΕΛΕΓΧΟΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ
ΜΗΧΑΝΗΜΑΤΟΣ

ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΘΕΡΑΠΕΙΑΣ



IN VIVO
ΔΟΣΙΜΕΤΡΗΣΗ

Ρόλος Ακτινοφυσικού στην ΑΚΤΙΝΟΠΡΟΣΤΑΣΙΑ



ΘΩΡΑΚΙΣΕΙΣ



ΔΟΣΙΜΕΤΡΗΣΗ

ΜΕΤΡΗΣΗ
ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ



ΑΣΘΕΝΗΣ ΜΕΤΑ ΑΠΟ ΕΞΕΤΑΣΗ
ΠΥΡΗΝΙΚΗΣ ΙΑΤΡΙΚΗΣ



ΠΑΡΟΧΗ
ΑΝΑΛΥΤΙΚΩΝ
ΟΔΗΓΙΩΝ

Ένωση Φυσικών Ιατρικής Ελλάδας

... Για περαιτέρω ενημέρωση σας
επισκεφθείτε τις ιστοσελίδες:

www.eeae.gr

Ελληνική Επιτροπή Ατομικής Ενέργειας

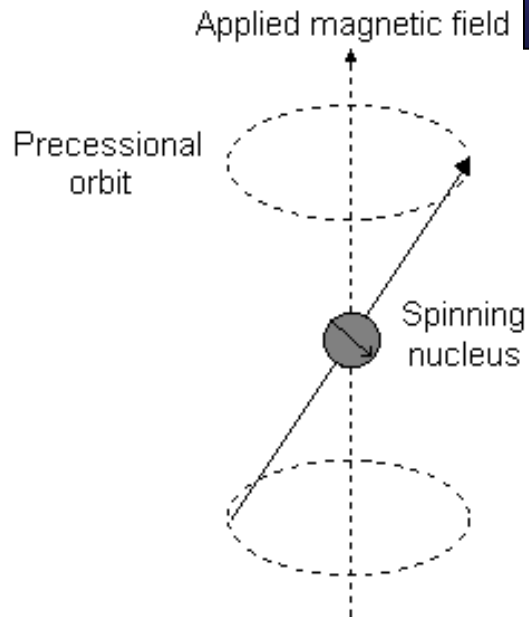
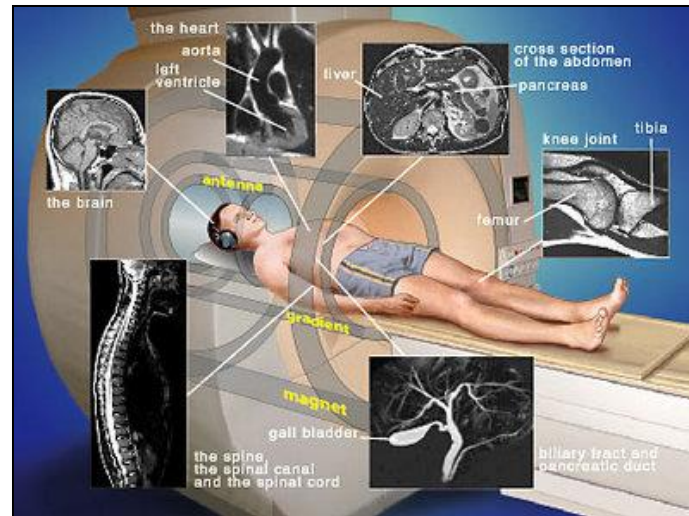


www.efie.gr

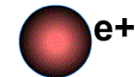
Ένωση Φυσικών Ιατρικής Ελλάδος



NMR



MRI



PET

Α. Λιόλιος
Μάθημα Πυρηνικής

Μαγνητική ροπή των p και n

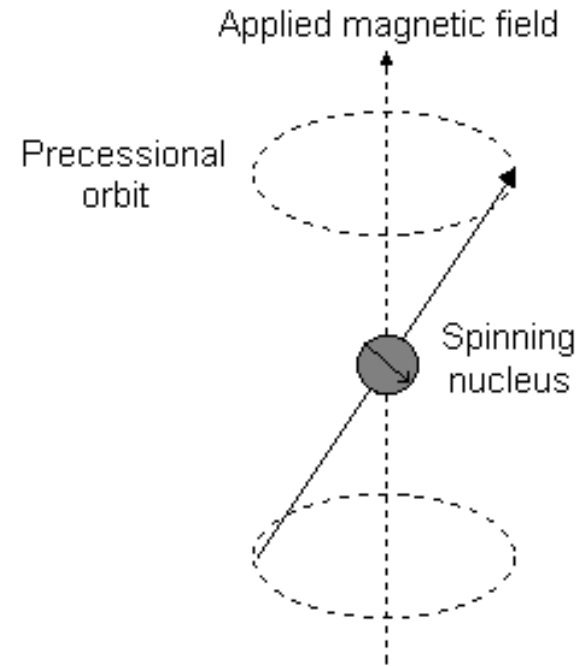
Τα πρωτόνια και τα νετρόνια έχουν μαγνητική διπολική ροπή, που είναι συγγραμμική με το spin τους.

Σε αναλογία με τη **μαγνητόνη Bohr** που είναι η μονάδα μαγνητικής διπολικής ροής στην Ατομική Φυσική, ορίζεται η **πυρηνική μαγνητόνη** στην Πυρηνική Φυσική:

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

(σύστημα μονάδων SI)

με τιμή: $\mu_N = 3.15245 \times 10^{-8} \text{ eV/Tesla}$



Η τοποθέτηση μαγνητικής ροής μέσα σε μαγνητικό πεδίο, προκαλεί μεταπτωτική κίνηση και προσδίδει στη μαγνητική ροπή, **δυναμική ενέργεια**:

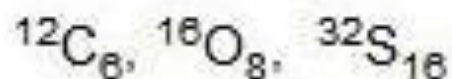
$$V_B = -\vec{\mu} \cdot \vec{B}$$

Γωνιακή Ορμή του Πυρήνα: Πυρηνικό Spin

- Διανυσματική σύζευξη των τροχιακών στροφορμών (**I**) και σπιν(**s**) των νουκλεονίων του πυρήνα
 - Τα διάφορα πυρηνικά μοντέλα ορίζουν τον τρόπο σύζευξης των διανυσμάτων **L**, **s**
- Λογικό να υποθέσουμε ότι όμοια νουκλεόνια: nn, pp, φτιάχνουν ζευγάρια με ίσα και αντίθετα σπιν και στροφορμή (σε συμφωνία και με την αρχή του Pauli, και λόγω ελάχιστης δυναμικής ενέργειας)

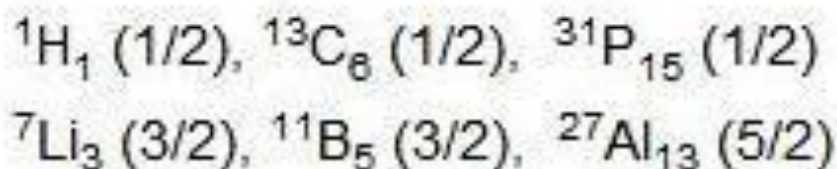
even
even **M**

$$I = 0$$



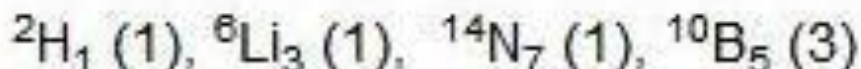
odd
any **M**

$$I = 1/2, 3/2, 5/2 \dots$$



even
odd **M**

$$I = 1, 2, 3 \dots$$

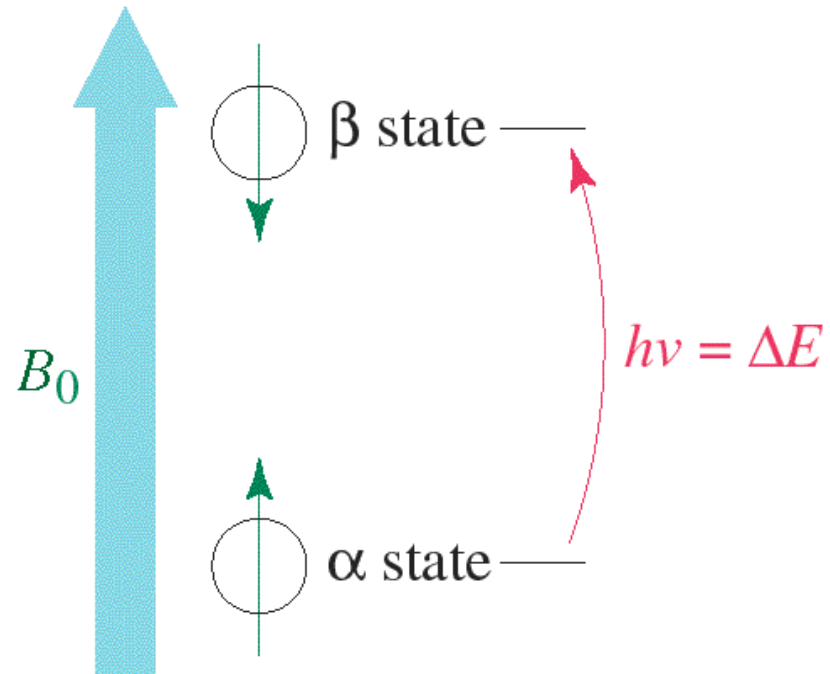


Η βασική κατάσταση του πυρηνικού σπιν ενός πυρήνα μετريέται με τις μεθόδους της Υπερλεπτής Υφής και του Μαγνητικού Συντονισμού

NMR = Nuclear Magnetic Resonance

ΒΑΣΙΚΗ ΑΡΧΗ

Κάποιοι πυρήνες, π.χ. οι ^1H , ^{13}C , ^{19}F , ^{31}P έχουν spin και επομένως μαγνητική ροπή (δηλαδή είναι μικροσκοπικά μαγνητικά δίπολα). Τοποθετούμενοι εντός μαγνητικού πεδίου, παίρνουν προσανατολισμό κατά την διεύθυνση του μαγνητικού πεδίου (προσανατολισμός α) ή αντίθετα από αυτήν (προσανατολισμός β).



Ο προσανατολισμός α αντιστοιχεί σε χαμηλότερη ενέργεια, ενώ ο β αντιστοιχεί σε υψηλότερη ενέργεια. Το πόσο χαμηλότερη ή υψηλότερη είναι η ενέργεια, εξαρτάται από την ένταση του μαγνητικού πεδίου. Μπορούμε να βρούμε πειραματικά την ενεργειακή διαφορά μεταξύ των καταστάσεων α - και β - των πρωτονίων μιας ουσίας, ακτινοβολώντας την με ΗΜ ακτινοβολία της σωστής ενέργειας (πυρηνικός συντονισμός).

NMR: ΒΑΣΙΚΗ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΑΡΧΗ

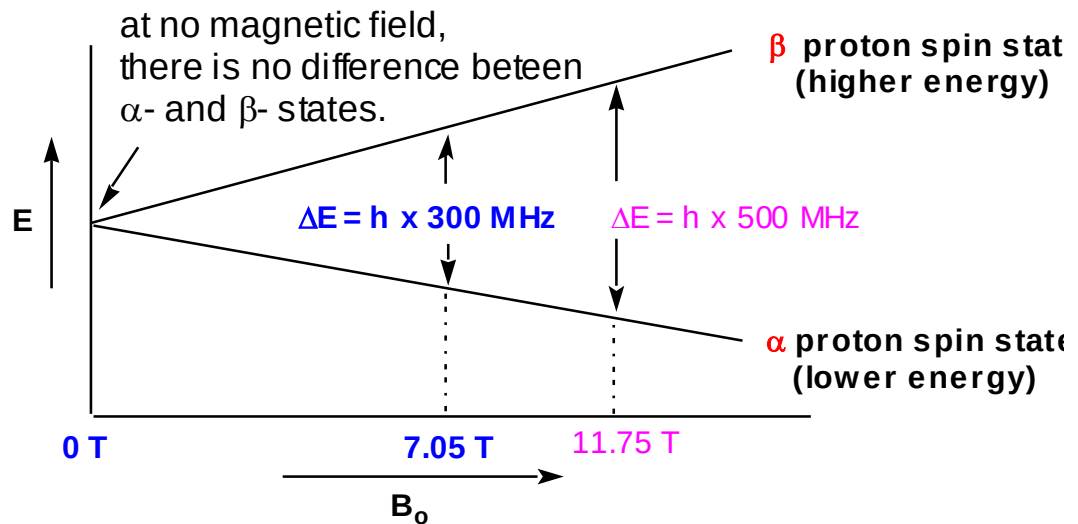
Ισχυρότερο μαγνητικό πεδίο σημαίνει μεγαλύτερη ενεργειακή διαφορά στις καταστάσεις α και β .

Έτσι για τα πρωτόνια ενός μορίου, π.χ. του CH_4 , τοποθετημένου μέσα σε μαγνητικό πεδίο π.χ. 7.05 Tesla, η ΗΜ ακτινοβολία πυρηνικού συντονισμού είναι περίπου 300 MHz (ραδιοκύματα), ενώ σε μαγνητικό πεδίο π.χ. 11.75 Tesla, η ΗΜ ακτινοβολία πυρηνικού συντονισμού είναι περίπου 500 MHz.

Έτσι, όταν προσπίπτει ακτινοβολία αυτής της συγκεκριμένης συχνότητας, τα πρωτόνια του μεθανίου την απορροφούν έντονα, και εμείς μπορούμε να μετρήσουμε αυτή την απορρόφηση.

$$\Delta E = h\nu = g\hbar B_0$$

Graphical relationship between magnetic field (B_0) and frequency (ν) for ^1H NMR absorptions



Για την εύκολη σύγκριση των δεδομένων NMR που λαμβάνονται με διαφορετικά μαγνητικά πεδία, τα δεδομένα αναφέρονται χρησιμοποιώντας την κλίμακα της “χημικής μετατόπισης” (“chemical shift” scale).

Η κλίμακα χημικής μετατόπισης (συμβολίζεται και ως δ)

Η κλίμακα χημικής μετατόπισης δ είναι ένας δείκτης που χαρακτηρίζει την ουσία χωρίς να εξαρτάται από την ένταση του χρησιμοποιούμενου μαγνητικού πεδίου.

Π.χ. για κάποιο B, αν μια πρότυπη ουσία απορροφά στα $\nu_0 = 300,000,000$ Hz (300 MHz) και το μελετώμενο δείγμα στα $\nu_1 = 300,000,300$ Hz, το δ είναι:

$$\delta = \Delta\nu/\nu_0 = 300/300,000,000 = 10^{-6} = 1 \text{ part per million (1 PPM).}$$

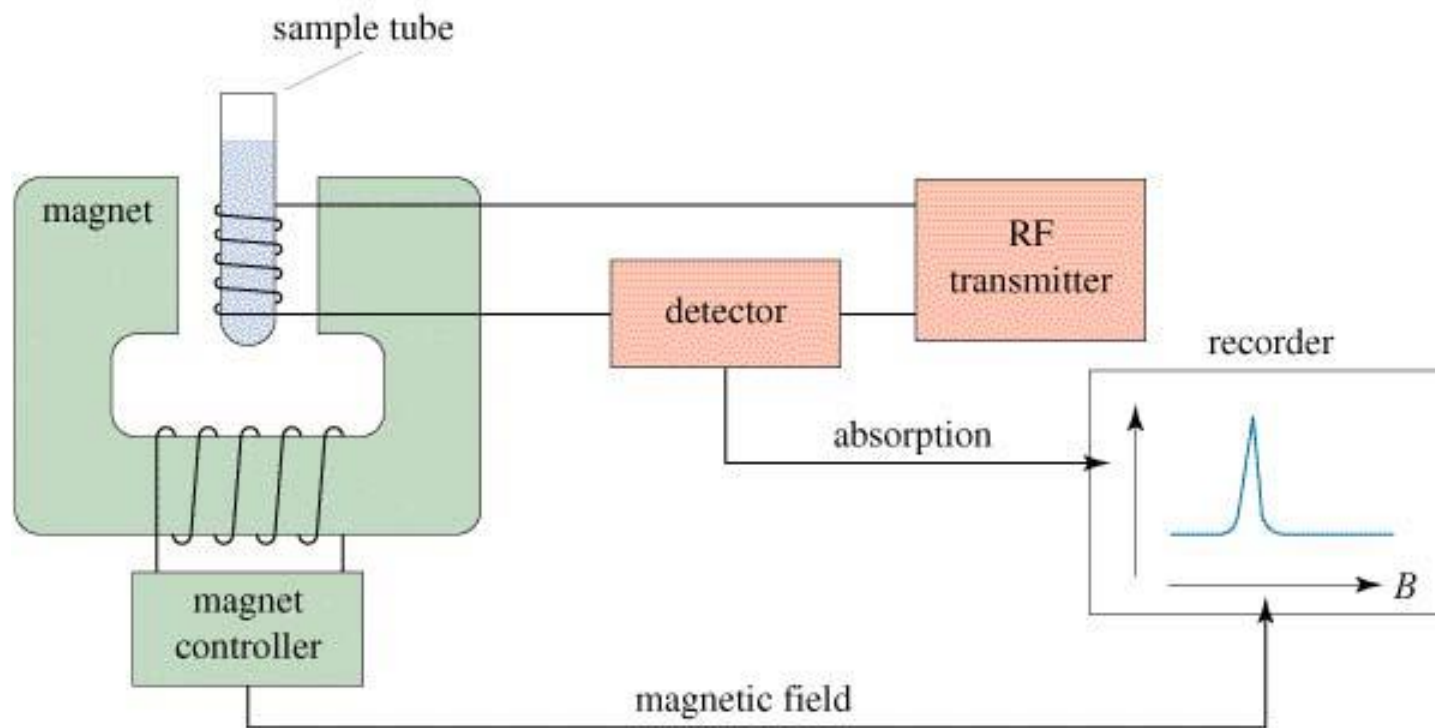
Για κάποιο ισχυρότερο πεδίο, έστω ότι $\nu_0 = 500,000,000$ Hz (500 MHz) και το μελετώμενο δείγμα θα πάει αναλογικά στα $\nu_1 = 500,000,500$ Hz, οπότε:

$$\delta = \Delta\nu/\nu_0 = 500/500,000,000 = 10^{-6} = 1 \text{ part per million (1 PPM).}$$

Άρα, η κλίμακα χημικής μετατόπισης δ δεν εξαρτάται από την ένταση του χρησιμοποιούμενου μαγνητικού πεδίου.

Πρωτόνια σε διαφορετικό χημικό περιβάλλον (άλλους δεσμούς) έχουν και διαφορετικά δ . Ο κύριος λόγος είναι ότι έχουν διαφορετική προάσπιση (shielding) από τα ηλεκτρόνια του κάθε δεσμού έναντι του μαγνητικού πεδίου. (Τα ηλεκτρόνια έχουν και αυτά μαγνητική ροπή λόγω τροχιάς και λόγω σπιν).

The NMR Spectrometer



NMR Spectrometer Used by the Undergraduate Organic Labs

Spectrum observed on computer monitor here.

Sample is lowered into the magnetic field here (there's a hole in the center of the magnet).

Big superconducting magnet, cooled in liquid helium. Source of the magnetic field (B_0).

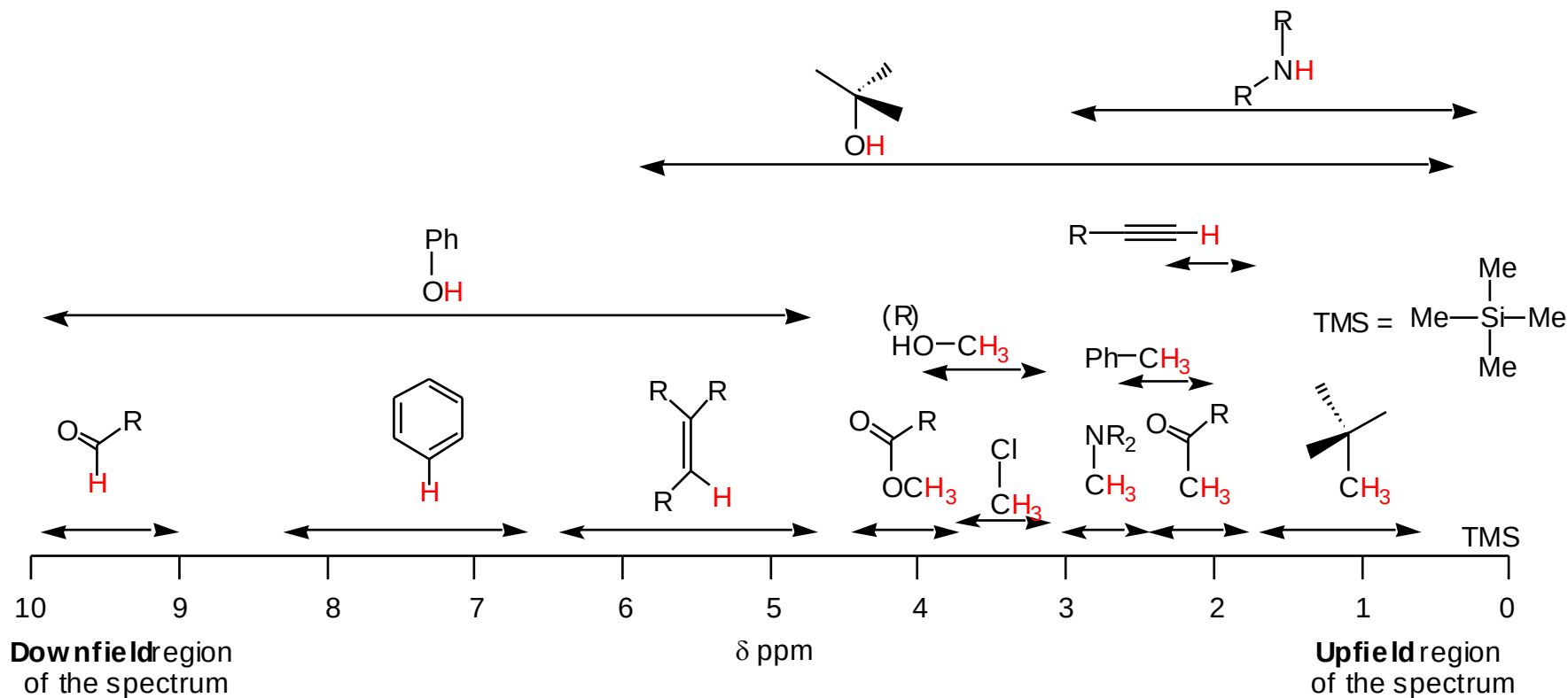
Wooden chair, no magnetic metals allowed near the magnet!



Radio transmitter and receiver tuned to 300 MHz

Chemical Shift Data

Παρουσιάζονται μερικά κοινά είδη πρωτονίων (δηλ. χημικών δεσμών με πρωτόνια) με τις αντίστοιχες τιμές δ . Ως ουσία αναφοράς έχει ληφθεί η tetramethylsilane (TMS) για την οποία η χημική μετατόπιση εμφανίζεται στην τιμή 0 ppm.



Τυπικές τιμές δ

Type of Proton	Approximate δ	Type of Proton	Approximate δ
alkane ($-\text{CH}_3$)	0.9	>C=C<CH_3	1.7
alkane ($-\text{CH}_2-$)	1.3	Ph- H	7.2
alkane ($\begin{array}{c} \\ -\text{CH}- \\ \end{array}$)	1.4	Ph- CH_3	2.3
$\begin{array}{c} \text{O} \\ \\ -\text{C}-\text{CH}_3 \end{array}$	2.1	R- CHO	9-10
$-\text{C}\equiv\text{C}-\text{H}$	2.5	R-COO H	10-12
R- CH_2-X (X = halogen, O)	3-4	R-O H	variable, about 2-5
$\begin{array}{c} \diagup \text{C}=\text{C} \diagdown \\ \text{H} \end{array}$	5-6	Ar-O H	variable, about 4-7
		R-N H_2	variable, about 1.5-4

Note: These values are approximate, as all chemical shifts are affected by neighboring substituents.

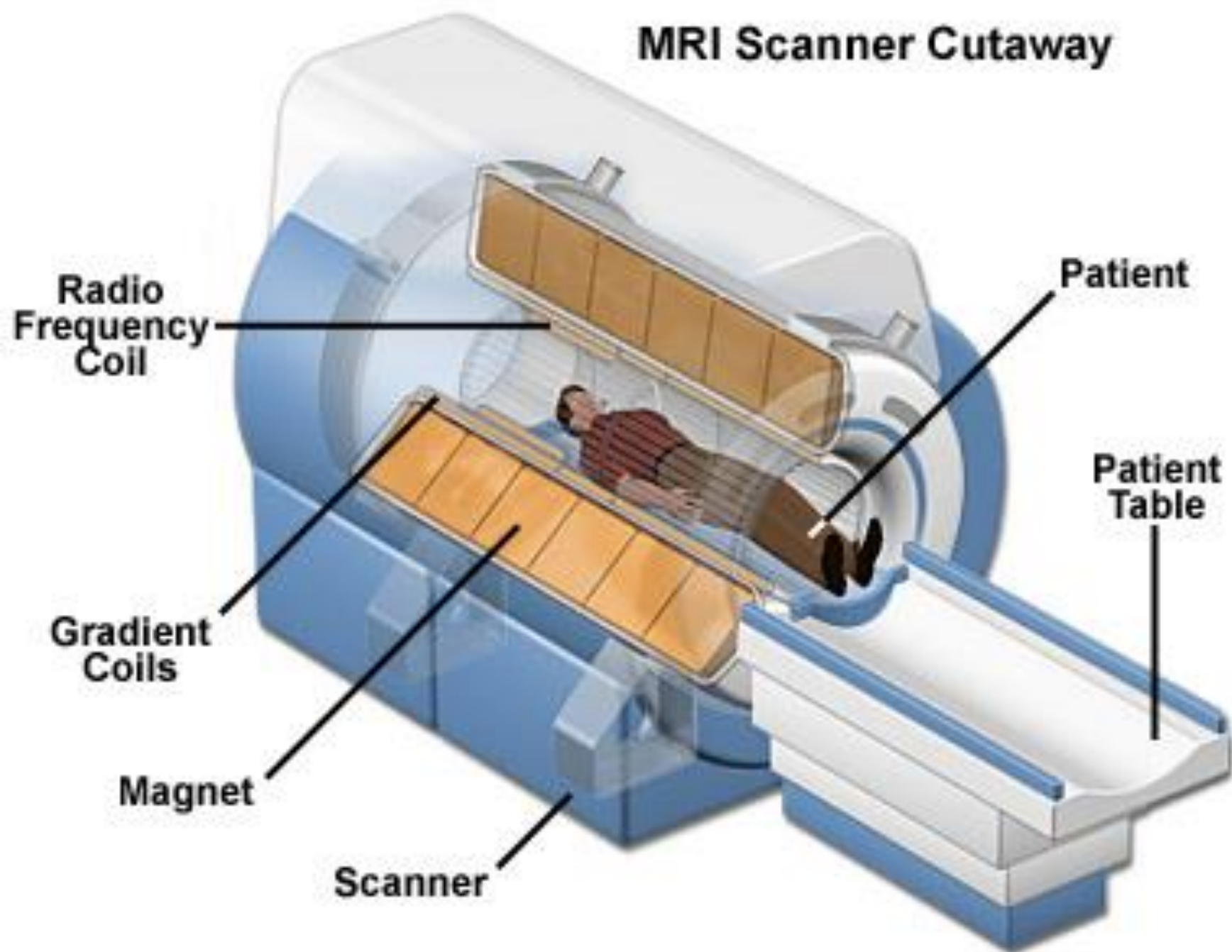
Μαγνητική Τομογραφία (MRI)

Η Απεικόνιση
Μαγνητικού Συντονισμού
(*Magnetic Resonance
Imaging-MRI*), ή αλλιώς
Πυρηνικός Μαγνητικός
Συντονισμός, είναι
μέθοδος απεικόνισης του
εσωτερικού ενός
οργανισμού. Θεωρείται
τεράστια ιατρική πρόοδος.

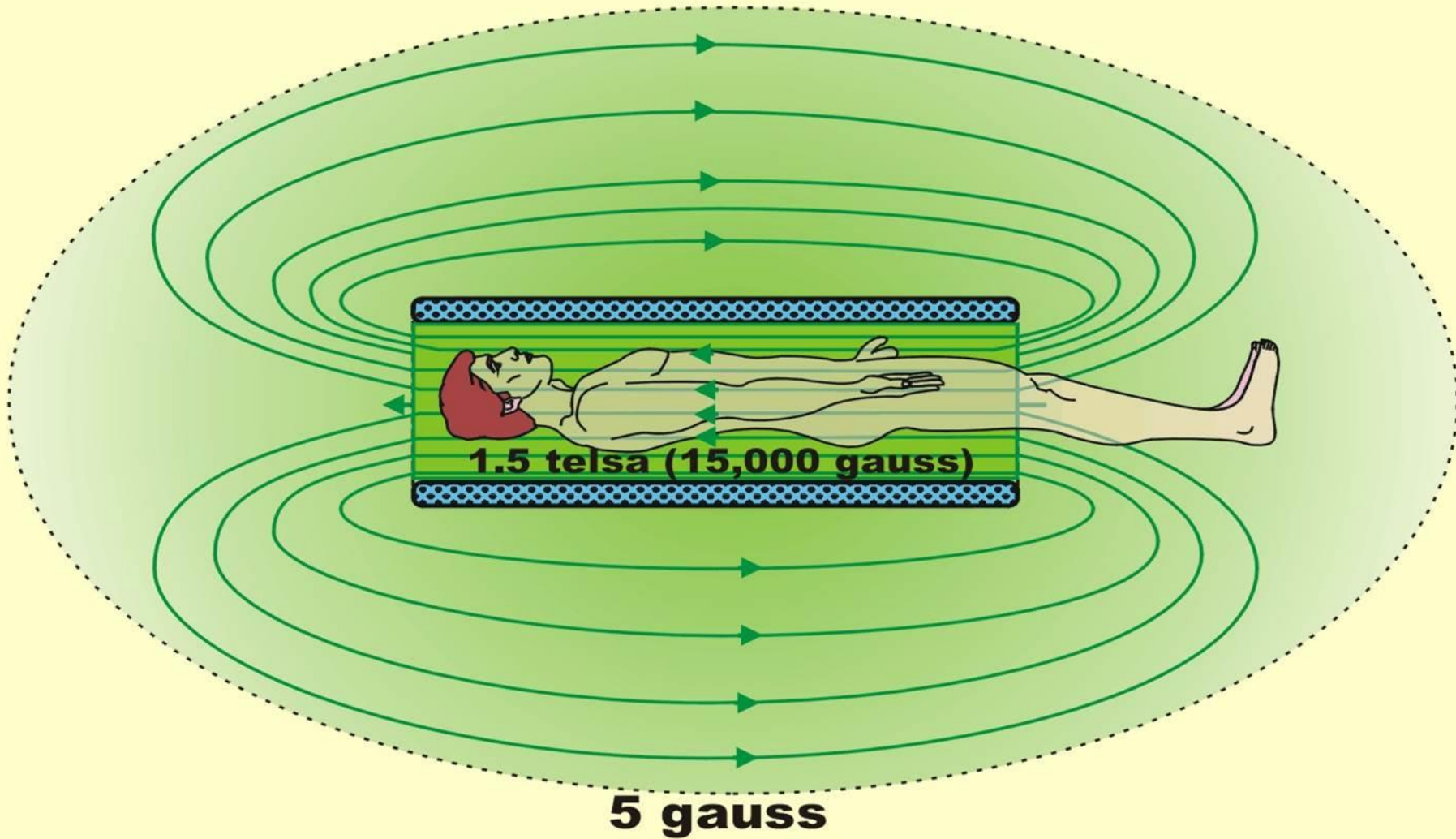


Μαγνητικός τομογράφος (Philips Achieva 3.0 T)

MRI Scanner Cutaway

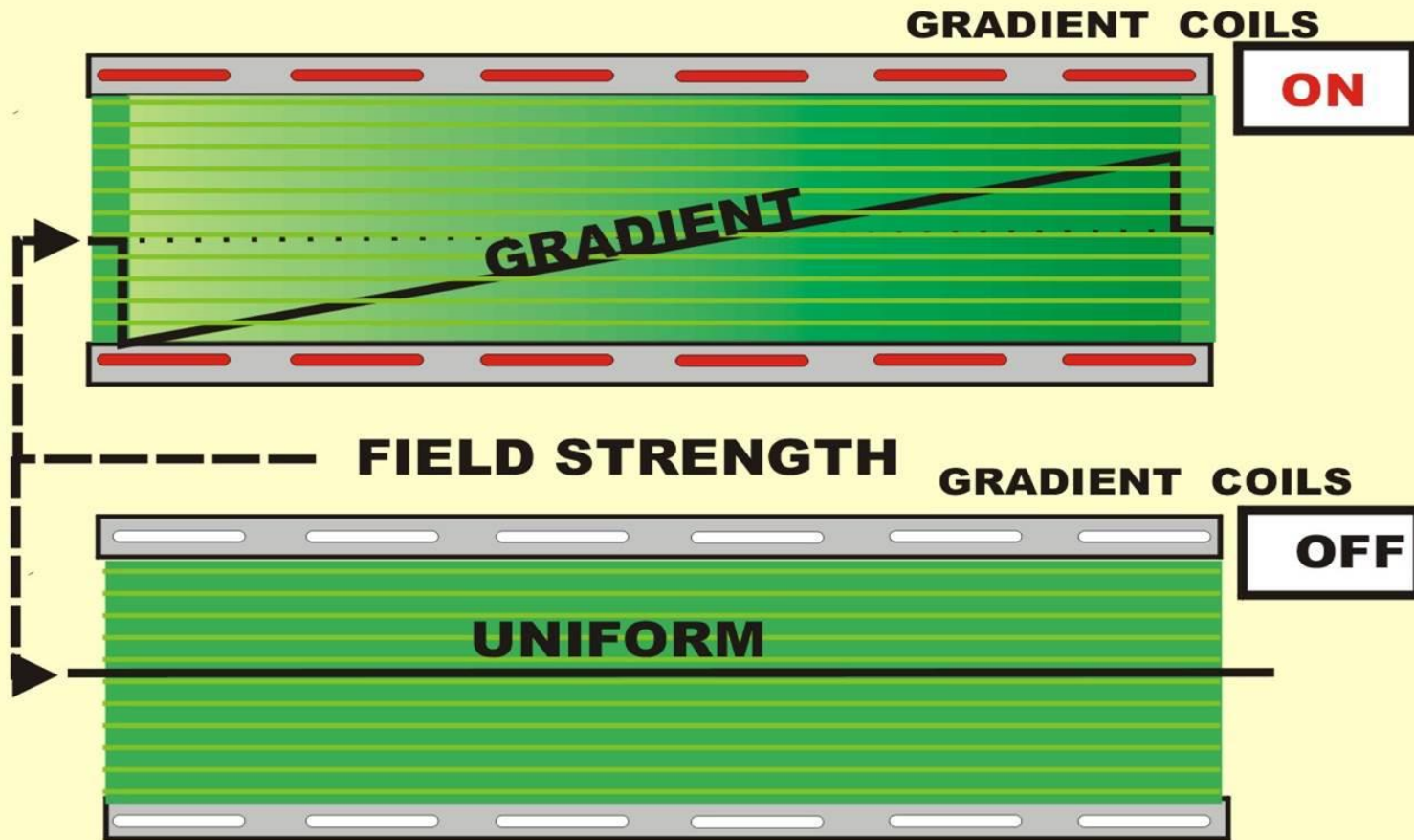


THE MAGNETIC FIELD



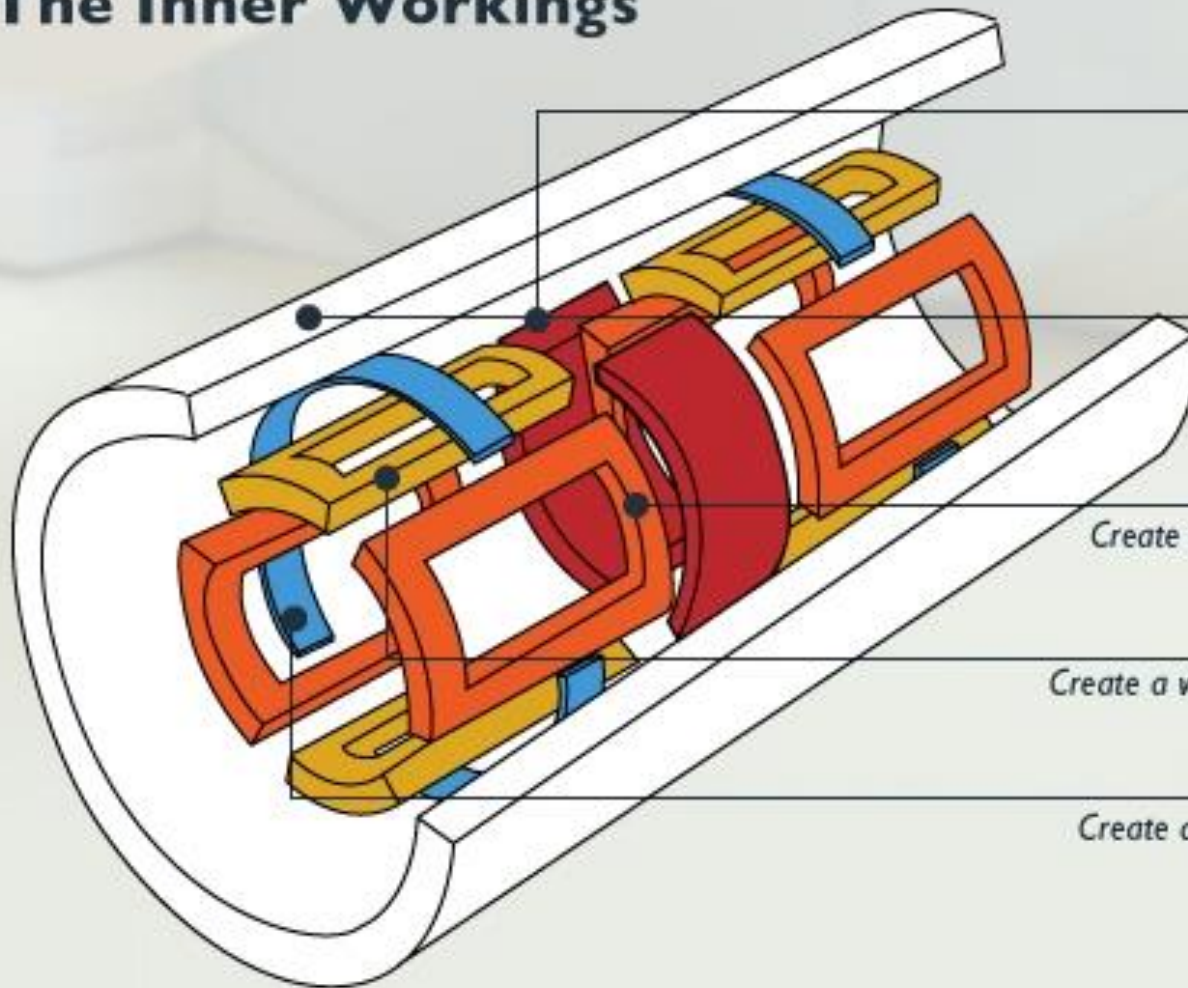
Sprawls

A MAGNETIC FIELD GRADIENT



Sprawls

The Inner Workings



Radio Frequency Transmitter & Receiver

Sends and receives radio signals

Main Magnetic Coil

Creates a uniform magnetic field

X Magnetic Coils

Create a varying magnetic field from left to right

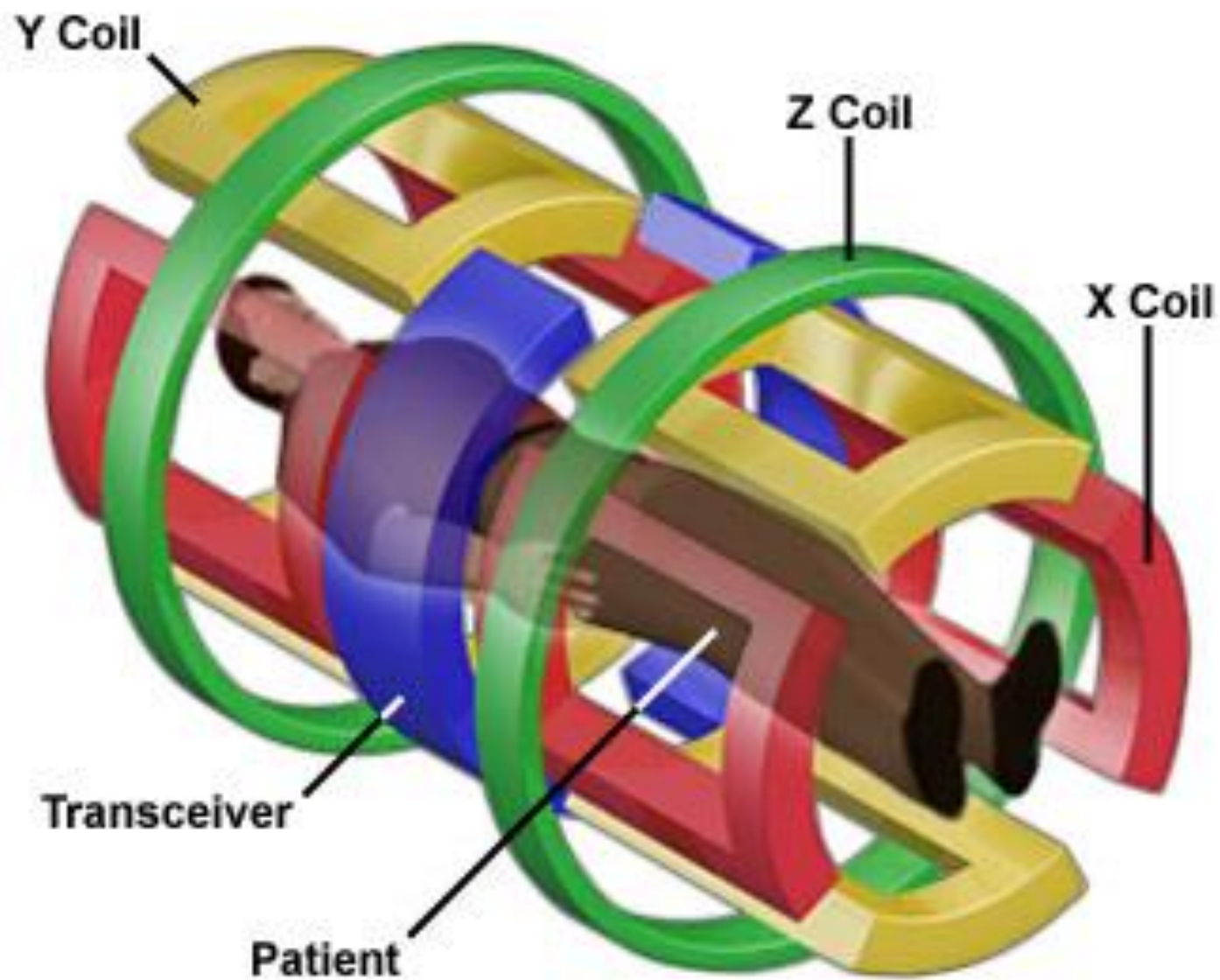
Y Magnetic Coils

Create a varying magnetic field from top to bottom

Z Magnetic Coils

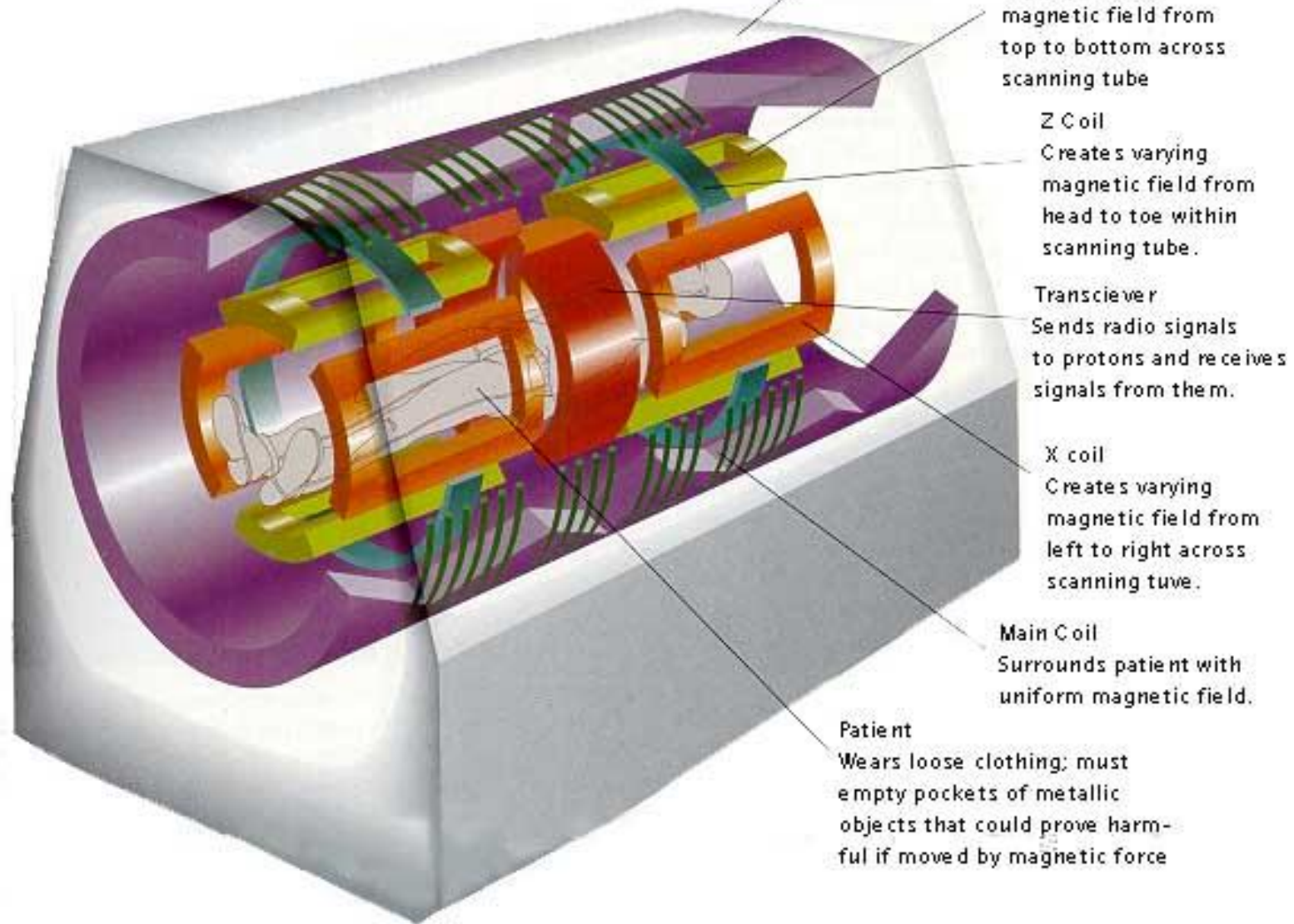
Create a varying magnetic field from head to toe

MRI Scanner Gradient Magnets

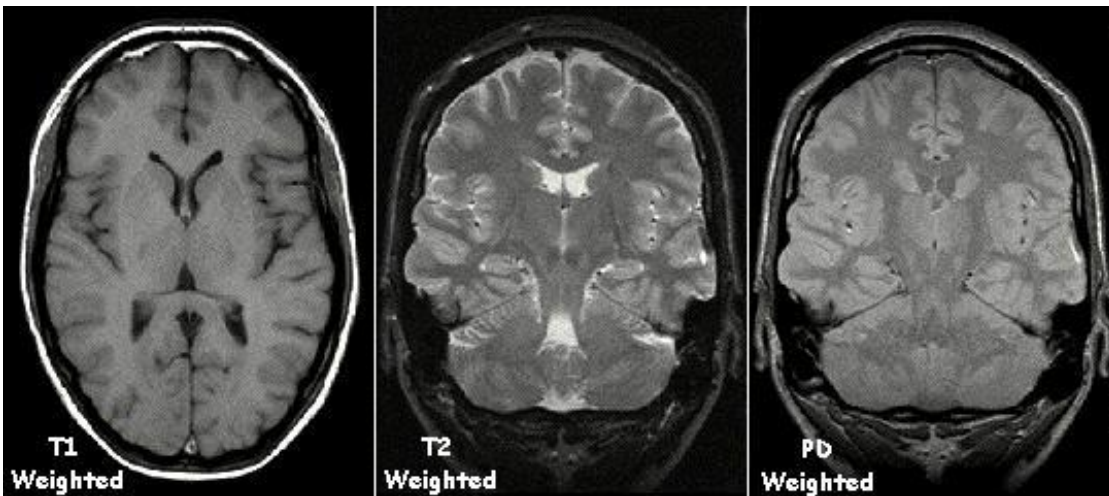


CREATING REFINED ANATOMICAL IMAGES

Within the metallic cocoon of an MRI scanner, the patient is surrounded by four electromagnetic coils and the components of a transceiver

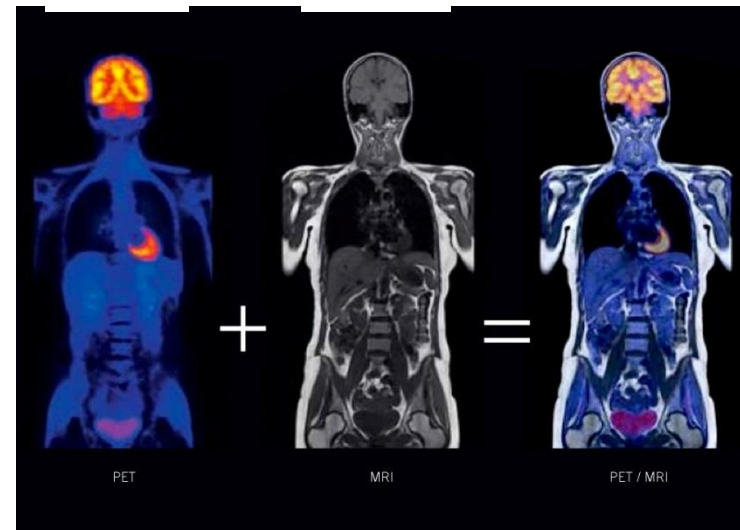


Εικόνες MRI



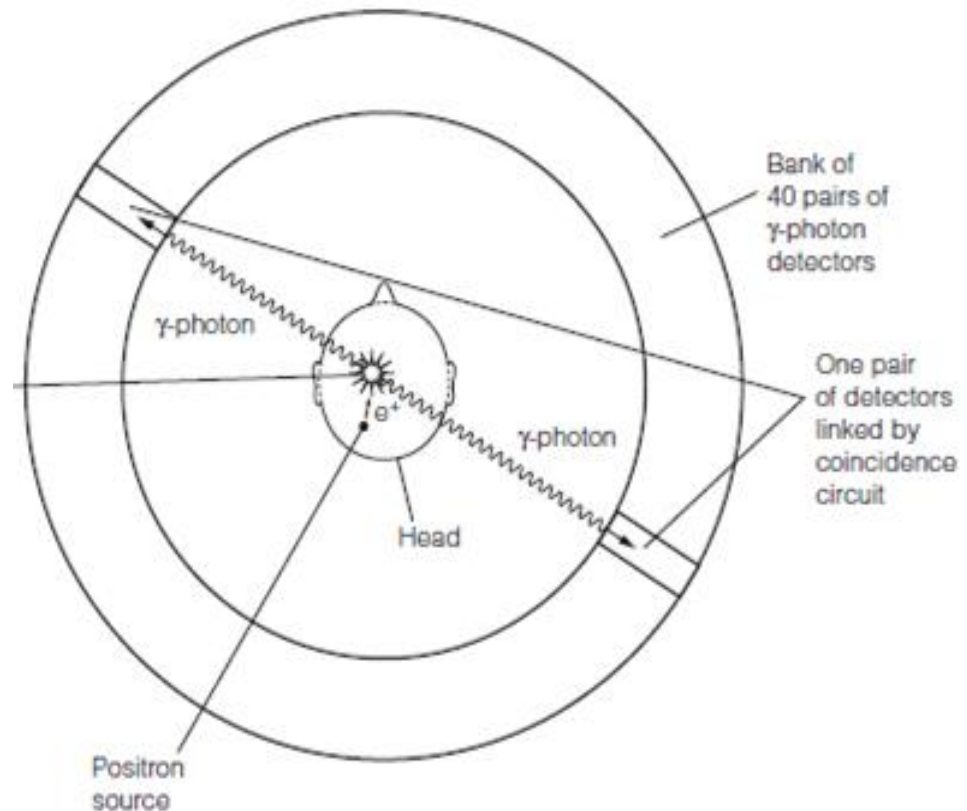
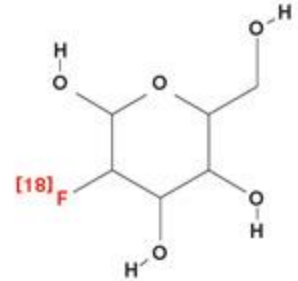
PET

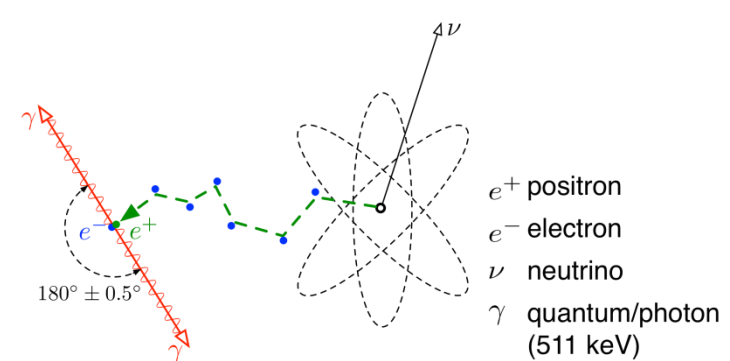
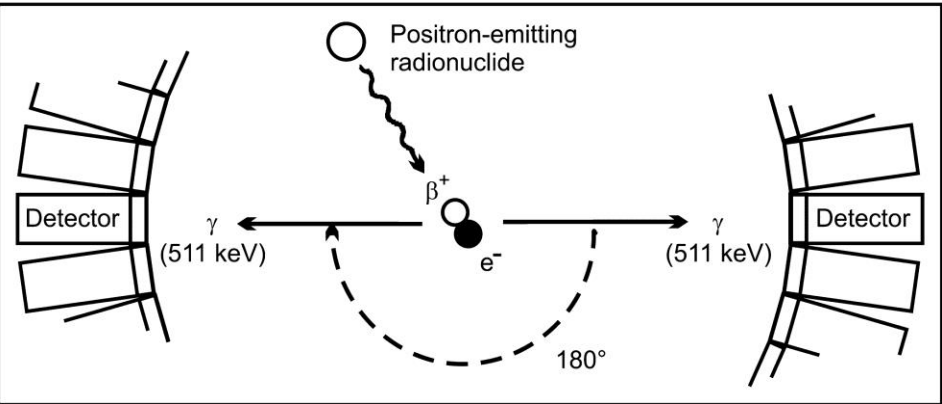
MRI



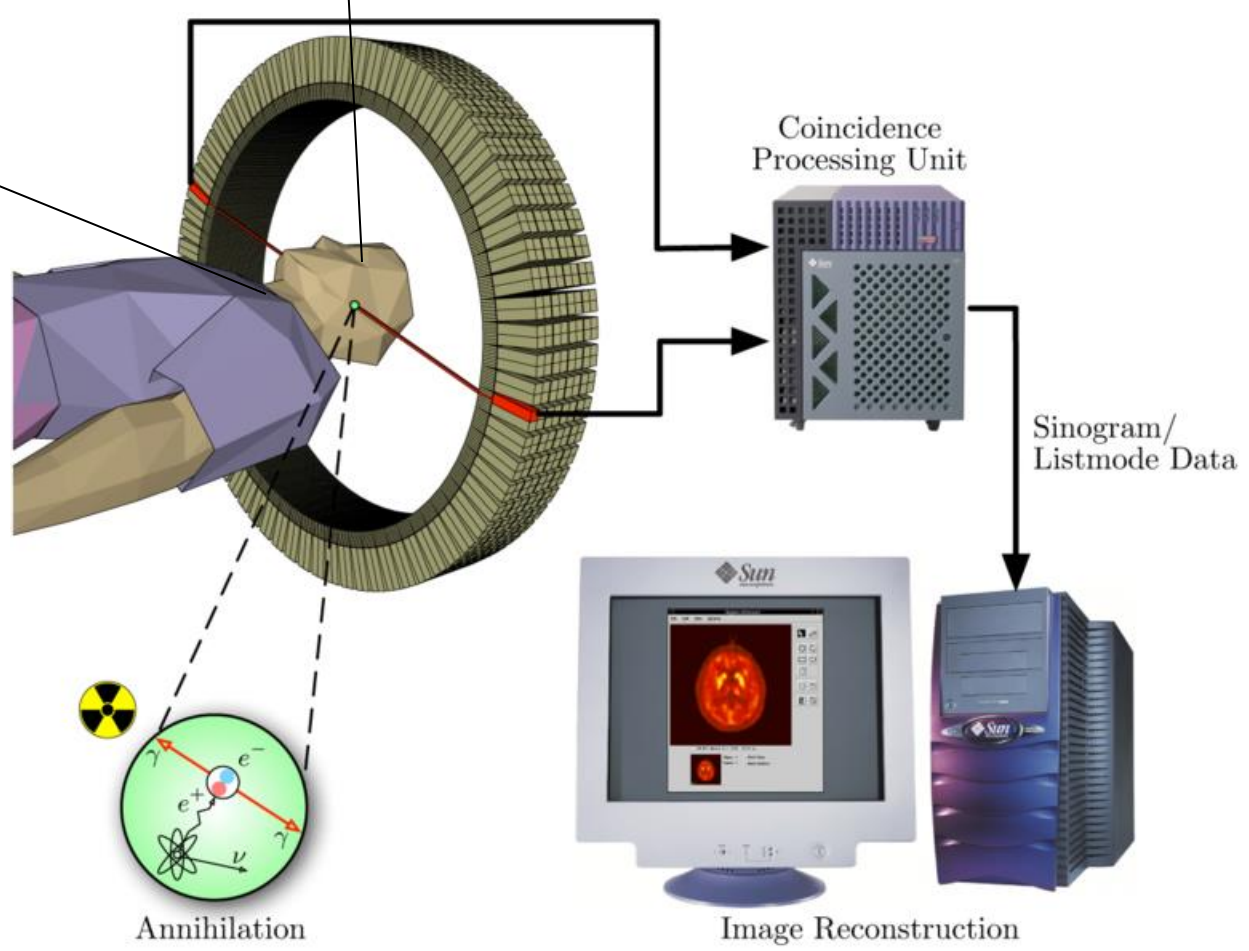
PET: Positron Emission Tomography

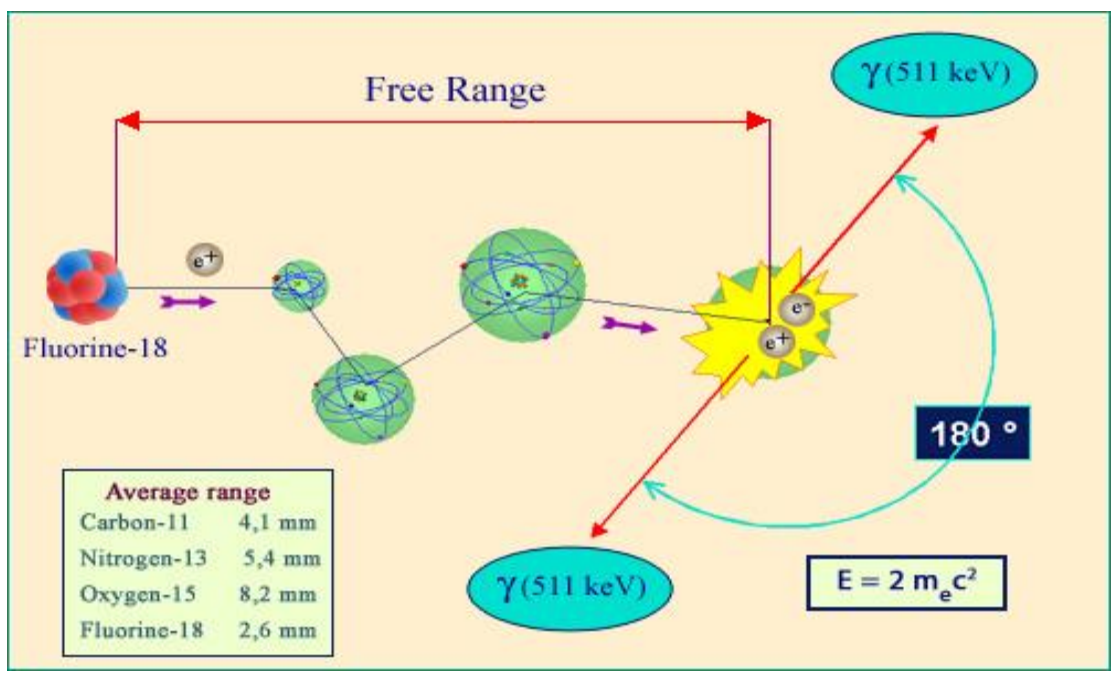
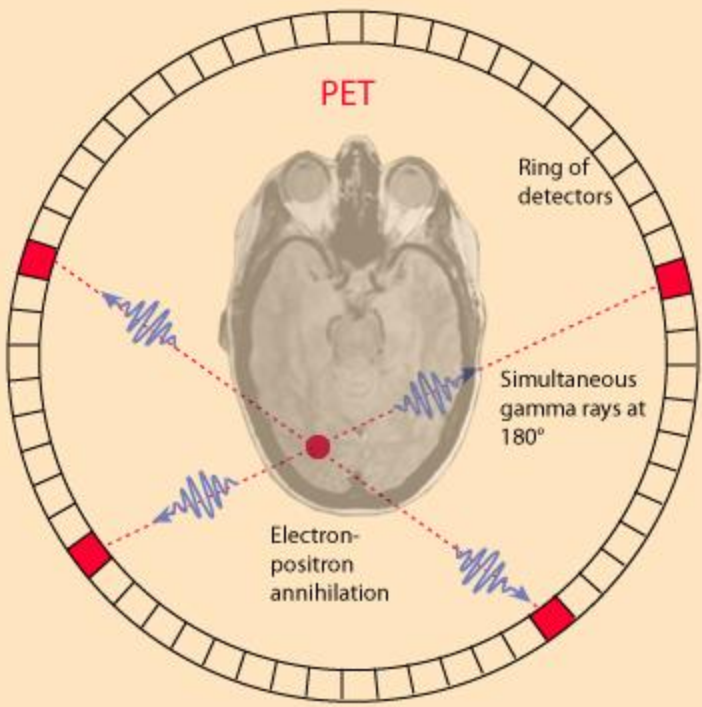
Η τομογραφία εκπομπής ποζιτρονίων γίνεται με τη χρήση κατάλληλων **ραδιοφαρμάκων** που εκπέμπουν ποζιτρόνια, δηλαδή ουσιών που φέρουν ραδιενεργό β^+ ισότοπο (π.χ. φθοριωμένη γλυκόζη ^{18}F FDG για την εξέταση λεμφωμάτων). Πρόκειται για τεχνολογία αιχμής της μεταβολικής απεικόνισης. Η αυξημένη κατανάλωση γλυκόζης από τα καρκινικά κύτταρα είναι η βάση για την αυξημένη πρόσληψη FDG στους όγκους. Συγκέντρωση του ραδιοφαρμάκου παρατηρείται επίσης σε φυσιολογικούς ιστούς με αυξημένο μεταβολισμό γλυκόζης, όπως ο εγκέφαλος και το μυοκάρδιο.





Τα 2 φωτόνια
εξαύλωσης εκπέμπονται
αντιδιαμετρικά και
επομένως το ζεύγος
σπινθηριστών που τα
ανιχνεύει, **δείχνει μια
ευθεία** πάνω στην
οποία βρίσκεται η
εναποτεθείσα γλυκόζη.

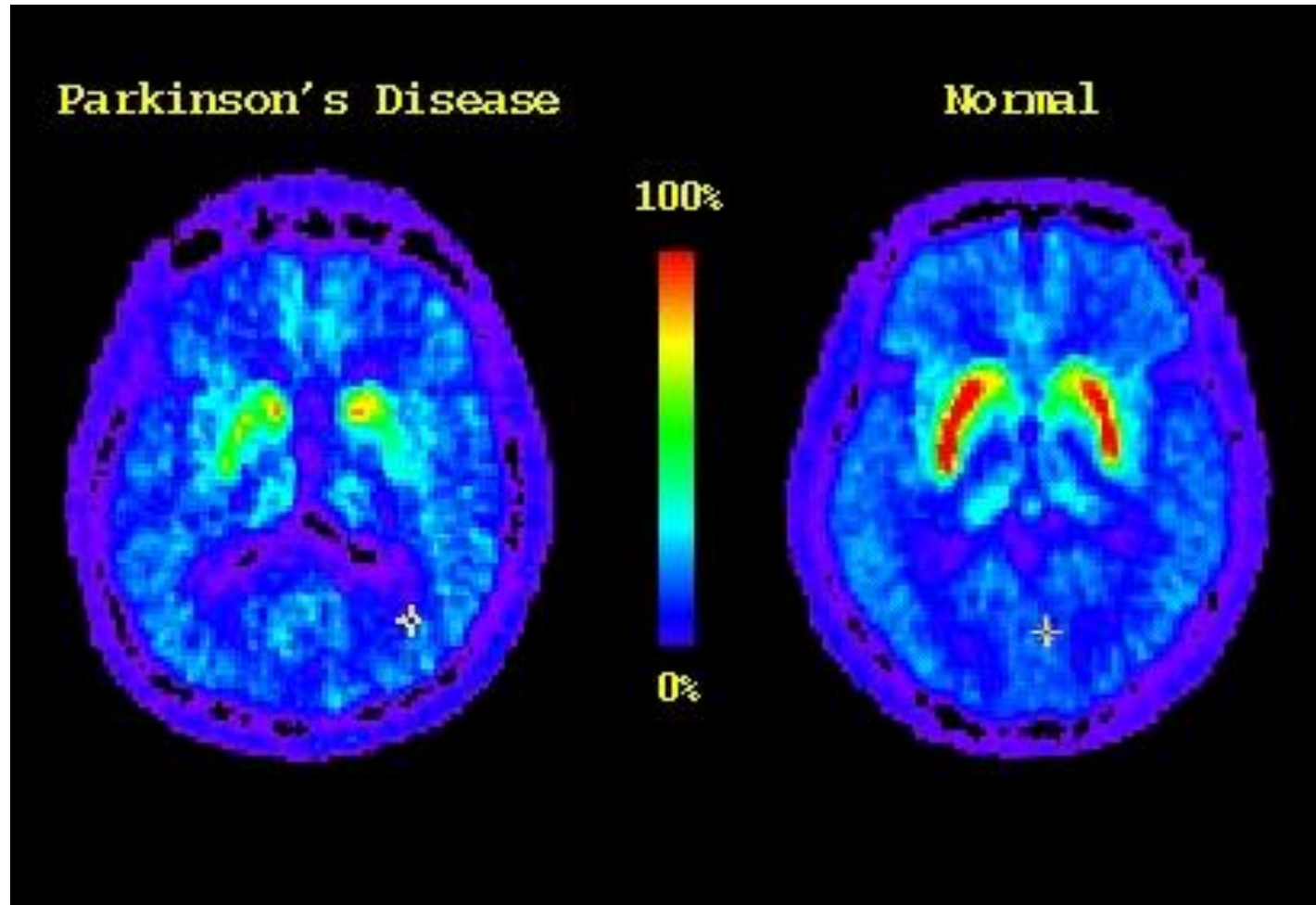




Η τομή πολλών τέτοιων ευθειών προσδιορίζει τα σημεία εξαΰλωσης άρα συγκέντρωσης του ραδιοφαρμάκου που εκπέμπει τα ποζιτρόνια και επομένως τους όγκους ή τους ιστούς που έχουν αυξημένο μεταβολισμό γλυκόζης.

Η χωρική διακριτική ικανότητα της μεθόδου είναι περιορισμένη λόγω της διάχυσης των ποζιτρονίων μέσα στον ιστό σε απόσταση λίγων mm από το σημείο που βρισκόταν ο πυρήνας που το εξέμπεμψε, δηλαδή από το σημείο στο οποίο είχε αποτεθεί το ραδιοφάρμακο

Εικόνες PET



Εικόνες PET

