


Απεικόνιση Μαγνητικού Συντονισμού

Ευάγγελος Παντελής

Επικ. Καθηγητής Ιατρικής Φυσικής, Ιατρικής Σχολή Αθηνών

- 
- Διαφάνειες μαθήματος στο site :
 - <http://eclass.uoa.gr/modules/document/document.php?course=MED703>

Απεικόνιση Μαγνητικού Συντονισμού (ΑΜΣ)



- Τι είναι;
 - ▣ Μια μέθοδος παραγωγής εικόνων του ανθρώπινου σώματος χρησιμοποιώντας το φαινόμενο του Πυρηνικού Μαγνητικού Συντονισμού (ΠΜΣ).

Πυρηνικός Μαγνητικός Συντονισμός (ΠΜΣ)

- Ποιο είναι το φαινόμενο του πυρηνικού μαγνητικού συντονισμού ;
 - ▣ Πρόκειται για το φαινόμενο κατά το οποίο διεγείρουμε δείγμα πυρήνων (δίνοντας ενέργεια) το οποίο βρίσκεται εντός μαγνητικού πεδίου.
 - ▣ Όταν το δείγμα των πυρήνων αποδιεγερθεί εκπέμπει την ενέργεια που δώσαμε. Η αποδιέγερση αυτή εξαρτάται από το «περιβάλλον» (ιστός) στο οποίο βρίσκεται το δείγμα και καταγράφεται.
 - ▣ Η ποσοτικοποίηση αυτής της εξάρτησης μας δίνει εικόνες του ανθρώπινου σώματος

Απεικόνιση Μαγνητικού Συντονισμού (ΑΜΣ)

- Ποια είναι τα πλεονεκτήματα της ;
 - ▣ Εξαιρετική αντίθεση μεταξύ διαφορετικών μαλακών μορίων του ανθρώπινου σώματος
 - ▣ Δυνατότητα απεικόνισης σε οποιοδήποτε επίπεδο (αξονικό, στεφανιαίο, οβελιαίο, κ.τ.λ.)
 - ▣ Δεν χρησιμοποιεί ιοντίζουσα ακτινοβολία όπως για παράδειγμα η αξονική τομογραφία

Απεικόνιση Μαγνητικού Συντονισμού (ΑΜΣ)

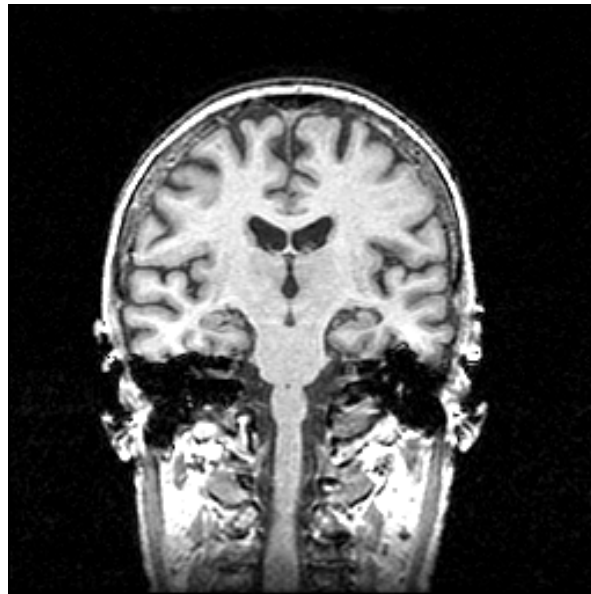
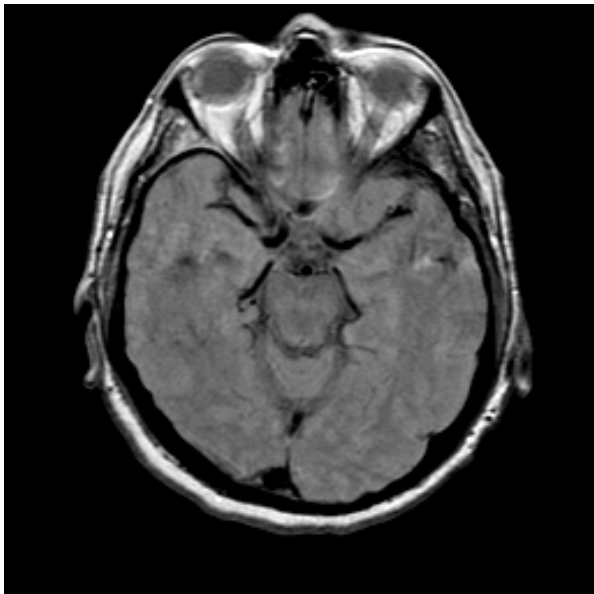
- Ποια είναι τα μειονεκτήματα της ;
 - ▣ Κόστος απόκτησης και συντήρησης εξοπλισμού => κόστος εξέτασης
 - ▣ Σχετικά αυξημένος χρόνος και γενικά πολύπλοκος τρόπος λήψης εικόνων
 - ▣ Πρόβλημα για κλειστοφοβικούς ασθενείς

- Που εφαρμόζεται ;
 - ▣ Μέθοδος εκλογής για την απεικόνιση του κεντρικού νευρικού συστήματος, αλλά και αρθρώσεων, μαστού, ήπατος, κ.τ.λ.

Μερικά παραδείγματα



- ΑΜΣ –εγκεφάλου



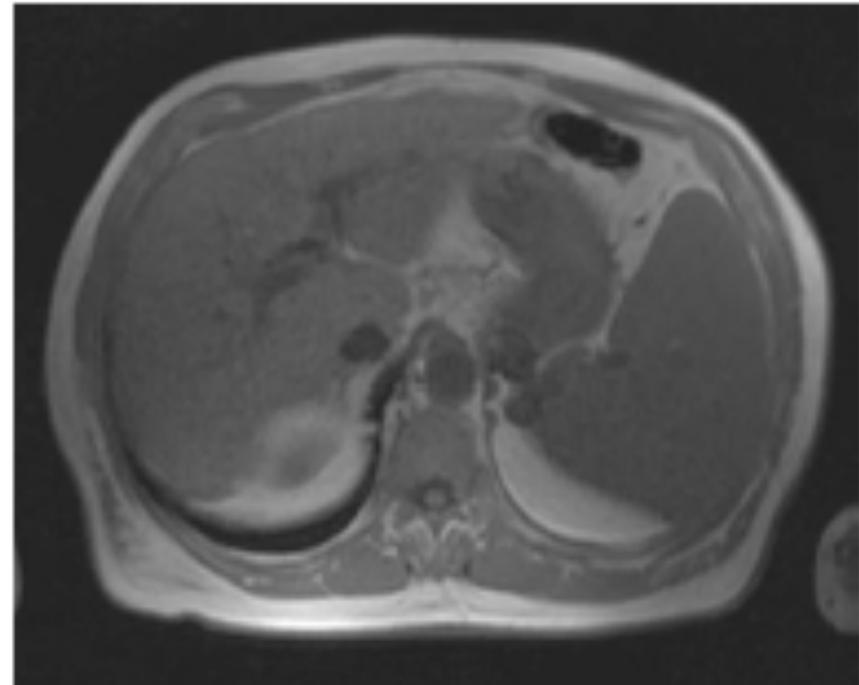
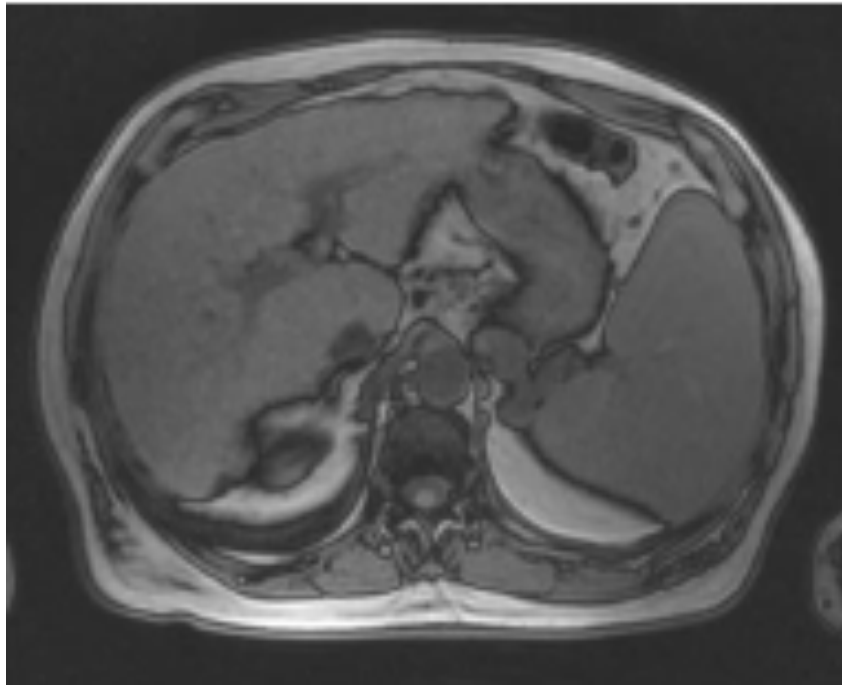
Μερικά παραδείγματα

- MRI – σπονδυλικής στήλης, αρθρώσεων...



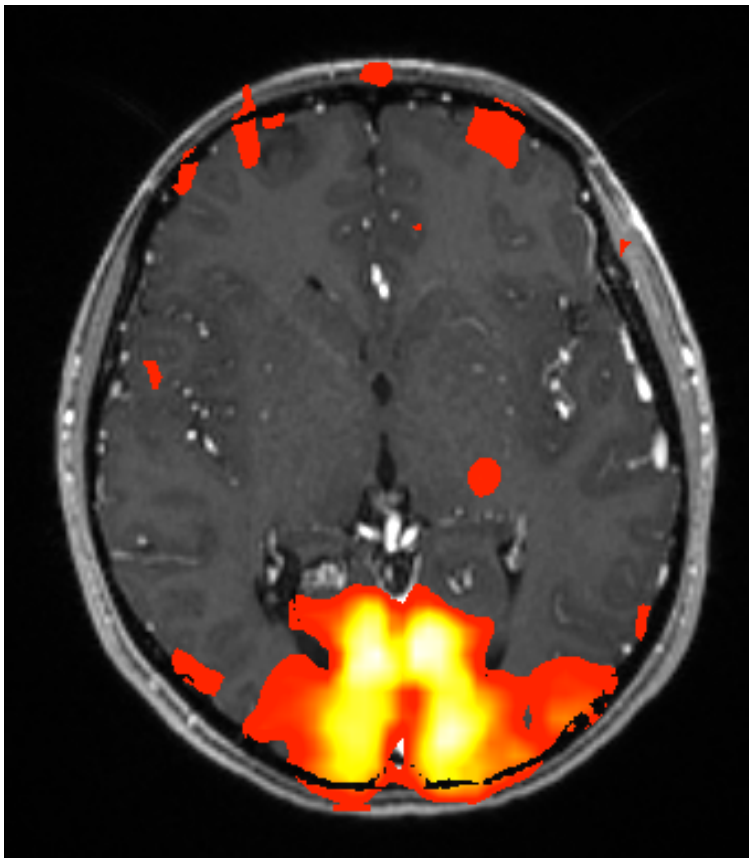
Μερικά παραδείγματα

- MRI ήπατος

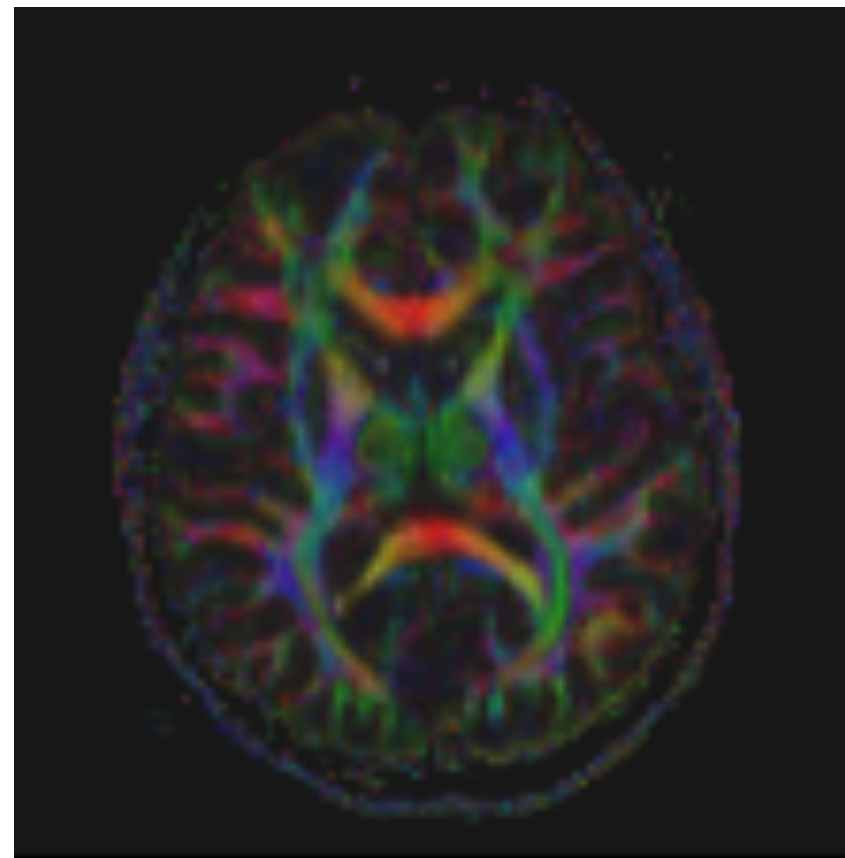


Αλλά και πιο σύγχρονα παραδείγματα ...

□ Λειτουργική MRI

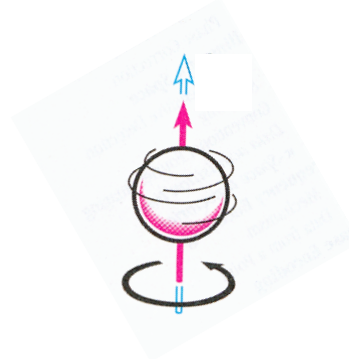


□ Δεσμιδογραφία



Μαγνητικές ιδιότητες πυρήνα

- Οι πυρήνες αποτελούνται από πρωτόνια και νετρόνια (νουκλεόνια).
- Τα νουκλεόνια με βάση τις αρχές της κβαντομηχανικής, έχουν ιδιοστροφομή (spin).
- Κλασικά η ιδιότητα αυτή μπορεί να περιγραφεί ως περιστροφή γύρω από τον άξονα του σαν «περιστρεφόμενη» σβούρα



Μαγνητικές ιδιότητες πυρήνα

- Το πρωτόνιο ως φορτίο που περιστρέφεται (λόγω ιδιοστροφορμής) επάγει σύμφωνα με τις αρχές του ηλεκτρομαγνητισμού μαγνητικό πεδίο με διεύθυνση παράλληλη στον άξονα περιστροφής του και φορά που καθορίζεται από τον κανόνα του δεξιού χεριού (νόμος Biot-Savart).

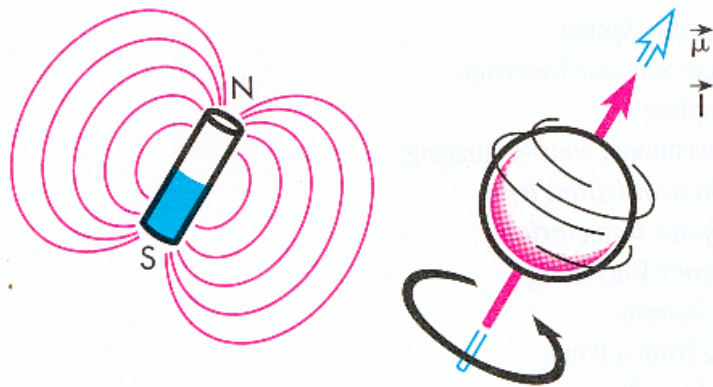
Μαγνητική διπολική ροπή, μ

$$\vec{\mu} = \gamma \vec{I}$$

γ ο γυρομαγνητικός λόγος (για το πρωτόνιο ισούται με 42,58 MHz/Tesla)

I η στροφορμή του πυρήνα

$$(I = m\hbar, m = \pm 1/2)$$



Μαγνητικές ιδιότητες πυρήνα

- Και τα νετρόνια όμως έχουν μαγνητική διπολική ροπή περίπου ίση με αυτή του πρωτονίου. Μήπως ξέρετε γιατί ?
- Πυρήνες με άρτιο αριθμό νουκλεονίων έχουν συνολική μαγνητική ροπή περίπου ίση με μηδέν.
- Αυτοί οι πυρήνες δεν χρησιμοποιούνται για την απεικόνιση μαγνητικής τομογραφίας

Μαγνητικές ιδιότητες στοιχείων

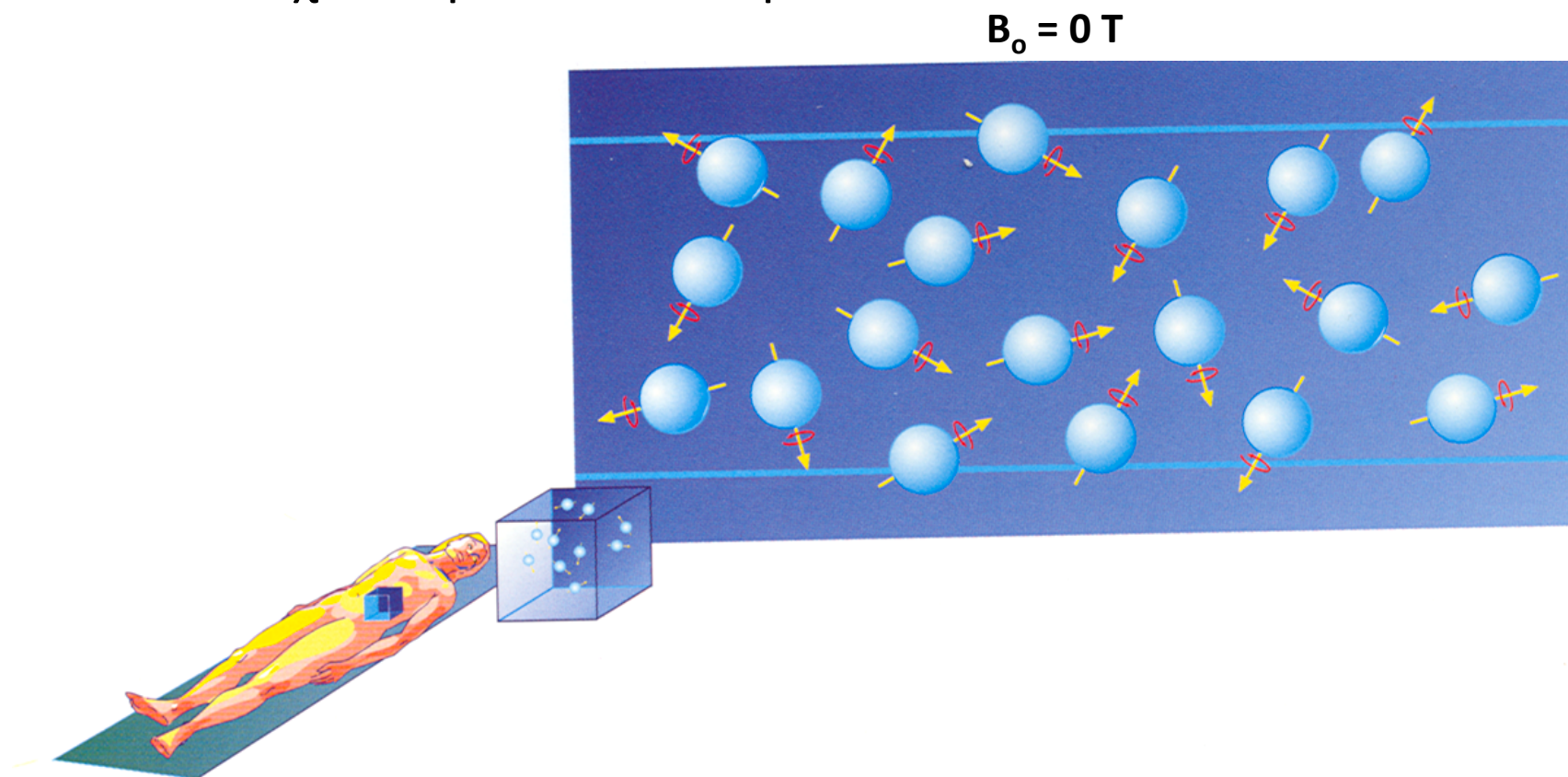
- Οι πυρήνες ποιών ατόμων όμως χρησιμοποιούνται στην Απεικόνιση Μαγνητικού Συντονισμού για την παραγωγή εικόνας ;
 1. Σίγουρα οι πυρήνες με περιττό αριθμό νουκλεονίων
 2. Μεγάλη αναλογία στο ανθρώπινο σώμα

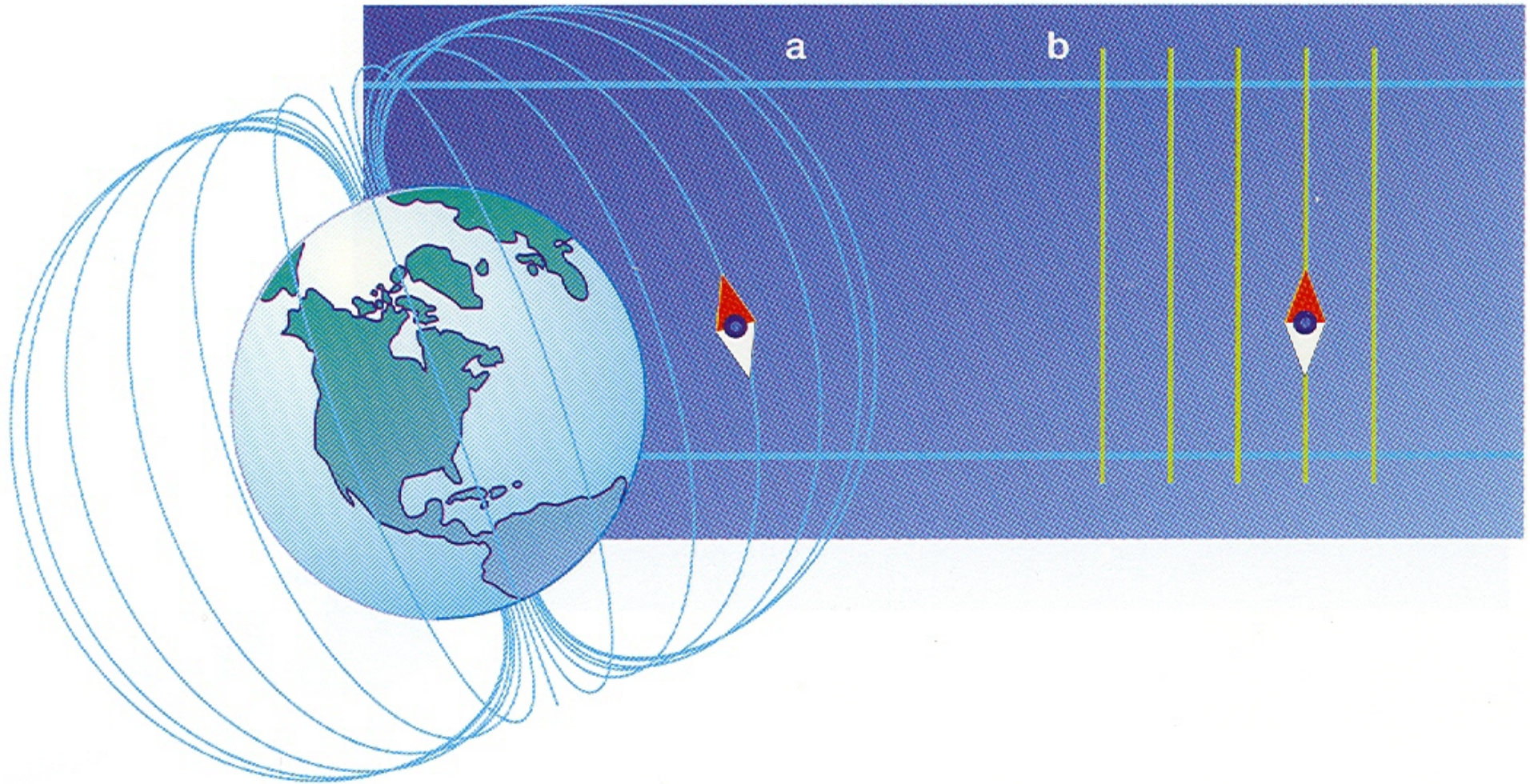
Πυρήνας ^1H

- Ο πυρήνας του υδρογόνου αποτελείται από 1 πρωτόνιο (εύκολη φυσική !).
- Το υδρογόνο υπάρχει κυρίως στο νερό (H_2O) και στο λίπος του ανθρώπινου σώματος.
- Ένας ενήλικας βάρους 70 Kg αποτελείται από $\sim 7 \cdot 10^{27}$ άτομα. Το ανθρώπινο σώμα αποτελείται από $\sim 80\%$ νερό επομένως το ποσοστό των πυρήνων H στο ανθρώπινο σώμα είναι 67%.

Αλληλεπίδραση με εξωτερικό μαγνητικό πεδίο

- Σε ένα τυπικό δείγμα πυρήνων υδρογόνου στο ανθρώπινο σώμα, το άνυσμα, μ , της μαγνητικής ροπής του κάθε πυρήνα είναι τυχαία προσανατολισμένο.



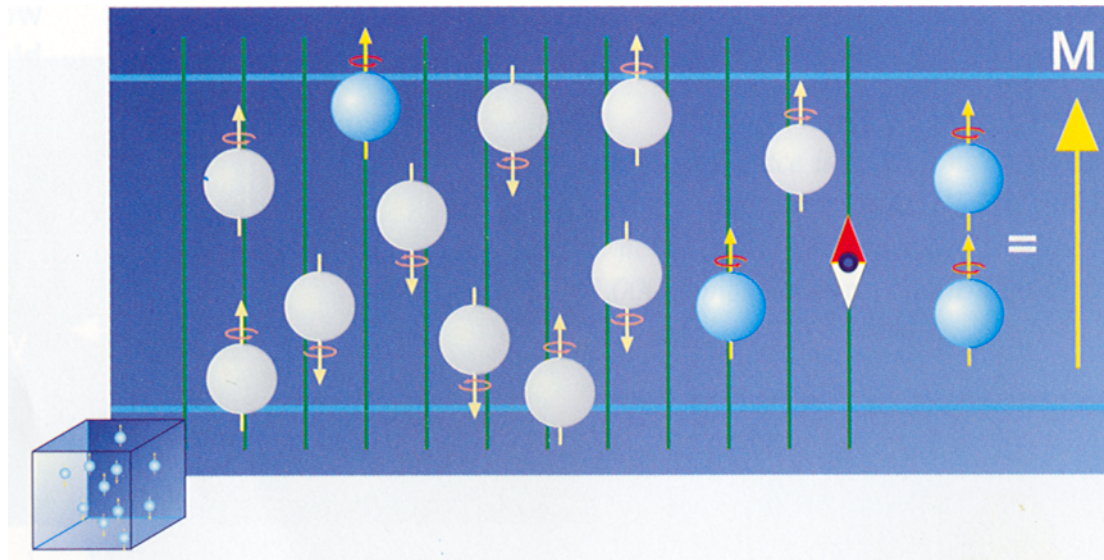


ΕΝΤΑΣΗ ΜΑΓΝΗΤΙΚΟΥ ΠΕΔΙΟΥ :TESLA (T)

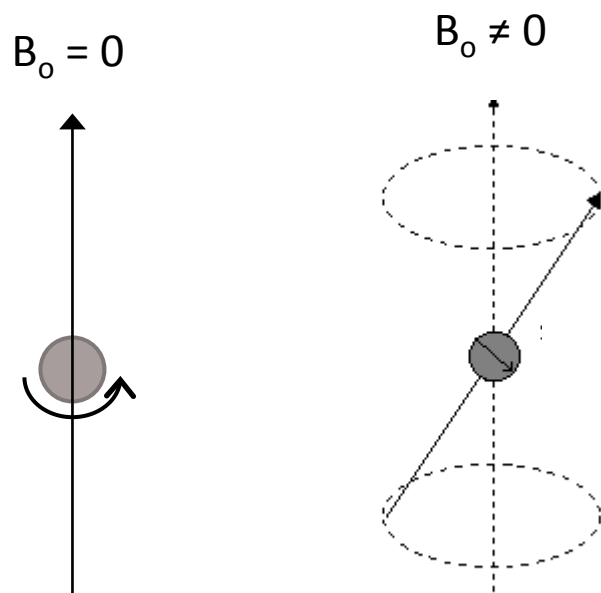
$1\text{T} \approx 20.000$ Μαγνητικό πεδίο της γης
(0.5Gauss , $1\text{T} = 10000\text{ G}$)

Αλληλεπίδραση με εξωτερικό μαγνητικό πεδίο

- Όταν οι πυρήνες του υδρογόνου (πρωτόνια) εκτεθούν σε ισχυρό εξωτερικό μαγνητικό πεδίο, ευθυγραμμίζονται παράλληλα (με την ίδια φορά) ή αντιπαράλληλα (με αντίθετη φορά) με τον άξονα των δυναμικών γραμμών του εξωτερικού πεδίου



Αλληλεπίδραση με εξωτερικό μαγνητικό πεδίο



Συχνότητα Larmor, $\omega_L =$ συχνότητα μεταπτωτικής κίνησης

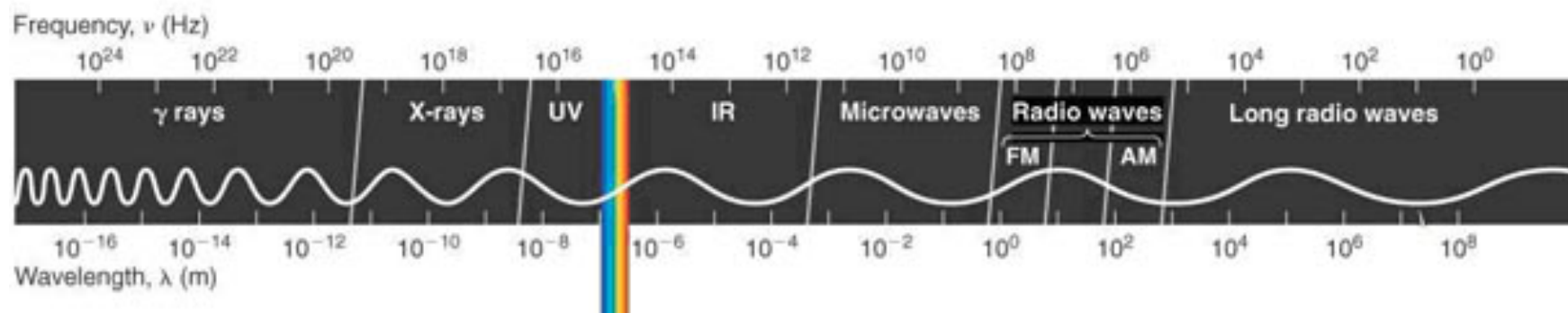
$$\omega_L = \gamma B_o$$

Για τους πυρήνες υδρογόνου :

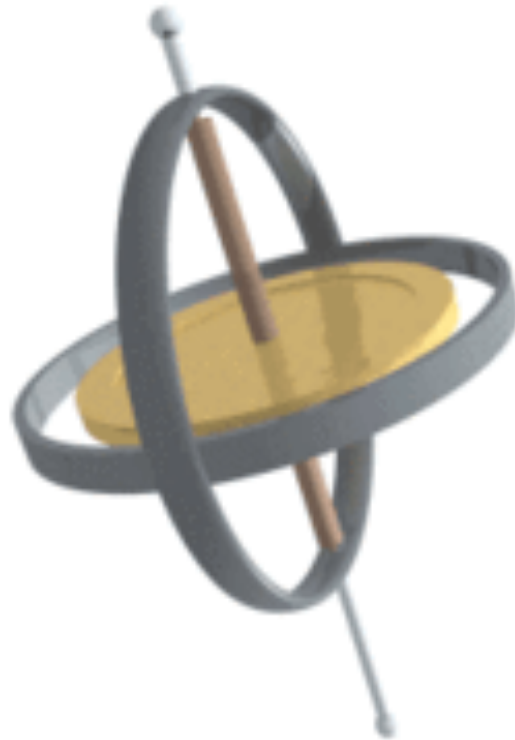
$$B_o = 0,5 \text{ T} \Rightarrow \omega_L = 21,3 \text{ MHz}$$

$$B_o = 1,5 \text{ T} \Rightarrow \omega_L = 42,6 \text{ MHz}$$

$$B_o = 3,0 \text{ T} \Rightarrow \omega_L = 127,7 \text{ MHz}$$

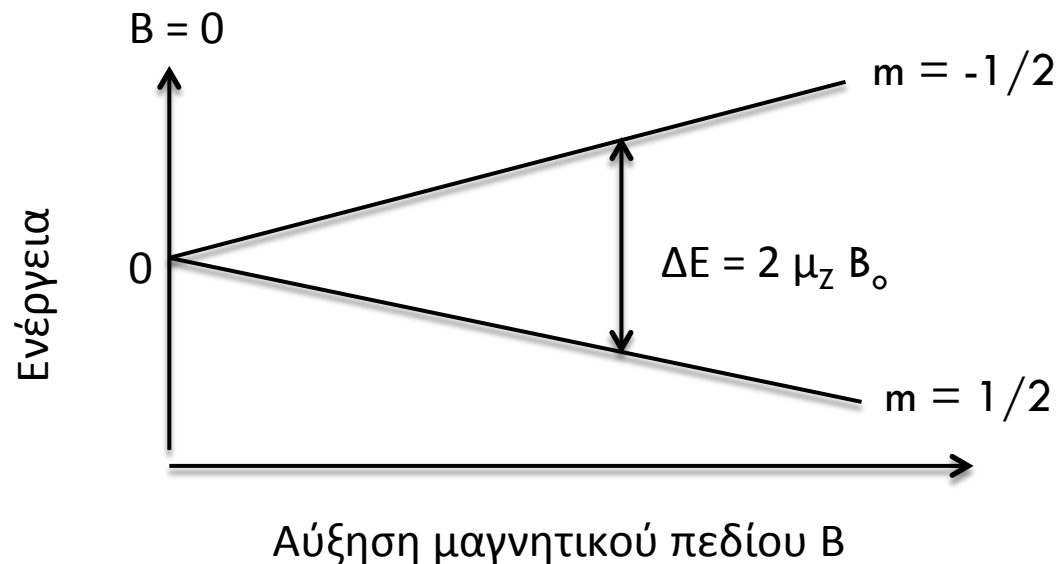


ΜΗΧΑΝΙΚΟ ΑΝΑΛΟΓΟ : ΓΥΡΟΣΚΟΠΙΟ



Αλληλεπίδραση με εξωτερικό μαγνητικό πεδίο

Η ευθυγράμμιση παράλληλα ($m = 1/2$) με το εξωτερικό μαγνητικό πεδίο έχει μικρότερη ενέργεια σε σχέση με την αντιπαράλληλη ($m = -1/2$)



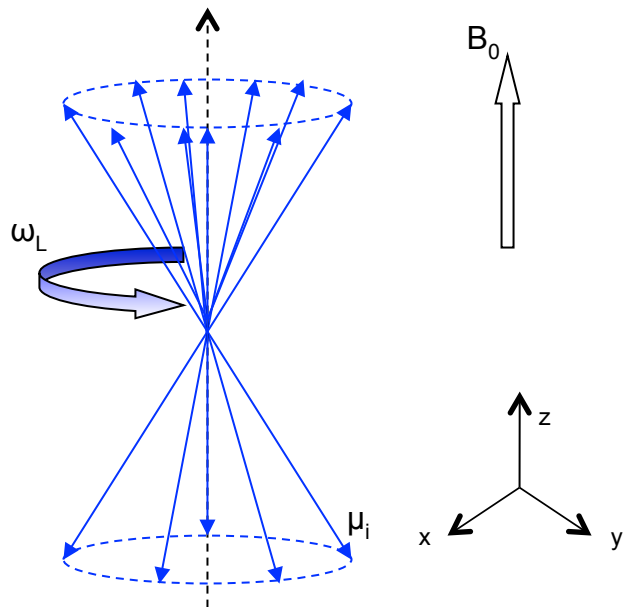
Αλληλεπίδραση με εξωτερικό μαγνητικό πεδίο

□ Κατανομή πυρήνων στην $\uparrow\uparrow$ και στην $\uparrow\downarrow$ ευθυγράμμιση

□ Boltzmann

Boltzmann 1.3805×10^{-23} J/K

$$N_{\downarrow\uparrow} / N_{\uparrow\uparrow} = e^{-\Delta E / kT} \quad (k \text{ σταθερά})$$

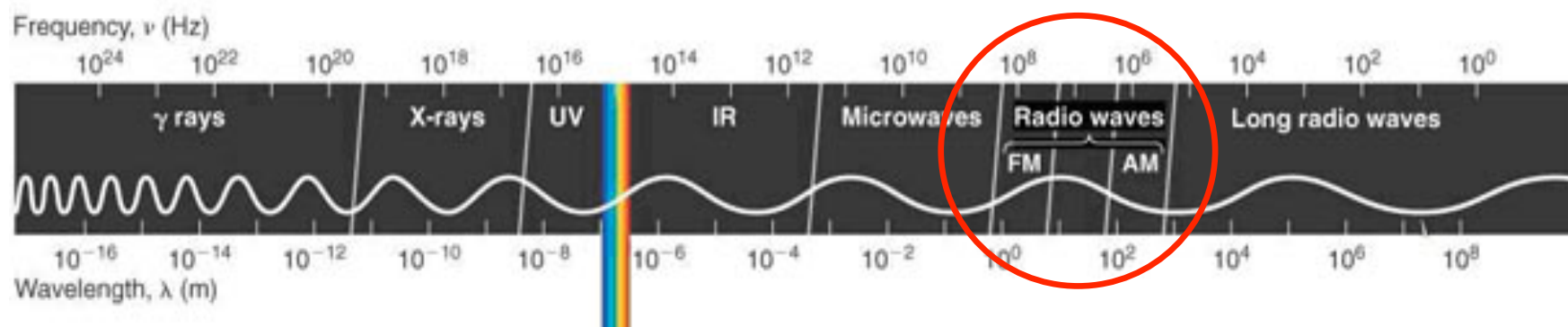


ΠΛΕΟΝΑΖΟΝΤΑ spins

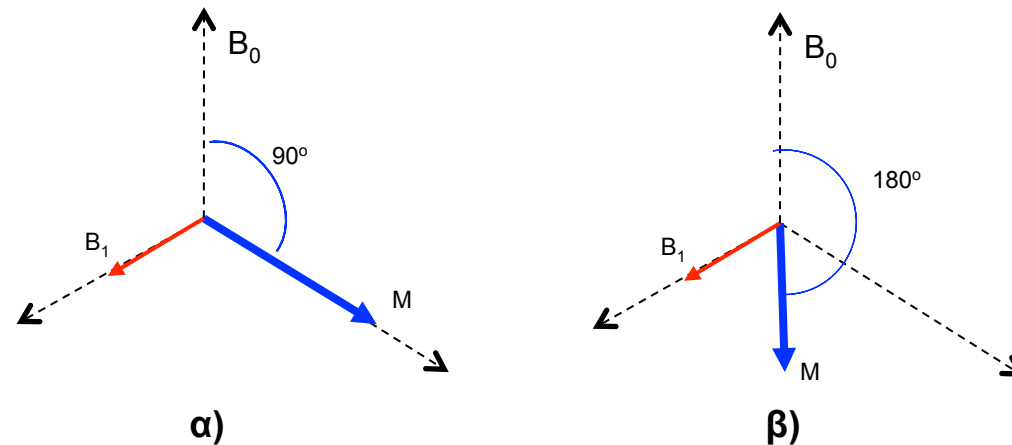
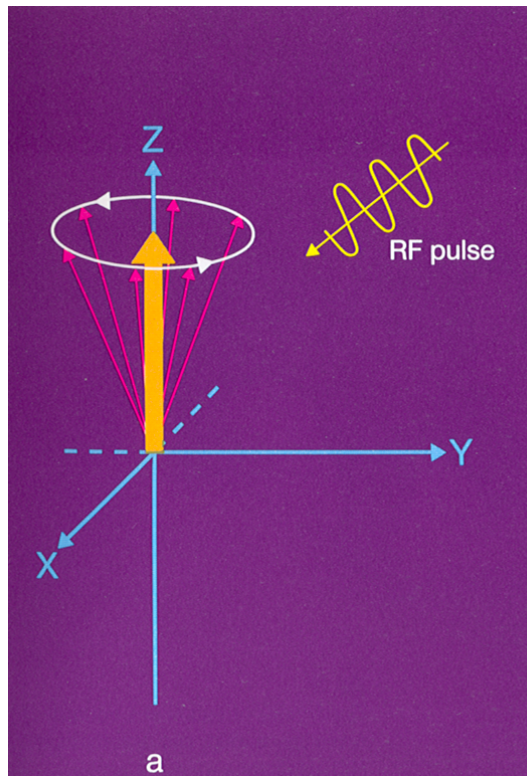
- $B_0 = 0.2\text{T}, 20^\circ\text{C} : 13/10^6$
- $B_0 = 1.5\text{T}, 20^\circ\text{C} : 96/10^6$
- $1\text{g H}_2\text{O}$ περιέχει $7 \cdot 10^{22}$ H
- Πλεονάζοντα spin $1.5\text{T} : 6 \cdot 10^{17}$

Πυρηνικός Μαγνητικός Συντονισμός

- Για να διεγερθεί ένας πυρήνας (να μεταβεί δηλαδή από την χαμηλής ενέργειας στάθμη στην υψηλή) ο οποίος βρίσκεται εντός μαγνητικού πεδίου απαιτείται ενέργεια $\Delta E = 2 \mu_z B_0$.
- Αν η ενέργεια αυτή δοθεί υπό τη μορφή ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας ($E = h f$) τότε η συχνότητα της ακτινοβολίας ισούται με την συχνότητα Larmor.
- Για τα μαγνητικά πεδία που χρησιμοποιούνται στις κλινικές εφαρμογές (0,5-3T) οι συχνότητες Larmor βρίσκονται στην περιοχή των ραδιοκυμάτων (βραχέα κύματα).



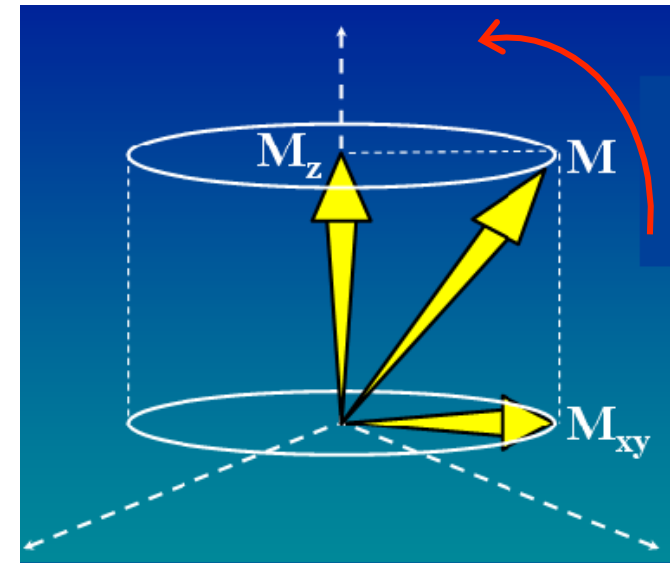
Συντονισμός – Διέγερση πυρήνων



Το άνυσμα M εκτελεί μετάπτωση. Με κατάλληλη επιλογή της έντασης και του χρονικού διαστήματος εφαρμογής του B_1 , επιτυγχάνεται η επιθυμητή γωνία νεύσης ϕ ($\phi = \gamma B_1 t$). Στο σχήμα παρουσιάζεται η θέση του ανύσματος της ολικής μαγνήτισης, M , μετά την εφαρμογή παλμού α) 90° και β) 180° .

Μηχανισμοί αποκατάστασης – αποδιέγερσης

- Μετά τη λήξη του ραδιοπαλμού B_1 , η μαγνήτιση M περιστρέφεται γύρω από το στατικό πεδίο B_0 με τη συχνότητα Larmor και σταδιακά επανέρχεται από τη διεγερμένη κατάσταση (όπου η μαγνήτιση είναι κάθετη στο B_0) στην αρχική κατάσταση θερμοδυναμικής ισορροπίας (όπου η μαγνήτιση είναι παράλληλη στο B_0).
- Η επαναφορά αυτή πραγματοποιείται με δύο διαφορετικούς μηχανισμούς οι οποίοι έχουν να κάνουν
 1. με τη αποκατάσταση της διαμήκουσ μαγνήτισης M_z η οποία αυξάνεται με το χρόνο
 2. την αποκατάσταση της εγκάρσια μαγνήτισης M_{xy} η οποία μειώνεται με το χρόνο.



Μηχανισμοί αποκατάστασης

1. Σπιν – πλέγμα (spin - lattice relaxation). Η ενέργεια που προσφέρθηκε στο υπό εξέταση σύστημα πρωτονίων μεταφέρεται στο περιβάλλον του, το οποίο λόγω του μεγαλύτερου μεγέθους απορροφά την ενέργεια χωρίς να διεγείρεται. Με τον όρο πλέγμα εννοούμε το γειτονικό ηλεκτρομαγνητικό περιβάλλον του υπό εξέταση πυρηνικού συστήματος.
2. Σπιν – Σπιν (spin-spin relaxation). Μετά την εφαρμογή του ραδιοπαλμού 90° και λόγω της απορρόφησης ενέργειας, το σύστημα των πυρήνων βρίσκεται σε μια κατάσταση χαμηλής εντροπίας (οι επιμέρους μαγνητικές ροπές βρίσκονται σε συμφωνία φάσεων). Στη συνέχεια τα σπιν των πυρήνων αλληλεπιδρούν και ανταλλάσσουν ενέργεια μεταξύ τους. Οι ανταλλαγές αυτές ενέργειας δεν οδηγούν σε μεταβολή της εσωτερικής ενέργειας του συστήματος αλλά σε μεταβολή της εσωτερικής του εντροπίας (τα σπιν παύουν να είναι σε φάση)

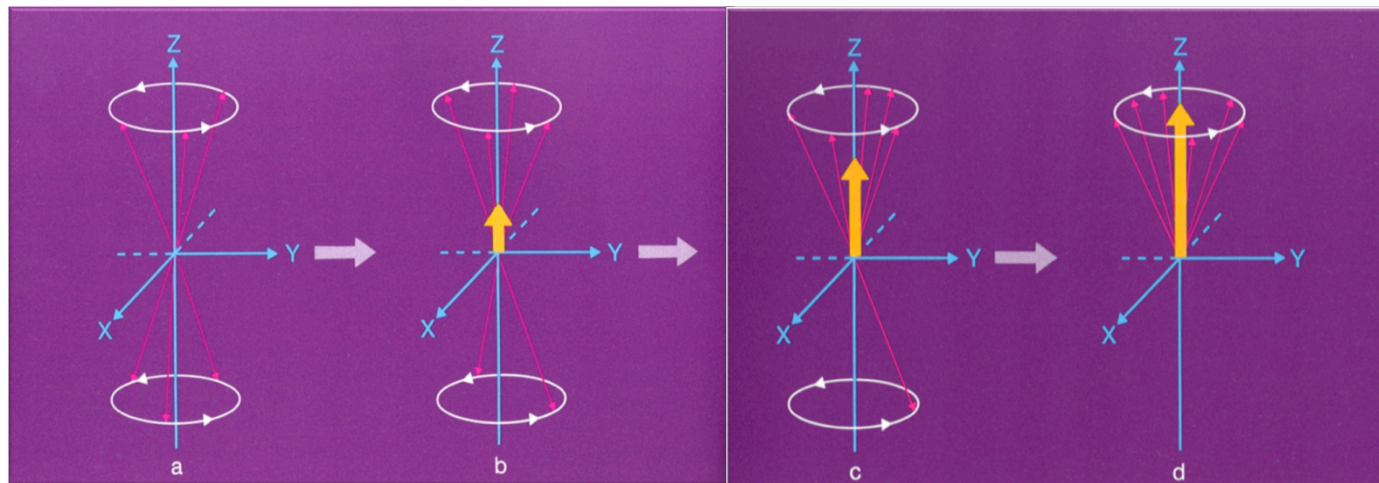
Μηχανισμός σπιν – πλέγματος

Αποκατάσταση διαμήκουσ μαγνήτισης

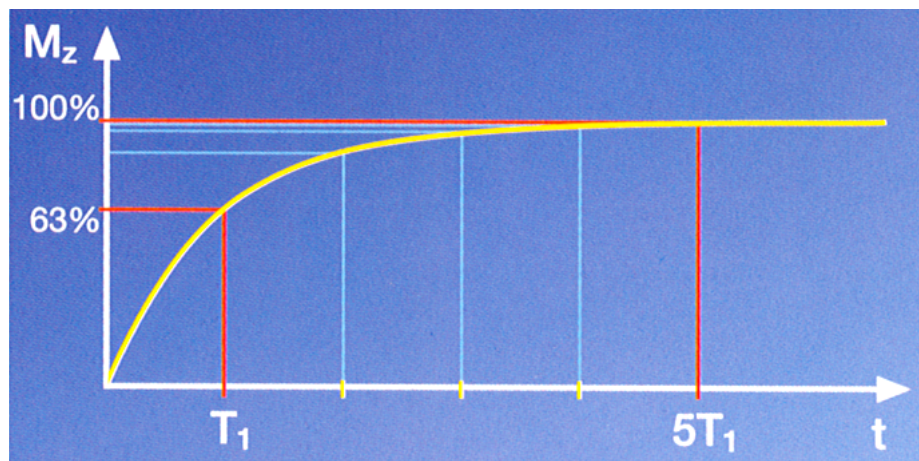
- Η εξίσωση που περιγράφει την μεταβολή στο χρόνο της διαμήκουσ μαγνήτισης M_z είναι:

$$M_z(t) = M_z(0) \cdot (1 - e^{-\frac{t}{T_1}})$$

- Χρόνος μαγνητικής αποκατάστασης, $T_1 =$ ο χρόνος που χρειάζεται το σύστημα των πυρηνικών σπιν για να ανακτήσει το 63 % της (αρχικής) τιμής της διαμήκουσ μαγνήτισης την οποία είχε στην κατάσταση της θερμοδυναμικής του ισορροπίας.

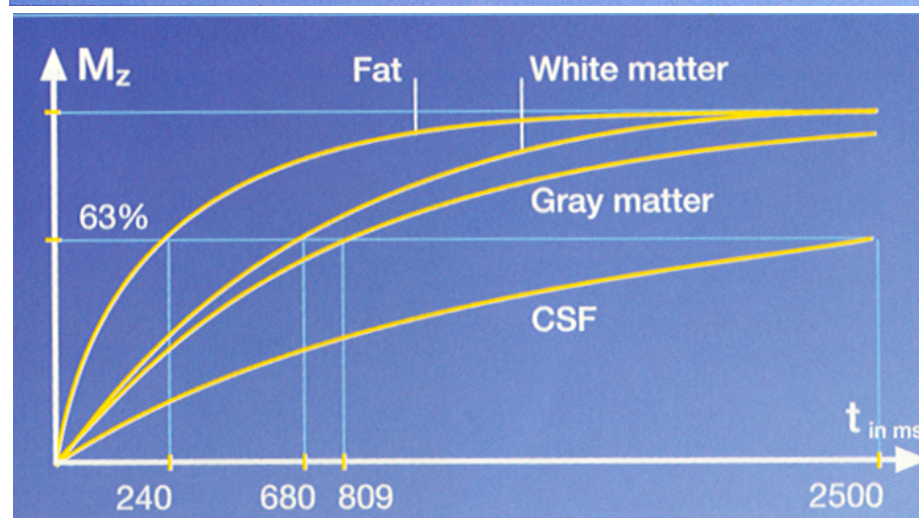


Χρόνος μαγνητικής αποκατάστασης T_1



Η τιμή του χρόνου T_1 εξαρτάται από:

1. *Είδος ιστού*
2. *Θερμοκρασία*
3. *Ένταση μαγνητικού πεδίου*



Είδος ιστού	0,2T	1T	1,5T
Λίπος		240 ms	
Μυς	370 ms	730 ms	860 ms
Εγκέφαλος λευκή ουσία	390 ms	680 ms	780 ms
Εγκέφαλος φαιά ουσία	490 ms	810 ms	920 ms
ΕΝΥ	1400 ms	2500 ms	3000 ms

Μηχανισμός σπιν – σπιν

Αποκατάσταση εγκάρσιας μαγνήτισης

- Η εξίσωση που περιγράφει την μεταβολή στο χρόνο της εγκάρσιας μαγνήτισης M_{xy} είναι:

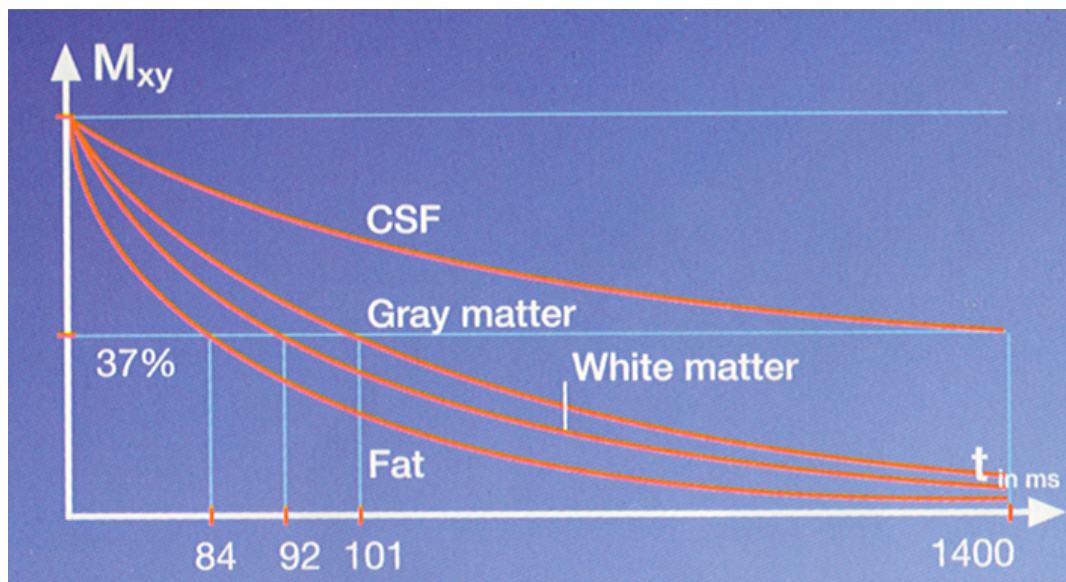
$$M_{xy}(t) = M_{xy}(0) \cdot e^{-\frac{t}{T_2}}$$

- Στην εξίσωση αυτή $M_{xy}(0)$ είναι η τιμή της εγκάρσιας μαγνήτισης τη χρονική στιγμή $t = 0$ και T_2 είναι ο χρόνος μαγνητικής αποκατάστασης, οποίος ορίζεται ως ο χρόνος που χρειάζεται το σύστημα των πυρηνικών σπιν για να μειωθεί στο 37% η τιμή της εγκάρσιας μαγνήτισης M_{xy} την οποία απέκτησε ακριβώς μετά την παύση της εφαρμογής του RF παλμού των 90° .

Χρόνος μαγνητικής αποκατάστασης T_2

Η τιμή του χρόνου T_2 εξαρτάται από :

1. Δομή ιστού (κινητικότητα πρωτονίων)
2. Θερμοκρασία



Είδος ιστού	1,5 T
Λίπος	220 ms
Ηπαρ	43 ms
Μυς	50 ms
Εγκέφαλος λευκή ουσία	65 ms
Εγκέφαλος φαιά ουσία	45 ms

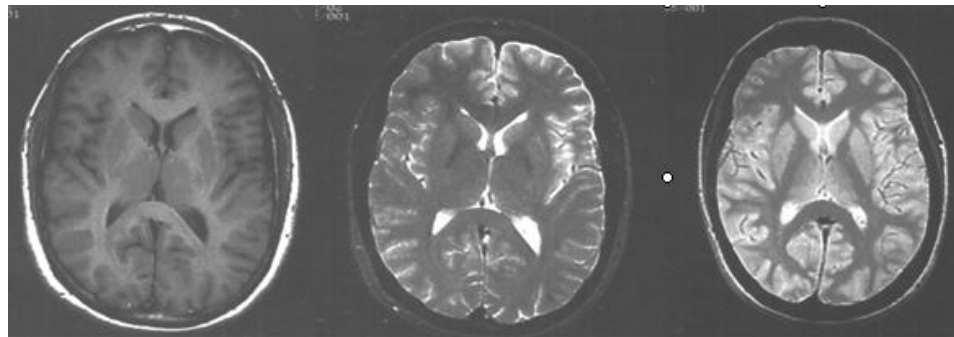
Χρόνος μαγνητικής ψευδοαποκατάστασης T_2^*

- Ο χρόνος αποκατάστασης της εγκάρσιας μαγνήτισης πέραν της δομής του ιστού εξαρτάται επίσης και από τις ανομοιογένειες του μαγνητικού πεδίου B_0 οι οποίες επηρεάζουν τον ρυθμό με τον οποίο χάνεται η φάση μεταξύ των γειτονικών πυρηνικών σπιν.
- Η εγκάρσια μαγνήτιση μειώνεται λοιπόν εκθετικά αλλά με χρονική σταθερά έναν χρόνο T_2^* ο οποίος είναι μικρότερος από τον χρόνο T_2 .

$$M_{xy}(t) = M_{xy}(0) e^{-\frac{t}{T_2^*}}$$

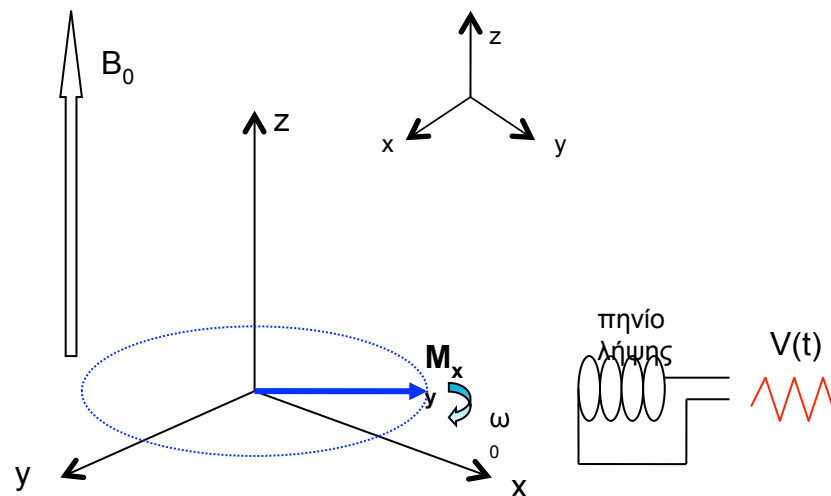
Χρόνοι μαγνητικής αποκατάστασης T_1 , T_2 και αντίθεση εικόνας

- ❑ Κάθε ιστός έχει τους δικούς του χρόνους μαγνητικής αποκατάστασης T_1 και T_2 .
- ❑ Εικόνες ΑΜΣ μπορούν να δημιουργηθούν με κυρίαρχη πηγή αντίθεσης μεταξύ ιστών η οποία προέρχεται είτε από διαφορές στις τιμές T_1 , είτε από διαφορές στις τιμές T_2 , είτε από διαφορές στις πυκνότητες πρωτονίων.
- ❑ Δεν είναι συνήθως δυνατό να δημιουργηθούν εικόνες στις οποίες ένα από τα χαρακτηριστικά του ιστού (T_1 , T_2 , πυκνότητες πρωτονίων) είναι η μόνη καθαρή πηγή αντίθεσης.
- ❑ Όταν μια εικόνα περιγράφεται ως σταθμισμένη T_1 , αυτό σημαίνει ότι ο χρόνος T_1 είναι η κυρίαρχη πηγή αντίθεσης και αντίστοιχα μπορούν να δημιουργηθούν εικόνες T_2 και πυκνότητας πρωτονίων.



Σήμα ελεύθερης επαγωγικής απόσβεσης

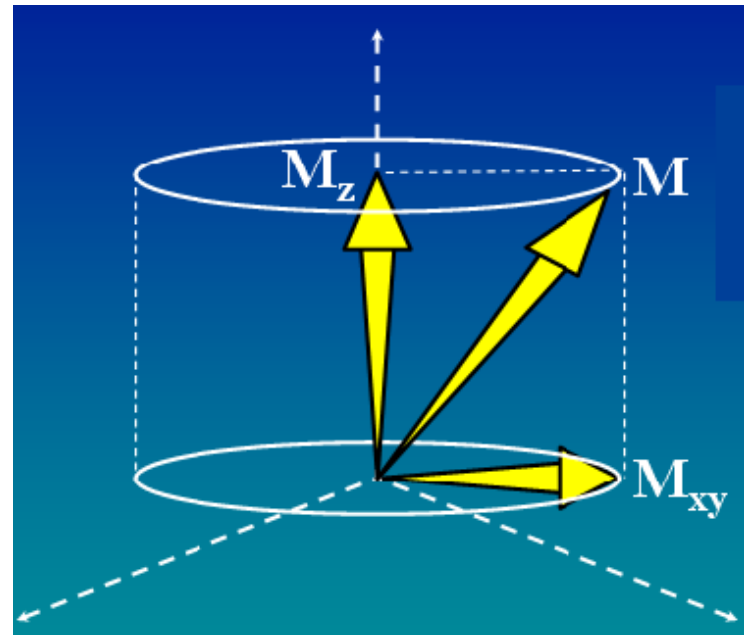
- ❑ Η ανίχνευση του μαγνητικού συντονισμού και η δημιουργία σήματος μπορεί να πραγματοποιηθεί μόνο με τη δημιουργία εγκάρσιας μαγνήτισης (μαγνήτιση κάθετη στη διεύθυνση του B_0), η οποία περιστρέφεται με τη συχνότητα Larmor και φθίνει με εκθετικό τρόπο.
- ❑ Μπορεί έτσι να ανιχνευθεί αφού σύμφωνα με τον νόμο της επαγωγής του Faraday επάγει τάση σε ένα πηνίο – δέκτη. Αυτό είναι και το σήμα της ΑΜΣ που ανιχνεύεται και δημιουργεί την εικόνα και το οποίο ονομάζεται Σήμα Ελεύθερης Επαγωγικής Απόσβεσης.



Σήμα ελεύθερης επαγωγικής απόσβεσης

- ❑ Έστω δείγμα πρωτονίων το οποίο βρίσκεται σε ομογενές μαγνητικό πεδίο B_0 και έχει διεγερθεί από έναν παλμό 90° .
- ❑ Μετά τη λήξη του παλμού, στο σταθερό σύστημα αναφοράς, το άνυσμα της εγκάρσιας μαγνήτισης M_{xy} εκτελεί περιστροφική κίνηση στο επίπεδο-xy με κυκλική συχνότητα Larmor ω_L και το μέτρο του μειώνεται εκθετικά σύμφωνα με την εξίσωση

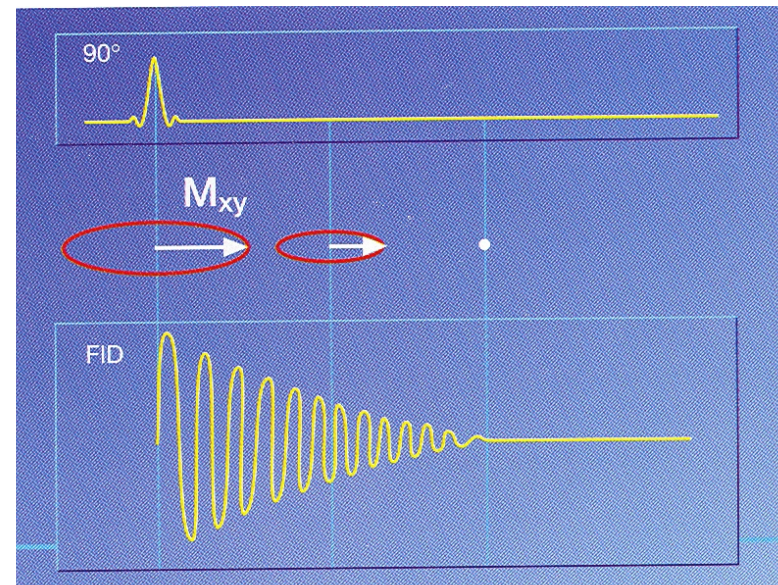
$$M_{xy}(t) = M_{xy}(0) \cdot e^{-\frac{t}{T_2}}$$



Σήμα ελεύθερης επαγωγικής απόσβεσης

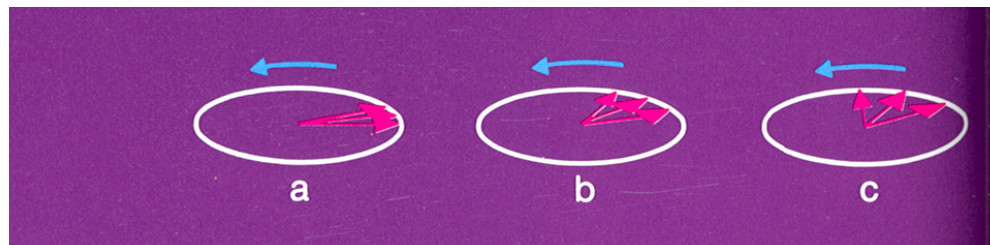
- Τοποθετώντας ένα σωληνοειδές πηνίο το οποίο έχει τον κύριο άξονα του παράλληλο στο επίπεδο-xy, σύμφωνα με τον νόμο του Faraday, επάγεται τάση στα άκρα του που προέρχεται από τις μεταβολές της μαγνητικής ροής, στις σπείρες του πηνίου, λόγω της περιστροφής του M_{xy} .
- Η τάση αυτή είναι ένα διαμορφωμένο κατά πλάτος ηλεκτρικό σήμα με φέρουσα συχνότητα τη συχνότητα Larmor ω_L το οποίο μειώνεται με εκθετικό τρόπο με χρονική σταθερά τον χρόνο T2 και το οποίο παράγεται αμέσως μετά την εφαρμογή του ραδιοπαλμού 90° .

Το σήμα αυτό είναι ουσιαστικά η πηγή της πληροφορίας στον πυρηνικό μαγνητικό συντονισμό και ονομάζεται σήμα ελεύθερης επαγωγικής απόσβεσης (FID)

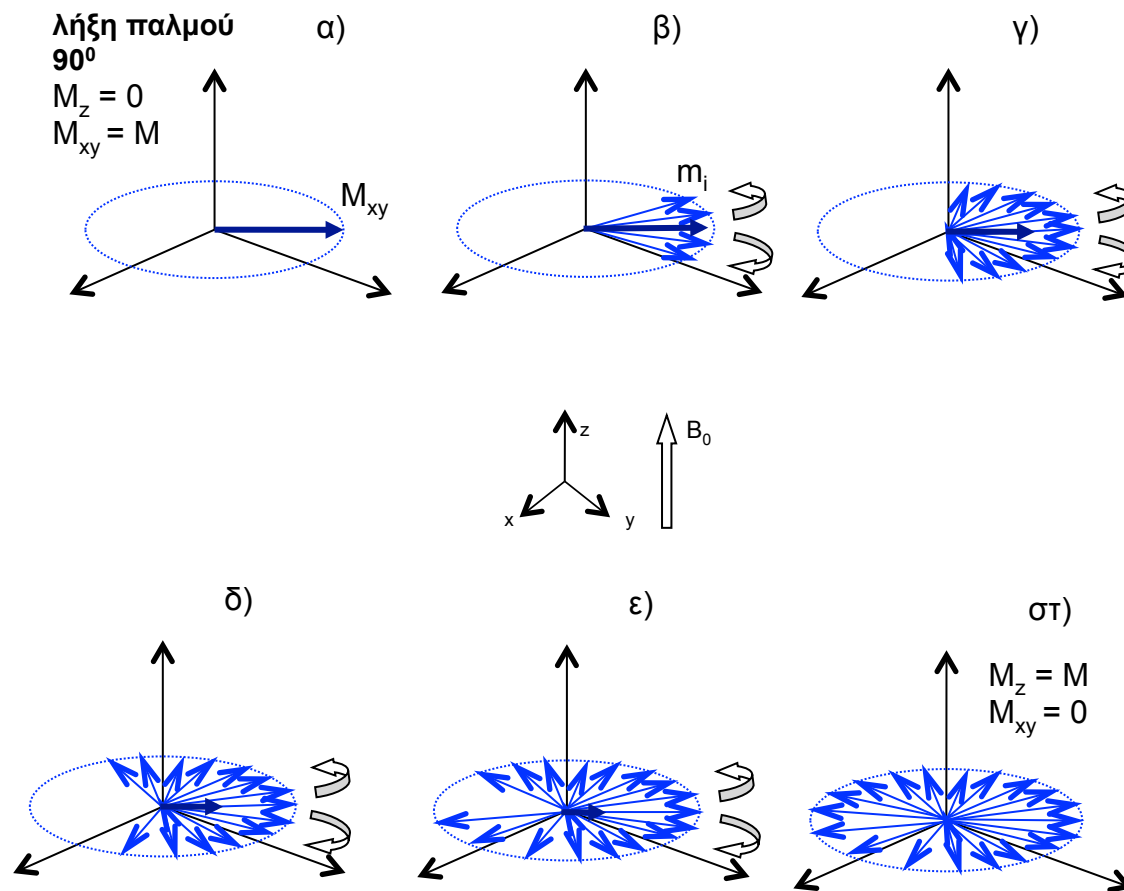


Η τεχνική Spin-Echo

- ❑ Έστω ένα σύστημα πυρηνικών σπιν, το οποίο βρίσκεται σε κατάσταση θερμοδυναμικής ισορροπίας, εντός στατικού μαγνητικού πεδίου B_0 στο οποίο εφαρμόζεται ραδιοπαλμός 90° .
- ❑ Αμέσως μετά την παύση του ραδιοπαλμού το σύστημα τείνει να επανέλθει στη θερμοδυναμική ισορροπία.
- ❑ Αρχικά τα πυρηνικά σπιν βρίσκονται σε συμφωνία φάσης και η εγκάρσια μαγνήτιση M_{xy} έχει τη μέγιστη τιμή της.
- ❑ Τότε ξεκινά μία διαδικασία αποκατάστασης κατά την οποία η εγκάρσια μαγνήτιση καταλήγει με εκθετικό τρόπο σε μηδενική τιμή λόγω του γεγονότος ότι τα πυρηνικά σπιν χάνουν σταδιακά την συμφωνία φάσης τους.



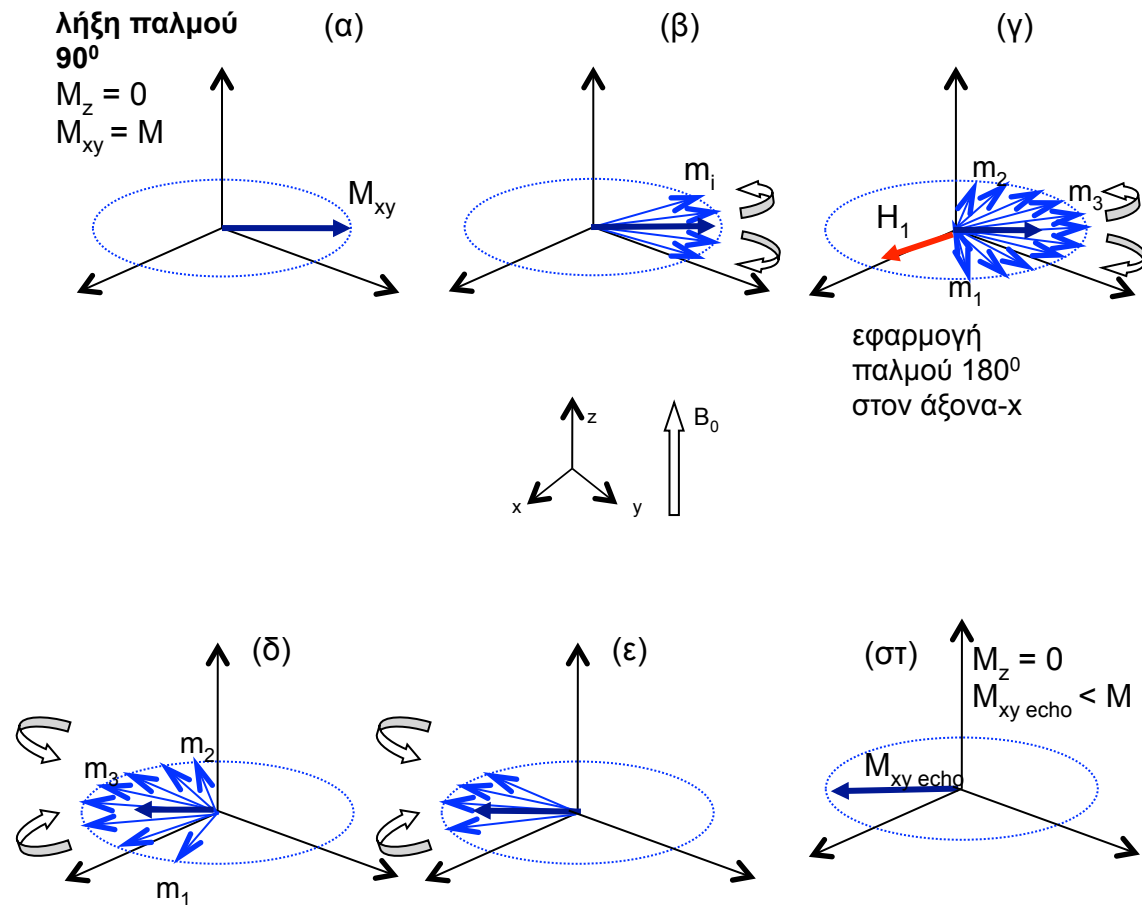
Η τεχνική Spin-Echo

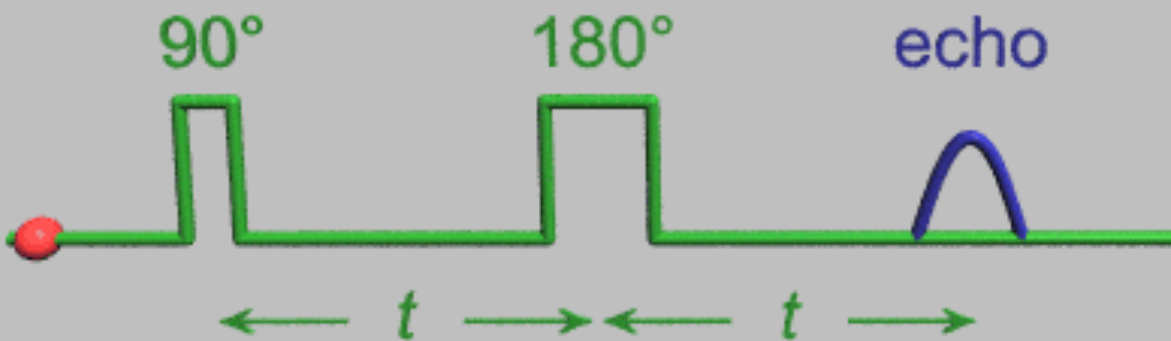
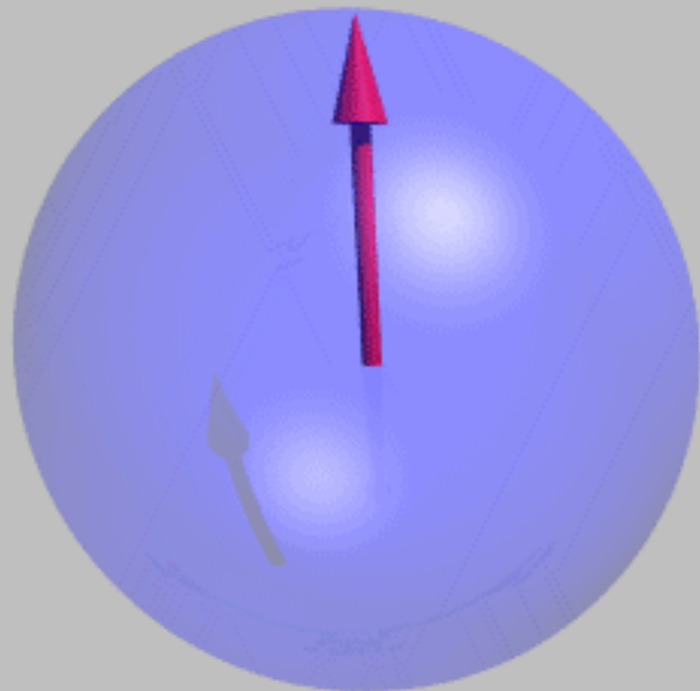


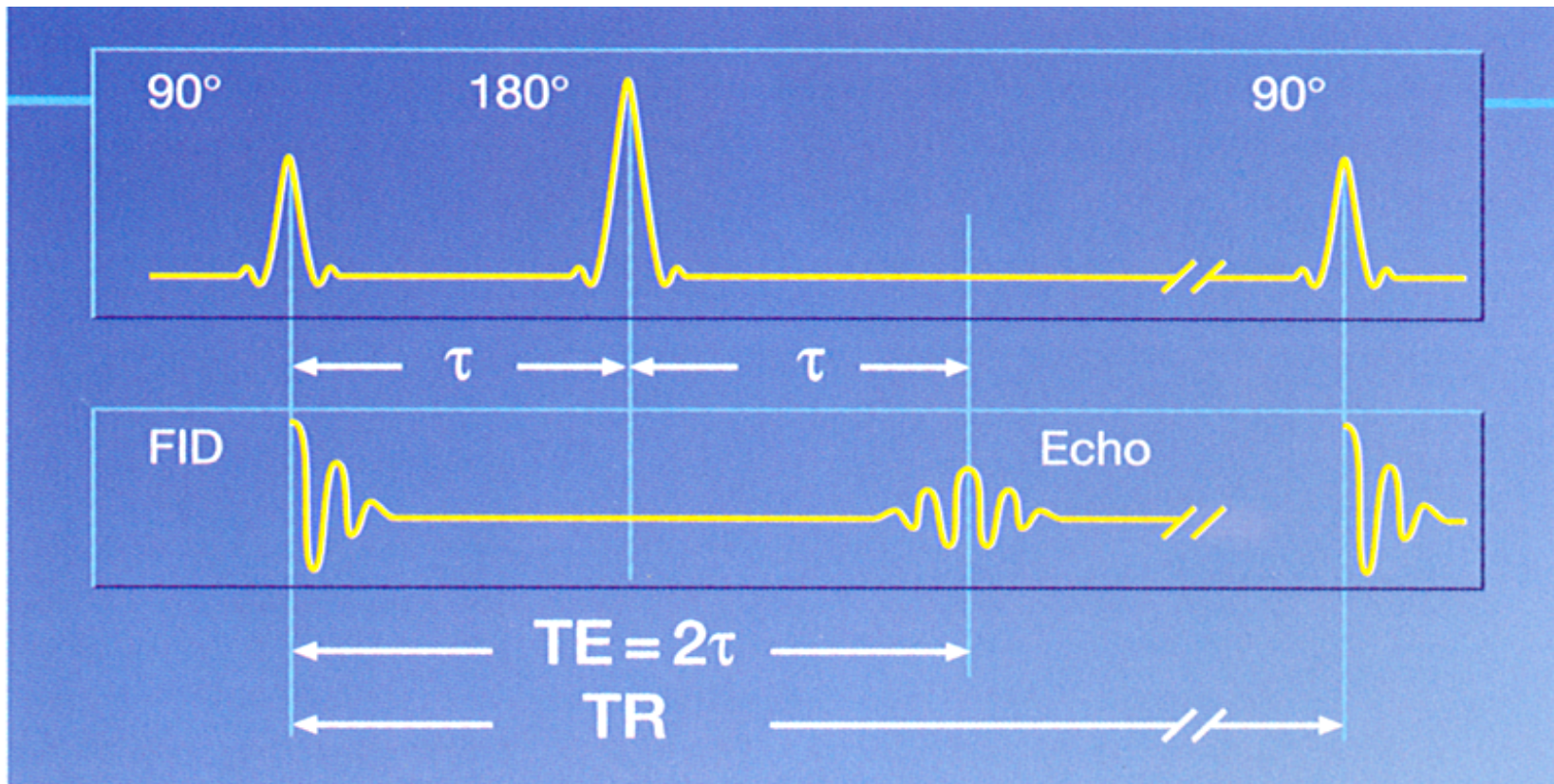
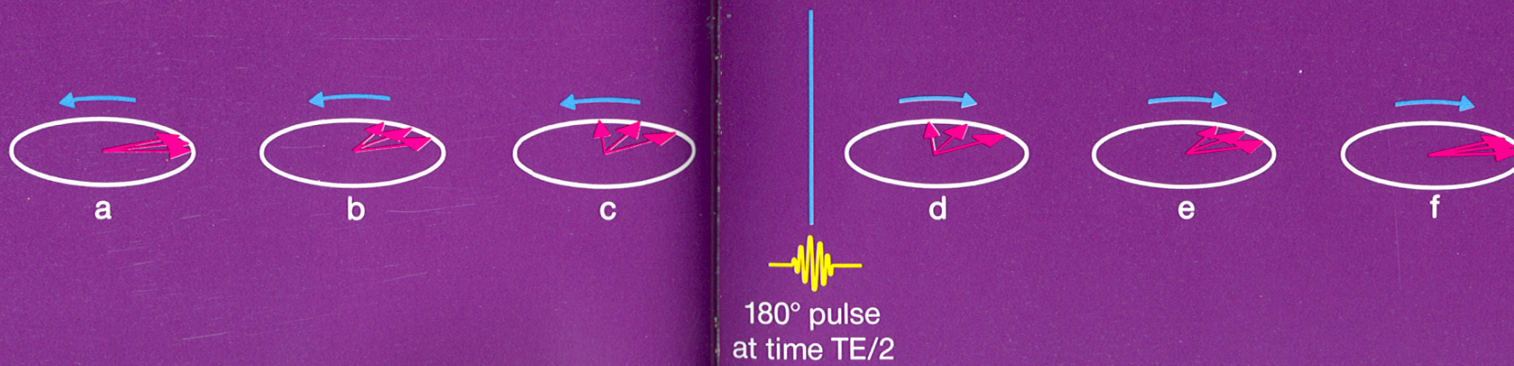
Η τεχνική Spin-Echo

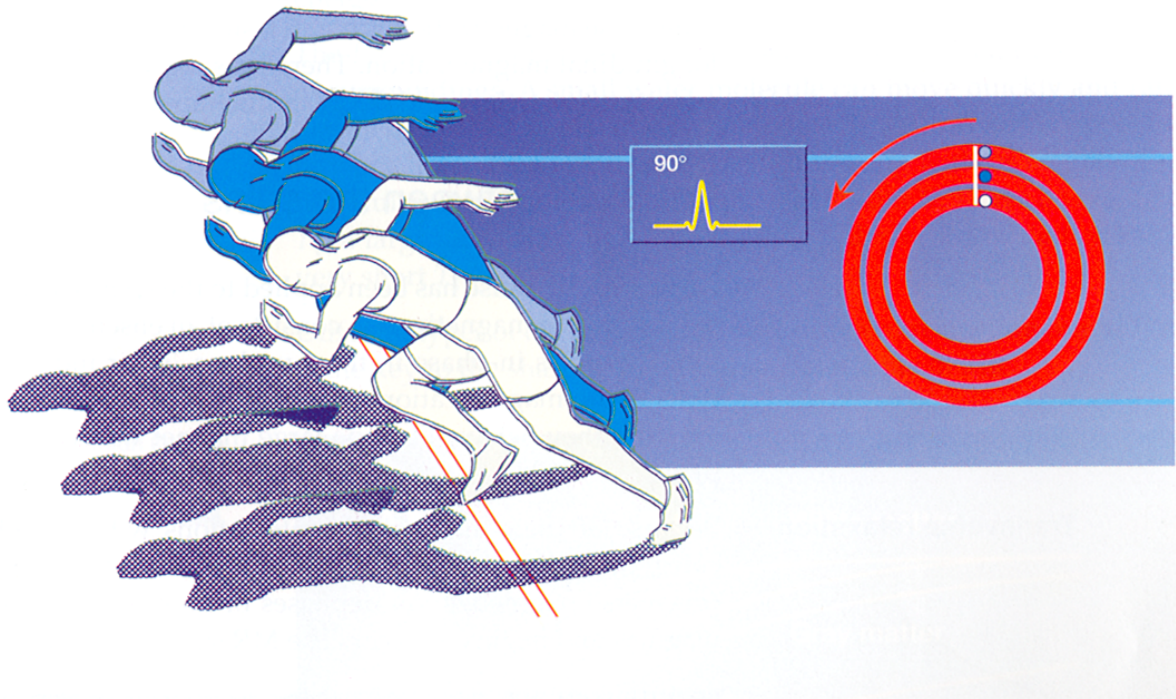
- ❑ Το 'άνοιγμα της βεντάλιας' των πυρηνικών σπιν λόγω της απώλειας της φάσης τους οδηγεί σε απώλεια της συνολικής εγκάρσιας μαγνήτισης.
- ❑ Η τεχνική spin – echo στηρίζεται στην εφαρμογή ενός παλμού 180° λίγο χρονικό διάστημα μετά την εφαρμογή του αρχικού παλμού των 90° .
- ❑ Με τον τρόπο αυτό όλα τα πυρηνικά σπιν που ήδη έχουν αρχίσει να χάνουν την φάση τους στο εγκάρσιο επίπεδο, εκτελούν μια νεύση 180° γύρω από το διάνυσμα B_1 συνεχίζοντας την φορά κίνησής τους.
- ❑ Ακολούθως η 'βεντάλια' θα αρχίσει να κλείνει.
- ❑ Σε κάποια συγκεκριμένη χρονική στιγμή τα πυρηνικά σπιν θα συναντηθούν όλα μαζί δημιουργώντας μια ηχώ (spin echo)

Η τεχνική Spin-Echo

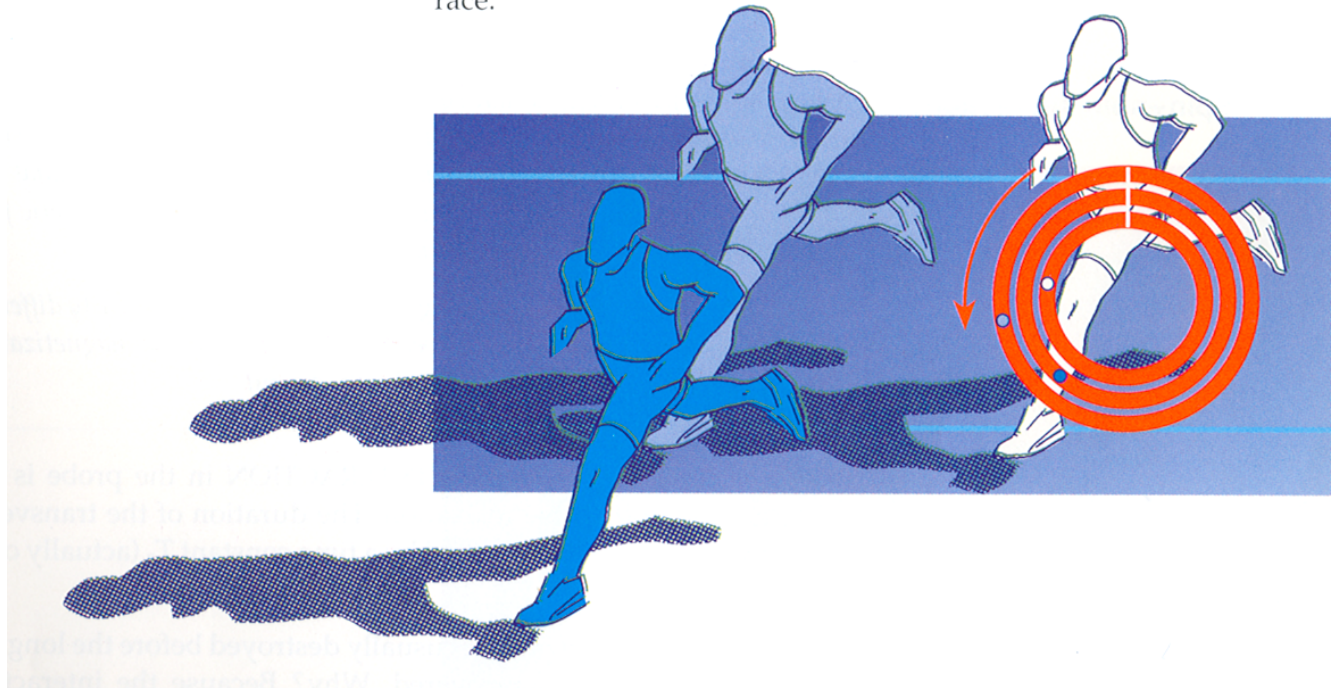


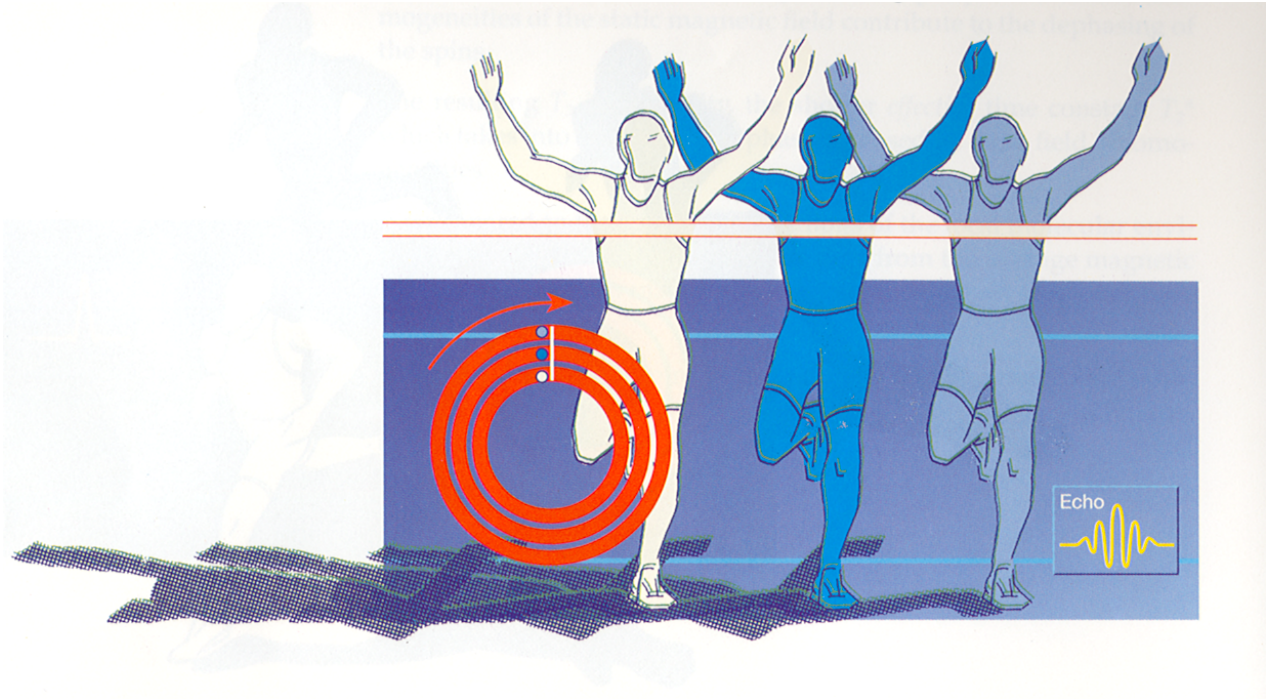
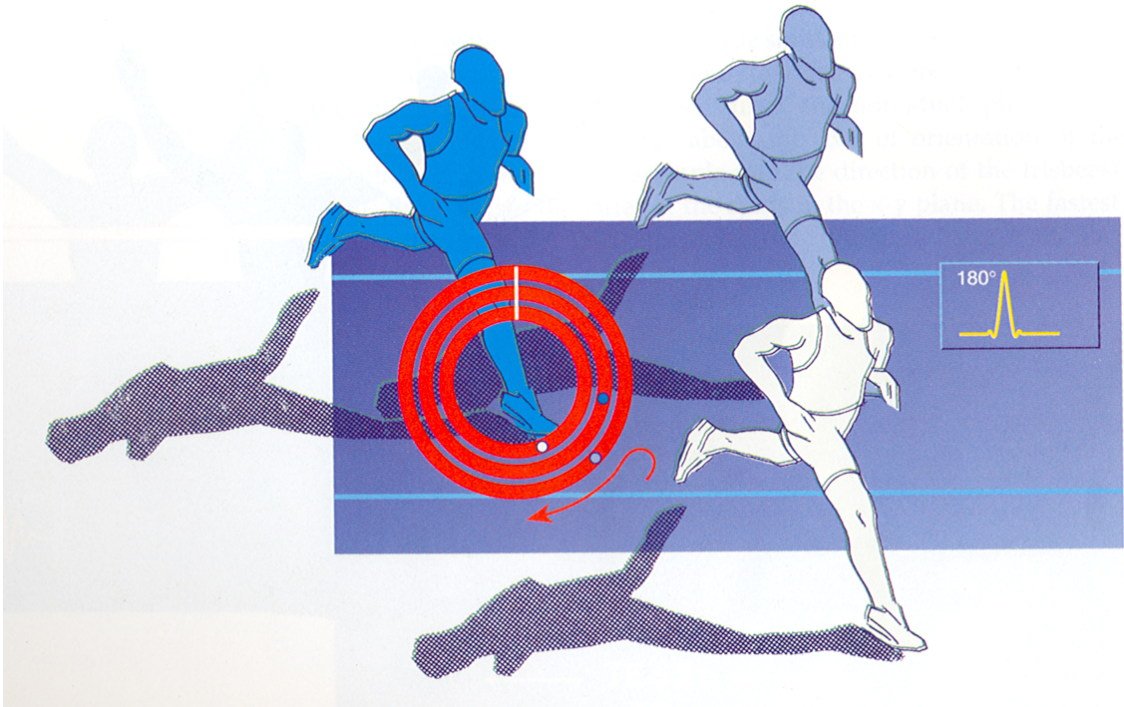






race.



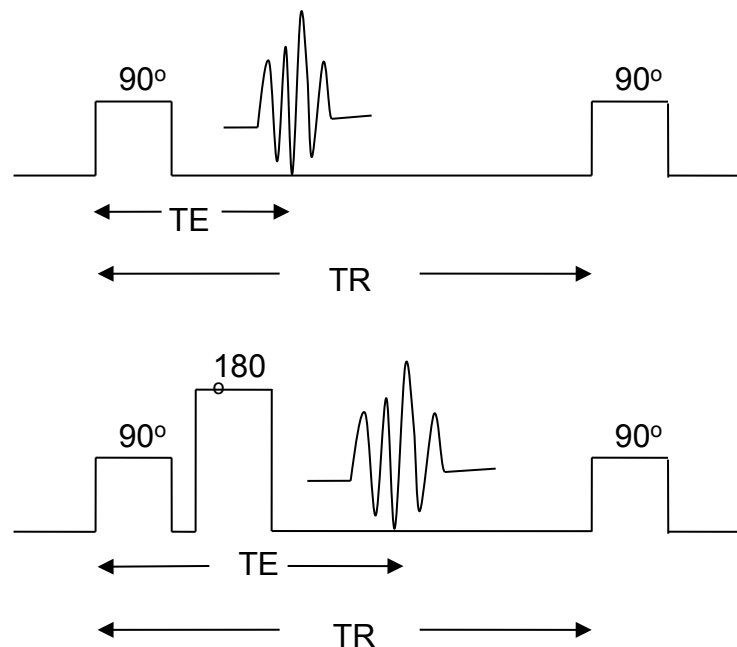


Χρόνος επανάληψης και χρόνος αντήχησης

- Χρόνος επανάληψης, TR = ο χρόνος μεταξύ δυο διαδοχικών ραδιοπαλμών 90°

Σε χρόνο TR η διαμήκης μαγνήτιση M_z ισούται με : $M_z(t) = M_z(0) \left(1 - e^{-\frac{TR}{T_1}}\right)$

- Χρόνος αντήχησης, TE = ο χρόνος που μεσολαβεί μεταξύ ενός ραδιοπαλμού 90° και της ανάγνωσης του σήματος

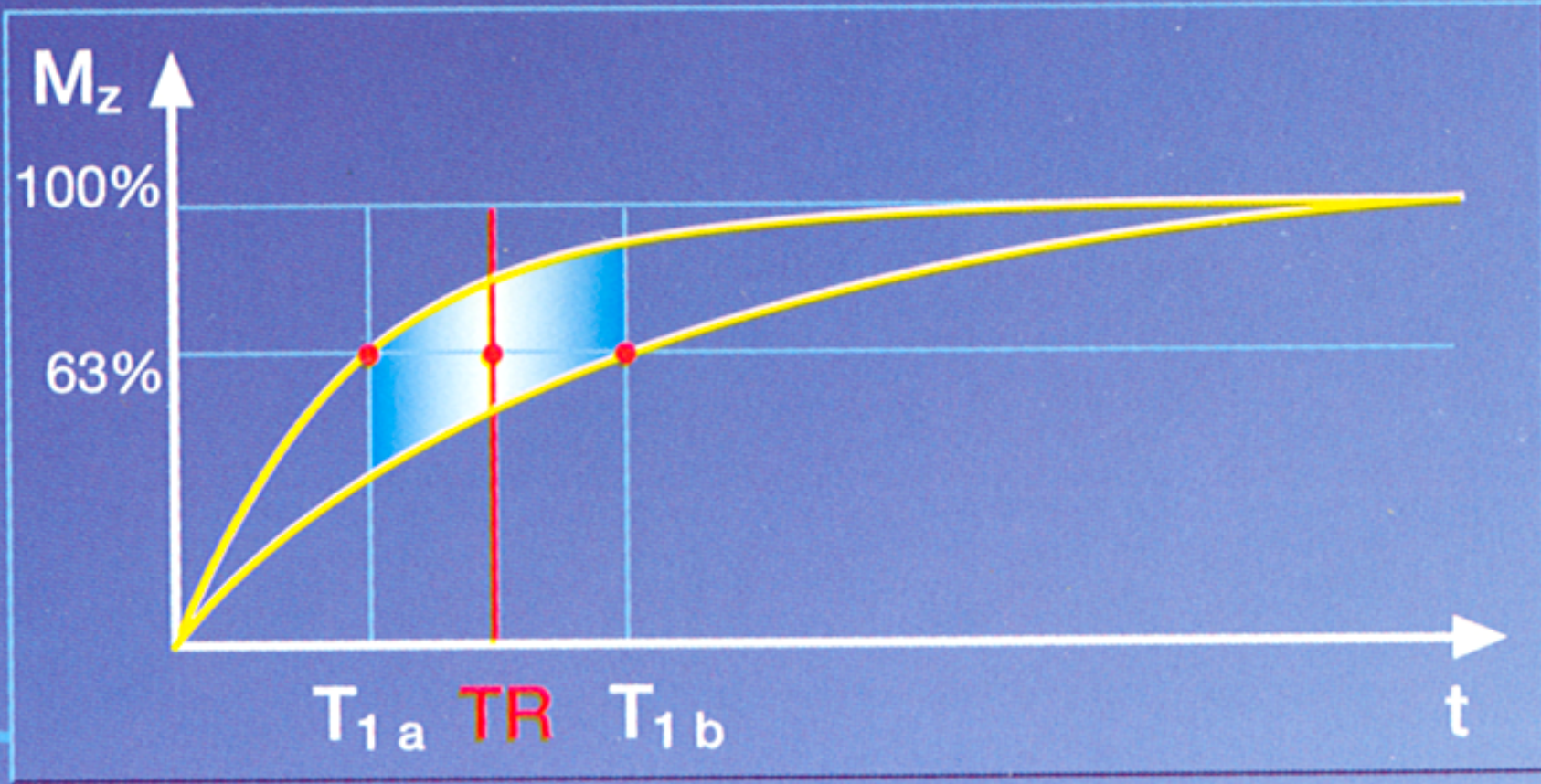


Χρόνος επανάληψης και χρόνος αντήχησης

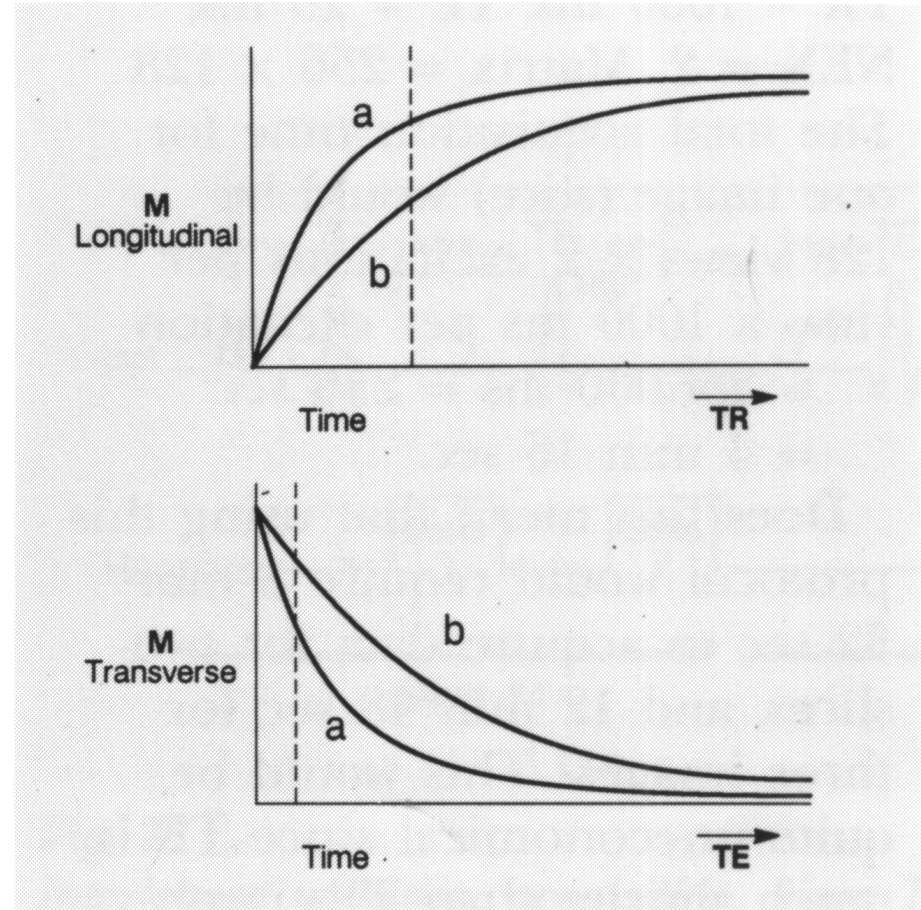
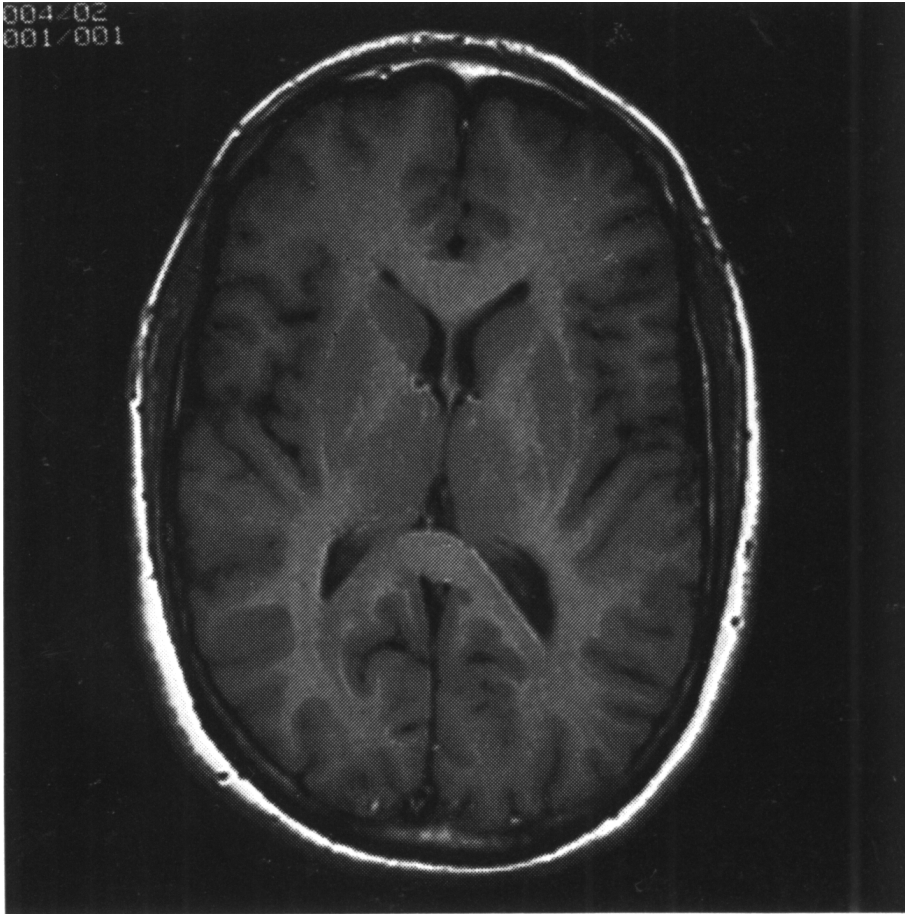
- Το σήμα δίνεται από τη σχέση

$$I \propto N(H) (1 - e^{-TR/T1}) e^{-TE/T2}$$

ΕΙΚΟΝΕΣ T₁	Μικρός TE	Μικρός TR
ΕΙΚΟΝΕΣ T₂	Μεγάλος TE	Μεγάλος TR
ΕΙΚΟΝΕΣ πυκνότητας πρωτονίων	Μικρός TE	Μεγάλος TTR



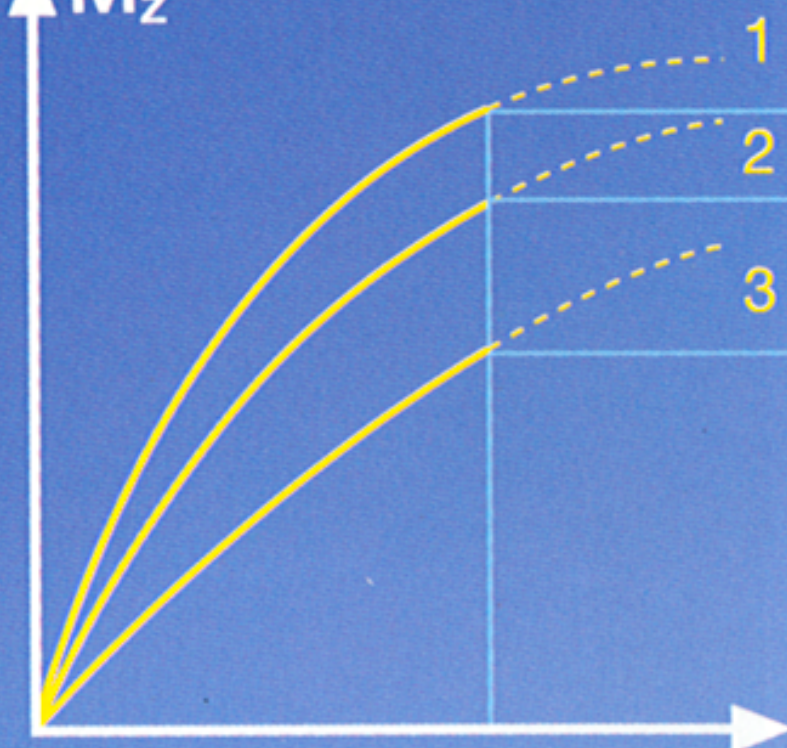
ΕΙΚΟΝΑ ΒΑΡΥΤΗΤΑΣ T1 (T1 WEIGTING)



Χρόνος TR: Ρυθμίζει εικόνες ως προς βαρύτητα T1

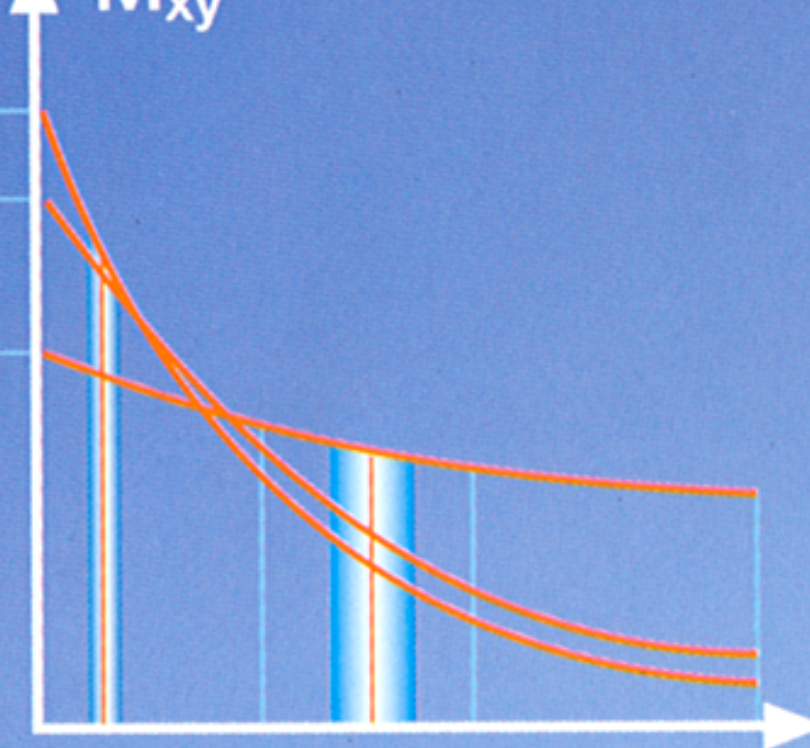
Ιστοι με μικρό T1: Φωτεινοί σε εικόνα βαρύτητας T1

M_z



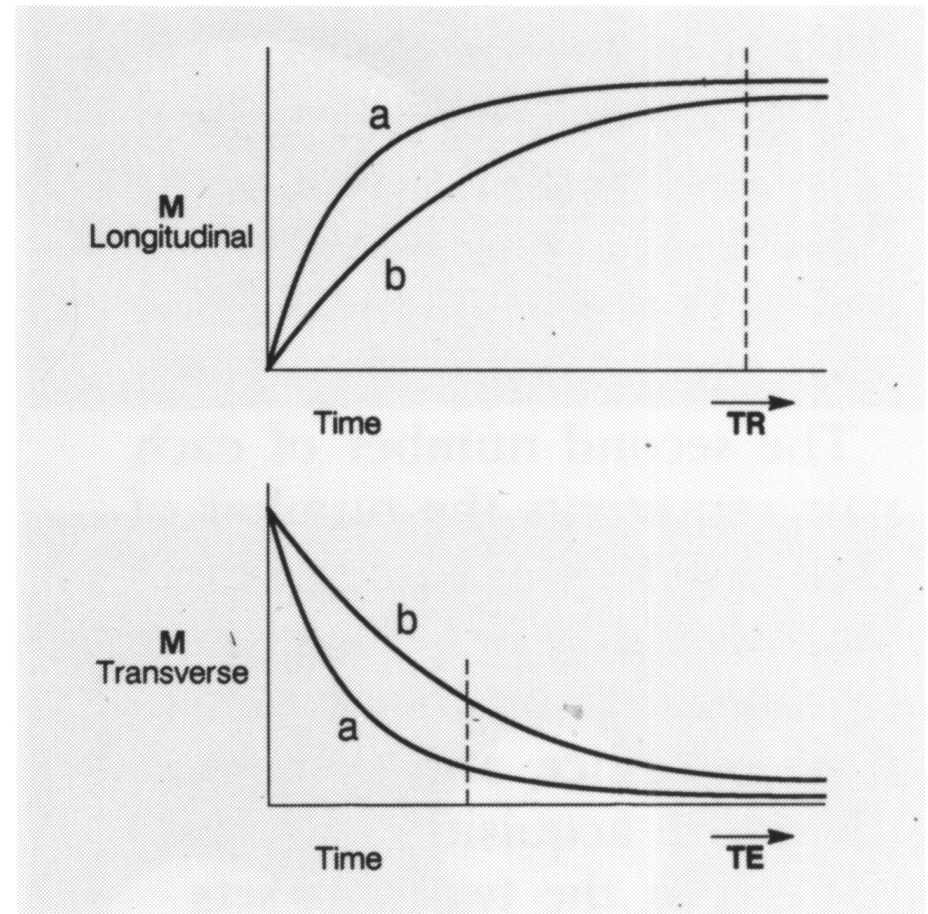
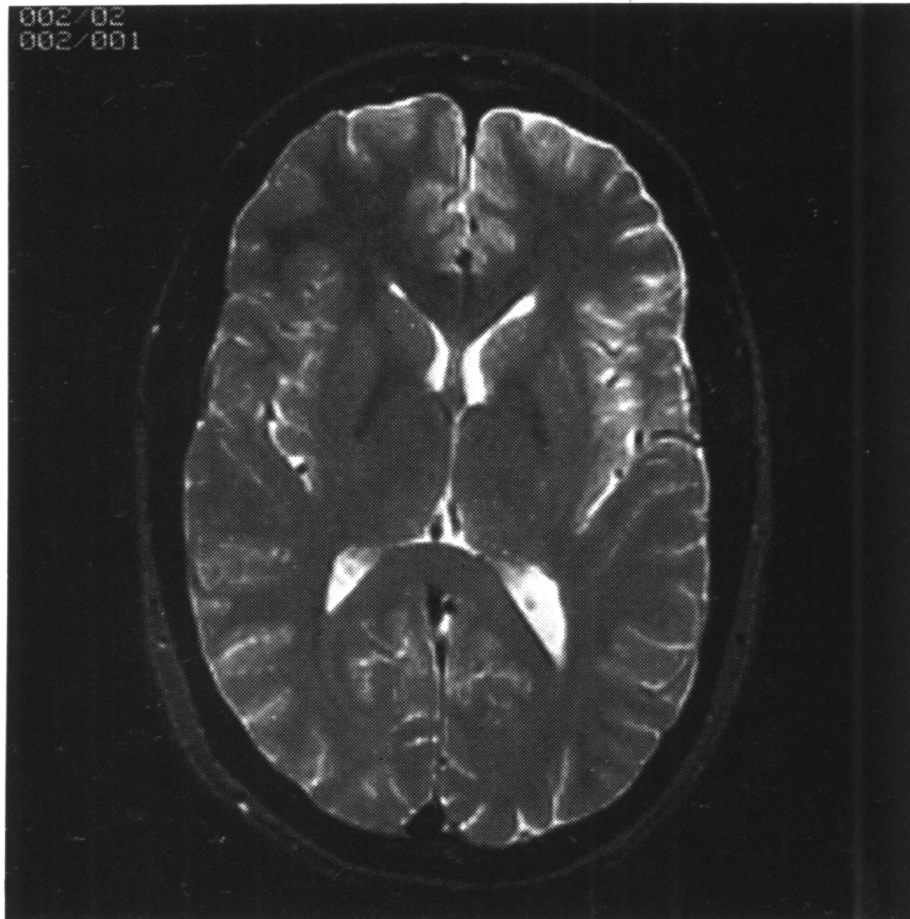
$3000 TR$ in ms

M_{xy}



15 60 90 120 TE in ms

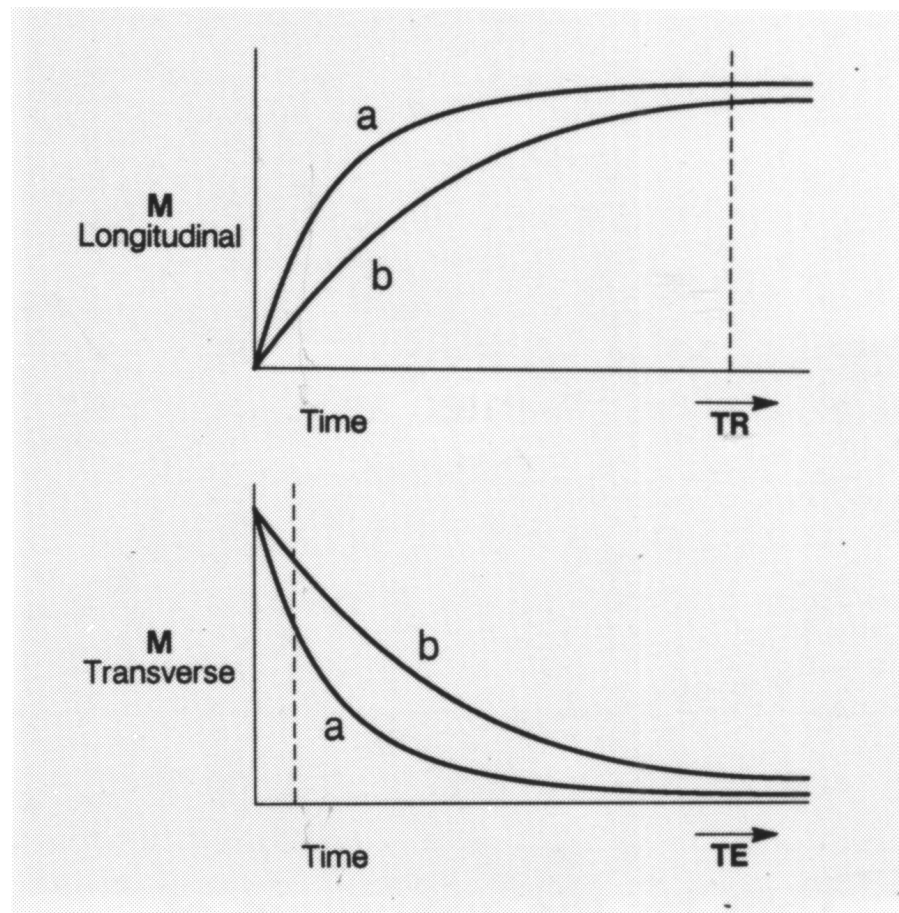
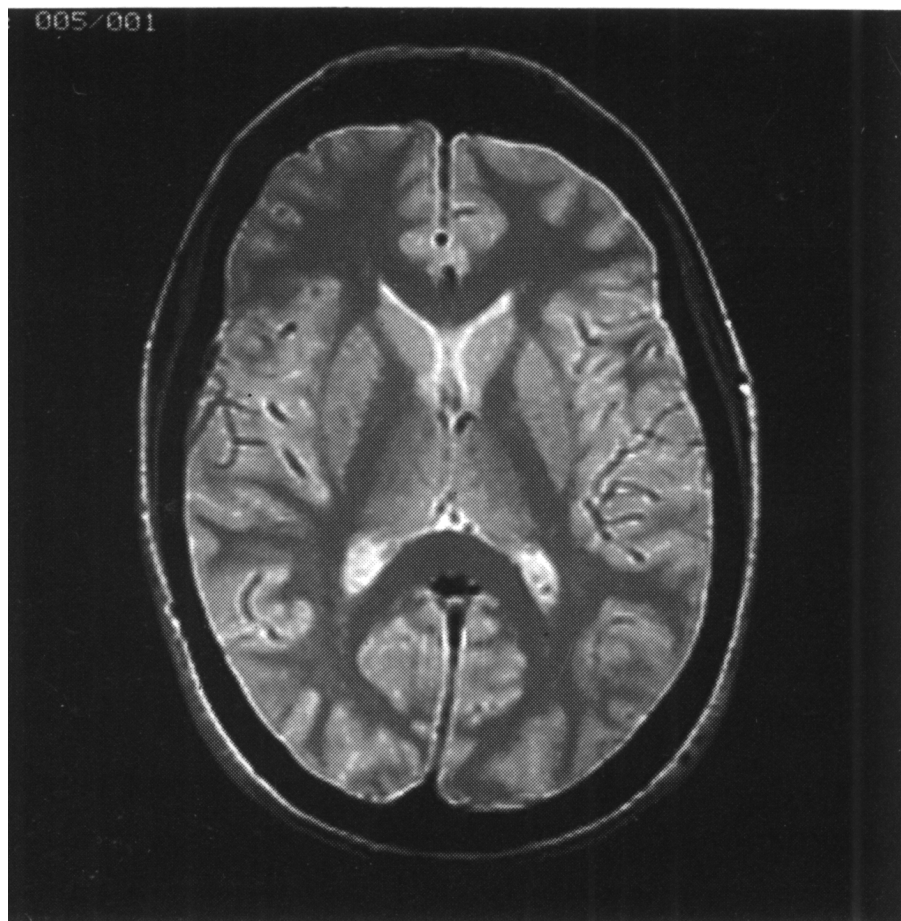
ΕΙΚΟΝΑ ΒΑΡΥΤΗΤΑΣ T2 (T2 WEIGTING)



Χρόνος TE: Ρυθμίζει εικόνες ως προς βαρύτητα T2

Ιστοι με μικρό T2: Σκοτεινοί σε εικόνα βαρύτητας T2

ΕΙΚΟΝΑ ΠΥΚΝΟΤΗΤΑΣ ΠΡΩΤΟΝΙΩΝ



TR = 2 500
TE = 15

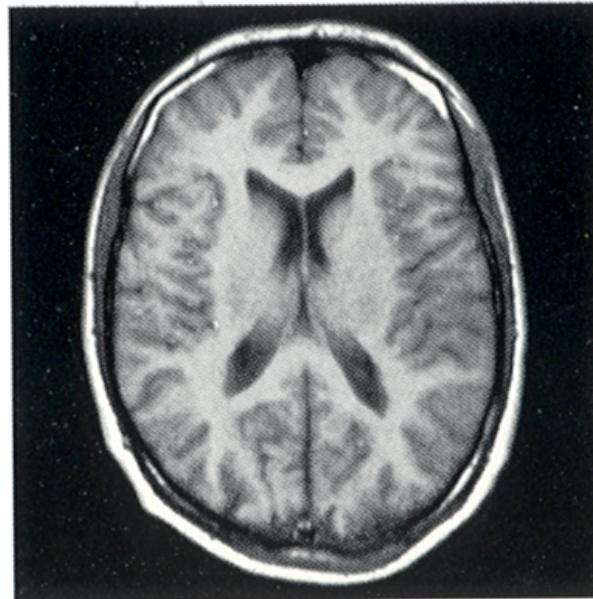
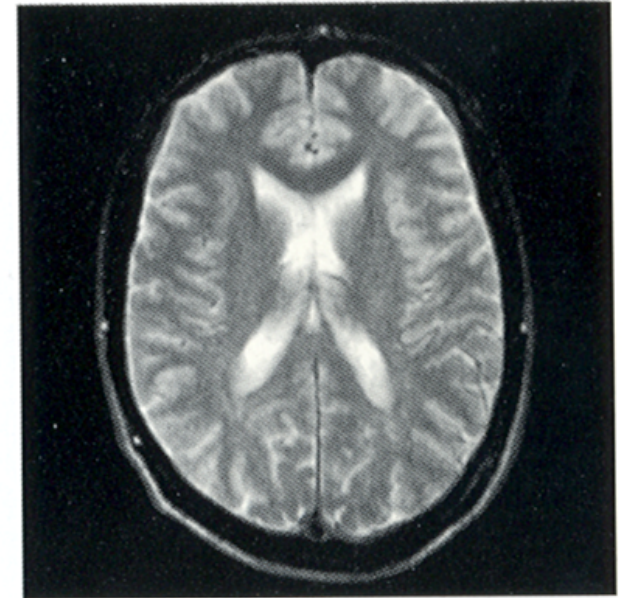
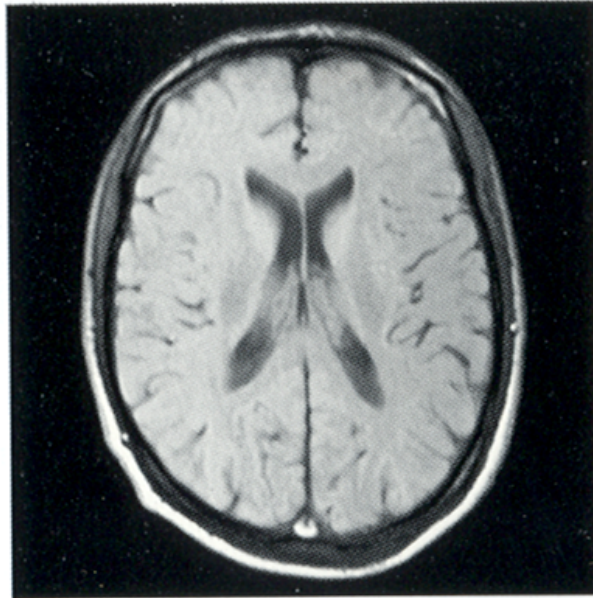
1

TR = 2 500
TE = 90

2

TR = 500
TE = 15

3



▲ TR

PD-weighted :
Long TR
Short TE

T₂-weighted :
Long TR
Long TE

T₁-weighted :
Short TR
Short TE

TE

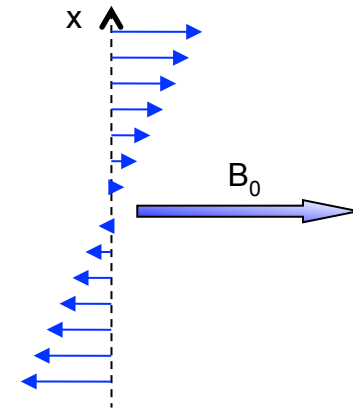


Χωρική πληροφορία – κωδικοποίηση στο χώρο

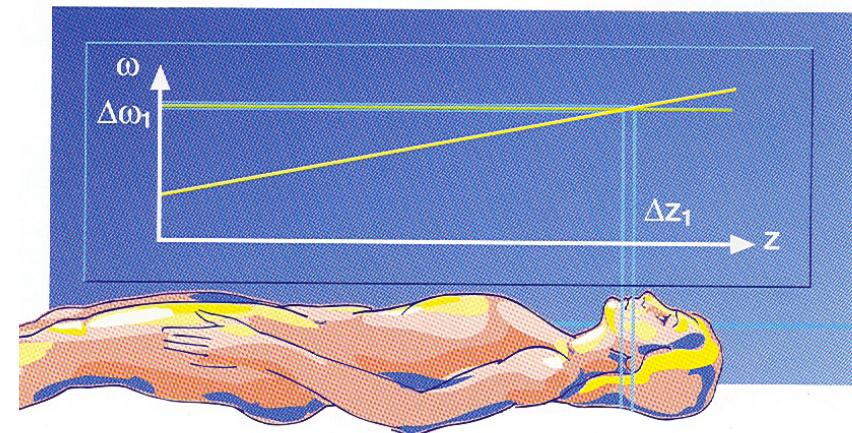
- ❑ Στην Απεικόνιση Μαγνητικού Συντονισμού (ΑΜΣ) όμως, όπως και σε όλες τις απεικονιστικές τεχνικές, απαιτείται η παραγωγή εικόνας με χωρική πληροφορία, με πληροφορία δηλαδή της θέσης του πυρήνα που διεγείρεται ή με άλλα λόγια απαιτείται η κωδικοποίηση του σήματος στο χώρο.
- ❑ Για να συμβεί αυτό πρέπει το μαγνητικό πεδίο να μεταβάλλεται χωρικά έτσι ώστε να μεταβάλλεται χωρικά και η συχνότητα περιστροφής των πυρήνων (συχνότητα Larmor). Στην περίπτωση αυτή οι πυρήνες μπορούν να διεγερθούν επιλεκτικά ανάλογα με τη θέση τους και το σήμα που θα καταγραφεί μπορεί να έχει την χωρική πληροφορία που απαιτείται για την παραγωγή της εικόνας.

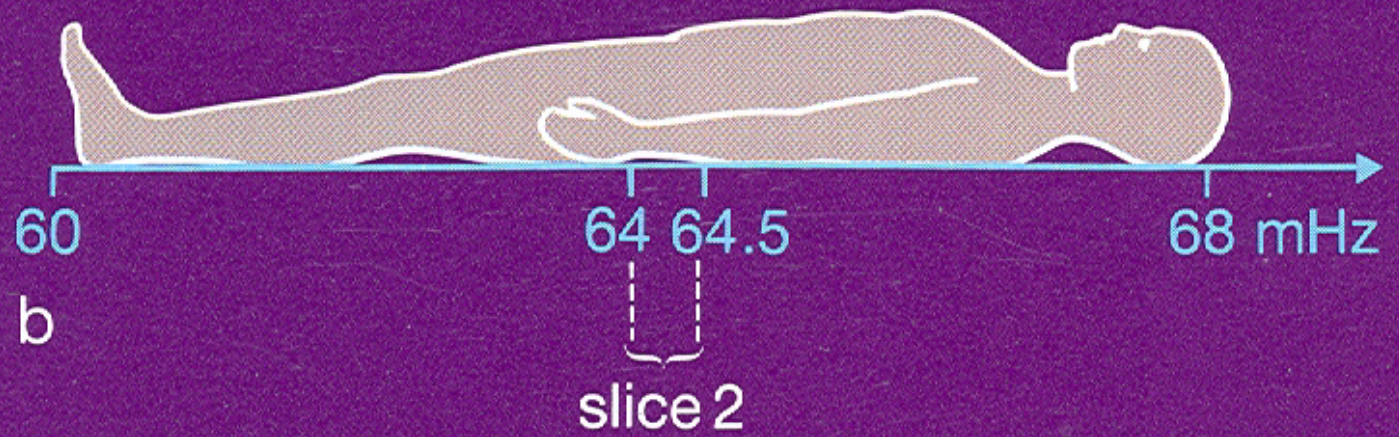
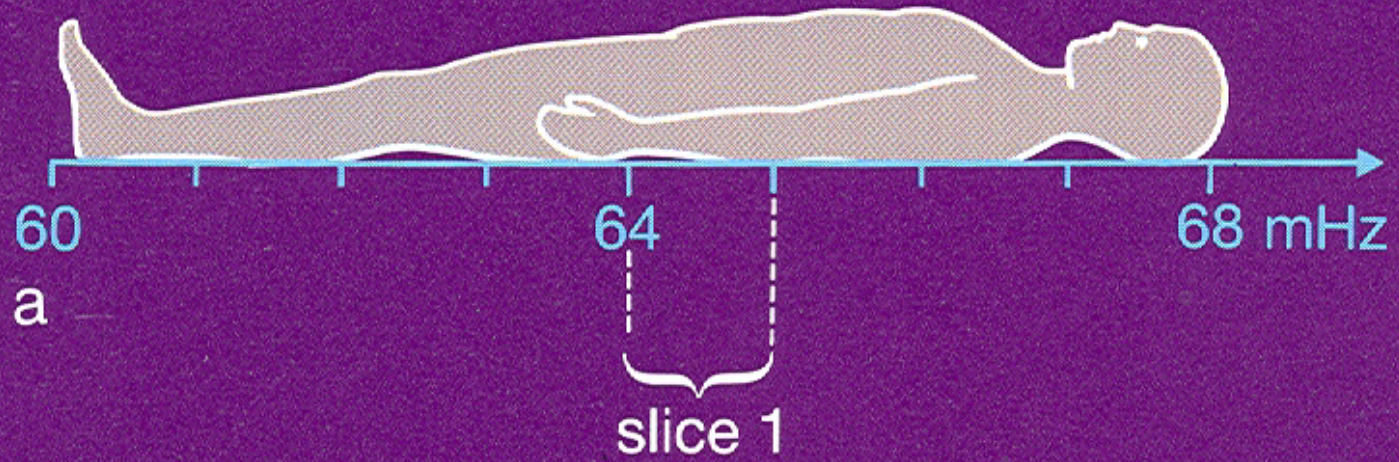
Χωρική πληροφορία – κωδικοποίηση στο χώρο

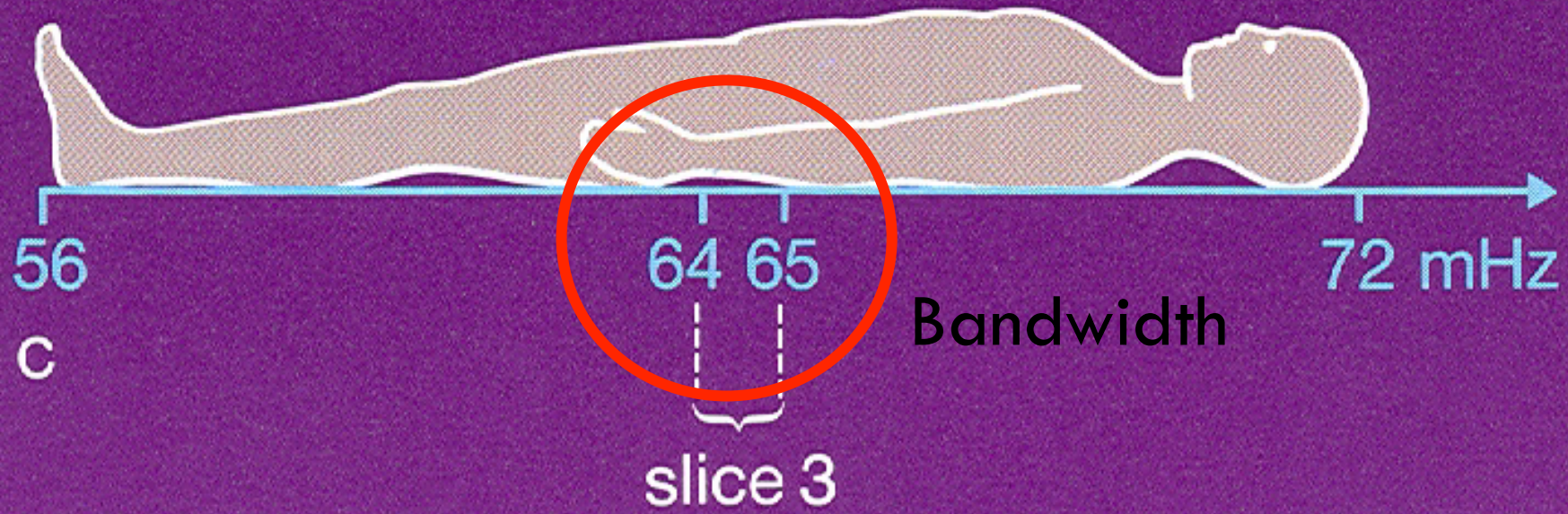
□ Για το σκοπό αυτό, παράλληλα με το ισχυρό στατικό μαγνητικό πεδίο B_0 εφαρμόζονται επιπλέον βαθμιδωτά πεδία η ένταση των οποίων μεταβάλλεται γραμμικά κατά μήκος του άξονα εφαρμογής τους.



□ Η εφαρμογή των βαθμιδωτών πεδίων έχει ως αποτέλεσμα την χωρική βάρθρωση των συχνοτήτων Larmor, δηλαδή με άλλα λόγια σε κάθε σημείο στον χώρο να αντιστοιχεί διαφορετική συχνότητα Larmor.







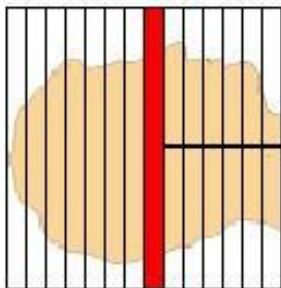
Χωρική πληροφορία – κωδικοποίηση στο χώρο

- ❑ Διεγείροντας επιλεκτικά πυρήνες σε συγκεκριμένες χωρικές περιοχές και εφαρμόζοντας κατάλληλους μετασχηματισμούς Fourier προκύπτουν εικόνες με χωρική πληροφορία, οι οποίες αντιστοιχούν σε τομές του σώματος.
- ❑ Οι εικόνες αυτές αναπαριστούν τα μαγνητικά χαρακτηριστικά του ιστού που απεικονίζεται στην κάθε περιοχή-τομή και αποτελούνται από έναν πίνακα εικονοστοιχείων (pixels) όπου η φωτεινότητα (brightness) του καθενός σχετίζεται με τις μαγνητικές ιδιότητες του αντίστοιχου ογκοστοιχείου (voxel).
- ❑ Το σήμα από κάθε voxel είναι η μέση τιμή των σημάτων όλων των πρωτονίων που περιέχει.

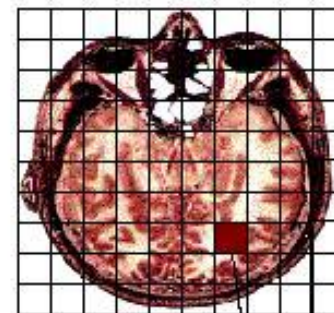
ΕΠΙΛΟΓΗ ΤΟΜΗΣ

- ❑ Ενεργοποιώντας το πηνίο βάθμωσης στον άξονα-z (z-gradient) τα πρωτόνια κατά μήκος του άξονα “αισθάνονται” διαφορετικό πεδίο και αποκτούν γραμμικά μεταβαλλόμενες συχνότητες *Larmor*.
- ❑ Τα πρωτόνια της τομής που μας ενδιαφέρει έχουν ένα μοναδικό φάσμα συχνοτήτων το οποίο μας είναι γνωστό.
- ❑ Αν εκπεμφθεί ένας παλμός 90° ειδικά διαμορφωμένος ώστε να περιέχει τις συχνότητες των πρωτονίων της τομής τότε διεγείρονται μόνο τα πρωτόνια της τομής. Η κεντρική συχνότητα του παλμού καθορίζει το ύψος της τομής ενώ το εύρος ζώνης συχνοτήτων (bandwidth) καθορίζει το πάχος της.

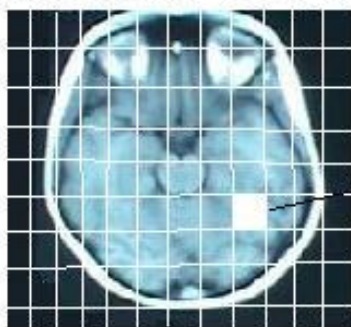
ΟΓΚΟΣ ΤΟΜΩΝ



ΤΟΜΕΣ ΤΩΝ VOXEL



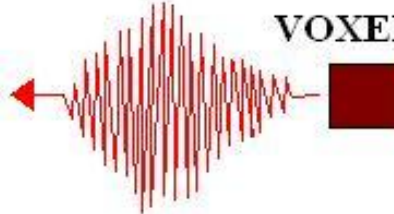
ΕΙΚΟΝΑ ΑΠΟ PIXEL



PIXEL



ΣΗΜΑ



VOXEL



Βιολογικές επιδράσεις

- ❑ Η ΑΜΣ θεωρείται σε γενικές γραμμές μία ασφαλής απεικονιστική μέθοδος, χωρίς επιβλαβή βιολογικά αποτελέσματα, με την προϋπόθεση ότι τηρούνται οι κανόνες ασφαλείας και οι προδιαγραφές των συστημάτων που χρησιμοποιούνται.
- ❑ Οι πιθανές βιολογικές επιδράσεις κατά τη χρήση της μεθόδου σχετίζονται με
 - α) το ισχυρό στατικό μαγνητικό πεδίο,
 - β) τα βαθμιδωτά πεδία,
 - γ) τα πηνία ραδιοσυχνοτήτων
 - δ) Εμφυτεύματα / συσκευές
 - ε) Κρυογόνα

Στατικό μαγνητικό πεδίο

- ❑ Τα μέχρι σήμερα διαθέσιμα στοιχεία δηλώνουν ότι η βραχυχρόνια έκθεση σε ισχυρό μαγνητικό πεδίο δεν έχει σημαντικά επιβλαβή βιολογικά αποτελέσματα και γενικά δεν έχουν παρατηρηθεί αξιοσημείωτα βιολογικά προβλήματα από το στατικό μαγνητικό πεδίο.
- ❑ Φαινόμενα που έχουν αναφερθεί σε σχέση με την εισαγωγή των ασθενών σε ισχυρά μαγνητικά πεδία (μεγαλύτερα των 4 T) είναι ναυτία, ίλιγγος, πονοκέφαλος, μούδιασμα, οπτικές διαταραχές και πόνος (π.χ. σε οδοντικά σφραγίσματα). Τα φαινόμενα αυτά είναι προσωρινά και οι επιδράσεις σταματούν μετά την έξοδο από τον μαγνήτη.

Βαθμιδωτά πεδία

- ❑ Τα βαθμιδωτά πεδία ενεργοποιούνται και απενεργοποιούνται πολλές φορές κατά την διάρκεια λήψης της εικόνας.
- ❑ Τα πεδία αυτά επάγουν ηλεκτρικά πεδία τα οποία μπορεί να διεγείρουν το νευρικό ή/και μυϊκό σύστημα, όταν η συχνότητα εφαρμογής τους και κατ' επέκταση η μεταβολή του μαγνητικού πεδίου (dB/dt) που προκαλούν, υπερβεί κάποιο όριο.
- ❑ Τα πηνία βαθμιδωτών πεδίων δημιουργούν επίσης θόρυβο λόγω της πρόσκρουσής τους πάνω στα πλαίσια στήριξής τους και αποτελούν την κύρια πηγή θορύβου στην ΑΜΣ.
- ❑ Τα επίπεδα θορύβου κυμαίνονται από περίπου 83 dB (για συμβατική σάρωση) έως 114 dB (για πιο εξειδικευμένες εφαρμογές). Για το λόγο αυτό κατά την ΑΜΣ χρησιμοποιούνται είτε ωτοασπίδες, είτε ακουστικά, τα οποία μειώνουν το επίπεδο θορύβου κατά 10-30 dB. Το υφιστάμενο ανώτατο όριο για το επίπεδο θορύβου κατά την ΑΜΣ είναι 140 dB και αφορά τη μέγιστη στιγμιαία έκθεση.

Πηνία Ραδιοσυχνοτήτων (RF)

- ❑ Οι ραδιοσυχνότητες που χρησιμοποιούνται στη μαγνητική τομογραφία εξαρτώνται άμεσα από την ένταση του στατικού μαγνητικού πεδίου, B_0 .
- ❑ Για $B_0=1$ Tesla η αντίστοιχη ραδιοσυχνότητα είναι 42.58 MHz και η τιμή της είναι ανάλογη ανάλογα με το B_0 που χρησιμοποιείται.
- ❑ Η χρήση των RF παλμών έχει ως σκοπό και αποτέλεσμα την απορρόφηση ενέργειας. Η ενέργεια αυτή αποδίδεται ως θερμότητα η οποία προκαλεί αύξηση θερμοκρασίας στο υπό απεικόνιση δείγμα.

Εμφυτεύματα - συσκευές

- ❑ Έως σήμερα, περισσότερα από 1300 αντικείμενα έχουν αξιολογηθεί ως προς την ασφάλεια και συμβατότητά τους για ΑΜΣ (αλληλεπίδραση με το μαγνητικό πεδίο, πεδίο RF και θερμότητα, επαγωγή ηλεκτρικών ρευμάτων, επίδραση στην ποιότητα εικόνα, δυσλειτουργία κλπ.).
- ❑ Τα περισσότερα υλικά που χρησιμοποιούνται σε ιατρικές πράξεις δεν έχουν σοβαρές συνέπειες στην ΑΜΣ. Από την άλλη μεριά, το ισχυρό μαγνητικό πεδίο μπορεί να διακόψει την κανονική λειτουργία ηλεκτρικών, μαγνητικών και μηχανικών συσκευών (π.χ., βηματοδότες αντλίες ινσουλίνης, κλπ), οπότε ασθενείς που φέρουν τέτοιες συσκευές δεν επιτρέπεται να προβούν σε ΑΜΣ.
- ❑ Ένας άλλος σημαντικός κίνδυνος σχετίζεται με την μετακίνηση (μετατόπιση, στρέψη) εμφυτευμάτων ή ξένων υλικών με σιδηρομαγνητικές ιδιότητες λόγω του ισχυρού μαγνητικού πεδίου. Μεταλλικά αντικείμενα στο σώμα του ασθενούς, όπως ζώνες, φερμουάρ, σκουλαρίκια, θα πρέπει να αποφεύγονται. Επίσης μεταλλικά αντικείμενα στο χώρο εξέτασης του μαγνητικού τομογράφου πρέπει να απαγορεύονται.

Κρυογόνα

- ❑ Ο υπεραγώγιμος μαγνήτης χρησιμοποιεί υγρό Ήλιο με θερμοκρασία ζέσης τους 4° Kelvin (-269°C) για τη διατήρηση της υπεραγωγιμότητας του. Από τη στιγμή που, για οποιοδήποτε λόγο, το ηλεκτρικό πηνίο αρχίζει να παρουσιάζει ηλεκτρική αντίσταση και να χάνει την υπεραγώγιμή του κατάσταση, τότε ξεκινά μία ταχύτατη αλυσιδωτή αντίδραση διάρκειας μικρότερης των 20 sec.
- ❑ Η ηλεκτρική ενέργεια που είναι αποθηκευμένη στο πηνίο μετατρέπεται σε θερμική, εξαερώνοντας τεράστιες ποσότητες υγρού ηλίου.
- ❑ Το αέριο Ήλιο είναι άοσμο, άχρωμο και διαστέλλεται ταχύτατα. Αν δεν διοχετευθεί αμέσως σε εξωτερικό χώρο θα αντικαταστήσει το περισσότερο από το οξυγόνο στο δωμάτιο, με κίνδυνο ασφυξίας. Για το λόγο αυτό στο χώρο του μαγνητικού τομογράφου υπάρχουν ειδικά συστήματα εξαέρωσης.