



Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης  
Πολυτεχνική Σχολή  
Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών & Μηχανικών  
Υπολογιστών

# ΕΡΓΑΣΙΑ ΣΤΗ ΒΙΟΙΑΤΡΙΚΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ

---

## Μαγνητικός τομογράφος

---

Μανουσαρίδης Ιωάννης (8855)

Θεσσαλονίκη, Δεκέμβριος 2019

## **Περιεχόμενα**

<b>Περιεχόμενα</b>	<b>2</b>
<b>1. Εισαγωγή</b>	<b>3</b>
<b>2. Αρχή Λειτουργίας</b>	<b>4</b>
2.1 Σπιν ή ιδιοστροφορμή	4
2.2 Πυρηνικός μαγνητικός συντονισμός (Nuclear Magnetic Resonance- NMR)	4
2.2 Τμήματα ενός μαγνητικού τομογράφου	6
2.3 Λειτουργία του μαγνητικού τομογράφου	7
2.3.1 Συνοπτική προσέγγιση	7
2.3.2 Αναλυτική προσέγγιση	8
<b>3. Ιστορική Αναδρομή</b>	<b>15</b>
<b>4. Βιβλιογραφία</b>	<b>17</b>

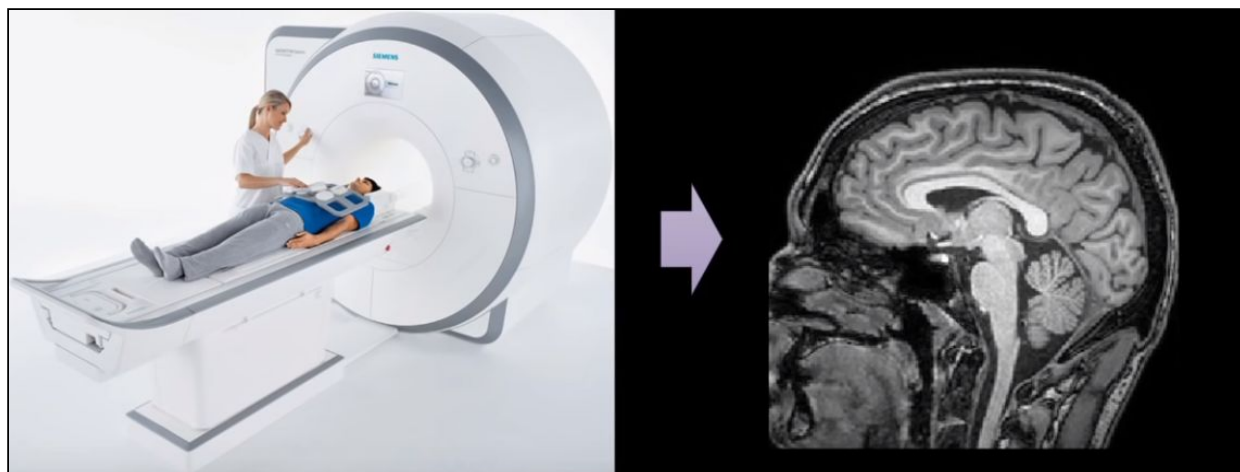
## 1. Εισαγωγή

«Η Μαγνητική Τομογραφία (Magnetic Resonance Imaging -MRI) είναι μια ακτινολογική μέθοδος απεικόνισης του εσωτερικού ενός οργανισμού [1]». Αποτελεί ιατρική εφαρμογή του φαινομένου του Πυρηνικού Μαγνητικού Συντονισμού (Nuclear magnetic resonance - NMR). Η μαγνητική τομογραφία χρησιμοποιεί ισχυρά μαγνητικά πεδία και ραδιοκύματα για τη παραγωγή και τη λεπτομερή απεικόνιση των εσωτερικών οργάνων και ιστών του ανθρώπου. Δεν περιλαμβάνει τη χρήση ακτίνων Χ ή τη χρήση ιοντίζουσας ακτινοβολίας, γεγονός που τη διαχωρίζει από την αξονική τομογραφία (Computer Tomography scan - CT scan) και την ποζιτρονική τομογραφία (Positron-emission tomography scan - PET scan).

Αν και οι κίνδυνοι από τις ακτίνες Χ είναι πλέον καλά ελεγχόμενοι στα περισσότερα ιατρικά πλαίσια, μια σάρωση μαγνητικής τομογραφίας θεωρείται ακόμα ως καλύτερη επιλογή από μια σάρωση αξονικής τομογραφίας. Η μαγνητική τομογραφία χρησιμοποιείται ευρέως σε νοσοκομεία και κλινικές για ιατρική διάγνωση, σταδιοποίηση ασθενειών και παρακολούθηση, χωρίς έκθεση του ανθρώπινου σώματος σε ακτινοβολία.

Μια μαγνητική τομογραφία μπορεί να δώσει διαφορετικές πληροφορίες σε σύγκριση με τις αξονικές τομογραφίες. Σε σύγκριση με τις αυτές, οι μαγνητικές τομογραφίες έχουν μεγαλύτερη διάρκεια, προκαλούν δυνατό θόρυβο, είναι ακριβότερες σε σχέση με άλλες μεθόδους και συνήθως χρειάζονται το υποκείμενο να εισέλθει σε ένα στενό περιοριστικό σωλήνα. Περαιτέρω, άτομα με ιατρικά εμφυτεύματα ή άλλα μη αφαιρούμενα μέταλλα στο εσωτερικό του σώματος τους, ενδέχεται να μην είναι σε θέση να υποβληθούν σε εξέταση μαγνητικής τομογραφίας με ασφάλεια.

Τέλος αξίζει να σημειωθεί ότι η μαγνητική τομογραφία αρχικά ονομαζόταν «Πυρηνική Μαγνητική Τομογραφία» (Nuclear Magnetic Resonance Imaging - NMRI) , ωστόσο ο όρος «πυρηνική» (Nuclear) αφαιρέθηκε για να αποφευχθούν αρνητικές συσχετίσεις.



Σχήμα 1. thePIRL : «Μαγνητικός τομογράφος και η απεικόνιση της εικόνας που παράγεται.», 26 Αυγ 2018, <https://www.youtube.com/watch?v=TQegSF4ZilQ&t=60s>

## 2. Αρχή Λειτουργίας

Η κατανόηση της λειτουργίας του μαγνητικού τομογράφου προϋποθέτει την εκ των προτέρων γνώση και την κατανόηση μερικών εννοιών και φαινομένων. Οι έννοιες και τα φαινόμενα αυτά παρουσιάζονται συνοπτικά στη συνέχεια.

### 2.1 Σπιν ή ιδιοστροφορμή

Στην κβαντική μηχανική και στη φυσική των σωματιδίων, η ιδιοστροφορμή ή σπιν [2] είναι μια εγγενής μορφή γωνιακής ορμής που μεταφέρεται από στοιχειώδη σωματίδια, σύνθετα σωματίδια και ατομικούς πυρήνες. Είναι εσωτερικό χαρακτηριστικό του κάθε σωματιδίου είναι ένα καθαρά κβαντικό μέγεθος. Τα μποζόνια έχουν ακέραιο σπιν (1,2,3) και τα φερμιόνια ημιακέραιο ( $\frac{1}{2}$ ,  $-\frac{1}{2}$ ).

#### Ιδιότητες ιδιοστροφορμής

- Για τιμή του  $m_s$  ίση με  $1/2$  ή σπιν προς τα πάνω ( $\uparrow$ ) το ηλεκτρόνιο περιστρέφεται γύρω από τον άξονα του με φορά αντίθετη από αυτή των δεικτών του ρολογιού.
- Για τιμή του  $m_s$  ίση με  $-1/2$  ή σπιν προς τα κάτω ( $\downarrow$ ) το ηλεκτρόνιο περιστρέφεται γύρω από τον άξονα του με φορά σύμφωνη με αυτή των δεικτών του ρολογιού.

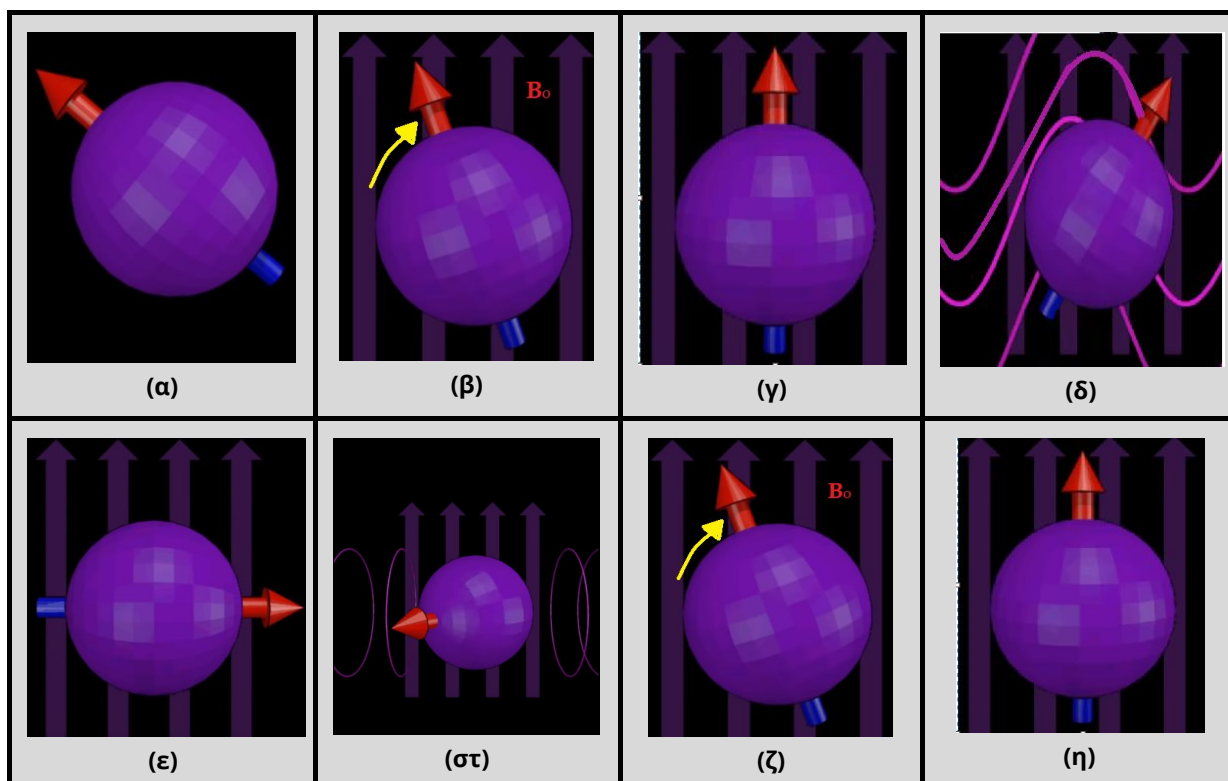


Σχήμα 2. thePIRL : «Το σπιν ενός πυρήνα πάνω και κάτω.», 26 Αυγ 2018, <https://www.youtube.com/watch?v=TQegSF4ZilQ&t=60s>

### 2.2 Πυρηνικός μαγνητικός συντονισμός (Nuclear Magnetic Resonance-NMR)

Πυρηνικός μαγνητικός συντονισμός [3] αποτελεί ένα φυσικό φαινόμενο στο οποίο οι πυρήνες σε ένα μαγνητικό πεδίο απορροφούν και επανεκπέμπουν ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία. Η ενέργεια αυτή έχει μια συγκεκριμένη συχνότητα συντονισμού, η οποία

εξαρτάται από την ισχύ του μαγνητικού πεδίου και τις μαγνητικές ιδιότητες του ατόμου.



Σχήμα 3. thePIRL : «Φάσεις του πυρήνα κατά το φαινόμενο του μαγνητικού συντονισμού.», 26 Αυγ 2018, <https://www.youtube.com/watch?v=TQegSF4ZilQ>

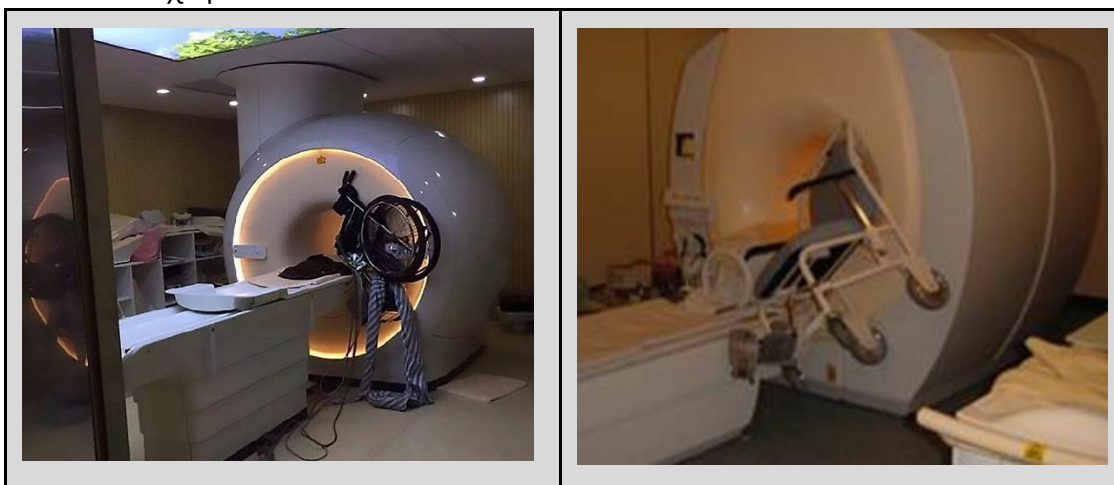
Στις εικόνες παρατηρείται ότι ο πυρήνας σε ηρεμία λειτουργεί ως ένα μικρό μαγνητικό δίπολο (Σχήμα 3.α.). Η δημιουργία μαγνητικού πεδίου στο χώρο θα επηρεάσει τον πυρήνα (Σχήμα 3.β.), ο οποίος τελικά θα ευθυγραμμιστεί με το αυτό. Έπειτα, η εκπομπή ενός ενός παλμού ραδιοσυχνότητας (Radiofrequency Pulse - RF Pulse), θα στρέψει τον πυρήνα (Σχήμα 3.γ). Στη συνέχεια, ο πυρήνας αποστέλλει πίσω τον παλμό ραδιοσυχνότητας που απορρόφησε (Σχήμα 3.στ.) και αυτό ανιχνεύεται από τον σαρωτή (scanner). Η επανεκπομπή της ραδιοσυχνότητας είναι μία διαδικασία πεπερασμένου χρονικού διαστήματος, η οποία εξαρτάται από τον αρχικό παλμό ραδιοσυχνότητας που απορροφήθηκε καθώς και από τους διάφορους εσωτερικούς ιστούς του ανθρώπου. Ο χρόνος αυτός ονομάζεται χρόνος εγκάρσιας χαλάρωσης  $T_2$ . Τέλος, ο πυρήνας εν τέλει, μετά το πέρας ενός χρονικού διαστήματος, θα ευθυγραμμιστεί εκ νέου με το μαγνητικό πεδίο (Σχήμα 3.ζ και η). Ο χρόνος αυτός ονομάζεται χρόνος διαμήκους χαλάρωσης  $T_1$ .

Αυτή η διαδικασία απο-ευθυγράμμισης και ευθυγράμμισης των πυρήνων επαναλαμβάνεται έως ότου γίνει λήψη αρκετών σημάτων για την παραγωγή μίας χρήσιμης διαγνωστικής εικόνας.

## 2.2 Τμήματα ενός μαγνητικού τομογράφου

Υπάρχουν τρία βασικά τμήματα από τα οποία αποτελείται ένας μαγνητικός τομογράφος (Σχήμα 5) και είναι τα εξής:

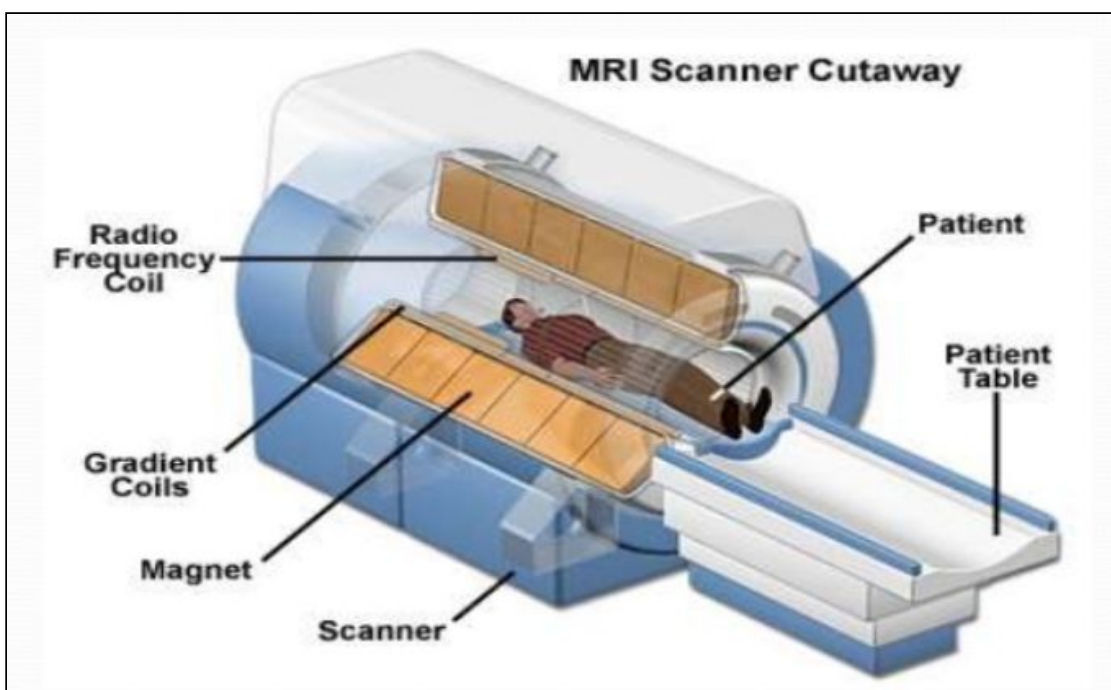
- Η κύρια συνιστώσα του συστήματος είναι ο κύριος μαγνήτης (Magnet) που παράγει το εξωτερικό στατικό πεδίο  $B_0$ , το οποίο είναι έως και 30000 φορές ισχυρότερο από αυτό της γης. Αποτελεί το 90% του εσωτερικού του μαγνητικού τομογράφου και βρίσκεται πάντα σε λειτουργία ανεξάρτητα αν επιτελείται κάποια εξέταση. Για λόγους ασφαλείας (Σχήμα 4.), λόγω της συνεχούς λειτουργία του μαγνήτη πρέπει να αποφεύγεται η είσοδος σιδηρομαγνητικών υλικών στο χώρο.



Σχήμα 4. Darren Hudson & Newcastle Clinic : «Ατυχήματα με το μαγνητικό τομογράφο.», Ιούλιος 27, 2016 & Ιούλιος 25, 2016,

<https://blog.bir.org.uk/2016/07/27/mri-safety-putting-staff-and-patients-first/> &  
<https://newcastleclinic.co.uk/mri-safety-week-precautions-to-take-before-an-mri-scan/>

- Τα πηνία βαθμίδας (gradient coils). Σε κατάσταση ηρεμίας στο εσωτερικό του τομογράφου το μαγνητικό πεδίο είναι ομογενές. Όταν διέρχεται ρεύμα μέσω των πηνίων βαθμίδας δημιουργείται ένα δευτερεύον μαγνητικό πεδίο. Αυτό το πεδίο κλίσης ελαττώνει ελαφρά το κύριο μαγνητικό πεδίο σε ένα προβλέψιμο μοτίβο στο χώρο. Αυτό χρησιμοποιείται για τον εντοπισμό του RF σήματος στο χώρο και για να προσφέρουν ένα ευρύ φάσμα «φυσιολογικών» τεχνικών, όπως η MR αγγειογραφία, η διάχυση και απεικόνιση διάχυσης.
- Τα πηνία ραδιοσυχνότητας (RF coils). Τα πηνία αυτά βρίσκονται κοντά στο σώμα του ασθενή και στέλνουν και λαμβάνουν ραδιοκύματα προς και από τους ιστούς του. Υπάρχουν τριών ειδών πηνείων σε αυτή τη κατηγορία για το κεφάλι, το σώμα και τα επιφανειακά πηνία.



Σχήμα 6. Rajesh Venunath: «Τα τμήματα ενός μαγνητικού τομογράφου.», Αυγ 26, 2018, <https://www.slideshare.net/rajeshvenunath/introduction-to-mri-111620264>

## 2.3 Λειτουργία του μαγνητικού τομογράφου

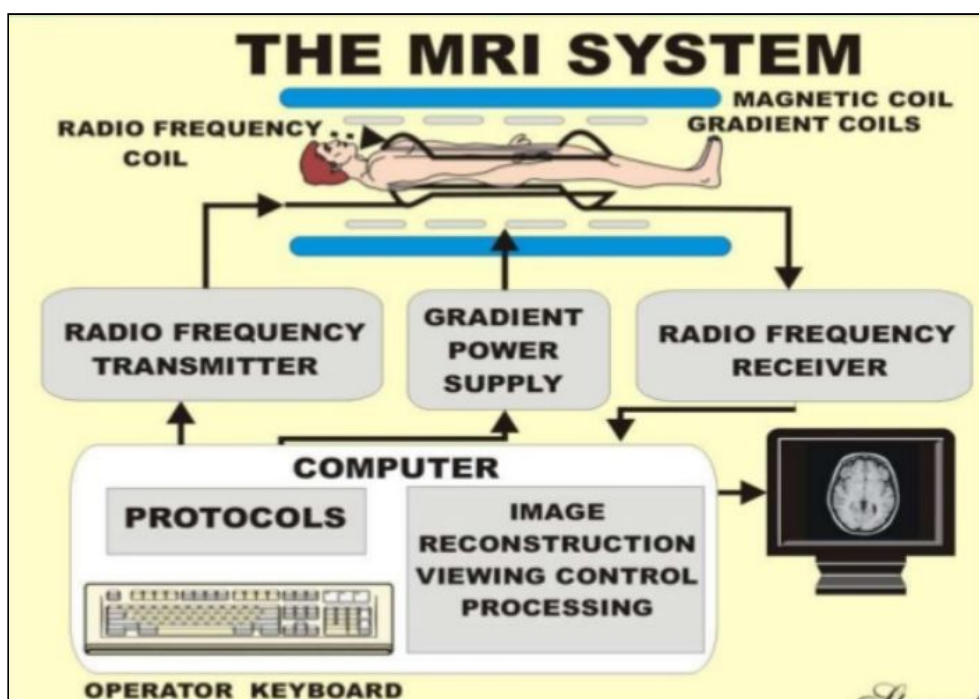
Για την κατανόηση της λειτουργίας μία εξέτασης μαγνητικής τομογραφίας (Σχήμα 7), θα παρουσιαστούν αρχικά συνοπτικά τα βήματα της εξέτασης και έπειτα τα βήματα αυτά θα αναλυθούν εκτενέστερα και διεξοδικότερα.

### 2.3.1 Συνοπτική προσέγγιση

Η εξέταση μαγνητικής τομογραφίας ουσιαστικά περιλαμβάνει τα παρακάτω πέντε βήματα [4]:

1. Τοποθέτηση του ασθενούς στο εσωτερικό χώρο του μαγνήτη.
2. Αποστολή ραδιοκύματος στο εσωτερικό.
3. Απενεργοποίησης της αποστολής ραδιοκύματος.
4. Εκπομπή σήματος από τον ασθενή.
5. Λήψη του εκπεμπόμενου σήματος και ανακατασκευή της εικόνας με βάση αυτό.





Σχήμα 7. Rajesh Venunath: «Απεικόνιση της λειτουργίας του μαγνητικού τομογράφου.», Αυγ 26, 2018, <https://www.slideshare.net/rajeshvenunath/introduction-to-mri-111620264>

### 2.3.2 Αναλυτική προσέγγιση

Αναλυτικότερα, η εξέταση της μαγνητικής τομογραφίας περιλαμβάνει την τοποθέτηση του ασθενή μέσα στο σωληνοειδές χώρο του τομογράφου. Το ισχυρό μαγνητικό πεδίο επιδρά στους πυρήνες των ατόμων του ανθρώπινου σώματος. Το ανθρώπινο σώμα αποτελείται από πολλά στοιχεία, αλλά το κυρίαρχο είναι το υδρογόνο. Το υδρογόνο εντοπίζεται στο νερό και ο ανθρώπινος οργανισμός αποτελείται κατά 70% από νερό.

Ένα άτομο υδρογόνου με ένα μόνο ισότοπο, ονομάζεται πρώτιο ( $^1\text{H}$ ), περιέχει μόνο ένα πρωτόνιο και κανένα νετρόνιο, στον πυρήνα του. Από εδώ και στο εξής το άτομο του υδρογόνου, θα αναφέρεται στο μονό ισότοπο, το πρώτιο.

<p>«Τοποθέτηση του ασθενή στο μαγνητικό τομογράφο.»</p>	<p>«Κάτοψη του ασθενή μέσα στο μαγνητικό τομογράφο, μαζί με το <math>B_0</math> .»</p>	<p>«Το κυρίαρχο στοιχείο στον ανθρώπινο οργανισμό, το υδρογόνο.»</p>

Σχήμα 8. thePIRL, 26 Αυγ 2018, <https://www.youtube.com/watch?v=TQegSF4Zil>



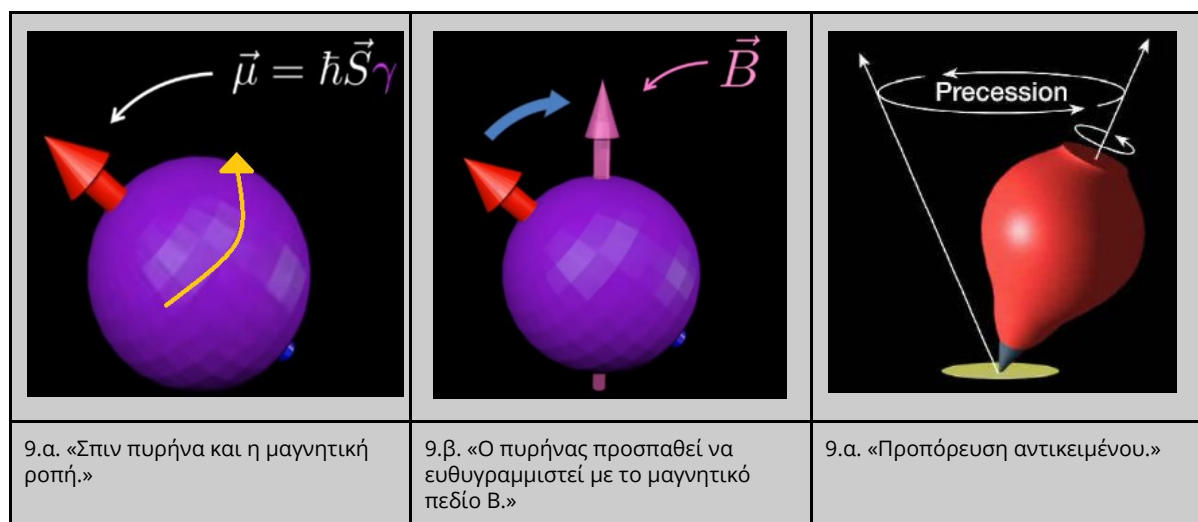
Ο πυρήνας έχει κάποιες χρήσιμες βασικές ιδιότητες. Μία από αυτές είναι η ιδιοστροφορμή ή σπιν, που απεικονίζει την στροφορμή (angular momentum) και μαγνητική στιγμή (magnetic moment) του πρωτονίου (Σχήμα 9.α).

Η μαγνητική ροπή δίνεται από τον τύπο:

$$\vec{\mu} = \hbar \vec{S} \gamma \quad (1)$$

όπου  $\hbar$  ανηγμένη σταθερά του Πλανκ,  $S$  η τιμή του σπιν και  $\gamma$  ο γυρομαγνητικός λόγος.

Η τοποθέτηση του πυρήνα σε μαγνητικό πεδίο  $B$ , θα έχει ως αποτέλεσμα ο πυρήνας να προσπαθήσει να ευθυγραμμιστεί με το μαγνητικό πεδίο  $B$  (Σχήμα 9.β). Η αλλαγή της κατεύθυνσης του του πρωτονίου που έχει σπιν, επιφέρει ως αποτέλεσμα μία άλλη κίνηση που ονομάζεται προπόρευση (precession) (Σχήμα 9.γ.). Αυτό είναι το φαινόμενο του πυρηνικού μαγνητικού συντονισμού. Στη συνέχεια, για τη σύνθετη κίνηση του πυρήνα θα χρησιμοποιείται ο όρος περιστροφή ή απλά κίνηση.



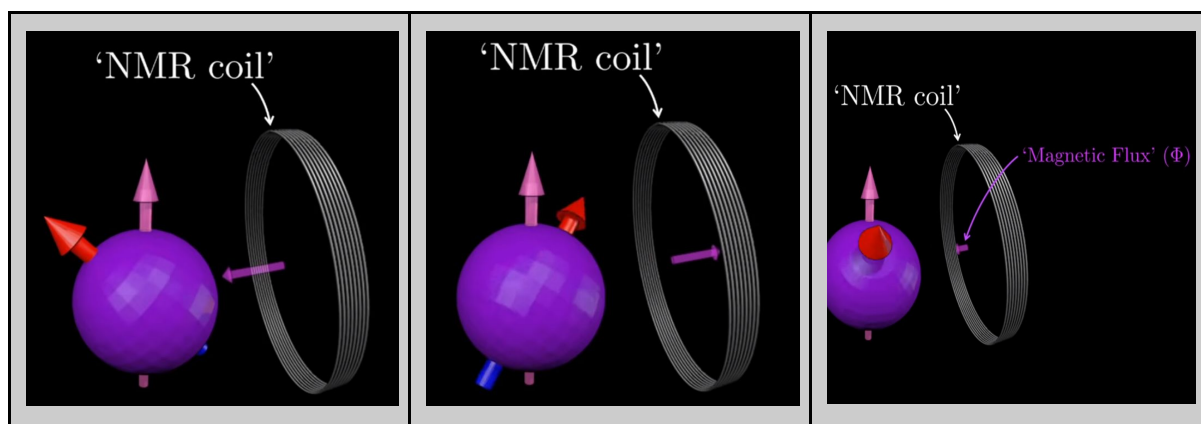
Σχήμα 9. thePIRL, 26 Aug 2018, <https://www.youtube.com/watch?v=TQegSF4ZilQ>

Στη συνέχεια, ο πυρήνας τοποθετείται σε ένα πηνίο (NMR coil). Καθώς ο πυρήνας περιστρέφεται, μέσα στο πηνίο δημιουργείται περιστρεφόμενη μαγνητική ροή  $\Phi$  (Σχήμα 10). Η μαγνητική ροή  $\Phi$  είναι μια ημιτονοειδής συνάρτηση με μία συχνότητα  $\omega$  που είναι η συχνότητα της προπόρευσης.

$$\Phi(t) = \sin(\omega t) \quad (2)$$

Λόγω του Νόμου του Lenz, η μεταβολή της μαγνητικής ροής θα δημιουργήσει τάση στο πηνίο (σχέση 3). Αυτή η τάση είναι και το σήμα που ανιχνεύεται από το πηνίο.

$$\text{Lenz's Law: } \epsilon = -\frac{\partial \Phi}{\partial t} \quad (3)$$



Σχήμα 10. thePIRL, 26 Αυγ 2018, «Η δημιουργία μαγνητική ροής στο εσωτερικό του πηνίο λόγω της κίνησης του πυρήνα» <https://www.youtube.com/watch?v=TQegSF4ZilQ>

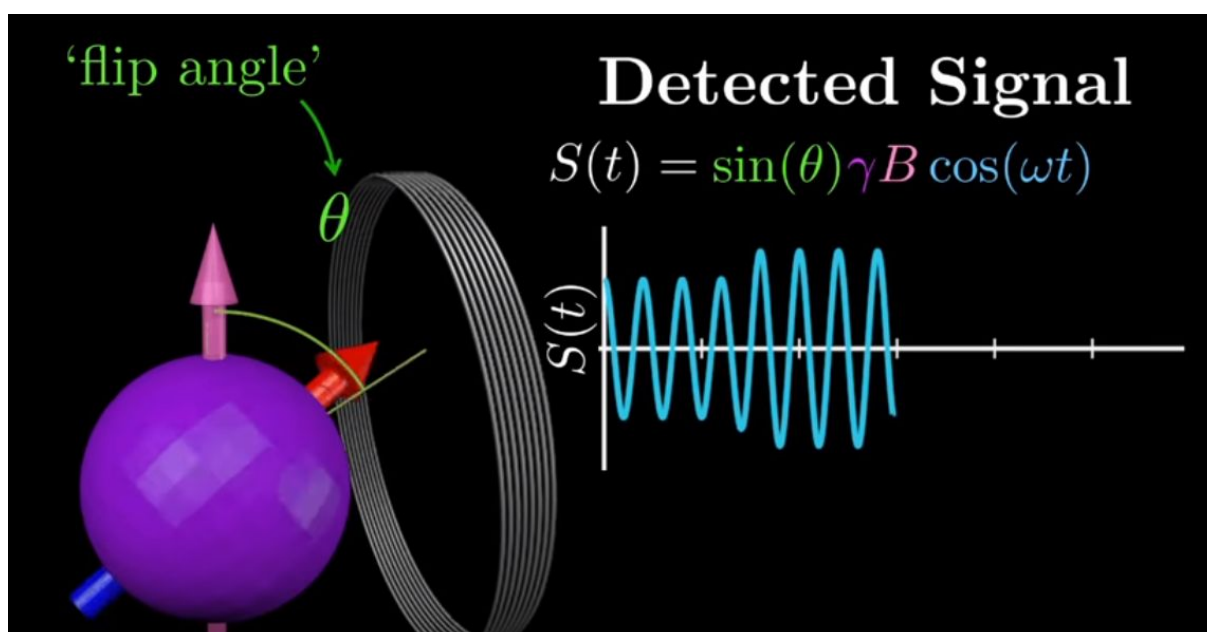
Το ανιχνεύσιμο σήμα είναι ένα ημιτονοειδές σήμα  $S(t)$  που προκύπτει από τις (2), (3). Επίσης, σύμφωνα με την εξίσωση Larmor:

$$\text{Larmor equation: } \omega = \gamma B \quad (4)$$

Η εξίσωση αυτή συνδέει την συχνότητα προπόρευσης  $\omega$ , με το γυρομετρικό λόγο και το μαγνητικό πεδίο. Σύμφωνα λοιπόν και με την (4) και τη γωνία κλίσης  $\theta$  (flip angle) του πυρήνα η τελική εξίσωση είναι:

$$\text{Detected signal : } \epsilon(t) = S(t) = \sin(\theta)\gamma B \cos(\omega t) \quad (5)$$

Η μορφή του σχήματος που ανιχνεύεται φαίνεται στο σχήμα 11. Το σήμα αυτό είναι το αποτέλεσμα ενός μόνο πυρήνα.



Σχήμα 11. thePIRL, 26 Αυγ 2018, «Το ανιχνεύσιμο σήμα λόγω της κίνησης του πυρήνα» <https://www.youtube.com/watch?v=TQegSF4ZilQ>

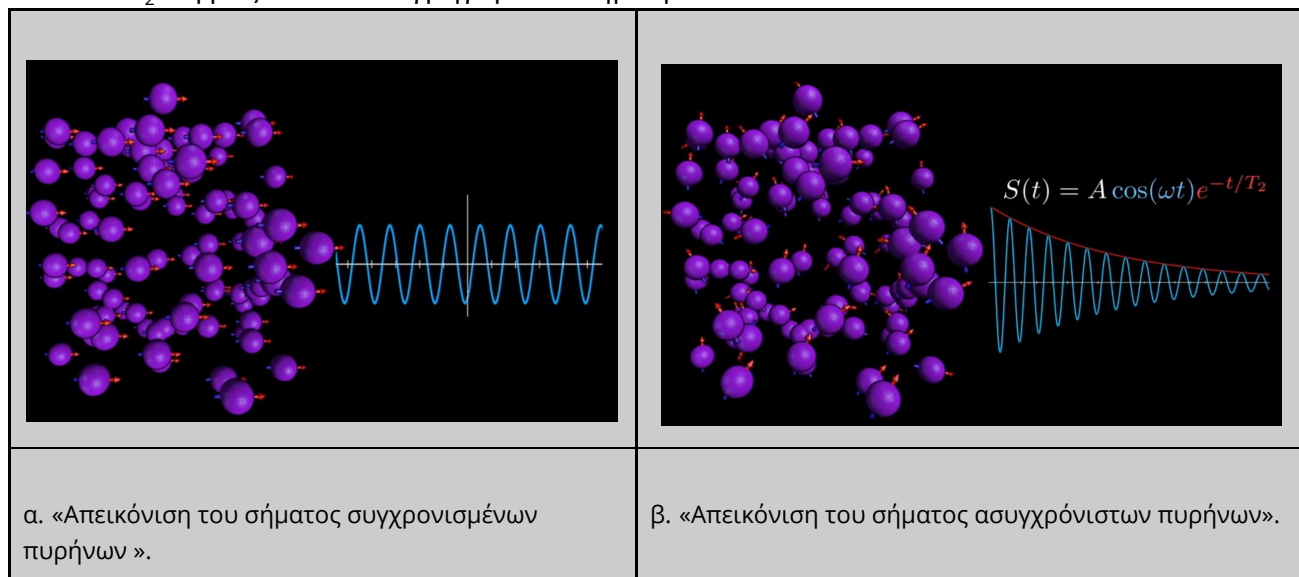
Το τελικό αποτέλεσμα είναι το άθροισμα όλων των σημάτων όλων των πυρήνων. Επομένως αν ο αριθμός των πυρήνων είναι  $N$ , το ανιχνεύσιμο σήμα δίνεται από τον τύπο:

$$\text{Detected signal : } S(t) = N \sin(\theta) \gamma B \cos(\omega t) \quad (6)$$

Το σήμα αυτό αναφέρεται σε πυρήνες που περιστρέφονται συγχρονισμένα, με την ίδια κατεύθυνση (Σχήμα 12.α). Μόνο τότε τα σήματα τους μπορούν να αθροιστούν και να δημιουργήσουν ένα ανιχνεύσιμο σήμα. Αυτή η συνοχή στην κίνηση των πυρήνων δε διαρκεί για πάντα. Με το πέρασμα του χρόνου οι πυρήνες αποσυγχρονίζονται και το σήμα χάνεται. Για αυτό το λόγο το πραγματικό σήμα είναι ένα εκθετικά μειώμενο σήμα (Σχήμα 12.β) . Αυτό το σήμα μπορεί να εκφραστεί από τον τύπο:

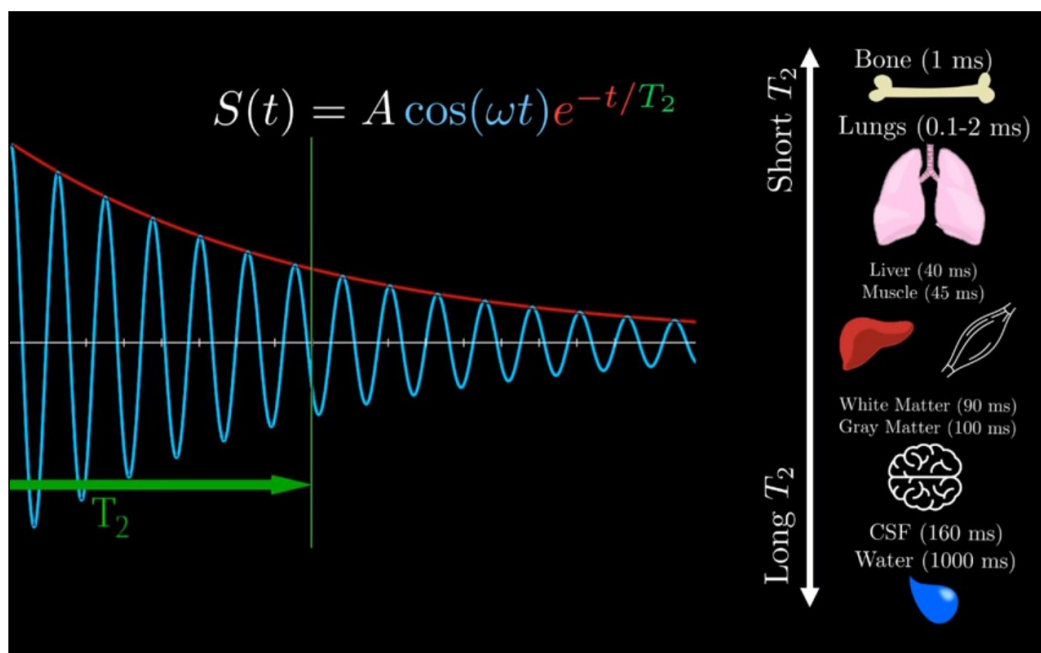
$$S(t) = A \cos(\omega t) e^{-\frac{t}{T_2}} \quad (7) \quad , \quad \text{where } A = N \sin(\theta) \gamma B$$

όπου το  $T_2$  εκφράζει το πόσο γρήγορα το σήμα φθίνει.



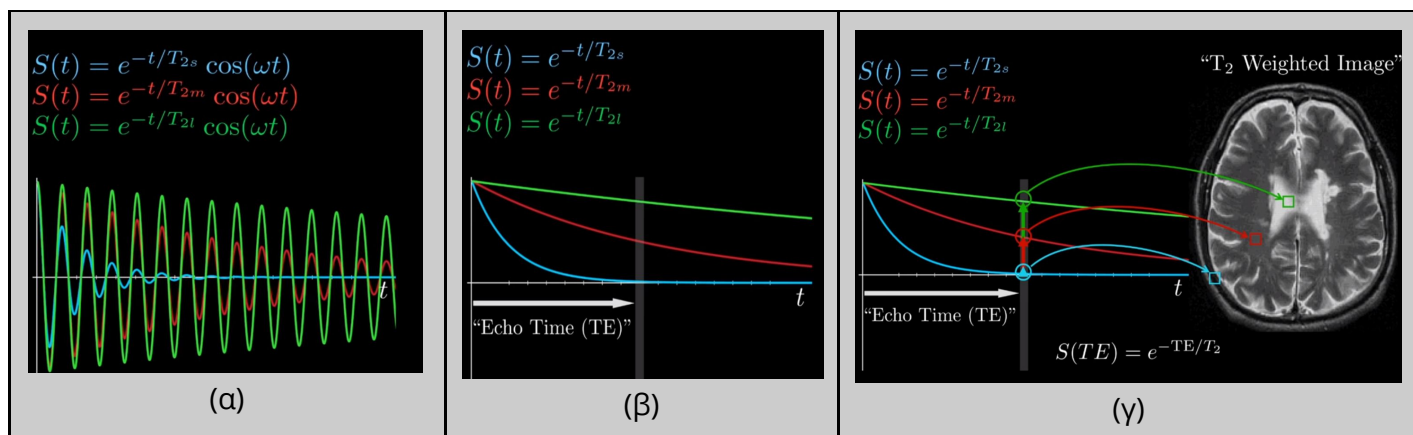
Σχήμα 12. thePIRL, 26 Aug 2018, «Απεικόνιση των συνολικών σημάτων του πυρήνα»  
<https://www.youtube.com/watch?v=TQegSF4ZilQ>

Όσο πιο μικρό είναι το  $T_2$ , τόσο πιο γρήγορα φθίνει το σήμα, ενώ όσο πιο μεγάλο είναι το σήμα φθίνει πιο αργά. Αυτός ο χρόνος μείωσης του σήματος εξαρτάται από τους ιστούς του σώματος. Μικρές τιμές του  $T_2$  αφορούν κυρίως τα οστά και τους πνεύμονες. Μεγάλες τιμές σχετίζονται κυρίως με το νερό και το αίμα, ενώ τα υπόλοιπα όργανα εντοπίζονται σε ενδιάμεσες τιμές αυτών



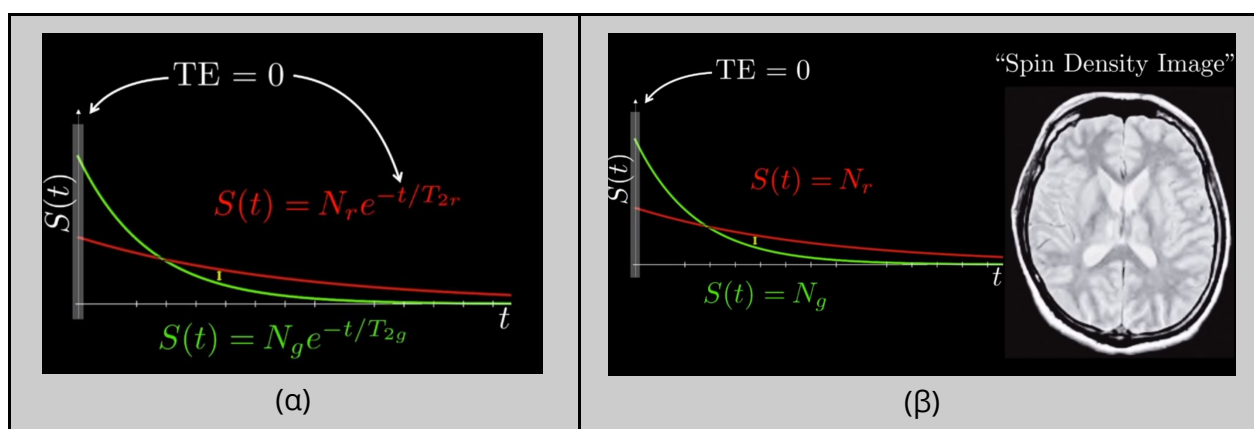
Σχήμα 13. thePIRL, 26 Aug 2018, «Απεικόνιση της σχέσης του χρόνου  $T_2$  και των οργάνων στα οποία αντιστοιχεί.» <https://www.youtube.com/watch?v=TQegSF4ZiIQ>

Ο σχηματισμός των εικόνων γίνεται με τα εξής βήματα. Για τα διάφορα σήματα που εντοπίζονται, τίθεται η τιμή  $\omega = 0$  και δημιουργούνται οι καμπύλες του σχήματος 14.β. Η μέτρηση του σήματος γίνεται τη χρονική στιγμή TE (Echo time) (Σχήμα 14.β.). Το κάθε σήμα θα δώσει διαφορετική μέτρηση που αντιστοιχεί σε διαφορετική τιμή - χρώμα στην εικόνα (Σχήμα 14γ). Η μέθοδος αυτή του διαχωρισμού των ανθρώπινων ιστών ονομάζεται  $T_2$  Weighted Imaging. Το  $T_2$  προκύπτει από το γεγονός ότι η παράμετρος  $T_2$  καθορίζει το χρώμα στην εικόνα. Κάθε σημείο στην εικόνα δεν ονομάζεται εικονοστοιχείο (pixel), αλλά ογκοστοιχείο (voxel) καθώς αντικατοπτρίζουν τον όγκο ενός ανθρώπινου ιστού. Το χρώμα κάθε ογκοστοιχείου δείχνει το πόσο γρήγορα οι πυρήνες ενός συγκεκριμένου ιστού αποσυγχρονίστηκαν. Το άσπρο χρώμα είναι για τον αργό αποσυγχρονισμό, ενώ το μαύρο για τον γρήγορο.



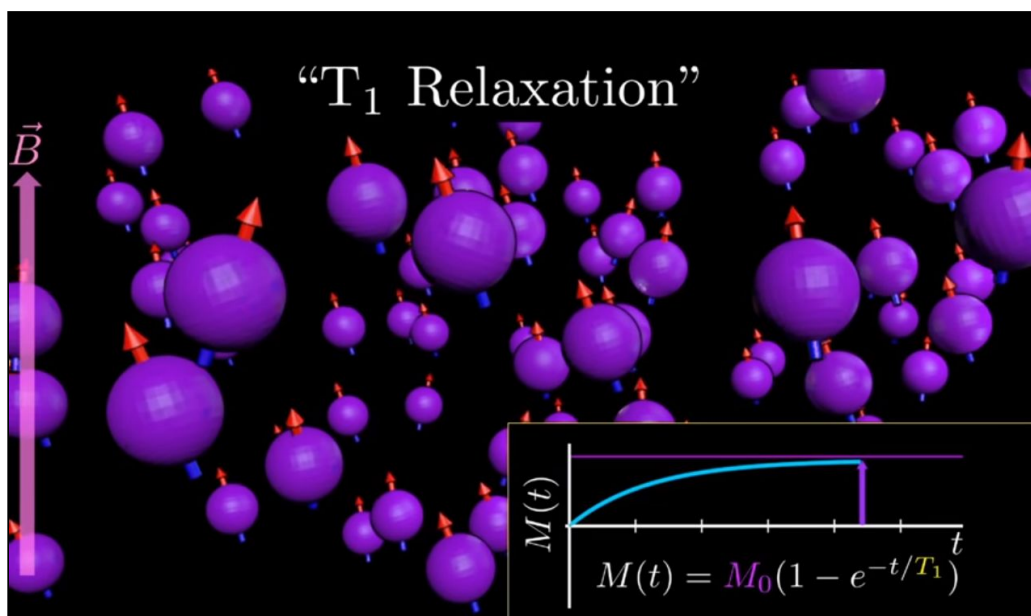
Σχήμα 14. thePIRL, 26 Aug 2018, «Εικόνα  $T_2$ -Weighted» <https://www.youtube.com/watch?v=TQegSF4ZiIQ>

Το πλάτος των σημάτων εξαρτάται από το  $A$ . Η παράμετρος του  $A$  που διαφέρει μεταξύ των διαφόρων ιστών είναι το  $N$ , το πλήθος των πυρήνων. Εξαιτίας αυτού αν γίνει μία μέτρηση τη χρονική στιγμή  $TE = 0$ , οι υπόλοιποι παράμετροι παραλείπονται στη σύγκριση των σημάτων και προκύπτει μία εικόνα που ονομάζεται “Spin Density Image”. Αυτή εξαρτάται από το αριθμό  $N$  του κάθε σήματος. Ωστόσο μία τέτοια εικόνα δεν προσφέρει πολλές πληροφορίες για τον εγκέφαλο, καθώς εκεί ο αριθμός των πυρήνων είναι ίδιος περίπου σε κάθε ιστό.



Σχήμα 15. thePIRL, 26 Aug 2018, « Spin Density Image» <https://www.youtube.com/watch?v=TQegSF4ZilQ>

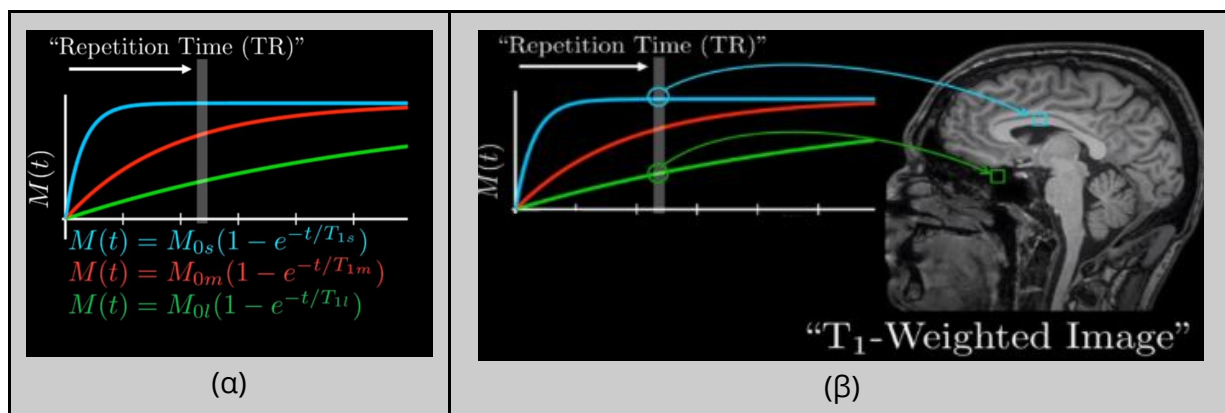
Πέρα από τις δύο μορφές εικόνων που αναφέρθηκαν υπάρχει μία ακόμα χρήσιμη εικόνα η  $T_1$  Weighted Image. Για τη δημιουργία αυτών των εικόνων χρησιμοποιείται ο χρόνος  $T_1$ , ο χρόνος δηλαδή που χρειάζεται για να εκπέμψουν το ραδιοπαλμό που απορροφούν οι πυρήνες και την ευθυγράμμιση τους με το μαγνητικό πεδίο και η μαγνήτιση  $M$ . Το  $M_0$  εκφράζει τη μαγνήτιση όταν όλοι οι πυρήνες είναι κάθετοι στο μαγνητικό πεδίο και ονομάζεται μαγνήτιση του Boltzmann (Boltzmann Magnetization).



Σχήμα 16. thePIRL, 26 Aug 2018, «  $T_1$  Relaxation and Magnetization» <https://www.youtube.com/watchQ>



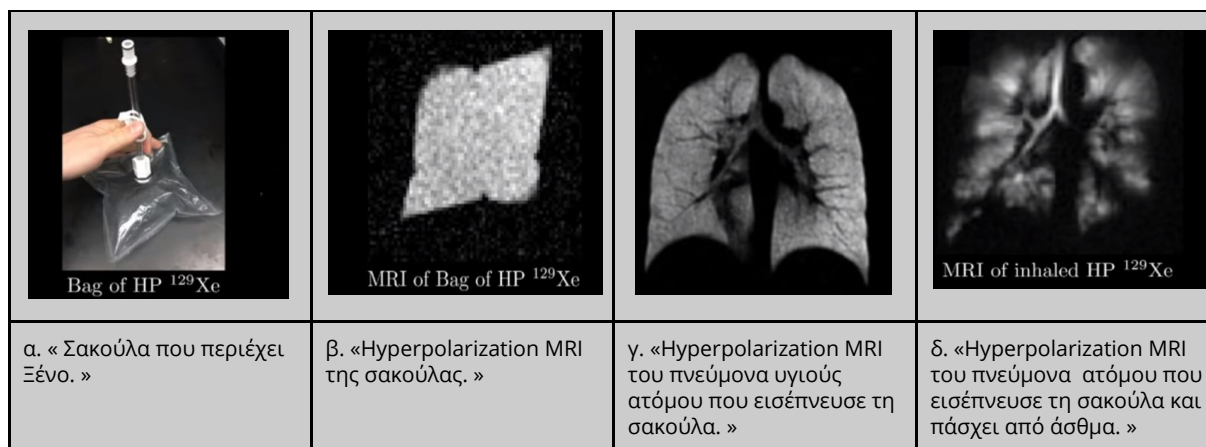
Όμοια με τη διαδικασία για τη δημιουργία T1 Weighted εικόνων, έτσι και σε αυτή την περίπτωση διαφορετικοί ιστοί δημιουργούν διαφορετικές εικόνες (Σχήμα 17). Ο χρόνος που γίνεται η μέτρηση ονομάζεται Repetition Time - TR (Σχήμα 17.α). Η μετρήσεις αυτές θα δημιουργήσουν την T1-Weighted εικόνα (Σχήμα 17.β).



Σχήμα 17. thePIRL, 26 Aug 2018, «Εικόνα T1-Weighted» <https://www.youtube.com/watch?v=TQegSF4ZilQ>

Πέρα από τις T1 και T2 Weighted εικόνες υπάρχουν και άλλες μέθοδοι για τη δημιουργία εικόνων από το μαγνητικό τομογράφο. Δύο αξιοσημείωτα παραδείγματα είναι τα εξής

- Hyperpolarization MRI. Η τεχνική αυτή μπορεί να απεικονίσει αέρια. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την ανίχνευση προβλημάτων στους πνεύμονες (Σχήμα 18).



Σχήμα 18. thePIRL, 26 Aug 2018, «Hyperpolarization MRI» <https://www.youtube.com/watch?v=TQegSF4ZilQ>

- Fluid-attenuated inversion recovery (FLAIR). Μπορεί να χρησιμοποιηθεί στην απεικόνιση του εγκεφάλου για την καταστολή των επιδράσεων του εγκεφαλονωτιαίου υγρού (CSF) στην εικόνα, έτσι ώστε να εκδηλωθούν οι αλλοιώσεις της περιφερειακής υπερκινητικότητας, όπως οι πλάκες πολλαπλής σκλήρυνσης (MS).



### 3. Ιστορική Αναδρομή

«Οι πρώτες μελέτες που αφορούν τις μαγνητικές ιδιότητες των πυρήνων ξεκινούν στις αρχές της δεκαετίας του '30 από τους Gorter και Rabi. Το 1933 ο Otto Stern και ο Walther Gerlach ήταν σε θέση να μετρήσουν την επίδραση της πυρηνικής περιστροφής από την εκτροπή μιας ακτίνας μορίων υδρογόνου. Κατά τη διάρκεια της δεκαετίας του '30, το εργαστήριο του Isidor Isaac Rabi στο πανεπιστήμιο Κολούμπια της Νέας Υόρκης έγινε σημαντικό κέντρο σχετικών μελετών. Ο Gorter χρησιμοποίησε αρχικά τον όρο "πυρηνικός μαγνητικός συντονισμός" σε μια δημοσίευση που εμφανίστηκε στην Ολλανδία το 1942.

Ο μαγνητικός συντονισμός περιστροφής ηλεκτρονίων ανακαλύφθηκε στο πανεπιστήμιο Kazan από τον Yevgeni K. Zavoisky προς το τέλος του 1943. Ο Zavoisky είχε ανιχνεύσει τον πυρηνικό μαγνητικό συντονισμό το 1941 και παρουσίασε τα πορίσματά του σε αγγλόφωνο ρωσικό επιστημονικό περιοδικό, αλλά δεν είχε αντίκτυπο στην επιστημονική κοινότητα της εποχής. Επίσημα το φαινόμενο του πυρηνικού μαγνητικού συντονισμού (nuclear magnetic resonance-NMR) ανακαλύφθηκε ανεξάρτητα από τους Φέλιξ Μπλοχ (Stanford) και Έντουαρντ Πάρσελ (Harvard) το 1946 και το 1952 βραβεύονται με βραβείο Νόμπελ φυσικής.

Λίγα χρόνια αργότερα αναπτύχθηκε η φασματοσκοπία NMR. Το 1955/1956, ο Erik Odeblad και ο Gunnar Lindstrom από τη Στοκχόλμη δημοσίευσαν τις πρώτες μελέτες NMR, συμπεριλαμβανομένων μετρήσεων χρόνων χαλάρωσης, μελετών ζωντανών κυττάρων και αξιολόγησης ζωικών ιστών. Ο Odeblad συνέχισε τις μελέτες σε ζωντανούς ιστούς καθ' όλη τη διάρκεια της δεκαετίας του '50 και του '60.

Το 1959 ο Jay Singer μελέτησε την δυνατότητα μέτρησης ροών σε ιστούς. Στα τέλη της δεκαετίας του '60 γίνονται έρευνες για την λήψη σημάτων και προσδιορισμού των χρόνων χαλάρωσης σε ανθρώπους και σε ζώα με κυριότερη την μελέτη του J. Johns. Η εφεύρεση του αξονικού τομογράφου στα μέσα της δεκαετίας του '60 επηρέασε θετικά την έρευνα για την εξέλιξη των εφαρμογών απεικόνισης μαγνητικού συντονισμού.

Το 1972 ο Raymond Damadian ανακαλύπτει ότι οι παθολογικοί ιστοί εμφανίζουν μεγαλύτερους χρόνους χαλάρωσης σε σχέση με τους αντίστοιχους υγιείς. Το 1974 ο Λότερμπουργκ παρουσιάζει την απεικόνιση της θωρακικής κοιλότητας ενός ποντικού. Ονόμασε την τεχνική αυτή ζευγματογραφία, όρος ο οποίος μετέπειτα αντικαταστάθηκε από τον όρο απεικόνιση μαγνητικού συντονισμού.

Το 1974 οι Anil Kumar, Dieter Welti και Richard Ernst παρουσίασαν την εργασία 'NMR Fourier Zeugmatography' η οποία περιγράφει την χρήση χρονικά μεταβαλλόμενων βαθμιδωτών πεδίων και την εφαρμογή των μετασχηματισμών Fourier για την ανακατασκευή των εικόνων. Επίσης το 1974 η εταιρία EMI ασχολήθηκε με την κατασκευή εξοπλισμού αυτού του είδους. Με την συνεισφορά και των εργασιών του Damadian και τις ανακαλύψεις του Lauterbur επήλθε επανάσταση στην ιατρική

απεικόνιση καθώς οδήγησε στην δημιουργία του πρώτου υποτυπώδους πειραματικού μαγνητικού τομογράφου.

Οι καθηγητές Damadian, Minkoff και Goldsmith, μόλις ολοκλήρωσαν την κατασκευή του πρώτου υποτυπώδους μαγνητικού τομογράφου στις 3 Ιουλίου 1977, μετά από μέτρηση 6 ωρών και ανακατασκευή 22 ωρών παρήγαγαν την πρώτη ιατρική εικόνα του ανθρώπινου σώματος (τομή θωρακικής χώρας).

Επίσης το 1977 ο Πίτερ Μάνσφιλντ και η ομάδα του έλαβαν εικόνες από τομή δακτύλου του χεριού και από την κοιλιακή χώρα με την βοήθεια της τεχνικής Echo Planar Imaging . Το 2003 οι Πολ Λότερμπουργκ και Σερ Πίτερ Μάνσφιλντ βραβεύτηκαν με το Βραβείο Νόμπελ Φυσιολογίας και Ιατρικής για τις ανακαλύψεις τους στον τομέα της μαγνητικής τομογραφίας [5] ».

			
α. « Πίτερ Μάνσφιλντ (1933-2017), που κέρδισε το βραβείο Νόμπελ Ιατρικής το 2003 για τις θεμελιώδεις ανακαλύψεις του στην κατασκευή του μαγνητικού τομογράφου. »	β. «Πολ Λυτέρμπουργκ (1929-2017). ήταν Αμερικανός χημικός που μοιράστηκε το βραβείο Νόμπελ στη "Φυσιολογία ή την Ιατρική" το 2003 με τον Peter Mansfield »	γ. «Το πρώτο MRI. »	δ. «Σύγχρονος Μαγνητικός Τομογράφος. »

Σχήμα 19. wikipedia, <https://en.wikipedia.org/wiki/>

## 4. Βιβλιογραφία

- [1] Βικιπαίδεια, ( Τελευταία τροποποίηση 14:06, 9 Μαρτίου 2018),  
«Μαγνητική τομογραφία» (διαδίκτυο)
- [2] thePIRL, (26 Αυγ 2018), “How MRI Works - Part 1 - NMR Basics” (διαδίκτυο)
- [3] Βικιπαίδεια, (Τελευταία τροποποίηση 14:58, 16 Οκτωβρίου 2019),  
«Πυρηνικός μαγνητικός συντονισμός» (διαδίκτυο)
- [4] Rajesh Venunath, Αύγουστος 26, 2018, “Introduction to MRI” , (διαδίκτυο)
- [5] “Questions and Answers in MRI” (διαδίκτυο - Φόρουμ)
- [6] Science Illustrated , Δεκεμ 7, 2010, «Πώς λειτουργεί ένας μαγνητικός  
τομογράφος», (διαδίκτυο)
- [7] Questions and Answers in MRI, “What is meant by flip angle? ” (διαδίκτυο -  
Φόρουμ)
- [8] Γεώργιος Δ. Σεργιάδης, 2009, «Βιοϊατρική Τεχνολογία»
- [9] Βικιπαίδεια, (Τελευταία τροποποίηση 17:15, 1 Αυγούστου 2017),  
«Σπιν» (διαδίκτυο)