

## Κβαντοφυσική

*Η φυσική των πολύ μικρών στοιχείων  
με τις μεγάλες εφαρμογές*

### Μέρος 2

## ΚΒΑΝΤΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ



Μαθησιακός σταθμός IX:

## Το σπιν και οι εφαρμογές του

ΜΕΤΑΦΡΑΣΗ:



SCIENTIX  
www.scientix.eu



Lifelong  
Learning  
Programme



Το Quantum Spin-Off χρηματοδοτείται από την Ευρωπαϊκή Ένωση υπό το πρόγραμμα LLP Comenius (540059-LLP-1-2013-1-BE-COMENIUS-CMP).  
Renaat Frans, Hans Bekaert, Laura Tamassia

Επαφή: [renaat.frans@khlime.be](mailto:renaat.frans@khlime.be)

Το παρόν υλικό αντικατοπτρίζει τις απόψεις των συγγραφέων και η Ευρωπαϊκή Επιτροπή δεν μπορεί να θεωρηθεί υπεύθυνη για τη χρήση οποιασδήποτε πληροφορίας περιέχεται στο παρόν

# Πίνακας Περιεχομένων

## Μέρος 2: Κβαντικές Ιδιότητες και Τεχνολογία

<b>ΜΑΘΗΣΙΑΚΟΣ ΣΤΑΘΜΟΣ ΙΧ: ΤΟ ΣΠΙΝ (ΕΣΩΤΕΡΙΚΗ ΣΤΡΟΦΟΡΜΗ) ΚΑΙ ΟΙ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΟΥ</b>	<b>49</b>
1 Απροσδιόριστες ιδιότητες της ύλης	49
2 Πώς συμπεριφέρεται το σπιν σε μαγνητικό πεδίο	50
3 Η παραδοξότητα των κβάντα: συναπτά πειράματα Stern-Gerlach	51
4 Εφαρμογή: Απεικόνιση Μαγνητικής Αντήχησης (MRI)	54
5 Εφαρμογή: Σπιντρονική	55
6 Έννοιες στον Μαθησιακό Σταθμό ΙΧ	56

ΜΕΤΑΦΡΑΣΗ:



### Αναφορά Δημιουργού - Μη Εμπορική Χρήση - Παρόμοια Διανομή 4.0 Διεθνές (CC BY-NC-SA 4.0)

Υπό τους ακόλουθους όρους:

- Αναφορά στον δημιουργό — Πρέπει να κάνετε [κατάλληλη μνεία](#), να παρέχετε σύνδεσμο στην άδεια και [να δηλώνετε τυχόν τροποποιήσεις](#). Αυτό μπορείτε να το κάνετε με οποιονδήποτε εύλογο τρόπο, χωρίς όμως να υπονοείται ότι ο αδειοδότης εγκρίνει εσάς ή τη χρήση σας.
- Μη-εμπορική — Δεν επιτρέπεται η χρήση του υλικού για [εμπορικούς σκοπούς](#).

Μπορείτε να:

- Μοιραστείτε - να αντιγράψετε και να αναδιανείμετε το υλικό με οποιοδήποτε μέσο ή μορφή
  - Προσαρμόσετε - να αναμείξετε, να τροποποιήσετε και να δημιουργήσετε πάνω στο υλικό
- Ο δικαιούχος δεν μπορεί να ανακαλέσει αυτές τις ελευθερίες, εφόσον τηρείτε τους όρους της άδειας.

Αναφορά στο έργο πρέπει να γίνεται ως εξής:

Frans R., Tamassia L., Andreotti E. (2015) Quantum SpinOff Learning Stations. Art of Teaching, UCLL, Diepenbeek, Βέλγιο

# Μαθησιακός σταθμός IX: Το σπιν και οι εφαρμογές του

## 1 Απροσδιόριστες ιδιότητες της ύλης

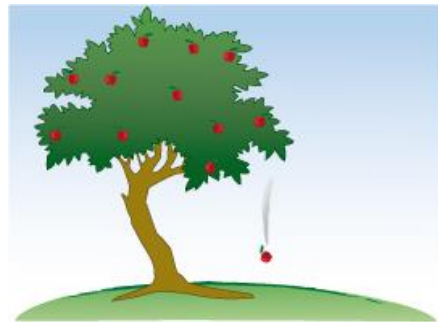
Όταν αρχίζετε να μαθαίνετε φυσική ακούτε για τις ιδιότητες της ύλης που σας φαίνονται γνωστές από την καθημερινή σας ζωή: μάζα, θερμοκρασία, ενέργεια ... Είναι, όμως, οι ποσότητες αυτές πραγματικά τόσο οικείες και τόσο ξεκάθαρες όσο νομίζετε; Θα μπορούσατε να εξηγήσει τι είναι στα αλήθεια η θερμοκρασία ή η ενέργεια; Όπως αποδεικνύεται, απαιτείται διανοητική (και πειραματική) δουλειά, για να μάθετε πώς λειτουργεί η πραγματικότητα. Και στην επιστήμη προσπαθούμε οι διαπιστώσεις μας να είναι όσο το δυνατόν ακριβέστερες και πιο εύστοχες γίνεται. Γι' αυτόν τον λόγο, προσπαθούμε να ορίζουμε τις λέξεις που χρησιμοποιούμε όσο πιο συχνά γίνεται. Ωστόσο, δεν είναι δυνατόν να ορίσουμε τα πάντα. Πρέπει να αρχίσουμε από κάπου, με λέξεις και ιδέες απόλυτα σαφείς. Και ας ελπίσουμε ότι θα συμφωνήσουμε όλοι στη σημασία τους. Είναι δυνατό να ορίσουμε επακριβώς έννοιες όπως η θερμοκρασία, η ενέργεια και η δύναμη.

**Η μάζα** από την άλλη αποτελεί μια ιδιότητα την οποία φαίνεται να έχουν τα αντικείμενα (πάρτε για παράδειγμα μια μπάλα ή ένα αυτοκίνητο). Δεν γνωρίζουμε πραγματικά τι είναι η μάζα (ωστόσο, η πρόσφατη ανακάλυψη του μποζονίου του Higgs μας βοηθάει να καταλάβουμε λίγο καλύτερα τη μάζα). Με απλά λόγια, μάζα είναι η ιδιότητα της ύλης που μετρείται σε κιλά.

Αυτό που γνωρίζουμε, όμως, είναι πώς αυτή η ιδιότητα της ύλης εκδηλώνεται. Μπορείτε να θυμηθείτε τύπους στη φυσική στους οποίους η μάζα διαδραματίζει σημαντικό ρόλο;

.....

Σχήμα 1: Μια εκδήλωση της μάζας; (πηγή: [www.dlswb.rmit.edu.au](http://www.dlswb.rmit.edu.au))



**Συχνά, συσχετίζουμε τη μάζα ενός αντικειμένου με την ποσότητα του "πράγματος" που βρίσκεται εκεί. Ισχύει όμως πράγματι το παραπάνω;**

Αν πάρετε δύο πανομοιότυπα μπουκάλια και γεμίσετε το ένα από τα δύο με νερό και το άλλο με λάδι, θα παρατηρήσετε ότι το λάδι είναι πιο ελαφρύ. Η μάζα του είναι μικρότερη. Αυτό σημαίνει ότι υπάρχει λιγότερο λάδι από νερό; Ναι / Όχι

Εξαιτίας αυτού, οι επιστήμονες αντιλαμβάνονται τη μάζα διαφορετικά. Θεωρούν ότι η μάζα εμφανίζεται σε πολλούς πολύ γνωστούς νόμους της φυσικής:

- Τον δεύτερο νόμο του Νεύτωνα
- Τον νόμο της βαρυτικής δύναμης

Και μέσω αυτών των νόμων διατυπώνουν τον ορισμό της λέξης "μάζα". Όπως φαίνεται η μάζα κατέχει καθοριστική θέση σε 3 αρχές της φυσικής:

1. Όσο μεγαλύτερη η μάζα, τόσο πιο δύσκολα **επιταχύνει** το αντικείμενο
2. Όσο μεγαλύτερη η μάζα, τόσο περισσότερο η δύναμη της **βαρύτητας** έλκει το αντικείμενο
3. Όσο μεγαλύτερη η μάζα, τόσο μεγαλύτερο το **βαρυτικό πεδίο** που δημιουργεί γύρω της

Δεν πρόκειται για ένα κείμενο με θέμα τη μάζα. Το σημείο που πρέπει να προσέξουμε, όμως, είναι ότι τα υλικά διαθέτουν *ορισμένες ιδιότητες* που απλά υπάρχουν και άλλες που προκαλούν *αλληλεπίδραση με το περιβάλλον*.

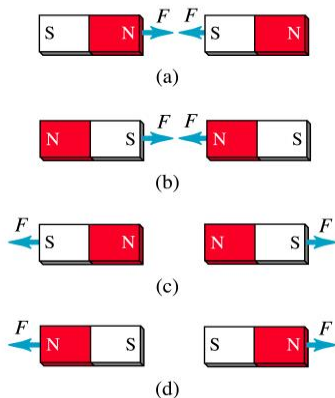
Μια ακόμα τέτοια ιδιότητα είναι **το ηλεκτρικό φορτίο** που μας πληροφορεί σχετικά με το *πώς το αντικείμενο θα αλληλεπιδράσει με ηλεκτρικά και μαγνητικά πεδία*.

Η ιδιότητα που θέλουμε να μελετήσουμε στο παρόν κείμενο ονομάζεται **σπιν**. Πρόκειται για μια ιδιότητα της ύλης που δεν μπορεί να οριστεί και γι' αυτόν ακριβώς το λόγο δεν μπορούμε να σας πούμε τι είναι! Μπορεί και να παραπονεθείτε γι' αυτό. Αλλά, θυμηθείτε ότι μπορούσατε άνετα να συζητάτε για τη μάζα ενός αντικειμένου χωρίς ποτέ κανείς να σας έχει εξηγήσει τι είναι πραγματικά.

Αυτό που μπορούμε να μάθουμε, όμως, για το σπιν είναι ο τρόπος που επηρεάζει τη συμπεριφορά των αντικειμένων. Αυτό θα πραγματευτούμε στις επόμενες ενότητες.

## 2 Πώς συμπεριφέρεται το σπιν σε μαγνητικό πεδίο

Αποδεικνύεται ότι τα *αντικείμενα με σπιν συμπεριφέρονται σαν μικροί μαγνήτες*. Πράγμα που σημαίνει, μεταξύ άλλων, ότι θα πρέπει να επηρεάζονται από την παρουσία άλλων μαγνητών. Τι συμβαίνει όταν παίρνετε 2 μαγνήτες και να τους φέρνετε κοντά τον έναν στον άλλο;



Μήπως το αποτέλεσμα εξαρτάται από ποια πλευρά του κάθε μαγνήτη "κοιτάζει" τον άλλο;

Κάθε μαγνήτης έχει 2 πλευρές, γνωστές ως βόρειο και νότιο πόλο του. Η αλληλεπίδραση μεταξύ 2 μαγνητών παρουσιάζεται εδώ στο σχήμα. Η δύναμη της έλξης ή της άπωσης μεταξύ τους εξαρτάται από τη δύναμη των ίδιων των μαγνητών.

(Πηγή σχήματος: [www.physics.sjsu.edu/becker/physics51/mag\\_field.htm](http://www.physics.sjsu.edu/becker/physics51/mag_field.htm))

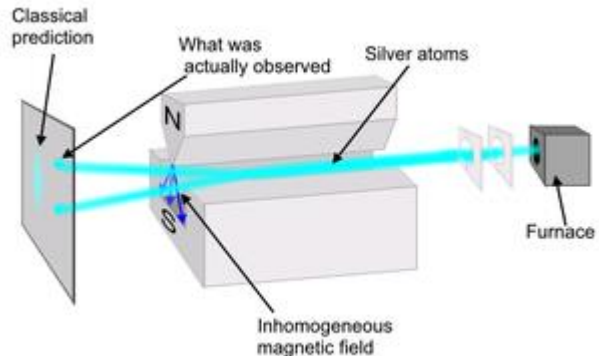
Το 1922 οι *Otto Stern και Walther Gerlach* έκαναν ένα πείραμα, γνωστό σήμερα ως το πείραμα Stern-Gerlach, για να βρουν *πώς ένα μαγνητικό πεδίο επηρεάζει την κίνηση των αντικειμένων με σπιν*.

Ήταν ήδη γνωστό τότε ότι *ένα κινούμενο ηλεκτρικό φορτίο σε μαγνητικό πεδίο εκτρέπεται*. Αλλά ακόμα κι **αν το σωματίδιο δεν είχε ηλεκτρικό φορτίο εκτρέπεται σε μαγνητικό πεδίο, αν είχε σπιν**.

Πήραν έναν κλίβανο από τον οποίο εκτοξεύονταν άτομα αργύρου. Αυτά τα άτομα έχουν σπιν και γι' αυτό συμπεριφέρονται σαν μαγνήτες. Η δέσμη των ατόμων αργύρου περνούσε μέσα από ένα μαγνητικό πεδίο που δημιουργούσε ένας άλλος μαγνήτης. Κάθε άτομο αργύρου είτε ελκόταν προς τον βόρειο πόλο του δεύτερου μαγνήτη (εκτρέποντάς τον προς τα πάνω στο σχήμα) ή απωθούνταν από αυτόν (εκτρέποντάς τον προς τα κάτω). Η έλξη ή η απώθηση εξαρτιέται από τον προσανατολισμό του σπιν στο άτομο του αργύρου. Αυτό σημαίνει ότι μπορούμε να χωρίσουμε αντικείμενα με διαφορετικό σπιν, αν τα αφήσουμε να περάσουν μέσα από ένα μαγνητικό πεδίο. Αυτό ακριβώς έκαναν οι Stern και Gerlach.

Τι πιστεύετε ότι θα καθορίσει την ποσότητα των εκτρεπόμενων ατόμων αργύρου;  
 .....

Το ποσό κατά το οποίο εκτρέπεται εξαρτάται από την τιμή του σπιν (την *ισχύ* του μικροσκοπικού μαγνήτη). Αρχικά, θεωρήθηκε ότι το σπιν θα μπορούσε να πάρει *οποιαδήποτε* τιμή, και συνεπώς *κάθε πιθανή γωνία εκτροπής θα ήταν δυνατή*. Αυτό θα μπορούσαμε να το αντιληφθούμε ως μια κάθετη γραμμή (η μπλε γραμμή στο πέτασμα στα αριστερά του σχήματος).



Παραδόξως, αυτό δεν συνέβη στην πραγματικότητα. Στο πέτασμα εμφανίστηκαν **μόνο 2 κουκκίδες**. Μία πάνω και μία κάτω. Τι μαθαίνουμε λοιπόν για το σπιν από αυτό;

.....  
*Φαίνεται πως υπάρχουν μόνο 2 πιθανές γωνίες εκτροπής. Υπήρχε μόνο 1 πιθανή ισχύς του μικροσκοπικού μαγνήτη.*

*Έτσι ανακαλύφθηκε η κβάντωση του σπιν. Λέμε ότι το σπιν έχει κατεύθυνση είτε προς τα πάνω είτε προς τα κάτω. Τα μισά άτομα έχουν σπιν πάνω και τα μισά σπιν κάτω. Το σπιν είναι μια κβαντική-μηχανική ιδιότητα, η οποία δεν έχει αντίστοιχο στην κλασική φυσική.*

Το παράδοξο όμως δεν τελειώνει εδώ.

### 3 Το παράδοξο των κβάντα: συναπτά πειράματα Stern-Gerlach

Στην πραγματικότητα, τα αντικείμενα έχουν περισσότερα από 1 σπιν. Έχουν **3 διαφορετικά σπιν: ένα σε κάθε διάσταση. Το άτομο συμπεριφέρεται σαν να έχει 3 κάθετους μαγνήτες στο εσωτερικό του.**

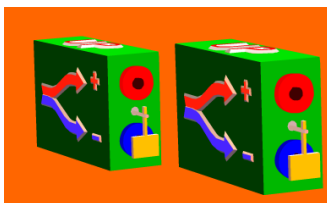
Στο παραπάνω σχήμα σχετικά με το πείραμα των Stern-Gerlach το μαγνητικό πεδίο έχει κατεύθυνση *οριζόντια* και *άρα χωρίζει τα σπιν πάνω και τα σπιν κάτω σε κάθετη κατεύθυνση*. Το πείραμα θα μπορούσε να επαναληφθεί, αλλά με ένα μαγνητικό πεδίο που αυτή τη φορά έχει κατεύθυνση από αριστερά προς τα δεξιά. Αν εκτελέσετε το πείραμα για ένα καθορισμένο χρονικό διάστημα θα δείτε ότι υπάρχει πιθανότητα 50% ότι το άτομο έχει σπιν πάνω με τιμή 1 ή σπιν κάτω με τιμή 1.



Σε μια εφαρμογή phet (βλέπε το διπλανό σχήμα) μπορείτε να περιστρέψετε το μαγνητικό πεδίο μέσα από το οποίο περνάει η δέσμη για να δείτε τι συμβεί.

(Πηγή Phet Colorado [http://phet.colorado.edu/sims/stern-gerlach/stern-gerlach\\_en.html](http://phet.colorado.edu/sims/stern-gerlach/stern-gerlach_en.html))

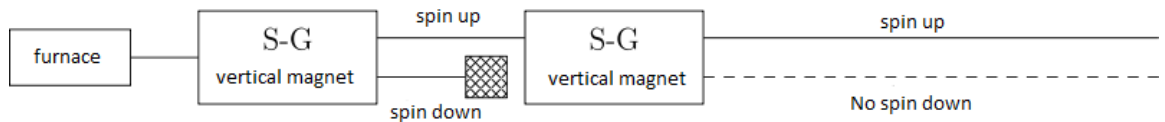
Στα αριστερά του σχήματος έχουμε τον κλίβανο από τον οποίο εκτοξεύονται άτομα. Στα δεξιά του σχήματος έχουμε τον μαγνήτη μέσα στο πράσινο κουτί. Τα άτομα με σπιν πάνω εξέρχονται από την αριστερή οπή και τα άτομα με σπιν κάτω από τη δεξιά. Διαχωρίζουμε, λοιπόν, τα σπιν πάνω και τα σπιν κάτω κατά οριζόντια κατεύθυνση (συνεχίζουν να ονομάζονται πάνω και κάτω, παρότι ο διαχωρισμός τους γίνεται προς τα δεξιά και τα αριστερά).



Παίρνουμε τώρα 2 μαγνήτες τον έναν μετά τον άλλον. Από τον πρώτο μαγνήτη θα βγουν 2 δέσμες. Μία με άτομα σπιν πάνω και μία με άτομα σπιν κάτω.

Αν τώρα βάλουμε έναν τοίχο μπροστά από τη δέσμη με σπιν κάτω, έτσι ώστε μόνο τα άτομα με σπιν πάνω να μπορούν να εισέλθουν στον δεύτερο μαγνήτη, τι περιμένετε να δείτε να εξέρχεται από τον δεύτερο;

Αυτό που θα δείτε αποτυπώνετε ως εξής:



Επειδή όλα τα άτομα που εισέρχονται στο δεύτερο μαγνητικό πεδίο έχουν σπιν πάνω, δεν προκαλεί έκπληξη ότι όλα τους εκτρέπονται προς τα πάνω στον δεύτερο μαγνήτη: δεν υπάρχουν άτομα με σπιν κάτω παρόντα στη δέσμη που εξέρχεται από το δεύτερο μαγνητικό πεδίο.



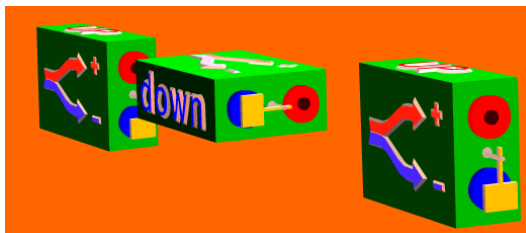
Ας περιστρέψουμε τώρα τον δεύτερο μαγνήτη κατά 90 μοίρες (έτσι ώστε να είναι σε οριζόντια θέση). Τι νομίζετε ότι θα συμβεί;

Το αποτέλεσμα είναι:



Παρότι ότι όλα τα άτομα που εισέρχονται σε αυτόν τον δεύτερο μαγνήτη έχουν σπιν πάνω στην κάθετη κατεύθυνση, το σπιν τους σε οριζόντια κατεύθυνση είναι ακόμα τυχαίο, που σημαίνει ότι υπάρχουν 50% πιθανότητες να είναι σπιν πάνω και 50% πιθανότητες να είναι σπιν κάτω. Υπάρχουν πράγματι δύο δέσμες που εξέρχονται από αυτό το δεύτερο μαγνητικό πεδίο.

Όλα αυτά μπορεί να μην σας προκαλούν μεγάλη έκπληξη, αλλά κοιτάξτε τι συμβαίνει όταν προσθέτουμε έναν τελευταίο μαγνήτη, στραμμένο σε κάθετη κατεύθυνση.

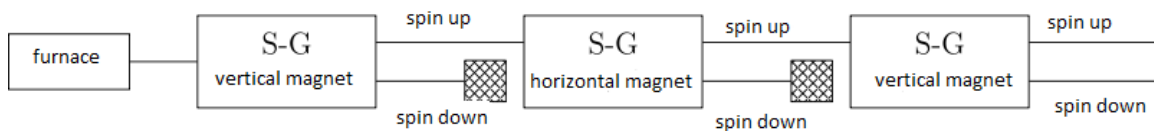


Ας εμποδίσουμε, επίσης, αυτή τη φορά το σπιν κάτω που βγαίνει από τον δεύτερο μαγνήτη. Ποιο είναι το αναμενόμενο αποτέλεσμα;

.....

Επειδή, από τον πρώτο μαγνήτη και μετά, **εμποδίζαμε το σπιν κάτω** στην κάθετη κατεύθυνση, μπορεί να περιμένετε ότι **θα δείτε μόνο άτομα με σπιν πάνω να εξέρχονται από αυτόν τον τρίτο μαγνήτη.**

Στην πραγματικότητα, όμως, δεν συμβαίνει αυτό. Αυτό που παρατηρούμε είναι δύο δέσμες να εξέρχονται από αυτό το τρίτο μαγνητικό πεδίο, **με τα μισά άτομα να κατευθύνονται προς τα πάνω και τα άλλα μισά προς τα κάτω.**



**Φαίνεται ότι ο υπολογισμός του σπιν σε οριζόντια κατεύθυνση επηρεάζει την παρουσία των σπιν πάνω και των σπιν κάτω σε κάθετη κατεύθυνση.**

Το παράδοξο αυτό φαινόμενο είναι ένα φαινόμενο κβαντικής μηχανικής που δεν μπορεί να κατανοηθεί στη βάση της κλασικής φυσικής. Αυτό που συμβαίνει εδώ μας θυμίζει τον σταθμό μάθησης 4: πριν γίνει μια μέτρηση, το σωματίδιο είναι σε μια «κατάσταση υπέρθεσης», εν προκειμένω για τις πιθανές καταστάσεις του σπιν. Μόνο όταν κάνουμε μία μέτρηση, το άτομο (ή το σωματίο εν γένει) εμφανίζεται σε μια ακριβή κατάσταση σπιν, δηλαδή πάνω ή κάτω σε μια συγκεκριμένη διεύθυνση.: έχουμε κάνει μια μέτρηση και η κατάσταση υπέρθεσης έχει εξαφανιστεί, δηλαδή το σωματίδιο είναι σε μια καλά καθορισμένη κατάσταση ως συνέπεια της μέτρησης. Γι' αυτόν τον λόγο έχουμε ίση πιθανότητα, 50% να μετρήσουμε σπιν πάνω ή κάτω.

Τώρα, αν μετρήσουμε το σπιν κατά μήκος του κάθετου άξονα, καθορίζουμε την κατάσταση του σπιν σε αυτήν την διεύθυνση. Αν κάνουμε μία δεύτερη μέτρηση στην ίδια διεύθυνση, τότε θα μετρήσουμε το ίδιο αποτέλεσμα, καθώς η κατάσταση σε αυτήν την διεύθυνση έχει ήδη καθοριστεί. Ωστόσο, όταν η δεύτερη μέτρηση αποφασίσει την

κατάσταση του σπιν σε μια άλλη διεύθυνση, στο παράδειγμά μας στην οριζόντια, τότε η προηγούμενη πληροφορία που σχετίζεται με την κάθετη κατεύθυνση «διαγράφεται». Η διεξαγωγή της δεύτερης μέτρησης σε μια άλλη διεύθυνση δρα με τέτοιο τρόπο ώστε η επαλληλία καταστάσεων (πιθανών καταστάσεων σπιν) στην αρχική διεύθυνση (κάθετη εν προκειμένω) επανέρχεται!

Αυτή η κβαντική μηχανική ιδιότητα του σπιν δεν είναι μόνο πολύ ενδιαφέρουσα, αλλά αποδεικνύεται ότι είναι ζωτικής σημασίας για πολλές εφαρμογές, μεταξύ των οποίων η **ιατρική απεικόνιση**, και ορισμένες πτυχές **των ηλεκτρονικών συστημάτων**. Μεταξύ άλλων εφαρμογών του σπιν, δεν θα πρέπει να ξεχάσουμε να αναφέρουμε ότι η ηλεκτρονική δομή των χημικών στοιχείων (ο **περιοδικός πίνακας**) αξιοποιούν το γεγονός ότι τα ηλεκτρόνια μπορούν να έχουν 2 διαφορετικά σπιν. Πιθανώς θα το έχετε ακούσει αυτό στο μάθημα της χημείας.

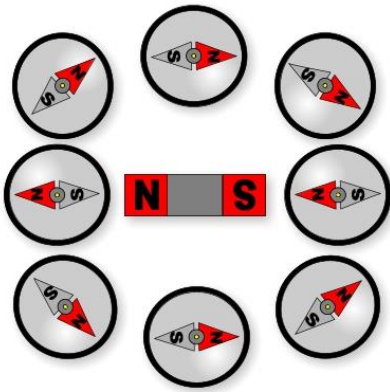
#### **Πείραμα** στην κβαντική γόμα:

Αν θέλετε να γνωρίζετε περισσότερα για την κβαντική γόμα μπορείτε να διαβάσετε περισσότερα και να εκτελέσετε το πείραμα που προτείνεται παρακάτω:: <http://www.arturekert.org/miscellaneous/quantum-eraser.pdf>

## 4 Εφαρμογή: Απεικόνιση μαγνητικής αντήχησης (MRI)

Όπως προαναφέρθηκε, τα σπιν συμπεριφέρονται σαν μικροί μαγνήτες. Τι βλέπετε όταν περπατάτε με μια πυξίδα στο χέρι σας;

Εξηγήστε γιατί συμβαίνει αυτό:



Μία από τις ιδιότητες των μαγνητών είναι ότι ευθυγραμμίζονται με το μαγνητικό πεδίο που τους περιβάλλει.

Γι' αυτό τον λόγο η βελόνα της πυξίδας δείχνει πάντα στον βορρά. Ακολουθεί την κατεύθυνση του μαγνητικού πεδίου που δημιουργείται από τη γη.

Τώρα, στο ανθρώπινο σώμα υπάρχει πολύ νερό. Κάθε μόριο νερού  $H_2O$  αποτελείται από 2 άτομα υδρογόνου. Σε κάθε υδρογόνο  $H$  υπάρχει ένα πρωτόνιο με καθαρό σπιν.



Όταν υποβάλλεται σε μαγνητική τομογραφία (MRI- Απεικόνιση Μαγνητικής Αντήχησης) ο ασθενής μπαίνει σε ένα σωλήνα. Μέσα στο κυλινδρικό σωλήνα υπάρχουν δύο ισχυροί μαγνήτες.

*Τα σπιν στο σώμα έχουν την τάση να ευθυγραμμίζονται με το μαγνητικό πεδίο των μαγνητών στο μηχάνημα.*



**Αντίθετα από τη βελόνα της πυξίδας, τα σπιν στο άτομο υδρογόνου μπορούν να δείχνουν μόνο προς 2 "κατευθύνσεις": πάνω ή κάτω.**

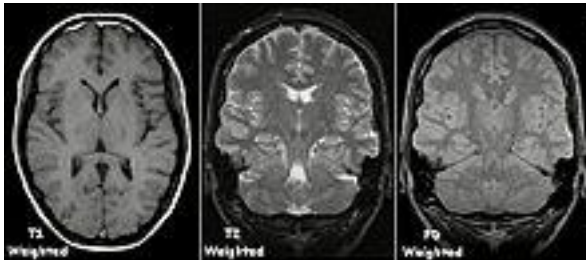
Τα σπιν με τη σειρά τους επίσης δημιουργούν ένα μαγνητικό πεδίο μετριέται από το μηχάνημα! Ας δούμε πώς λειτουργεί.

Όταν ο ασθενής βρίσκεται μέσα στον σαρωτή MRI, στην πραγματικότητα προστίθεται ένα μεταβαλλόμενο μαγνητικό πεδίο το οποίο προκαλεί τα σπιν στο σώμα να ακολουθήσουν το μεταβαλλόμενο μαγνητικό πεδίο. Πόσα από τα σπιν στην πραγματικότητα ακολουθούν το μεταβαλλόμενο μαγνητικό πεδίο εξαρτάται από τη συχνότητα με την οποία αυτό αλλάζει.

Σε μια συγκεκριμένη συχνότητα, ο αριθμός των μεταβαλλόμενων σπιν θα είναι μέγιστος. Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται πυρηνική μαγνητική αντήχηση (και αυτός είναι ο λόγος για τον οποίο οι συγκεκριμένοι σαρωτές είναι επίσης γνωστοί και ως σαρωτές NMR).

Μπορείτε να το δοκιμάσετε με την παρακάτω μικροεφαρμογή: <http://phet.colorado.edu/en/simulation/mri>

Η αλλαγή στην κατεύθυνση των ίδιων των σπιν μπορεί να μετρηθεί, επειδή το μαγνητικό πεδίο που δημιουργείται από αυτά επίσης μεταβάλλεται καθώς αλλάζουν κατεύθυνση. Όταν το μεταβαλλόμενο μαγνητικό πεδίο του μηχανήματος σβήνει, τα σπιν θα επανέλθουν, ευθυγραμμιζόμενα με το μη μεταβαλλόμενο μαγνητικό πεδίο του σαρωτή. Ο χρόνος που χρειάζονται για να επανέλθουν σε αυτήν την κατάσταση διαφέρει για διαφορετικά είδη ιστών (για παράδειγμα, διαφέρει για υγιείς και καρκινογόνους ιστούς). Μετρώντας αυτόν τον, όπως αποκαλείται, χρόνο ανάπαυλας, οι γιατροί διαμορφώνουν εικόνα για την παρουσία ή απουσία ορισμένων ειδών ιστού (ή όγκων).



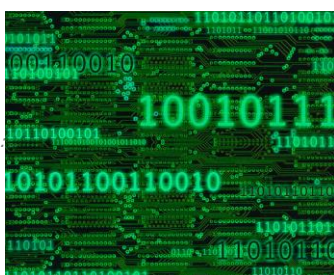
Αυτό είναι παράδειγμα μιας τυπικής εικόνας που δίνει ένας σαρωτής MRI.

Η MRI είναι τόσο σημαντική ανακάλυψη που το **2013 το βραβείο νόμπελ στον τομέα της φυσιολογίας** ή ιατρικής απονεμήθηκε στους Paul Lauterbur και Peter Mansfield για την έρευνά τους στο θέμα αυτό.

## 5 Εφαρμογή: Σπιντρονική

Χρησιμοποιούμε συνεχώς ηλεκτρονικές συσκευές. Πώς, όμως, μια συσκευή "ξέρει" τι πρέπει να κάνει και πότε; Πώς ο υπολογιστής μου "θυμάται" τα αρχεία που περιέχει; Με ποιον τρόπο έχει πρόσβαση σε αυτά και τα αλλάζει όταν χρειάζεται;

Η απάντηση σε όλα αυτά τα ερωτήματα είναι αρκετά περίπλοκη. Αλλά όσο πολύπλοκη και αν είναι, συνοψίζεται στον ηλεκτρισμό και τον μαγνητισμό.



Γνωρίζετε ότι οι υπολογιστές λειτουργούν μόνο με μηδενικά και μονάδες. Οι υπολογιστές έχουν έναν τεράστιο αριθμό

ηλεκτρικών κυκλωμάτων και καλωδίων, και κατασκευάζονται έτσι ώστε να αντιδρούν με έναν συγκεκριμένο τρόπο όταν περνάει ρεύμα μέσα από ένα ορισμένο καλώδιο, και με διαφορετικό τρόπο όταν δεν διέρχεται ρεύμα μέσω του καλωδίου.

Αν τώρα υποθέσουμε ότι έχουμε ένα ρεύμα 1 και καθόλου ρεύμα 0 (ή αντίστροφα), μπορούμε να αποδώσουμε ό,τι κάνει ο υπολογιστής με μηδέν και ένα. Επίσης, στον σκληρό δίσκο οι **πληροφορίες αποθηκεύονται σε μικροσκοπικούς μαγνήτες**. Αν ο βόρειος πόλος τους δείχνει προς μία κατεύθυνση, την ονομάζουμε 1 και αν δείχνει προς άλλη 0. Επίσης, οι πληροφορίες αποθηκεύονται με δυαδική μορφή.

Από το **πείραμα των Stern-Gerlach** μάθαμε ότι το **σπιν** των **ατόμων** που χρησιμοποιήθηκαν **μπορούν να λάβουν μόνο μία από δύο συγκεκριμένες τιμές**. Αν ονομάσουμε τη μία από αυτές 1 και την άλλη 0, *το σπιν μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί για να κωδικοποιήσει πληροφορίες!*

Επίσης, γνωρίζουμε από το πείραμα της διπλής σχισμής ότι τα κβαντικά "αντικείμενα" μπορούν να διέλθουν ταυτόχρονα από δύο σχισμές. Μπορεί να υφίστανται σε διαφορετικές καταστάσεις ταυτόχρονα. Επειδή το σπιν αποτελεί κβαντική ιδιότητα, το σπιν του ατόμου μπορεί επίσης να αποτελεί *συνδυασμό της πάνω και κάτω κατάστασης ταυτόχρονα*. Αυτό σημαίνει ότι μπορούμε πράγματι να αποθηκεύσουμε περισσότερες πληροφορίες σε ένα σπιν από όσες θα μπορούσαμε να αποθηκεύσουμε σε ένα απλό 1 ή 0. Το πεδίο της ηλεκτρονικής όπου χρησιμοποιούνται τα σπιν ονομάζεται **σπιντρονική**.

Το βραβείο Νόμπελ στη φυσική το 2007 απονεμήθηκε για την ανακάλυψη ενός φαινομένου γνωστού ως γιγαντιαία μαγνητοαντίσταση (GMR), το οποίο είναι στενά συνυφασμένο με τη σπιντρονική. Χάρη σε αυτό το **γιγαντιαίο φαινόμενο μαγνητοαντίστασης**, μπορείτε να χρησιμοποιήσετε "πολύ μικρούς μεγάλους" σκληρούς δίσκους. Το φαινόμενο για το οποίο οι Albert Fert και Peter Grünberg τιμήθηκαν με Νόμπελ, βασίζεται στην εξάρτηση της σκέδασης ηλεκτρονίων (αντίσταση) ανάλογα με τον προσανατολισμό του *σπιν*.

## Έννοιες στον Σταθμό Μάθησης ΙΧ

### Συμπληρώστε προσθέτοντας τις έννοιες που λείπουν

#### Κλασσικές έννοιες

Αντικείμενα με σπιν συμπεριφέρονται σαν μικροί μαγνήτες: τα σωματίδια με σπιν εκτρέπονται σε ένα μαγνητικό πεδίο. Το πόσο εκτρέπονται εξαρτάται από.....

#### Κβαντικές έννοιες

Το σπιν είναι κβαντισμένο: τα αντικείμενα έχουν..... και ....., σε κάθε διάσταση.

Κάθε μέτρηση του σπιν σε μία συγκεκριμένη διεύθυνση δρα ως μία «Κβαντική Γόμα»: οι πληροφορίες που αποκτήθηκαν σε μια προηγούμενη μέτρηση του σπιν σε μια άλλη διεύθυνση «σβήνεται».