



**Τ.Ε.Ι. ΠΑΤΡΑΣ
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΑΣ**

ΘΕΜΑ: ΣΥΓΧΡΟΝΗ ΦΥΣΙΚΗ ΚΑΙ ΕΠΙΡΡΟΕΣ ΣΤΗΝ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ



ΣΠΟΥΔΑΣΤΗΣ: ΠΑΝΑΓΙΩΤΗΣ ΚΑΡΑΓΙΩΡΓΗΣ

ΕΠΙΒΛΕΠΟΥΣΑ ΚΑΘΗΓΗΤΡΙΑ ΜΑΡΙΑ ΘΕΟΔΩΡΟΠΟΥΛΟΥ

ΠΑΤΡΑ 2010

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Καταρχήν θα θελα να ευχαριστήσω την επιβλέπουσα καθηγήτρια την κυρία Μαρία Θεοδωροπούλου για την βοήθεια όσον αφορά την βιβλιογραφία και τις επεξηγήσεις που χρειάστηκαν κατά την εκπόνηση την πτυχιακής μου εργασίας όπως και το για το ελεύθερο πνεύμα που διατηρήθηκε καθ'όλη την διάρκεια επιλογής των θεμάτων και στην ανάλυσή τους . Δεύτερον θα ήθελα να ευχαριστήσω τον πρόεδρο του τμήματος Μηχανολογίας που μου επέτρεψε να ασχοληθώ με το θέμα που πραγματικά ήθελα να ασχοληθώ. Τέλος θα θελα να ευχαριστήσω και τον αξιόλογο φοιτητή του τμήματος του Φυσικού Αθηνών τον Μανώλη Χανιωτάκη για την πολύτιμη βοήθεια που μου προσέφερε κατά την έρευνα των μικροσκοπιών και γενικά την ενασχόληση του με το θέμα μου. Για μένα αποτέλεσε μια πολύ καλή περίοδος μορφώσεως, πέραν κάθε προσδοκίας, γιατί εκτός ότι μελέτησα για το μηχανολογικό θαύμα της εποχής τον επιταχυντή της Γενεύης ξεκίνησα με το θεωρητικό υπόβαθρο που με οδήγησε σε πολλά σκέλη σύγχρονης τεχνολογίας και σύγχρονης φυσικής. Θεωρώ ότι όχι μόνο εμπλούτισα της ήδη υπάρχουσες μηχανολογικές γνώσεις αλλά επαναπροσδιόρισα και την στάση ζωής και έρευνας. Δυστυχώς δεν είναι πλέον της <<μόδας>> μια έρευνα ή κουβέντα εκτός των δεδομένων της σχολής αλλά στα μέρη που βρίσκονται οι φοιτητές να επικρατούν κυρίως συζητήσεις πολιτικού και ακόμα περισσότερο κοσμικού ενδιαφέροντος πράγμα που δεν μας δίνει συγκεκριμένη μορφή (μορφώνει) δηλαδή παρά μας εξισώνει με μια μορφή τριτοβάθμιας μάζας που δεν αναπτύσσει κριτικό πνεύμα. Οι ευθύνες για το φαινόμενο αυτό πιστεύω ότι είναι ατομικές για τον καθένα μας και κυρίως των σπουδαστών. Τέλος θέλω να προτρέψω σπουδαστές και μένα τον ίδιο να ακούσουμε την συμβουλή του Αϊνστάιν που έλεγε ότι ο αληθινός επιστήμονας πρέπει να σκέφτεται για ένα τουλάχιστον τέταρτο κάθε μέρα εναλλακτικές θεωρίες από τις ήδη υπάρχουσες.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στο **πρώτο κεφάλαιο** θα γίνει η περιγραφή της ακτινοβολίας και πως μας οδήγησε στην ανακάλυψη της δομής του ατόμου όπως και στις ακτίνες Χ. Ακόμα θα εισάγουμε και την έννοια του σωματιδίου και πως θεωρήθηκε αρχικά. Στη συνέχεια θα αναφερθεί σε ποιους τομείς συνεργάστηκαν με την τεχνολογία και τα αποτελέσματα που προέκυψαν. Τέλος θα αναφερθεί και έννοια της κρυσταλλογραφίας και που τη χρησιμοποιούμε.

Στο **δεύτερο κεφάλαιο** θα αναφερθεί η ιστορία της ραδιενέργειας και ιδιαίτερα της αυθόρμητης μορφή της. Θα δούμε πως μας βοήθησε να κατανοήσουμε την δομή του ατόμου. Ακόμα θα δούμε πως γίνεται η ανάλυση της στις επιμέρους ακτινοβολίες. Θα αναλύσουμε την τεχνολογική χρησιμότητα της με τις διάφορες διαγνωστικές της χρήσεις όπως και τους τεράστιους κινδύνους που προκύπτουν από την χρόνια έκθεση έμβιων οργανισμών σ'αυτήν.

Στο **τρίτο κεφάλαιο** θα κάνουμε μια εισαγωγή στη θεωρία της σχετικότητας στην ειδική και μετά στην γενική μορφή της αφού πρώτα ορίσουμε αρχικές έννοιες προς διευκόλυνση της κατανόησης. Θα ερευνήσουμε τις αλλαγές όσον αφορά την ιδέα μας για τον χώρο και τον χρόνο όπως και τα μαθηματικά βοηθήματα που οδήγησαν στις επιστημονικές επαναστάσεις στον 20^ο και 21^ο αιώνα. Τέλος θα αναφέρουμε τα πιο σημαντικά πειράματα που την επιβεβαιώνουν.

Στο **τέταρτο κεφάλαιο** θα κάνουμε μια εισαγωγή στην κβαντική φυσική- σκέψη- πραγματικότητα όπως και τα προβλήματα που μας οδήγησαν σε αυτήν την καινοτομική θεωρία. Θα συσχετιστεί ως φυσική συνέχεια των προηγούμενων κεφαλαίων και θα αναφερθεί η τεράστια επιστημονική πρόοδος σε όλους τους κλάδους της τεχνολογίας. Επίσης θα γίνει σαφής αναφορά στο πείραμα Cern και τις προσδοκίες της επιστημονικής κοινότητας. Θα ασχοληθούμε επίσης με την έννοια του στοιχειώδους σωματιδίου με μια ιστορική αναφορά μέχρι και τις τελευταίες ανακαλύψεις. Τέλος θα αναφερθούμε στις σύγχρονες τεχνολογικές ανακαλύψεις πάνω στον τομέα

αυτόν. Θα δοθεί ιδιαίτερη έμφαση στο πείραμα της Γενεύης δηλαδή στον επιταχυντή αδρονίων.

Στο **πέμπτο κεφάλαιο** θα μιλήσουμε για τις τελευταίες εξελίξεις στον κόσμο μας δηλαδή την υπεραγωγιμότητα που βασίζονται όλα τα όνειρα για τις μελλοντικές τεχνολογικές ανακαλύψεις.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

<u>ΠΡΟΛΟΓΟΣ</u>σελ.1	σελ.1
<u>ΠΕΡΙΛΗΨΗ</u>σελ.2	σελ.2
<u>ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ</u>σελ.4	σελ.4
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ ΚΑΙ ΔΟΜΗ ΤΟΥ ΑΤΟΜΟΥ	
1.1.1. Εισαγωγή.....σελ.7	σελ.7
1.1.2. Ακτινοβολία.....σελ.7	σελ.7
1.1.3. Το πρώτο σωματίδιο.....σελ.11	σελ.11
1.1.4. Φθορισμός.....σελ.17	σελ.17
1.1.5. Εφαρμογές.....σελ.17	σελ.17
1.2. Η ΑΝΑΚΑΛΥΨΗ ΤΩΝ ΑΚΤΙΝΩΝ Χ	
1.2.1. Εισαγωγή.....σελ.22	σελ.22
1.2.2. Η πρώτη ανάγνωση.....σελ.24	σελ.24
1.2.3. Εργαστηριακά δεδομένα και θεωρητική σκέψη.....σελ.25	σελ.25
1.2.4. Εφαρμογες.....σελ.29	σελ.29
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο ΡΑΔΙΕΝΕΡΓΕΙΑ	
2.1.1. Εισαγωγή.....σελ.32	σελ.32
2.1.2. Ιστορική συνέχεια.....σελ.32	σελ.32
2.1.3. Τα είδη της ραδιενέργειας.....σελ.35	σελ.35
2.1.4. Τα πρώτα πειράματα.....σελ.36	σελ.36
2.1.5. Διαγνωστικές χρήσεις.....σελ.38	σελ.38
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο Ν-ΔΙΑΣΤΑΣΕΙΣ ΚΑΙ ΘΕΩΡΙΑ ΤΗΣ ΣΧΕΤΙΚΟΤΗΤΑΣ	
3.1.1. Εισαγωγή.....σελ.42	σελ.42
3.1.2. Εισαγωγικές έννοιες.....σελ.42	σελ.42
3.1.3. Θεωρία Kaluza-Klein.....σελ.46	σελ.46

3.2. Η ΘΕΩΡΙΑ ΤΗΣ ΣΧΕΤΙΚΟΤΗΤΑΣ

- 3.2.1. Εισαγωγή.....σελ.47
- 3.2.2. Η θεωρία και το μαθηματικό υπόβαθρο.....σελ.47
- 3.2.3. Πειραματικές δοκιμασίες.....σελ.54

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο Η ΘΕΩΡΙΑ ΤΩΝ ΚΒΑΝΤΑ

- 4.1.1. Εισαγωγή.....σελ.58
- 4.1.2. Μεγέθη για την περιγραφή της ακτινοβολίας.....σελ.60
- 4.1.3. Τα προβλήματα και τα κβάντα.....σελ.60
- 4.1.4. Φωτοηλεκτρικό φαινόμενο και φωτόνια.....σελ.62
- 4.1.5. Το μοντέλο του Bohr για το άτομο.....σελ.64
- 4.1.6. Η αρχή της απροσδιοριστίας.....σελ.70
- 4.1.7. ΜΗ ΤΟΠΙΚΟΤΗΤΑ, E-P-R, ΘΕΩΡΗΜΑ ΤΟΥ BELL ΚΑΙ
ΚΒΑΝΤΙΚΟΣ ΣΥΣΧΕΤΙΣΜΟΣ ένα ασύλληπτο γεγονός.....σελ.72
- 4.1.8. Το στοιχειώδες σωματίδιο.....σελ.73
- 4.1.9. Εφαρμογές.....σελ.75
- 4.2. CERN
 - 4.2.1. Εισαγωγή.....σελ.92
 - 4.2.2. Τι προσπαθούν να εντοπίσουν και τι προεκτάσεις θα έχει
αυτό για την επιστήμη.....σελ.93
 - 4.2.3. Πως λειτουργεί.....σελ.94
- 4.3 ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ TERRAHERZ
 - 4.3.1. Εισαγωγή.....σελ.98
 - 4.3.2. Τεχνικές παραγωγής ακτινοβολίας Terrahez.....σελ.101
 - 4.3.3. Εφαρμογες.....σελ.105

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο ΥΠΕΡΑΓΩΓΙΜΟΤΗΤΑ

- 5.1.1. Εισαγωγή.....σελ.115
- 5.1.2. Μια θεωρητική ερμηνεία από την κβαντική
φυσική.....σελ.117
- 5.1.3. Σύνδεση της υπεραγωγίμης τεχνολογίας με άλλες
τεχνολογίεςσελ.121

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στο **πρώτο κεφάλαιο** θα γίνει η περιγραφή της ακτινοβολίας και πως μας οδήγησε στην ανακάλυψη της δομής του ατόμου όπως και στις ακτίνες Χ. Ακόμα θα εισάγουμε και την έννοια του σωματιδίου και πως θεωρήθηκε αρχικά. Στη συνέχεια θα αναφερθεί σε ποιους τομείς συνεργάστηκαν με την τεχνολογία και τα αποτελέσματα που προέκυψαν. Τέλος θα αναφερθεί και έννοια της κρυσταλλογραφίας και που τη χρησιμοποιούμε.

Στο **δεύτερο κεφάλαιο** θα αναφερθεί η ιστορία της ραδιενέργειας και ιδιαίτερα της αυθόρμητης μορφή της. Θα δούμε πως μας βοήθησε να κατανοήσουμε την δομή του ατόμου. Ακόμα θα δούμε πως γίνεται η ανάλυση της στις επιμέρους ακτινοβολίες. Θα αναλύσουμε την τεχνολογική χρησιμότητα της με τις διάφορες διαγνωστικές της χρήσεις όπως και τους τεράστιους κινδύνους που προκύπτουν από την χρόνια έκθεση έμβιων οργανισμών σ'αυτήν.

Στο **τρίτο κεφάλαιο** θα κάνουμε μια εισαγωγή στη θεωρία της σχετικότητας στην ειδική και μετά στην γενική μορφή της αφού πρώτα ορίσουμε αρχικές έννοιες προς διευκόλυνση της κατανόησης. Θα ερευνήσουμε τις αλλαγές όσον αφορά την ιδέα μας για τον χώρο και τον χρόνο όπως και τα μαθηματικά βοηθήματα που οδήγησαν στις επιστημονικές επαναστάσεις στον 20^ο και 21^ο αιώνα. Τέλος θα αναφέρουμε τα πιο σημαντικά πειράματα που την επιβεβαιώνουν.

Στο **τέταρτο κεφάλαιο** θα κάνουμε μια εισαγωγή στην κβαντική φυσική- σκέψη- πραγματικότητα όπως και τα προβλήματα που μας οδήγησαν σε αυτήν την καινοτομική θεωρία. Θα συσχετιστεί ως φυσική συνέχεια των προηγούμενων κεφαλαίων και θα αναφερθεί η τεράστια επιστημονική πρόοδος σε όλους τους κλάδους της τεχνολογίας. Επίσης θα γίνει σαφής αναφορά στο πείραμα Cern και τις προσδοκίες της επιστημονικής κοινότητας. Θα ασχοληθούμε επίσης με την έννοια του στοιχειώδους σωματιδίου με μια ιστορική αναφορά μέχρι και τις τελευταίες ανακαλύψεις. Τέλος θα αναφερθούμε στις σύγχρονες τεχνολογικές ανακαλύψεις πάνω στον τομέα αυτόν. Θα δοθεί ιδιαίτερη έμφαση στο πείραμα της Γενεύης δηλαδή στον επιταχυντή αδρονίων.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο

ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ – ΔΟΜΗ ΤΟΥ ΑΤΟΜΟΥ

Φύσις κρύπτεσθαι φιλεί. (Η φύση προταμάει να κρύβεται)

Ηράκλειτος

Είναι αρκετά δύσκολο να επονομάσει κάποιος την αρχή της σύγχρονης φυσικής. Δεδομένου ότι πλέον στις μέρες μας κυριαρχεί η φυσική των υποατομικών σωματιδίων και η ακτινοβολία θα ανατρέξουμε στην εποχή που βρέθηκε το πρώτο σωματίδιο ώστε να καταριφθεί και η έννοια του α-τόμου δηλαδή το κομμάτι ύλης που δεν δέχεται περαιτέρω τομές αφού πρώτα αναφέρουμε λίγα λόγια για την ακτινοβολία.

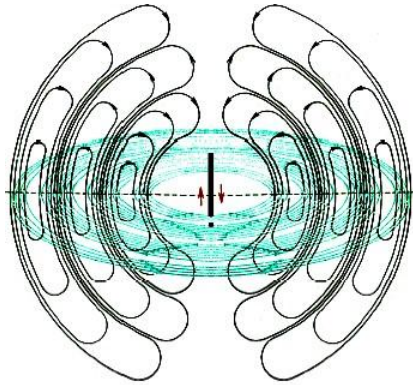
ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ

Περίπου το 0,01% της συνολικής ενέργειας του Σύμπαντος εμφανίζεται με την μορφή ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας, είμαστε δηλαδή μέσα σε ένα κόσμο (ηλεκτρομαγνητικών) κυμάτων. Για παράδειγμα οι τηλεπικοινωνίες και η Ιατρική χρησιμοποιούν κάποια μορφή ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας. Επίσης η ζωή όλων των οργανισμών στην Γη εξαρτάται από την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία που έρχεται από τον Ήλιο. Η καθημερινή μας ζωή "κατακλύζεται" από ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία: ζεσταίνουμε το φαί στον φούρνο μικροκυμάτων, τα αεροπλάνα πετούν με την καθοδήγηση ραντάρ, οι τηλεοράσεις λαμβάνουν τα ηλεκτρομαγνητικά σήματα που εκπέμπουν οι διάφοροι τηλεοπτικοί σταθμοί κ.λ.π.

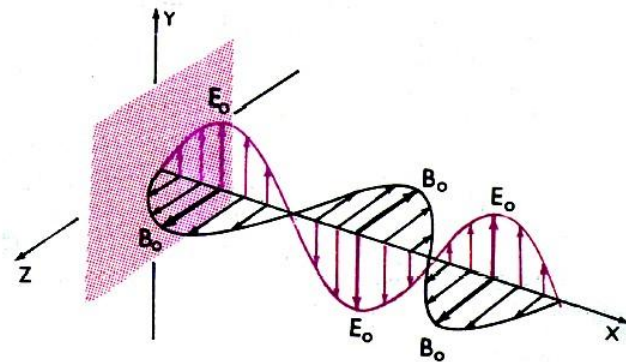
Τι είναι και πως παράγονται τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα;

Ας θεωρήσουμε μια κεραία, δηλαδή ένα συρμάτινο αγωγό, η οποία τροφοδοτείται από εναλλασσόμενη τάση V . Η κεραία διαρρέεται από εναλλασσόμενο ρεύμα και τα ελεύθερα ηλεκτρόνια μέσα σε αυτήν εκτελούν αρμονική ταλάντωση. Γύρω από την κεραία δημιουργείται ένα ηλεκτρικό και

ένα μαγνητικό πεδίο. Τα δυο αυτά πεδία μεταβάλλονται ημιτονοειδώς με το χρόνο και αυτή η μεταβολή μεταδίδεται, απομακρυνόμενη από την κεραία, κατά μήκος της ευθείας $χχ'$, που αποτελεί την διεύθυνση διάδοσης του κύματος. Η διάδοση αυτής της διαταραχής ονομάζεται ηλεκτρομαγνητικό κύμα.

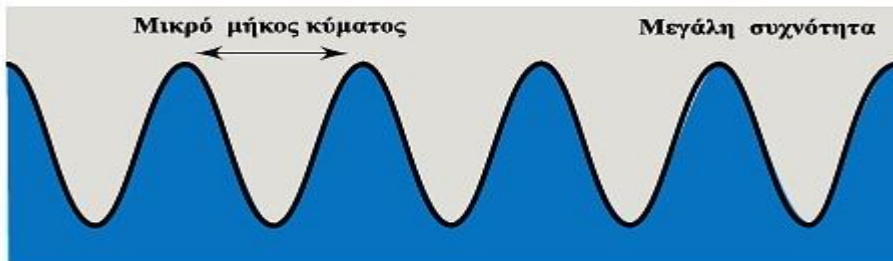
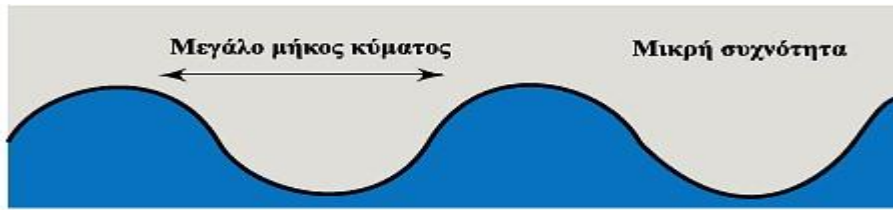


Δημιουργία ηλεκτρομαγνητικού κύματος, λόγω εναλλασσόμενου ρεύματος υψηλής συχνότητας.



Η ηλεκτρική (E) και μαγνητική (B) συνιστώσα του ηλεκτρομαγνητικού κύματος.

Το ηλεκτρομαγνητικό κύμα δε χρειάζεται κάποιο ελαστικό μέσο για να διαδοθεί. Διαδίδεται ακόμα και στο κενό και μάλιστα με ταχύτητα ίση με τη ταχύτητα διάδοσης του φωτός στο κενό. Σε κάθε θέση της ευθείας $χχ'$ οι εντάσεις του ηλεκτρικού και του μαγνητικού πεδίου είναι κάθετες μεταξύ τους, καθώς επίσης και προς την διεύθυνση διάδοσης. Για αυτό λέμε ότι το ηλεκτρομαγνητικό κύμα είναι εγκάρσιο.



Σχέση μήκους κύματος και συχνότητας, όταν η ταχύτητα του κύματος είναι σταθερή.

Όπως είπαμε και πριν το ηλεκτρικό και το μαγνητικό πεδίο μεταβάλλονται ημιτονοειδώς, δηλαδή αλλάζουν το πλάτος τους και την κατεύθυνσή τους κάθε δευτερόλεπτο. Αυτός ο ρυθμός μεταβολής ονομάζεται συχνότητα f , και τον μετράμε σε Hz.

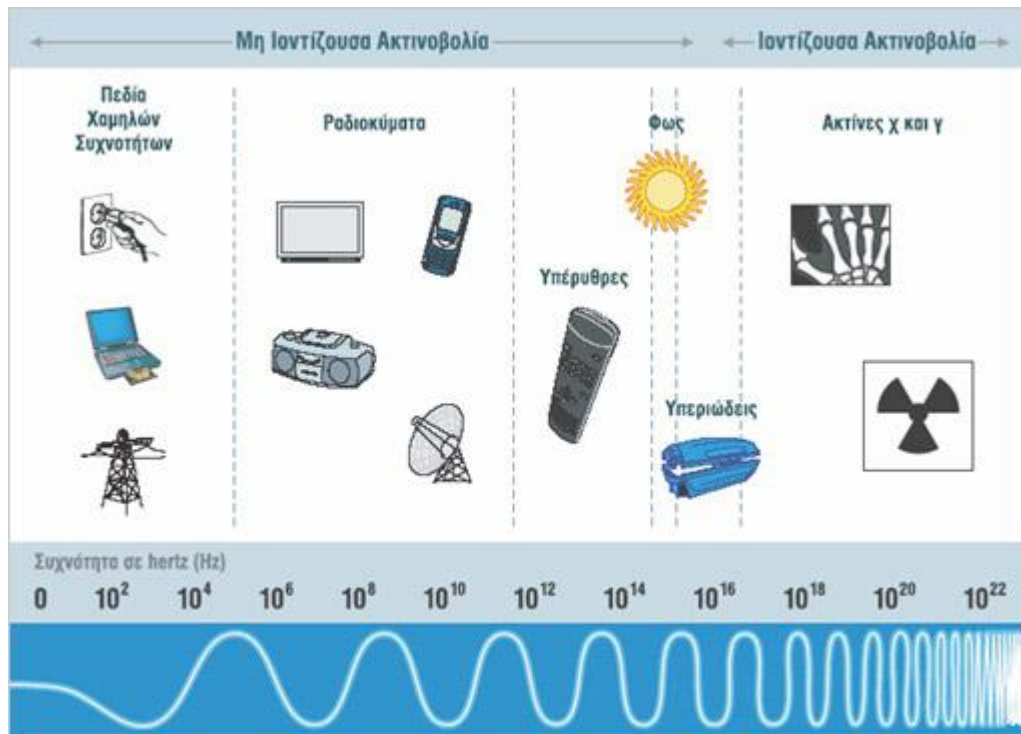
Η απόσταση μεταξύ δυο διαδοχικών μεγίστων ή ελαχίστων ονομάζεται μήκος κύματος λ . Η σχέση που συνδέει το μήκος κύματος με την συχνότητα είναι η εξής:

$$c = \lambda \cdot f \quad (2.1)$$

c είναι η ταχύτητα διάδοσης του κύματος, λ είναι το μήκος κύματος και f η συχνότητα του. Η σχέση αυτή μας δείχνει ότι όσο μικρότερη είναι η συχνότητα τόσο μεγαλύτερο είναι το μήκος κύματος.

Ηλεκτρομαγνητικό φάσμα

Το σύνολο των συχνοτήτων που περιέχονται στην ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία ονομάζεται ηλεκτρομαγνητικό φάσμα.



Ένα χαρακτηριστικό μέγεθος που αναφέρεται στην πηγή που εκπέμπει την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία είναι η *Ειδική Ένταση* της ακτινοβολίας I_v . Για την επιφάνεια που δέχεται την εκπεμπόμενη ακτινοβολία ορίζουμε το μέγεθος F_v , που ονομάζεται *Ροή της ακτινοβολίας*.

Η Ειδική ένταση της ακτινοβολίας I_v , είναι ένα μέγεθος που αφορά την πηγή της ακτινοβολίας και ειδικότερα αναφέρεται στην ποσότητα της ενέργειας –σε μια περιοχή συχνοτήτων- που εκπέμπεται από αυτήν. Η συγκεκριμένη αυτή ποσότητα είναι αναλοιώτη και σταθερή, όσον αφορά την πηγή και ως εκ τούτου είναι ανεξάρτητη της απόστασής της από τον παρατηρητή. Μετριέται μόνο για εκτεταμένες- πεπερασμένες πηγές, όπως είναι ο Ήλιος – όχι σημειακές- και εκφράζεται σε $\text{erg}\cdot\text{cm}^2\cdot\text{sec}^{-1}\cdot\text{Hz}^{-1}\cdot\text{sr}^{-1}$.

Όπως γίνεται φανερό από τα προηγούμενα, η Ειδική ένταση της ακτινοβολίας είναι η ενέργεια που εκπέμπει η μονάδα επιφάνειας της πηγής, ανα μονάδα συχνότητας, στη μονάδα του χρόνου, ανά μονάδα στερεάς γωνίας κατά διεύθυνση κάθετη προς την επιφάνεια.

Σε αντίθεση με την Ειδική ένταση της ακτινοβολίας, η Ροή της ακτινοβολίας F_v αναφέρεται σε επιφάνειες που δέχονται ποσότητες ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας από οποιαδήποτε πηγή (πεπερασμένη ή

σημειακή) και ελαττώνεται αντιστρόφως ανάλογα του τετραγώνου της απόστασης από την πηγή.

Η Ροή της ακτινοβολίας είναι η ενέργεια που συλλέγεται ανά μονάδα συλλεκτικής επιφάνειας, τοποθετημένης κάθετα στη διεύθυνση της οπτικής ακτίνας της πηγής στη μονάδα του χρόνου.

Θερμική ακτινοβολία ονομάζεται η ροή θερμότητας που συμβαίνει υπό μορφή ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας(για παράδειγμα υπερύθρων ακτίνων) και που διαδίδεται στο χώρο, χωρίς τη παρέμβαση κάποιου υλικού μέσου.

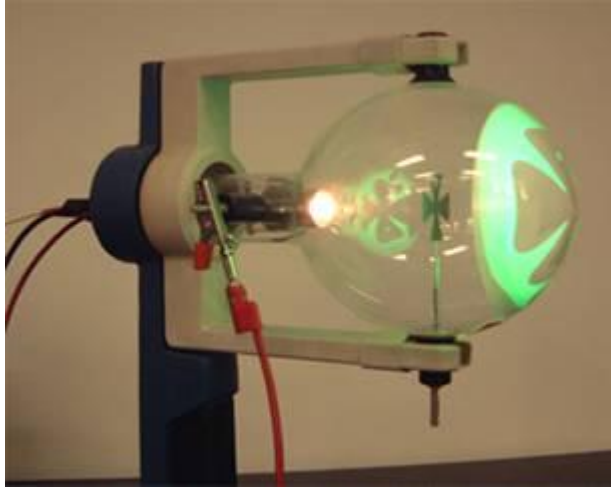
Γενικά όλα τα σώματα στη Φύση χάνουν ή αποκτούν θερμότητα με ακτινοβολία. Καθώς κινούνται αδιάκοπα τα σωματίδια που συγκροτούν ένα σώμα αυτά εκπέμπουν σε όλο το φάσμα της ακτινοβολίας, χάνοντας έτσι ένα μέρος της θερμικής τους ενέργειας με συνέπεια ν' αρχίζουν να επιβραδύνονται και έτσι τα σώματα που συγκροτούν να ψύχονται. Η ποσότητα της ενέργειας που αντιστοιχεί σε κάθε περιοχή συχνότητας δίνεται (για ιδανικό μέλαν σώμα) από το Νόμο του Πλανκ.

Οι δε ακτίνες αυτές που προέρχονται από θερμική ακτινοβολία διαδίδονται τόσο στον αέρα και στο κενό καθώς και σε πολλά στερεά και υγρά σώματα[εκκρεμεί παραπομπή] μέρος ανακλάται, μέρος απορροφάται, μέρος τα διαπερνά.

Χάρη στη θερμική ακτινοβολία η Γη θερμαίνεται από τον Ήλιο. Το δε μέτρο της ηλιακής θερμικής ακτινοβολίας λέγεται Ηλιακή σταθερά.

ΤΟ ΠΡΩΤΟ ΣΩΜΑΤΙΔΙΟ

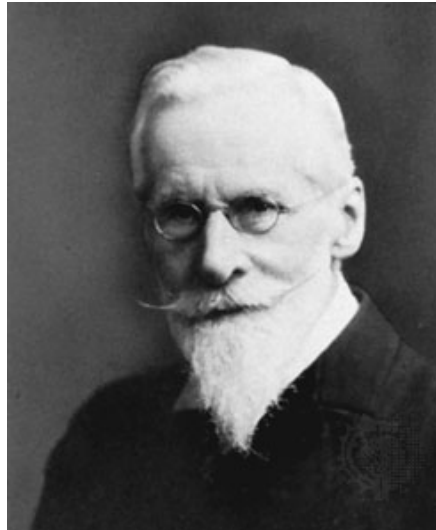
Το πρώτο σωματίδιο που ανακαλύφθηκε ήταν το ηλεκτρόνιο.Το αγαπημένο των Χημικών και των Ηλεκτρολόγων. Οι Άγγλοι ήταν οι «νονοί» .Το βάφτισαν electron, δημιουργώντας μία ακόμα λέξη με υλικό από την δεξαμενή της αρχαίας ελληνικής γλώσσας. Ήταν λοιπόν φυσικό οι Έλληνες να πουν ηλεκτρόνιο. Οι Γάλλοι το ονόμασαν electron, οι Γερμανοί elektron, οι Σουηδοί elektron, οι Δανοί elektroner, οι Ιταλοί elettrone, οι Ισπανοί electrón, οι Πορτογάλοι electrão, ο Ρώσοι электоη, οι Σέρβοι elektrona, οι Αλβανοί elektronet



Το τρομακτικά μικρό αόρατο σωματίδιο που έμελλε να γίνει ο βασικός πρωταγωνιστής στα «έργα» Χημεία, ηλεκτρομαγνητισμός και Ηλεκτρονική αλλά και ο βασικός υπεύθυνος για τη δημιουργία φωτός, κυριολεκτικά ανακαλύφθηκε από τους Άγγλους ερευνητές στα τέλη του 19ου αιώνα.

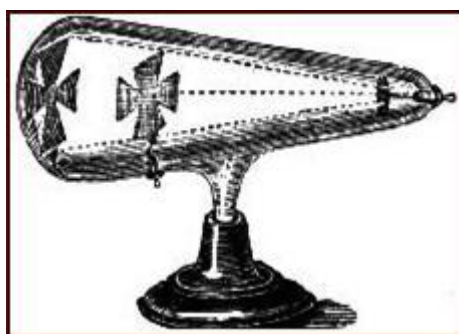
1875. Η άκρη του νήματος

Η άκρη του νήματος βρίσκεται στο έτος 1875. Ήταν τότε που ο William Crookes,



σημαντικός Άγγλος φυσικός της εποχής, ερευνούσε την ηλεκτρική αγωγιμότητα μέσα σε κλειστό σωλήνα με αραιωμένο αέρα σε πολύ χαμηλή

πίεση ή, με άλλα λόγια, σε σωλήνα αρκετά «υψηλού» κενού². Στα άκρα του σωλήνα υπήρχαν δύο ηλεκτρόδια στα οποία εφαρμόζε τάση μερικών χιλιάδων βολτ. Κατά τη διάρκεια των πειραμάτων ένα παράξενο φθορίζον φως στο τοίχωμα το απέναντι από την κάθοδο –το αρνητικό δηλαδή ηλεκτρόδιο- πρόδιδε την ύπαρξη μιας αόρατης δέσμης. Η δέσμη έδειχνε να έχει κατεύθυνση από την από την κάθοδο προς το απέναντι τοίχωμα και ευθύγραμμη διάδοση, όπως το φως, σε σημείο που με την παρεμβολή αδιαφανούς, γι αυτήν, αντικειμένου να δημιουργείται στο απέναντι τοίχωμα σκιά.



Το όνομα που δόθηκε (1876) στη δέσμη ήταν καθοδικές ακτίνες. Η φύση της αποτελούσε ένα αίνιγμα. Τι ήταν οι καθοδικές ακτίνες;

Μορφή ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας όπως το φως, αόρατα κινούμενα σωματίδια με ηλεκτρικό φορτίο ή κάτι άλλο εντελώς διαφορετικό;

Από τη μεριά της ηπειρωτικής Ευρώπης όλοι σχεδόν οι Γερμανοί ερευνητές εκδήλωναν άρνηση να δεχθούν ότι πρόκειται για σωματίδια. Ο Heinrich Hertz είχε εκφράσει τη βεβαιότητα ότι οι καθοδικές ακτίνες ήταν ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία και όχι κινούμενα σωματίδια. Κι αυτό διότι είχε επιχειρήσει να δείξει ότι εκτρέπονται από Ηλεκτρικό πεδίο και είχε αποτύχει. Σήμερα ξέρουμε ότι η αποτυχία του οφειλόταν στο ότι δεν είχε υποψιαστεί την τρομακτική ταχύτητά τους και τα ηλεκτρικά πεδία που χρησιμοποιούσε ήταν ασθενή οπότε η εκτροπή δεν γινόταν αντιληπτή. Ήταν σα να ήθελε να δείξει ότι η σφαίρα ενός όπλου σε οριζόντια βολή εκτρέπεται από το πεδίο βαρύτητας για τα πρώτα τρία μέτρα της κίνησης.

Οι περισσότεροι Άγγλοι φυσικοί, σε αντίθεση με τους άλλους Ευρωπαίους, υποστήριξαν ότι η δέσμη αποτελείται από σωματίδια. Το πάθος των Άγγλων για παιχνίδια με μπάλες, όπως το κρίκετ, μπορεί να έπαιξε

κάποιο ρόλο γι αυτή την προτίμηση. Στο μεταξύ οι φυσικοί, κινούμενοι στο δρόμο που χάραξε ο Γαλιλαίος, υπέβαλαν την αόρατη δέσμη σε «ανάκριση» και αυτή «ομολόγησε» ότι «αν βρεθεί σε μαγνητικό πεδίο εκτρέπεται από την ευθύγραμμη διάδοση».

Η ομολογία ενθάρρυνε την αγγλική εκδοχή για κινούμενα σωματίδια, ενώ, από την άλλη, έδειχνε και ότι τα σωματίδια ίσως έχουν αρνητικό ηλεκτρικό φορτίο.

Υπήρχε ωστόσο ένα αδύνατο σημείο στην πορεία των «ανακρίσεων» το οποίο εμπόδιζε τους φυσικούς να καταλήξουν σε βεβαιότητα. Εάν οι καθοδικές ακτίνες ήταν σωματίδια έπρεπε να παρουσιάζουν απόκλιση και μέσα σε ηλεκτρικό πεδίο, αλλά κάτι τέτοιο δεν μπορούσε εργαστηριακά να καταγραφεί.



Joseph John Thomson

Ήταν η εποχή που στο προσκήνιο έκανε την εμφάνιση του ένας ακόμα Άγγλος, ο - γεννημένος σε μια μικρή πόλη κοντά στο Manchester, το 1856 - Joseph John Thomson, τότε εικοσιπέντε περίπου ετών. Πιστεύοντας ότι οι καθοδικές ακτίνες δεν είναι ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία επεδίωξε να εμβαθύνει στην έρευνα των καθοδικών ακτίνων σε ολοένα υψηλότερο κενό και να δείξει, μέσα εκεί, την εκτροπή τους από ηλεκτρικό πεδίο. Μερικά χρόνια αργότερα, το έτος 1895, το κατάφερε. Απέδειξε δηλαδή εργαστηριακά ότι σε πολύ υψηλό κενό οι καθοδικές ακτίνες παρουσία ηλεκτρικού πεδίου εκτρέπονται από την ευθύγραμμη διάδοση και προς ορισμένη πάντα κατεύθυνση. Αυτό σήμαινε και ένα είδος βεβαιότητας για την άποψη ότι οι καθοδικές ακτίνες ήταν κινούμενο σωματίδια με αρνητικό φορτίο. Προχωρώντας παρά πέρα μέτρησε το πηλίκο του φορτίου προς τη μάζα e/m και διαπίστωσε ότι για κάθε ένα από τα κινούμενα σωματίδια το πηλίκο του φορτίου προς τη μάζα παρέμενε το ίδιο, ανεξάρτητα από τη φύση των μεταλλικών ηλεκτροδίων που χρησιμοποιήθηκαν, ανεξάρτητα από το είδος

του αερίου που υπήρχε έστω και σε ίχνη μέσα στον σωλήνα , ανεξάρτητα από οτιδήποτε. Υποθέτοντας ότι το φορτίο καθενός από αυτά τα σωματίδια ήταν ίσο με το ελάχιστο φορτίο των ιόντων – το οποίο είχε υποθέσει ο Faraday μέσα από τη θεωρία του για το φαινόμενο ηλεκτρόλυση- οδηγήθηκε σε ένα αρκετά ικανοποιητικό συμπέρασμα για τη μάζα κάθε σωματιδίου . Σύμφωνα με αυτό η μάζα κάθε σωματιδίου ήταν πολύ μικρότερη (το 1/1837 περίπου) από τη μάζα του ατόμου του Υδρογόνου.

Τα αόρατα σωματίδια της δέσμης έδειχναν να είναι τρομακτικά μικρά, πράγμα που σήμαινε ότι ο Thomson είχε ανοίξει την αυλαία για μια φυσική των υποατομικών σωματιδίων.

Για καθένα από αυτά τα σωματίδια πρότεινε το όνομα electron και επίσης ότι βρίσκονται σε όλα τα άτομα.

Από πού όμως «πήγαζαν» τα ηλεκτρόνια;

Η απάντηση που δόθηκε από τον Thomson έδειχνε να είναι πειστική. Τα ηλεκτρόνια εκπέμπονται από το μέταλλο της καθόδου, είτε αυτό είναι χάλκινο είτε σιδερένιο, είτε από οποιοδήποτε άλλο μέταλλο. Ο ίδιος, τολμώντας μία παραπέρα γενίκευση, ισχυρίστηκε ότι το ηλεκτρόνιο είναι ο μοναδικός φορέας αρνητικού φορτίου αλλά και συστατικό όλων των ατόμων της ύλης.

Η γενίκευση σήμαινε ότι τα ηλεκτρόνια όλων των ατόμων του Σύμπαντος είναι ίδια, υπό την έννοια ότι έχουν ίσα φορτία και ίσες μάζες (ηρεμίας). Τα ηλεκτρόνια του ηλεκτρολόγιου με το οποίο γράφονται όλα αυτά, είναι απολύτως όμοια με τα ηλεκτρόνια της καρέκλας που καθόμαστε, αλλά και με εκείνα που βρίσκονται στη μυγδαλιά έξω από το παράθυρο, στο μπουζί της μοτοσικλέτας και στον ήλιο.

Η ανακάλυψη του ηλεκτρονίου αποδίδεται στον J.J.Thomson για τρεις λόγους.

Πρώτον διότι υποστήριξε ότι τα ηλεκτρόνια είναι στοιχειώδη σωματίδια, μονάδες της ύλης, στο εσωτερικό των ατόμων. Δεύτερον διότι τεκμηρίωσε επαρκώς την άποψή του πειραματικά. Τρίτον διότι τόσο οι σύγχρονοι όσο και οι μεταγενέστεροι δέχτηκαν αλλά και εδραίωσαν την άποψη.

Αυτό σημαίνει ότι ο J.J.Thomson δεν ανακάλυψε το ηλεκτρόνιο μόνο επειδή μέτρησε την τιμή του e/m στα σωματίδια των καθοδικών ακτίνων. Τέτοιες μετρήσεις ακριβέστερες μάλιστα από τον είχαν κάνει ταυτόχρονα στη

Γερμανία τόσο ο Kaufmann όσο και ο Wiechert. Αλλά ο μιν Kaufmann μολονότι άλλαζε το μέταλλο της καθόδου και το αέριο του σωλήνα δεν διέγνωση από τα δεδομένα του την υποατομική φύση των ηλεκτρονίων. Όσο για τον Wiechert ενώ διέγνωση σωματιδιακή φύση δεν προχώρησε στη γενίκευση ότι τα ηλεκτρόνια είναι στοιχειώδη σωματίδια σε όλα τα άτομα της ύλης.

Στην ιστορική εξέλιξη των επιστημονικών ιδεών η ανάγνωση των δεδομένων συχνά επηρεάζεται και από τις φιλοσοφικές προϋδεάσεις των ερευνητών. Όταν Walter Kaufmann, στο πανεπιστήμιο του Βερολίνου, μέτρησε το πηλίκο του φορτίου προς τη μάζα του άγνωστου σωματιδίου, κατέληξε σε ακριβέστερη μέτρηση από τον J.J. Thomson, δημοσίευσε την εργασία του αλλά δεν έκανε την παραμικρή νύξη για υποατομικό σωματίδιο.. Η αδυναμία του «να δει» υποατομικά σωματίδια οφείλεται 1 στη φιλοσοφική του πεποίθηση και συγκεκριμένα στην επίδραση που του ασκούσε ο Ernest Mach. Τη χρονιά που ο J.J. Thomson μίλησε για «υποατομικό σωματίδιο» ο Ernest Mach υποστήριζε ότι «τα άτομα δεν είναι τίποτε άλλο από μαθηματικά μοντέλα που διευκολύνουν την νοησιακή περιγραφή των γεγονότων ή, με άλλα λόγια, μια βολική φαντασίωση». Ο Mach ήταν ένας από τους κορυφαίους εκφραστές του λογικού θετικισμού, αν και η σχολή αυτή άνθισε μετά τον θάνατό του (1916). Και ο λογικός θετικισμός ήταν εξαιρετικά καχύποπτος απέναντι σε υποθέσεις και σε έννοιες, όπως τα άτομα, οι οποίες δεν μπορούσαν να συσχετιστούν άμεσα με την αισθητηριακή εμπειρία. Η πίστη του Kaufmann σε τέτοιου είδους πεποιθήσεις του κόστισε την αδυναμία του «να δει» το ηλεκτρόνιο. Τελικά αποδέχτηκε την ύπαρξη ηλεκτρονίων λίγα χρόνια αργότερα.

Το επόμενο βήμα ήταν να προτείνει ένα μοντέλο για την δομή του ατόμου. Η βασική ιδέα ήταν ότι το άτομο περιέχει αρνητικό φορτίο -υλικός φορέας του οποίου είναι τα ηλεκτρόνια- και ίση ποσότητα θετικού, ο υλικός φορέας του οποίου ήταν άγνωστος. Στο μοντέλο που πρότεινε τα θετικά φορτία κατανέμονται σε μία διάχυτη μάζα, ενός είδους ζελέ, που καταλαμβάνει όλο τον χώρο του ατόμου και πάνω στο ζελέ είναι προσκολλημένα τα ηλεκτρόνια. Κάτι σαν σταφίδες σε σταφιδόψωμο – like raisins in round cake – έτσι ώστε το ολικό ηλεκτρικό φορτίο να είναι μηδέν.

ΦΘΟΡΙΣΜΟΣ

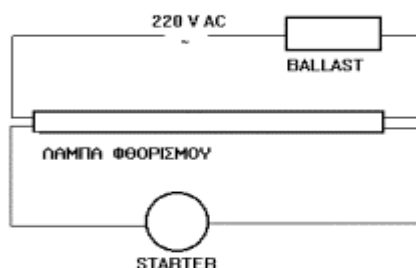
Κατά τη μελέτη των ηλεκτρικών φαινομένων προσπαθούσαν οι ερευνητές να εξαναγκάσουν το ηλεκτρικό ρεύμα να διέλθει μέσα από κενό αέρα, ώστε να μπορέσουν να το μελετήσουν καλύτερα, αφού θα βρισκόταν έξω από την ύλη που το «έκρυβε». Ήδη ο Φαρανταίου είχε διαπιστώσει ότι, όταν το ρεύμα διερχόταν μέσα από κενό, ο γυάλινος σωλήνας έπαιρνε μια πρασινωπή λάμψη. Αυτή η λάμψη ονομάστηκε από τον George Gabriel Stokes (Στόουκς, 1819-1903) φθορισμός, ένας όρος που χρησιμοποιείται έκτοτε για κάθε μορφή ορατού φωτός που προέρχεται από την αλληλεπίδραση ακτινοβολίας και ύλης. Ο Στόουκς διαπίστωσε το έτος 1852 ότι το μήκος κύματος της εξερχόμενης ακτινοβολίας είναι πάντα μικρότερο από το μήκος κύματος του προσπίπτοντος φωτός.

ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ

Λαμπτήρες φθορισμού

Είναι λαμπτήρες ηλεκτρικής εκκένωσης σε ατμούς υδραργύρου χαμηλής πίεσης. Αποτελούνται από γυάλινο σωλήνα που εσωτερικά είναι επικαλυμμένος με φθορίζουσα ουσία, περιέχει μία μικρή ποσότητα υδραργύρου, και στα άκρα του έχει από ένα ζεύγος ηλεκτροδίων που καταλήγει εσωτερικά σε ένα χοντρό νήμα από βολφράμιο.

Για να λειτουργήσουν χρειάζονται ένα στραγγαλιστικό πηνίο (ballast) και έναν εκκινητή (starter) σε κατάλληλη συνδεσμολογία.



Μέσα στον σωλήνα φθορισμού δημιουργείται ηλεκτρική εκκένωση και παράγεται φως, το οποίο κατά το μεγαλύτερο μέρος του είναι υπεριώδες,

δηλαδή δεν είναι ορατό. Η μετατροπή του σε ορατό , γίνεται από την φθορίζουσα ουσία στην εσωτερική επιφάνεια του σωλήνα.



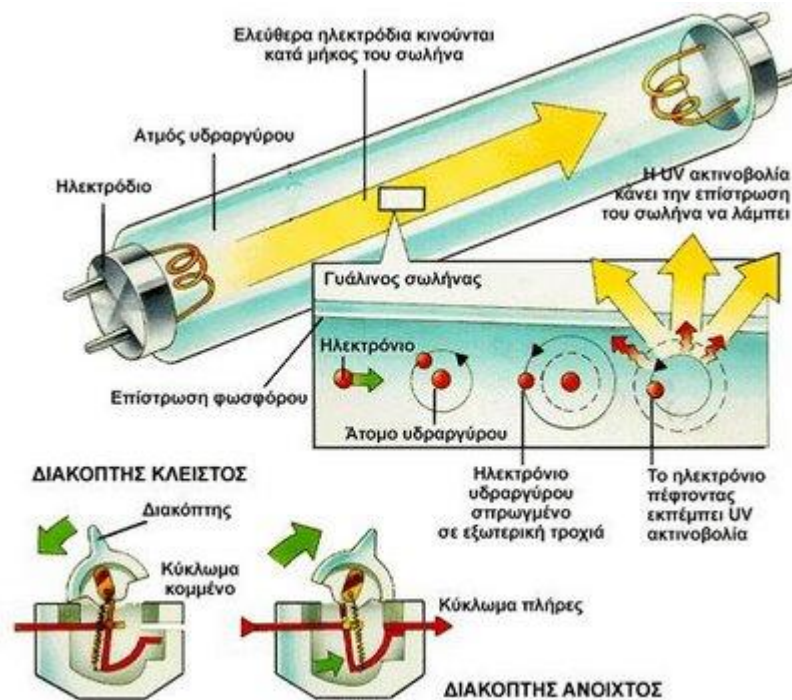
Οι λαμπτήρες φθορισμού έχουν μεγάλη διάρκεια ζωής (περίπου 10.000 ώρες) , εφ' όσον δεν τους ανοιγοκλείνουμε συχνά , οπότε μειώνεται πολύ η διάρκεια ζωής τους. Η απόδοσή τους είναι υψηλή , περίπου 85%.

Μειονέκτημά τους είναι η κακή απόδοση των χρωμάτων (ψυχρό φως) και το σχετικά υψηλό κόστος αγοράς τους.

Στους λαμπτήρες φθορισμού κατατάσσονται και οι λαμπτήρες τύπου «Kompakt» . Είναι λαμπτήρες που τοποθετούνται σε ντουί λαμπτήρων πυρακτώσεως (βιδωτό) και στον κάλυκά τους έχουν όλα τα εξαρτήματα που χρειάζεται για να λειτουργήσει ο σωλήνας φθορισμού που διαθέτουν. Είναι πολύ οικονομικοί στην κατανάλωση , όσο και τα κοινά φωτιστικά φθορισμού και μπορούν να αντικαταστήσουν τους λαμπτήρες πυρακτώσεως σε μία υπάρχουσα εγκατάσταση. Η διάρκεια ζωής τους είναι περίπου 8000 ώρες.



Λαμπτήρες φθορισμού τύπου <Kompakt> της PHILIPS



Ραντάρ

Το ραντάρ (radar = RAdio Detection And Ranging ή επίσης Radio Angle Detection And Ranging) αποτελεί μια ηλεκτρονική κατασκευή που εκπέμπει κατάλληλο ηλεκτρομαγνητικό κύμα και στη συνέχεια παραλαμβάνει τυχόν ανακλάσεις του σε μεταλλικές επιφάνειες. Έτσι είναι δυνατόν να συλλεγούν πληροφορίες για είδος και πλήθος κινούμενων ή σταθερών μεταλλικών αντικειμένων. Αυτή η κατασκευή υλοποιήθηκε σχεδόν παράλληλα στη Γερμανία, τη Βρετανία και τη Σοβιετική Ένωση στα τέλη της δεκαετίας του 1930, με κύριο στόχο την αντιμετώπιση αντιπάλων αεροπλάνων και πλοίων κατά το β' παγκόσμιο πόλεμο.

Στη δεκαετία του 1930 εξελίσσονται παράλληλα προσπάθειες για ανάπτυξη ραντάρ στο πλαίσιο των εξοπλισμών από τις κυριότερες αντίπαλες δυνάμεις και συγκεκριμένα τη Γερμανία, τη Βρετανία, τη Σοβιετική Ένωση και τις ΗΠΑ. Επειδή το ραντάρ είχε τότε σχεδόν αποκλειστικά στρατιωτικό ενδιαφέρον, η ανάπτυξή του έγινε σε όλες τις χώρες με μεγάλη μυστικότητα, γι' αυτό και οι τεχνικοί που συμμετείχαν σε κάθε χώρα δεν είχαν δυνατότητα επικοινωνίας. Αυτός είναι και ο λόγος που τα συστήματα, τα οποία τελικά αναπτύχθηκαν, διέφεραν σημαντικά μεταξύ τους.

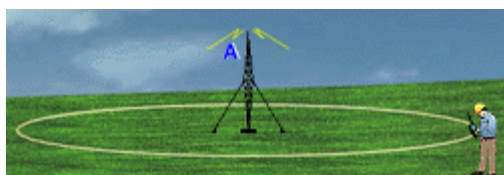
Στις ΗΠΑ άρχισε το έτος 1937 η μελέτη των δυνατοτήτων κατασκευής ραντάρ για στρατιωτική χρήση. Σύντομα προσδιορίστηκαν οι ανάγκες και κατασκευάστηκαν 800 συσκευές με εμβέλεια 50 μιλίων, φορητές (SCR-270) και σταθερές (SCR-271) με ισχύ 100 kW. Όταν το έτος 1941 επιτέθηκαν τα γιαπωνέζικα αεροπλάνα και κατέστρεψαν τον αμερικάνικο στόλο στο Pearl Harbour, τα αμερικάνικα ραντάρ λειτουργούσαν και είχαν λάβει το σήμα προσεγγίσεως των εχθρικών αεροπλάνων, μόνο που, λέγεται, ότι το προσωπικό χειρισμού δεν διέθετε την κατάλληλη εκπαίδευση για να αντιληφθεί τη σημασία των σημάτων που ελάμβανε. Κατά μία άλλη εκδοχή, τα εχθρικά αεροπλάνα έγιναν αντιληπτά και δόθηκε αρμοδίως μήνυμα συναγερμού, αλλά τα ανώτερα κλιμάκια διοίκησης του στρατού δεν έλαβε σοβαρά υπόψη αυτές τις πληροφορίες, ίσως επειδή δεν πίστευαν ότι ήταν δυνατόν να οργανωθεί μία τέτοια επίθεση. Λόγω της τεχνολογικής υστέρησης σ' αυτόν τον τομέα, τα πρώτα αξιόλογα αμερικάνικα επίγεια ραντάρ τέθηκαν σε λειτουργία το έτος 1943, ενώ το έτος 1944 τοποθετήθηκαν τα πρώτα ραντάρ σε αεροπλάνα της πολεμικής αεροπορίας.

Η εποχή του Ραδιοεντοπισμού

Στα μέσα περίπου του 20ου αιώνα, οι επιστήμονες βρήκαν τον τρόπο να μετρούν αποστάσεις χρησιμοποιώντας ραδιοκύματα. Η αρχή λειτουργίας βασίζεται στη μέτρηση του χρόνου που έκανε το κύμα να μεταδοθεί (ταξιδέψει) από την πηγή του (πομπός) στη ειδική συσκευή που έχει τη δυνατότητα λήψης του. Πολλαπλασιάζοντας τον χρόνο μετάδοσης με την ταχύτητα που ταξιδεύει το κύμα παίρνουμε την απόσταση. Η ταχύτητα μετάδοσης ισούται με την ταχύτητα του φωτός (περίπου 300.000.000 m/sec). Το κρίσιμο σημείο στη διαδικασία αυτή είναι η όσο το δυνατόν ακριβέστερη μέτρηση του χρόνου, μια που σφάλμα στη μέτρηση του της τάξης του 1μsec (ένα εκατομμυριοστό του δευτερολέπτου), εισάγει σφάλμα 300m στη μέτρηση της απόστασης. Για ακριβή προσδιορισμό της θέσης κατά συνέπεια, η συσκευή μέτρησης του χρόνου πρέπει να παρέχει ακρίβεια της τάξης του 1nsec (ένα νανοδευτερόλεπτο).

Πως όμως ένα τέτοιο σύστημα πομπού - δέκτη ραδιοκυμάτων μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την εύρεση της ακριβούς θέσης;

Ας υποθέσουμε ότι ένας πομπός είναι εγκατεστημένος στο σημείο A στη Γη και εμείς έχουμε μια ειδική συσκευή (δέκτης) που μπορεί να δέχεται το σήμα που εκπέμπει ο πομπός A και να μετρά την απόσταση προς αυτόν. Επίσης, ο δέκτης έχει αποθηκευμένη στη μνήμη του την ακριβή θέση του πομπού A. Βρισκόμαστε σε μια τυχαία θέση, θέτουμε τον δέκτη σε λειτουργία και μετράμε την απόσταση από τον πομπό $S=12.325\text{m}$. Η μέτρηση αυτή δεν μας δίνει την ακριβή μας θέση, αλλά ξέρουμε ότι βρισκόμαστε στο γεωμετρικό τόπο που ορίζει ένας κύκλος με ακτίνα 12.325m (πρώτο σχήμα).



Στη συνέχεια ας υποθέσουμε ότι ένας δεύτερος πομπός είναι εγκατεστημένος στο σημείο B με γνωστές συντεταγμένες. Ο δέκτης μας μετρά την απόσταση και προς τον δεύτερο πομπό και την υπολογίζει 9.792m . Επομένως βρισκόμαστε κάπου στον γεωμετρικό τόπο του κύκλου με ακτίνα 9.729m . Αν συνδυάσουμε όμως και την πληροφορία που είχαμε και από τον πομπό A, τότε ξέρουμε ότι βρισκόμαστε στην τομή των δύο κύκλων. Αυτό περιορίζει τις πιθανές θέσεις σε δύο, τα σημεία P και Q, όπως φαίνεται στο δεύτερο σχήμα.



Για να απορρίψουμε μία από τις δύο λύσεις και να προσδιορίσουμε την ακριβή μας θέση, χρειαζόμαστε κι έναν τρίτο πομπό (Γ). Η τομή τριών κύκλων είναι ένα σημείο. Αυτή ακριβώς είναι και η αρχή λειτουργίας του συστήματος. Οι πομποί A, B και Γ μαζί ονομάζονται «αλυσίδα» πομπών. Μια τέτοια αλυσίδα μπορεί να αποτελείται από 4 ή περισσότερους πομπούς για να εξασφαλιστεί η καλύτερη δυνατή κάλυψη μιας περιοχής. Οι ραδιοπομποί τέτοιου είδους, έχουν εμβέλεια περίπου 500km .

Τα συστήματα εντοπισμού που βασίζονται στα ραδιοκύματα για την μέτρηση των αποστάσεων προς διάφορους πομπούς που βρίσκονται εγκατεστημένοι σε σημεία με γνωστές συντεταγμένες, ονομάζονται συστήματα Ραδιοεντοπισμού.

Με τις έρευνες στον τομέα των πυρηνικών διεργασιών και υλικών και με την αξιοποίηση νεότερων επιστημονικών θεωριών (Κβαντομηχανική, Σχετικότητα κ.ά.), οδηγήθηκαν κατά τη διάρκεια του β' παγκόσμιου πολέμου ερευνητές και τεχνικοί που ζούσαν στις ΗΠΑ, στην κατασκευή της ατομικής βόμβας που θα αναλύσουμε παρακάτω. Έτσι πέρασε η ανθρωπότητα στη νέα εποχή της πυρηνική ενέργειας, η οποία αξιοποιείται για ειρηνικούς και πολεμικούς σκοπούς. Για ακόμα μια φορά μπορούμε να παρατηρήσουμε ότι η επιστήμη μπορεί να επηρεάσει την πρόοδο της τεχνολογίας με τους καλύτερους αλλά και με τους χειρότερους τρόπους.

Η ΑΝΑΚΑΛΥΨΗ ΤΩΝ ΑΚΤΙΝΩΝ Χ



.....ορατών τε πάντων και αοράτων....

(από το Σύμβολο της Πίστεως)

Στο Würzburg της Βαυαρίας, στο πανεπιστημιακό εργαστήριο, είναι Νοέμβριος του 1895 κι εκείνος επικεφαλής του τμήματος φυσικής, φέτος το φθινόπωρο έχει εστιάσει την προσοχή του στην έρευνα των *καθοδικών*

ακτίνων, επαναλαμβάνει στην ουσία τα πειράματα με τον καθοδικό σωλήνα, μαζί και το επαγωγικό πηνίο για τη δημιουργία υψηλών τάσεων, μαζί και η «αγγλική» ιδέα ότι οι καθοδικές ακτίνες δεν είναι ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία, είναι κινούμενα μικροσκοπικά φορτισμένα σωματίδια, προς το παρόν χωρίς όνομα, κι εκείνος φανατικός της πειραματικής εμπειρίας ενδιαφέρεται περισσότερο για τα εργαστηριακά δεδομένα και ειδικά για τον φθορισμό τον οποίο η δέσμη των καθοδικών ακτίνων προκαλεί σε διάφορες ουσίες, διερωτάται «ποιες είναι οι ουσίες αυτές», εκείνος πάντως είναι ο Wilhelm Conrad Röntgen – Βίλχελμ Κόνραντ Ρέντγκεν - γεννημένος πριν από πενήντα χρόνια αλλά με κατάμαυρα ακόμα μαλλιά και πυκνή γενειάδα. Δεν έχει μέχρι τώρα καταφέρει κάτι το ιδιαίτερο ως ερευνητής και καμία από τις μάγισσες που προβλέπουν το μέλλον δεν του έχει πει ότι εκείνο το απόγευμα θα συμβεί κάτι που σε έξι μόλις χρόνια θα του «δώσει» το πρώτο βραβείο Νόμπελ φυσικής στην ιστορία του θεσμού.

Εκείνο το απόγευμα της 8^{ης} Νοεμβρίου έχει θέσει σε λειτουργία τον σχεδόν αερόκενο σωλήνα των καθοδικών ακτίνων, εφαρμόζοντας υψηλή τάση, αφού προηγουμένως τον έχει σκεπάσει με μαύρο χαρτόνι έτσι ώστε να βεβαιωθεί ότι ο φθορισμός της ουσίας που είχε βάλλει στην άνοδο δεν οφείλεται στο διάχυτο μέσα στην αίθουσα φως αλλά στη δέσμη των καθοδικών ακτίνων. Ήταν σχεδόν βέβαιος για την ορθότητα της υπόθεσής του αλλά η έκπληξη ήρθε από αλλού. Ένα πέτασμα που βρισκόταν σε κάποια απόσταση από τον σωλήνα φθόριζε χωρίς να υπάρχει λόγος.

Τι μπορεί να συνέβαινε; Το πέτασμα ήταν ένα φύλλο χαρτί καλυμμένο με κυανιούχα άλατα βαρίου και λευκοχρύσου τα οποία σκόπευε να χρησιμοποιήσει κατά την έρευνα. Θέτει τον καθοδικό σωλήνα εκτός λειτουργίας και διαπιστώνει ότι το πέτασμα δεν φθορίζει πια, μόλις όμως τον ξαναβάξει να λειτουργεί, ακόμα κι αν σκοτάδι το πέτασμα με τα άλατα φθορίζει, εκπέμπει δηλαδή φως. Και το ακόμα πιο εντυπωσιακό είναι ότι επιμένει να φθορίζει ακόμα κι αν ανάμεσα σ' αυτό και στον σωλήνα παρεμβάλλει αδιαφανή αντικείμενα, ακόμα κι όταν παρεμβάλλει το χέρι του. Αυτά ήταν τα γεγονότα της 8^{ης} Νοεμβρίου 1895 και ήταν φυσικό να ακολουθήσει από τον ίδιο τον ερευνητή η πρώτη ανάγνωση.

Η πρώτη ανάγνωση

Εφόσον το πέτασμα φθόριζε έπρεπε κάτι να πέφτει επάνω του. Και αυτό το κάτι δεν ήταν το διάχυτο φως. Φαινόταν να δημιουργείται κατά τη λειτουργία του σωλήνα διότι όταν τον έθετε εκτός λειτουργίας το πέτασμα έπαυε να φθορίζει μολονότι υπήρχε το διάχυτο φως. Το κάτι δεν μπορούσε επίσης να είναι η δέσμη των καθοδικών ακτίνων διότι ο σωλήνας ήταν σκεπασμένος με μαύρο χαρτόνι, υλικό αδιαφανές για τις καθοδικές ακτίνες. Αυτό το κάτι έπρεπε να είναι κάποιες ακτίνες άγνωστες ικανές να διαπερνούν αδιαφανή αντικείμενα όπως το μαύρο χαρτόνι και οι ιστοί του ανθρώπινου σώματος. Έκπληκτος ο Röntgen μπροστά στο απροσδόκητο αυτό φαινόμενο, αποφάσισε να το διερευνήσει και αυτό έκανε εργαζόμενος ολομόναχος στο πανεπιστημιακό εργαστήριο κατά τις επτά εβδομάδες που ακολούθησαν μέχρι που πίστεψε ότι ανακάλυψε κάποιες ακτίνες , άγνωστες στους ανθρώπους μέχρι εκείνη τη στιγμή. Τις ονόμασε Strahlung X , ακτίνες X, στις περισσότερες ευρωπαϊκές γλώσσες το γράμμα X συμβολίζει το άγνωστο, τόσο στη λογοτεχνία όσο και στην άλγεβρα. Στις 28 Δεκεμβρίου έκανε την πρώτη ανακοίνωση συνοδεύοντάς την και από μία «ακτινογραφία» των οστών του χεριού του,



καταγραφή δηλαδή των άγνωστων ακτίνων, μετά τη δίοδό τους από το χέρι του πάνω σε ειδικό φιλμ. Τις επόμενες μέρες διένειμε την ανακοίνωση προκαλώντας μεγάλη αναστάτωση. Η εργασία ήταν απίστευτη αλλά συνοδευόταν και από ακτινογραφίες του χεριού του και ήταν δύσκολο να αγνοηθεί. Όταν διάβασαν την εργασία οι φυσικοί κατέφυγαν στα εργαστήρια έστησαν τους σωλήνες με την υψηλή τάση και επεχείρησαν να διαπιστώσουν την ύπαρξη των ακτίνων Χ. Και τη διαπίστωσαν. . .

Εργαστηριακά δεδομένα και θεωρητική σκέψη. Τι είναι οι ακτίνες Χ;

Ποια ήταν η φύση αυτών των ακτίνων; Ο Röntgen δεν έδωσε κάποια πειστική απάντηση στο ερώτημα. Στο τέλος της ανακοίνωσής του αναρωτιόταν μήπως «*οι ακτίνες αυτές οφείλονται σε διαμήκεις ταλαντώσεις μέσα στον αιθέρα*» χωρίς όμως να παρουσιάσει κάποιο αποδεικτικό στοιχείο.

Τα εργαστηριακά δεδομένα έλεγαν ότι οι ακτίνες Χ, εκτός από το ότι διαπερνούν αδιαφανή στο φως αντικείμενα, προκαλούν

α. φθορισμό

β. αλλοίωση φωτογραφικής πλάκας και

γ. μετατροπή του αέρα σε σώμα ηλεκτρικά αγωγίμο.

Τέτοιου είδους αποτελέσματα δημιουργούνται

τόσο από ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία όπως οι υπεριώδεις ακτίνες, όσο και από δέσμη κινουμένων σωματιδίων με ηλεκτρικό φορτίο, όπως οι καθοδικές ακτίνες.

Ένα ακόμα εργαστηριακό δεδομένο είναι ότι οι ακτίνες Χ δεν εκτρέπονται από μαγνητικό πεδίο και το δεδομένο αυτό οδηγεί στην απόρριψη της άποψης για δέσμη κινουμένων σωματιδίων με ηλεκτρικό φορτίο αλλά δεν «αποδεικνύει» ότι πρόκειται για ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία.

Το ερώτημα για τη φύση των ακτίνων Χ έμεινε, επί 17 χρόνια, αναπάντητο. Το 1912 ο Max von Laue έκανε τη σκέψη ότι εάν οι ακτίνες Χ ήταν ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία ως οντότητα κυματικού χαρακτήρα θα μπορούσε να δημιουργεί φαινόμενα περίθλασης και απέδειξε εργαστηριακά

ότι όντως οι ακτίνες περιθλώνται στα κρυσταλλικά πλέγματα, ενώ συγχρόνως υπολόγισε και το μήκος κύματος των ακτίνων. Με τον τρόπο αυτό έπεισε την επιστημονική κοινότητα ότι η υπόθεση για ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία έπρεπε να γίνει αποδεκτή. Οι ακτίνες X συνιστούν από τότε μία συγκεκριμένη περιοχή του φάσματος των ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας. Στα επόμενα χρόνια οι γερμανόφωνοι θα τις αποκαλούν Röntgenstrahlung οι γαλλόφωνοι Rayons X, οι αγγλόφωνοι X rays, οι Σέρβοι X-zračenje οι Ιταλοί Raggi X, οι Έλληνες συνήθως Ακτίνες X και σπανιότερα Ακτίνες Ραίντγκεν.

Κονσέρτο για βιολί και πιάνο

Η μέτρηση του μήκους κύματος μας έδειξε ότι το φάσμα των ακτίνων X είναι σύνθετο, είναι δηλαδή **συνεχές**, όπως το φάσμα εκπομπής των διάπυρων στερεών, πάνω στο οποίο κάνουν την «εμφάνισή τους» και ορισμένες **γραμμές**, σαν εκείνες στο φάσμα εκπομπής των αερίων. Αυτό σημαίνει ότι εκπέμπεται μία συνεχής σειρά συχνοτήτων όπως εκείνες που μπορεί και βγάζει το βιολί και συγχρόνως ένα συγκεκριμένο ρεπερτόριο συχνοτήτων όπως εκείνο που παράγεται με την κιθάρα ή με το πιάνο. Η συνθετότητα αυτή οδηγεί τη σκέψη στο ότι υπάρχουν δύο μηχανισμοί παραγωγής φωτονίων.

Τα δύο μαιευτήρια

Θεωρητική σκέψη. Τόσο το γραμμικό όσο και το συνεχές φάσμα ερμηνεύονται θεωρητικά αν

- α. Αποδεχθούμε ότι οι ακτίνες X παράγονται από ηλεκτρόνια με επιτάχυνση, υπό την έννοια που αποδίδει στον όρο *επιτάχυνση* η φυσική.
- β. Εφαρμόσουμε τη διατήρηση της ενέργειας σε μεμονωμένο ηλεκτρόνιο
- γ. Αποδεχθούμε ότι η ενέργεια των ηλεκτρονίων ενός ατόμου είναι κβαντισμένη.

Περιπτώσεις ηλεκτρονίων. Ας υποθέσουμε ότι «κατασκοπεύουμε» ένα αόρατο ηλεκτρόνιο το οποίο έχει μόλις εκτοξευθεί από την θερμαινόμενη κάθοδο. Πρόκειται για ένα μικροσκοπικό σωματίδιο το οποίο μέχρι εκείνη τη στιγμή ήταν ένα ελεύθερο ηλεκτρόνιο του μετάλλου της καθόδου και τώρα βρίσκεται στον σχεδόν αερόκενο χώρο του καθοδικού σωλήνα μέσα σε ισχυρό ηλεκτρικό πεδίο.

Πρώτη φάση της περιπτώσεως. Η κίνηση προς του ηλεκτρονίου προς την άνοδο.

Το ηλεκτρικό πεδίο ασκεί δύναμη στο ηλεκτρόνιο ή, σε άλλη γλώσσα, του μεταβιβάζει ενέργεια και η κινητική ενέργεια του ηλεκτρονίου αυξάνεται συνεχώς καθώς κινείται προς το μέταλλο της ανόδου. Εάν η διαφορά δυναμικού μεταξύ ανόδου και καθόδου είναι V_{AK} η ενέργεια που μεταβιβάζεται στο ηλεκτρόνιο είναι $q_e (V_K - V_A)$ ή ίση με $|q_e|V_{AK}$

Εάν κινητική ενέργεια του ηλεκτρονίου τη στιγμή που εκτοξεύεται από την κάθοδο συμβολιστεί με K_K και η κινητική ενέργεια στη στιγμή που φθάνει στην άνοδο συμβολιστεί με K_{av} σύμφωνα με τη διατήρηση της ενέργειας

$$\text{ισχύει } K_K + |q_e|V_{AK} = K_{av} \quad (2.2)$$

Μπορούμε να θεωρήσουμε ότι η κατά τη στιγμή της εκτόξευσης κινητική ενέργεια K_K συγκρινόμενη με τη ενέργεια $|q_e|V_{AK}$ που μεταβιβάστηκε στο ηλεκτρόνιο είναι αμελητέα, και ως προσθετέο να την αγνοήσουμε οπότε η προηγούμενη σχέση γράφεται $|q_e|V_{AK} = K_{av} \quad (2.3)$

Με τη σχέση αυτή επισημαίνεται ότι «*όλα τα ηλεκτρόνια που φθάνουν στην άνοδο έχουν την ίδια κινητική ενέργεια*».

Δεύτερη φάση. Το φρενάρισμα και το ένα μαιευτήριο φωτονίων.

Το ηλεκτρόνιο τη στιγμή που φθάνει στην κάθοδο «φρενάρει». Αυτό, στη γλώσσα της φυσικής, σημαίνει ότι αποκτά επιτάχυνση και σύμφωνα με τα αποδεκτά από τη θεωρία το ηλεκτρόνιο εκπέμπει ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία και ειδικότερα ένα φωτόνιο η ενέργεια του οποίου είναι ίση με το γινόμενο της συχνότητας της ακτινοβολίας επί τη σταθερά του Planck. Αν

συμβολίσουμε με $K_{\text{τελ}}$ την κινητική ενέργεια του ηλεκτρονίου μετά τη «γέννηση» του φωτονίου, σύμφωνα με το νόμο της διατήρησης της ενέργειας θα ισχύει $K_{\text{αυ}} = hf + K_{\text{τελ}}$ ή

$$|q_e|V_{\text{AK}} = hf + K_{\text{τελ}} \quad (2.4)$$

Αντικρίζοντας το σύνολο.

Αν αντικρίσουμε τώρα το σύνολο των ηλεκτρονίων (καθένα από τα οποία «γέννησε» ένα φωτόνιο) μπορούμε να δεχθούμε ότι δεν υπάρχει τίποτα που να επιβάλλει στα επιβραδυνόμενα ηλεκτρόνια (γεννήτορες φωτονίων) συγκεκριμένες τιμές τελικής ενέργειας $K_{\text{τελ}}$. Με άλλα λόγια όλες οι τιμές $K_{\text{τελ}}$ μέχρι και η μηδενική η οποία είναι και η ελάχιστη επιτρέπονται για το ηλεκτρόνιο και είναι δυνατόν να εμφανιστούν. Αυτό σημαίνει ότι όλες οι τιμές ενέργειας για τα εμφανιζόμενα φωτόνια μέχρι και τη μέγιστη που αντιστοιχεί σε μηδενική $K_{\text{τελ}}$ και είναι ίση με $|q_e|V_{\text{AK}}$ μπορούν να υπάρξουν και κατά λογική συνέπεια όλες οι τιμές συχνότητας μέχρι και τη μέγιστη που δίνεται από την εξίσωση

$$|q_e|V_{\text{AK}} = hf_{\text{max}} \quad (2.5)$$

μπορούν να υπάρξουν. Το «φρενάρισμα» δηλαδή των ηλεκτρονίων δημιουργεί φάσμα συχνοτήτων **συνεχές** με μέγιστη συχνότητα

$$f_{\text{max}} = |q_e|V_{\text{AK}} / h \quad (2.6)$$

Μια άλλη πτυχή της περιπέτειας. Μαιευτήριο δεύτερο. Γεννήσεις φωτονίων με αποδιεγέρσεις ηλεκτρονίων της ανόδου.

Καθώς όμως τα ηλεκτρόνια φθάνουν στο μέταλλο της ανόδου και φρενάρουν αλληλεπιδρούν με άτομα του μετάλλου της ανόδου με συνέπεια να διεγείρονται ηλεκτρόνια του μετάλλου και κατά τις αποδιεγέρσεις να εκπέμπονται φωτόνια. Η ενέργεια όμως των φωτονίων αυτών δεν μπορεί να έχει οποιαδήποτε τιμή δεδομένου ότι σε κάθε περίπτωση θα είναι ίση με τη διαφορά των ενεργειών κάποιου αποδιεγειρόμενου ηλεκτρονίου και οι αντίστοιχες τιμές είναι κβαντισμένες. Τα φωτόνια συνεπώς που γεννώνται έχουν συγκεκριμένες τιμές συχνότητας και το σχετικό φάσμα είναι **γραμμικό**.

Σήμερα γνωρίζουμε ότι οι ακτίνες Χ δημιουργούνται, όταν προσπίπτουν ταχέως κινούμενα ηλεκτρόνια σε μεταλλικό σώμα και γι' αυτό υφίστανται ισχυρή πέδηση. Η κινητική ενέργεια των φορτίων μετατρέπεται κατά την πρόσκρουση κατά 99% σε θερμότητα και το υπόλοιπο 1% γίνεται μικροκύματη ακτινοβολία. Γι' αυτό δόθηκε τότε επίσης το όνομα ακτίνες πέδησης.

ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΩΝ ΑΚΤΙΝΩΝ Χ

Εφαρμόζονται στην Ακτινολογία για ακτινογραφίες και ακτινοσκοπήσεις. Αλλά και σε άλλους τομείς βρίσκουν εφαρμογή. Έτσι με ακτίνες Χ ελέγχονται οι πολύτιμοι λίθοι και αναγνωρίζονται, αν είναι γνήσιοι ή απομιμήσεις.

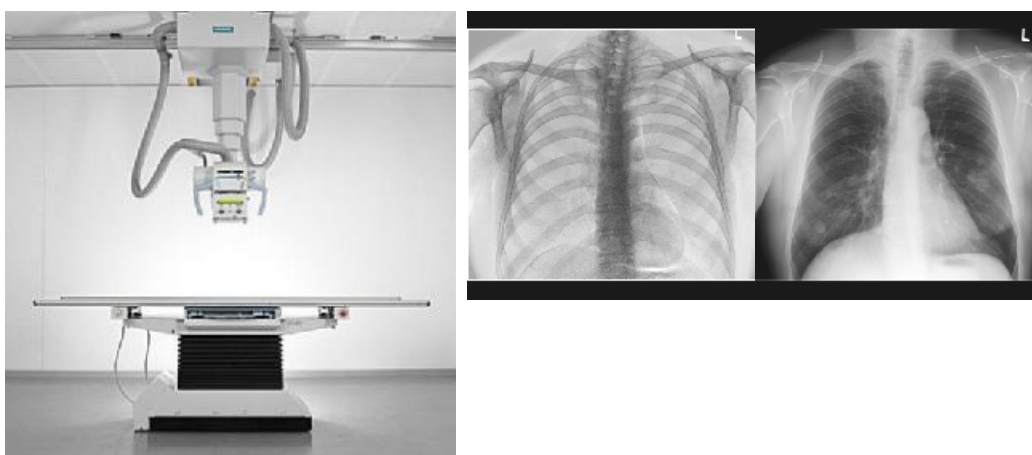
Χρησιμοποιούνται πολύ στη μεταλλουργία, για τον έλεγχο της εσωτερικής συνέχειας ενός μεταλλικού υλικού. Έτσι ανακαλύπτονται μικρά κενά που σχηματίστηκαν κατά την πήξη του μετάλλου. Και στην επιστημονική όμως έρευνα η συμβολή τους είναι μεγάλη, κυρίως στη μελέτη της δομής των κρυστάλλων (κρυσταλλογραφία).

ΑΚΤΙΝΟΛΟΓΙΑ

Οι συμβατικές ακτινολογικές εξετάσεις, οι επεμβατικές και οι αξονικές τομογραφίες χρησιμοποιούν ως μέσο την ακτινοβολία Χ η οποία έχει σημαντικές βιολογικές επιπτώσεις στον οργανισμό και κατά συνέπεια βιολογικό κόστος. Παρόλο που η τεχνολογία μας έχει εφοδιάσει με σύγχρονα μηχανήματα που ελαχιστοποιούν τις χορηγούμενες στον εξεταζόμενο δόσεις ακτινοβολίας, πάντα υπάρχει ένα αθροιστικό βιολογικό κόστος και αυτό είναι το σημαντικότερο μειονέκτημα των διαγνωστικών αυτών μεθόδων. Πρέπει εν τούτοις να τονιστεί ότι το ισοζύγιο όφελος/κόστος κλίνει σαφώς υπέρ του οφέλους, μια και έχει επανειλημμένως διαπιστωθεί ότι η αποφυγή ακτινολογικών εξετάσεων (που έχουν βεβαίως επιστημονικά τεκμηριωμένη ένδειξη), λόγω φόβου για την ακτινοβολία, μπορεί να έχει καταστρεπτικές

συνέπειες στην έγκαιρη διαπίστωση και έτσι αποτελεσματική θεραπεία νόσων (ιδιαίτερα του καρκίνου).

ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΤΙΚΟΣ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ – ΑΚΤΙΝΟΛΟΓΙΚΟ ΜΗΧΑΝΗΜΑ



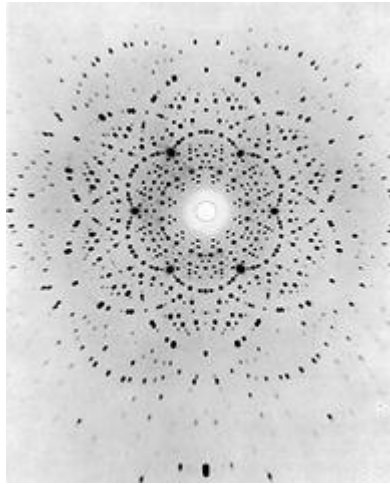
Εργαστήριο Ιατρικής Φυσικής Παν/μιο Αθηνών

ΚΡΥΣΤΑΛΛΟΓΡΑΦΙΑ

Κρυσταλλογραφία ονομάζεται γενικά η μελέτη του κρυσταλλικού πλέγματος, δηλαδή της γεωμετρικής δόμησης, εκείνης των κρυστάλλων.

Με τη βοήθεια της κρυσταλλογραφίας και των μεθόδων που ακολουθεί αυτή, οι επιστήμονες ανακαλύπτουν τη γεωμετρική διάταξη (κρυσταλλικό σύστημα) των σωματιδίων που συγκροτούν τους κρυστάλλους. Δέσμη ακτίνων Χ περνώντας μέσα από τα μικροσκοπικά σωματίδια του κρυστάλλου δημιουργούν ένα σχήμα από κηλίδες πάνω σε φιλμ που τελικά στη συνέχεια

προσκρούουν. Από το σχήμα αυτό που αποτυπώνεται στο φιλμ οι ειδικοί μελετητές αναγνωρίζουν έτσι τη γεωμετρική δόμηση.



Αυτή η τεχνική χρησιμοποιείται επίσης και στη μελέτη κραμάτων και ορυκτών, ακόμη δε και στη διερεύνηση της δομής και αυτού του DNA με καθοριστικό μάλιστα ρόλο στη Γενετική.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2°

ΡΑΔΙΕΝΕΡΓΕΙΑ

Ιστορική συνέχεια

Μετά την ανακάλυψη των ακτίνων Röntgen, τέθηκε η ερώτηση εάν θα μπορούσαν να παραχθούν επίσης και με άλλες συνθήκες, εκτός από αυτές με τις οποίες παρατηρήθηκαν αρχικά. Άρχισε λοιπόν να ψάχνει για φθορίζοντα υλικά που να εκπέμπουν τέτοιες ακτίνες.

Το σκεπτικό ήταν ότι στους σωλήνες που παράγονται οι ακτίνες X ή Röntgen, προκαλείται φθορισμός στην περιοχή απέναντι από την κάθοδο.



Έτσι ο Becquerel αναρωτήθηκε μήπως μαζί με το φθορισμό παράγεται από τα φθορίζοντα υλικά και ακτινοβολία X.

Η κρυσταλλική ένωση με την οποία ασχολήθηκε ήταν το θειικό κάλιο-ουρανύλιο, που τόσο καλά την ήξερε αυτός και ο πατέρας του. Για να διαπιστώσει την τυχόν ύπαρξη των ακτίνων X χρησιμοποίησε την ιδιότητα τους ότι αμαυρώνουν τη φωτογραφική πλάκα. Πράγματι το Φεβρουάριο του 1896 ο Becquerel τύλιξε φωτογραφικό φιλμ με φύλλο αλουμινίου και το τοποθέτησε στο ηλιακό φως με ένα τέτοιο κρύσταλλο πάνω του. Περίμενε ότι το ηλιακό φως θα προκαλούσε φθορισμό του κρυστάλλου και τότε θα παράγονταν ακτίνες X που θα διαπερνούσαν το φύλλο αλουμινίου, ενώ το φιλμ θα αμαυρωνόταν. Φυσικά χάρις στο φύλλο του αλουμινίου, που δεν μπορούσε να το περάσει το ηλιακό φως, το φιλμ θα μαύριζε μόνο με μια αόρατη διαπεραστική ακτινοβολία, όπως είναι η X.

Πράγματι το φιλμ μαύρισε και ο Becquerel κατέληξε στο συμπέρασμα ότι το φθορίζον υλικό εκπέμπει ακτίνες X. Αλλά όταν ήθελε να επαναλάβει το

πείραμα ο καιρός στο Παρίσι ήταν συνέχεια συνεφιασμένος και έβαλε το φιλμ με το φύλλο και το κρυσταλλικό φθορίζον υλικό στο συρτάρι του. Επομένως δεν ανέμενε να μαυρίσει το φιλμ αφού έλειπε το ηλιακό φως, που θα προκαλούσε φθορισμό και παραγωγή ακτίνων Χ.

Τελικά, μετά από μερικές μέρες εμφάνισε το φιλμ για να διαπιστώσει ότι πράγματι η έλλειψη του ήλιου δεν προκαλεί ούτε φθορισμό, ούτε παραγωγή ακτίνων Χ και συνεπώς αμαύρωση του φιλμ. Αλλά παραξενεύτηκε όταν είδε το φιλμ έντονα μαυρισμένο (θολό). Άρα από τον κρύσταλλο του ουρανού έβγαινε μια άγνωστη ακτινοβολία που δεν οφειλόταν στο φως και το φθορισμό.

Ήταν η ραδιενέργεια που αυθόρμητα εκπεμπόταν από τον κρύσταλλο του ουρανού και ονομάστηκε τότε ακτινοβολία Becquerel.

Η ραδιενέργεια ήταν μια άγνωστη πηγή ενέργειας και αποδιδόταν σε ανακατατάξεις εντός του ατόμου (τότε ήταν ακόμη άγνωστος ο πυρήνας), που σταθεροποιούταν με την εκπομπή ακτίνων Χ.

Τα πειράματα συνεχίστηκαν και διαπίστωσε ότι αυτή η ακτινοβολία δεν συνδέεται με το φαινόμενο του φθορισμού, ούτε χρειάζεται φωτισμός για να εμφανιστεί η ακτινοβολία, που συνέχεια εκπέμπεται χωρίς να ξέρει κανένας που οφείλεται. .

Για να βρει όμως πια χημική ένωση ήταν υπεύθυνη για την ακτινοβολία έκανε μια μεγάλη σειρά πειραμάτων μέχρι να καταλήξει στο καθαρό ουράνιο.

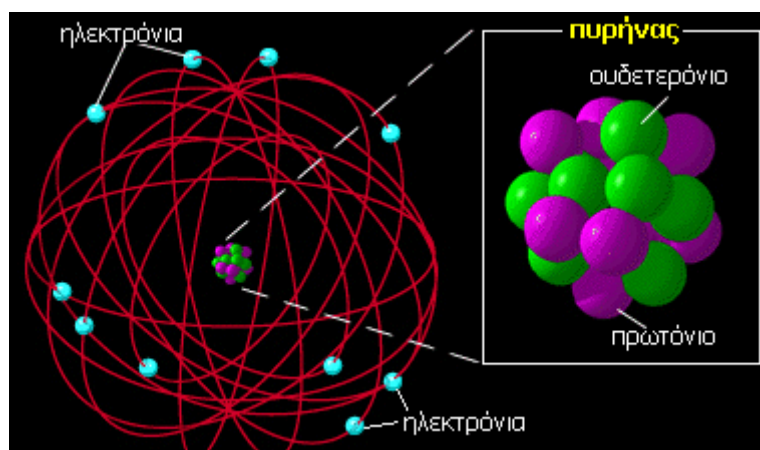
Αργότερα ερεύνησε την επίδραση του μαγνητικού πεδίου πάνω στην ακτινοβολία για να διαπιστώσει τελικά ότι η ραδιενέργεια, όπως ονομάστηκε αργότερα η ακτινοβολία, περιείχε θετικά φορτία (ακτίνες α), αρνητικά φορτία (ηλεκτρόνια ή ακτίνες β) και από ακτίνες χωρίς φορτίο ή μάζα που δεν απέκλιναν μέσα στο μαγνητικό πεδίο (ακτίνες γ).



Ο Rutherford, που ασχολήθηκε και με τη ραδιενέργεια, εντόπισε στην έρευνά του τη μεγάλη ιονιστική δράση, άρα και τη μεγάλη ενέργεια, των ακτίνων α, παρά τη γρήγορη απορρόφηση τους από τον αέρα. Όταν μετρήθηκε η ισχύς ιονισμού τους φάνηκε ότι δεν μπορούσε να προέρχεται από ελευθέρωση χημικής ενέργειας. Έτσι προτάθηκε η ύπαρξη άλλου είδους μεταβολών που οδηγούσαν στην ελευθέρωση των ακτίνων α.

Η μεταβολή αυτή πιστοποιήθηκε από το 1903 και τελικά το 1908 υπολογίστηκε ο χρόνος υποδιπλασιασμού του ραδίου (που ως τότε θεωρούταν σταθερή πηγή ακτινοβολιών) σε 1600 χρόνια. Η εκτροπή των ακτίνων α με την επίδραση μαγνητικού πεδίου πιστοποίησε ότι αποτελούνταν από σωματίδια με μεγάλη μάζα και είχαν λόγο μάζας προς φορτίο περίπου διπλάσιο από εκείνον που η ηλεκτρόλυση είχε δείξει για τα ιόντα του υδρογόνου.

Ο Rutherford αφιέρωσε μεγάλο μέρος της δραστηριότητάς του στη μελέτη αυτών ακριβώς των ακτινοβολιών και ήδη το 1905 ήταν σε θέση να κάνει το γνωστό πείραμά του με τη σκέδαση ακτίνων α πάνω σε φύλλα χρυσού, για την ανακάλυψη των συστατικών του ατόμου.



ΤΑ ΕΙΔΗ ΤΗΣ ΡΑΔΙΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

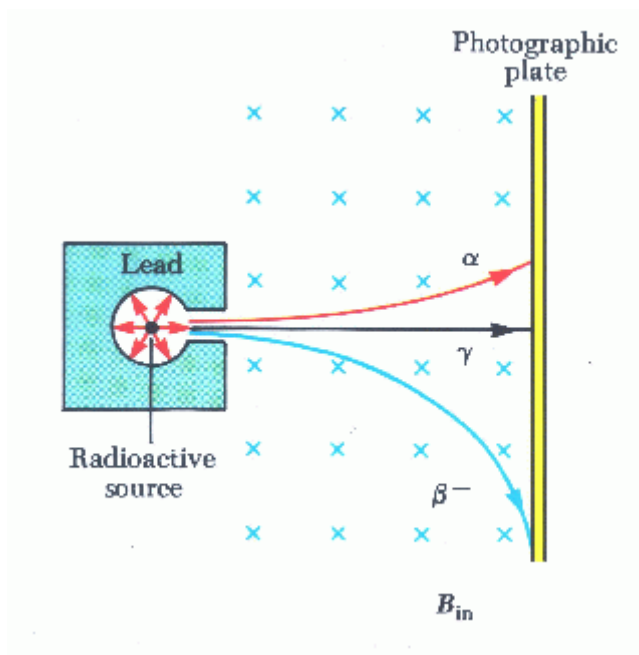
Υπάρχουν τρία είδη ραδιενέργειας, όπως τα κατηγοριοποίησε ο Rutherford με βάση το φορτίο τους και την ικανότητά τους να διεισδύουν στην ύλη:

Ακτινοβολία άλφα: Πρόκειται για πυρήνες He (σωμάτια άλφα). Είναι η λιγότερο διεισδυτική - μόλις που διαπερνά ένα φύλλο χαρτί. Μπορεί να ερμηνευθεί μέσω του φαινομένου σήραγγας (βλ. Κεφ. 3).

Ακτινοβολία βήτα: Πρόκειται για ηλεκτρόνια ή ποζιτρόνια. Είναι μέτρια διεισδυτική - διαπερνά λίγα mm Al. Η μελέτη της (φαινόταν να παραβιάζει την αρχή διατήρησης ενέργειας και ορμής) οδήγησε στην ανακάλυψη του νετρίνου (Pauli, 1930), ουδέτερου σωματιδίου, χωρίς μάζα, με σπιν 1/2, που αλληλεπιδρά πολύ ασθενικά με την ύλη.

Ακτινοβολία γάμμα: Είναι φωτόνια υψηλής ενέργειας (MeV). Είναι η περισσότερο διεισδυτική - διαπερνά, π.χ., μερικά cm Pb. Εκπέμπεται κυρίως από τους πυρήνες που αποτελούν προϊόντα διάσπασης άλφα ή βήτα, οι οποίοι στις περισσότερες περιπτώσεις είναι σε διεγερμένες καταστάσεις.

Ο διαχωρισμός των διαφόρων ειδών ραδιενέργειας μπορεί να γίνει με χρήση ενός μαγνητικού πεδίου, όπως φαίνεται στο Σχ. 2



Ο διαχωρισμός της ακτινοβολίας μιας ραδιενεργού πηγής, με χρήση μαγνητικού πεδίου

Εννοείται ότι μια τέτοια ανακάλυψη άναψε το ενδιαφέρον πολλών φυσικών. Άρχισε λοιπόν πλήθος επιστημόνων να ψάχνει για τη φύση των ακτίνων Becquerel και την προέλευσή τους.

Τα πρώτα πειράματα

Τότε εμφανίστηκαν στο προσκήνιο το ζεύγος Curie,



που ανέλαβαν την πιο περιεκτική και συστηματική έρευνα σε αυτό το ζήτημα. Εξέτασαν ένα πλήθος απλών ουσιών και ένα μεγάλο αριθμό μεταλλευμάτων για να βρει εάν υπάρχουν νέες ουσίες με τις αξιοπρόσεκτες ιδιότητες του ουρανίου.

Η πρώτη ανακάλυψη σε αυτόν τον τομέα έγινε περίπου την ίδια χρονιά από το Γερμανό Schmidt και από την Marie Curie. Και οι δύο τους διαπίστωσαν ότι το θόριο κατέχει ραδιενεργές ιδιότητες στον ίδιο περίπου βαθμό με το ουράνιο.

Κατά τη διάρκεια της έρευνας, ανακάλυψαν με τη βοήθεια του ηλεκτροσκοπίου ότι οι ακτίνες Becquerel ήταν φορτισμένες και έκαναν ηλεκτρικά αγώγιμο τον αέρα. Έτσι το ηλεκτροσκόπιο¹, ως ένα ορισμένο βαθμό, έπαιξε τον ίδιο ρόλο για τα ραδιενεργά υλικά όπως το φασματοσκόπιο στην αναζήτηση νέων στοιχείων.

Με το ηλεκτροσκόπιο οι Curie βρήκαν ότι οι ραδιενεργές ιδιότητες ενός ορυκτού ουρανίου, του πισσουρανίτη, ήταν πιο έντονες από εκείνες του ουρανίου. Κατέληξαν δε στο συμπέρασμα ότι το ορυκτό του ουρανίου πρέπει να περιέχει μια ή περισσότερες νέες ραδιενεργές ουσίες. Με το διαχωρισμό του πισσουρανίτη στα χημικά συστατικά του και την εξέταση, πάλι με τη βοήθεια ηλεκτροσκοπίου, της ραδιενέργειας των προϊόντων που έλαβαν, κατόρθωσαν επιτέλους με τη βοήθεια μιας σειράς διαλυμάτων και ιζημάτων να απομονώσουν τα υλικά που έδιναν έντονη ραδιενέργεια.

Κάποια ιδέα για την καταπληκτική εργασία τους μπορεί να πάρει κάποιος αν σκεφτεί ότι από τα 1.000 kg πρώτης ύλης πήραν λίγες δεκάδες γραμμαρίων αυτών των ενεργών ουσιών.

Έτσι οι Curie ανακάλυψαν το πολώνιο, ενώ το ράδιο ανακαλύφθηκε το 1898 σε συνεργασία με τον Bismont, και το ακτίνιο από τον Debierne.

Λίγο αργότερα, παρατηρήθηκε ότι οι ενώσεις ενός άλλου στοιχείου, του θόριου, που είχε ανακαλυφθεί από το Berzelius, έχουν παρόμοιες ιδιότητες.

Τα δύο παραπάνω χημικά στοιχεία, πολώνιο και ράδιο, περιέχονταν στα ορυκτά τους σε πάρα πολύ μικρές ποσότητες. Είναι σήμερα γνωστό ότι ένας τόνος πισσουρανίτη το μέγιστο που μπορεί να περιέχει είναι ένα κιλό από αυτά τα στοιχεία. Για την πραγματοποίηση της ερευνητικής της προσπάθειας, η Μαρί Κιουρί είχε την τύχη να της παρασχεθεί από την κυβέρνηση της Αυστροουγγαρίας, ποσότητα ενός τόνου μεταλλεύματος από κοιτάσματα της Βοημίας, τα μόνα γνωστά τότε εκμεταλλεύσιμα ορυχεία ουρανίου στον κόσμο. Εκεί γινόταν αποχωρισμός μόνο των αλάτων του ουρανίου, ενώ απορριπτόταν το στείρο υλικό, το οποίο, όμως, ήταν ήδη θρυμματισμένο. Το υλικό αυτό προσφέρθηκε δωρεάν στο ζεύγος Κιουρί για τη διεξαγωγή των ερευνών τους. Οι δύο ερευνητές επιδόθηκαν, έτσι, επί τρία χρόνια σε μια εξαιρετικά ευαίσθητη και επίπονη εργασία, κάτω από ένα εγκαταλελειμμένο υπόστεγο, όπου στερούνταν και τις πλέον στοιχειώδεις διευκολύνσεις.

Εκεί ανακάλυψαν επίσης ότι οι ακτινοβολίες, που εκπέμπει το ράδιο, επιδρούν στα σώματα που το περιβάλλουν και παράγεται ραδιενέργεια. Το 1902 η Μαρί Κιουρί κατάφερε τελικά να παρασκευάσει ένα δέκατο του γραμμαρίου χλωριούχου ραδίου, χημικά καθαρού, και στη συνέχεια να προσδιορίσει και το ατομικό βάρος του ίδιου του ραδίου. Τα σχετικά αποτελέσματα συμπεριέλαβε στη διδακτορική διατριβή της, την οποία υποστήριξε το 1903. Αρκετά αργότερα, το 1910, πέτυχε να απομονώσει, με τη βοήθεια του Andre Debierne, το ράδιο σε μεταλλική κατάσταση.

Το ράδιο, ήταν τότε το μόνο από αυτά τα δύο στοιχεία που μπορούσε να απομονωθεί σε καθαρή κατάσταση, μοιάζει με το βάριο στις χημικές ιδιότητές του, και διακρίνεται από ένα πολύ χαρακτηριστικό φάσμα. Το ατομικό βάρος του καθορίστηκε ότι ήταν 226.45.

Αλλά η πιο βασική ιδιότητα του ραδίου και των παραγώγων του είναι ότι, χωρίς καμιά επιρροή από τις περιβαλλοντικές συνθήκες, εκπέμπει συνεχώς μια ραδιενεργό, αεριώδη ουσία η οποία συμπυκνώνεται σε υγρό στις χαμηλές θερμοκρασίες. Αυτό το ραδιενεργό αέριο, που αργότερα ονομάστηκε ραδόνιο, ανακαλύφθηκε στα τέλη του 19ου αιώνα από τους Βρετανούς φυσικούς Ernest Rutherford και Frederick Soddy, οι οποίοι το παρατήρησαν σε συνδυασμό με το θόριο, το ακτίνιο, και το ράδιο.

Ο Pierre Curie ήταν ο πρώτος που ερεύνησε την πιθανή καταστρεπτική επίδραση των ακτινοβολιών πάνω στους ζωντανούς οργανισμούς.

Το 1911 πήρε το δεύτερο βραβείο Νόμπελ αλλά της Χημείας αυτή τη φορά, για την ανακάλυψη των στοιχείων ραδίου και πολώνιου, τον προσδιορισμό των ιδιοτήτων του ραδίου και την απομόνωση του ραδίου σε καθαρή μεταλλική κατάσταση.

Η Marie Curie μετά το 1910 ασχολήθηκε με την έρευνα των ιδιοτήτων της ραδιενέργειας μεταξύ των οποίων και τις θεραπευτικές ιδιότητες της πάνω στον καρκίνο. Επίσης ασχολήθηκε με τα μέτρα προφύλαξης που πρέπει να παίρνει κάποιος όταν έρχεται σε επαφή με τα ραδιενεργά υλικά.

Αλλά παρόλο που γνώριζε τους κινδύνους πέθανε το 1934 από καρκίνο μετά από την πολύχρονη έκθεσή της στη ραδιενέργεια.

ΔΙΑΓΝΩΣΤΙΚΕΣ ΧΡΗΣΕΙΣ

Όταν εισέλθουν στον οργανισμό -με ένεση ή κατάποση- διάφορες ραδιενεργές ουσίες, γνωστές ως ραδιοϊσότοπα, απορροφώνται σε μεγαλύτερες ποσότητες απ' ορισμένους ιστούς, απ' ό,τι από άλλους, καθιστώντας δυνατή την εξέταση συγκεκριμένων οργάνων. Για παράδειγμα, το ραδιενεργό ιώδιο συγκεντρώνεται στο θυρεοειδή αδένα. Μια υψηλότερη ή χαμηλότερη του φυσιολογικού συγκέντρωση στον αδένα αυτό σημαίνει υπερλειτουργία ή υπολειτουργία του.

Αυτού του είδους η εξέταση μπορεί να εντοπίσει μερικές ασθένειες σε πιο πρώιμο στάδιο απ' ό,τι άλλες τεχνικές απεικόνισης, λόγω των αλλαγών του τρόπου λειτουργίας που υφίσταται συχνά το όργανο, προτού συντελεστούν δομικές μεταβολές. Λόγου χάρη, η μόλυνση των οστών διεγείρει τη ροή του αίματος και τη δραστηριότητα των κυττάρων. Η

δραστηριότητα αυτή έχει σαν αποτέλεσμα την αυξημένη απορρόφηση ραδιοϊσοτόπων από τα οστά, προτού καταστεί δυνατό να φανούν στις ακτινογραφίες οι όποιες μεταβολές στη δομή τους.

Το σπινθηρογράφημα χρησιμοποιείται ευρύτατα για την ανίχνευση μικρών περιοχών βλάβης των ιστών. Λόγου χάρη, μετά από μια καρδιακή προσβολή, η έκταση της βλάβης του καρδιακού μυός μπορεί να εκτιμηθεί με τη χρησιμοποίηση μιας ουσίας, η οποία συγκεντρώνεται στα μυϊκά κύτταρα που έχουν υποστεί βλάβη, πράγμα που δεν συμβαίνει με τα φυσιολογικά κύτταρα. Ορισμένα ραδιοϊσότοπα συγκεντρώνονται στους όγκους, γεγονός που καθιστά χρησιμότερη τη μέθοδο αυτή για τον εντοπισμό όγκων και τον προσδιορισμό της εξάπλωσης του καρκίνου σε οποιοδήποτε μέρος του σώματος. Κινούμενες εικόνες μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την εξέταση λειτουργιών, όπως η ροή του αίματος, η κένωση του στομάχου, οι κινήσεις της καρδιάς, η ροή των ούρων διαμέσου των νεφρών ή η ροή της χολής διαμέσου του ήπατος.

ΠΩΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΕΙ

Μόλις εισαχθεί στο σώμα, το ραδιοϊσότοπο κατευθύνεται στο όργανο που αποτελεί το στόχο του, όπου εκπέμπει ακτίνες γάμμα (παρόμοιες με τις ακτίνες Χ, αλλά βραχύτερου μήκους κύματος), τις οποίες μπορεί να ανιχνεύσει μια κάμερα ακτινών γάμμα. Ένας υπολογιστής αναλύει τα αποτελέσματα και φτιάχνει μια εικόνα η οποία μπορεί να εμφανιστεί σε οθόνη ή υπό αριθμητική μορφή. Κινούμενη εικόνα μπορεί να δημιουργηθεί και με τη λήψη σειράς εικόνων, καθώς το ραδιοϊσότοπο περνάει μέσα από το σώμα.

Ένας ειδικός τύπος σπινθηρογραφήματος δίνει τη δυνατότητα δημιουργίας εγκεφαλικών εικόνων, με τη χρησιμοποίηση μιας κάμερας που περιστρέφεται γύρω από τον ασθενή. Οι αρχές βάσει των οποίων λειτουργεί αυτή η μέθοδος είναι παρόμοιες μ' εκείνες της αξονικής τομογραφίας. Ένα άλλο είδος σπινθηρογραφήματος, το λεγόμενο PET (δανειζόμαστε τα αρχικά από την ονομασία του στα αγγλικά), αποτελεί μια καινοτομία που αποδεικνύεται πολύτιμη για τη μελέτη της κατάθλιψης, των όγκων του εγκεφάλου και διάφορων καταστάσεων της καρδιάς

Ραδιοχρονολόγηση: γεωλογικό ρολόι ακριβείας



Μετεωρίτης ηλικίας 4,55 δισεκ. χρόνων.

Εχετε ποτέ αναρωτηθεί πώς γνωρίζουμε ότι η ηλικία της γης είναι περίπου 4,5 δισεκατομμύρια χρόνια; Η παραπάνω παραδοχή βασίζεται στη ραδιοχρονολόγηση πετρωμάτων με τη βοήθεια των ισοτόπων³. Χιλιάδες μετεωρίτες που έχουν πέσει στη γη, έχουν βρεθεί και χρονολογηθεί με τεχνικές ραδιοχρονολόγησης. Τα πετρώματα αυτά είναι οι καλύτεροι μάρτυρες για την ηλικία του ηλιακού συστήματος. Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι οι μετεωρίτες, άρα και το ηλιακό σύστημα, σχηματίστηκαν πριν 4,53 με 4,58 δισεκατομμύρια χρόνια. Τα ασταθή ισότοπα μέσα από διαδοχικές ραδιενεργές διασπάσεις τείνουν να γίνουν σταθερά. Οι ραδιενεργοί μητρικοί πυρήνες μετατρέπονται -σταδιακά- σε θυγατρικούς σταθερούς πυρήνες σε καθορισμένο χρόνο, που είναι διαφορετικός για κάθε ισότοπο. Κάθε ραδιενεργό ισότοπο έχει το δικό του χρόνο ημιζωής, το χρόνο δηλαδή που απαιτείται, ώστε η μισή ποσότητα του μητρικού ραδιενεργού υλικού να διασπαστεί σε σταθερό θυγατρικό προϊόν. Ο λόγος της απομένουσας ποσότητας από το αρχικό ισότοπο προς το σύνολο των προϊόντων της διάσπασης (μητρικοί πυρήνες/θυγατρικοί πυρήνες) χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό της ηλικίας των πετρωμάτων που περιέχουν ραδιενεργά ορυκτά.

Τα περισσότερα ραδιενεργά ισότοπα έχουν γρήγορους ρυθμούς διάσπασης, δηλαδή μικρούς χρόνους ημιζωής και χάνουν τη ραδιενέργειά τους μέσα μερικές ημέρες ή έτη (το ιώδιο-131 έχει χρόνο ημιζωής 8,02 μέρες). Μερικά ραδιενεργά ισότοπα, όμως, αποσυντίθενται αργά και είναι αυτά που χρησιμοποιούνται ως γεωλογικά ρολόγια, υπολογίζουν δηλαδή την απόλυτη ηλικία των πετρωμάτων, των ορυκτών αλλά και γεγονότων που συνέβησαν πριν εκατομμύρια χρόνια. Το πιθανό σφάλμα στους χρόνους ημιζωής είναι πολύ μικρό, της τάξης του + -2%.

Η χρονολόγηση των πετρωμάτων από αυτά τα ραδιενεργά χρονόμετρα είναι θεωρητικά απλή, αλλά οι εργαστηριακές διαδικασίες είναι πιο σύνθετες. Οι ποσότητες μητρικών και θυγατρικών πυρήνων σε κάθε δείγμα καθορίζονται με διάφορα είδη αναλυτικών μεθόδων. Η κύρια δυσκολία έγκειται στο να μετρηθούν με ακρίβεια τα πολύ μικρά ποσοστά ισοτόπων. Όταν είναι εφικτό, χρησιμοποιούνται στο ίδιο δείγμα δύο ή περισσότερες μέθοδοι ανάλυσης για να επιβεβαιώσουν τα αποτελέσματα.



Εργαστήριο με εξοπλισμό για ραδιοχρονολόγηση.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο N-ΔΙΑΣΤΑΣΕΙΣ ΚΑΙ

Η ΘΕΩΡΙΑ ΤΗΣ ΣΧΕΤΙΚΟΤΗΤΑΣ

«Αν μια ευθεία γραμμή η οποία τέμνει δύο άλλες, σχηματίζει εσωτερικές γωνίες μ'αυτές -προς την ίδια πλευρά της- με άθροισμα λιγότερο από 2 ορθές, τότε αν οι 2 ευθείες επεκταθούν επ' άπειρον, τέμνονται προς εκείνη την πλευρά που το άθροισμα των παραπάνω γωνιών ήταν λιγότερο από 2 ορθές.»

ή

«Από ένα σημείο εκτός μίας ευθείας περνά μία και μόνη παράλληλη ως προς την ευθεία αυτή.» (ΑΞΙΩΜΑ ΠΑΡΑΛΛΗΛΩΝ ΕΥΘΕΙΩΝ)

‘Στοιχεία’ ΕΥΚΛΕΙΔΗΣ, 300π.Χ.

“ πρότυπο εγχειριδίου και επιστημονικού πονήματος αισθητική τελειότητα των σχημάτων συμπαγής ορθότητα ”

Αυτοί οι τομείς της φυσικής είναι λίγο δυσνόητοι γι' αυτό θεωρώ καλύτερο να θέσω κάποιους ορισμούς προς διευκόλυνση της ανάγνωσης.

Αδρανειακά Συστήματα αναφοράς

Τα διάφορα γεγονότα συμβαίνουν στο χώρο και στο χρόνο. Για να προσδιορίσουμε την θέση ενός γεγονότος στο χώρο χρειαζόμαστε ένα (συνήθως) ορθοκανονικό σύστημα συντεταγμένων. Για να προσδιορίσουμε την θέση του στο χρόνο χρειαζόμαστε ένα χρονόμετρο. Με την έννοια χωροχρονικό σύστημα αναφοράς εννοούμε ένα χωρικό σύστημα συντεταγμένων εφοδιασμένο με πανομοιότυπα συγχρονισμένα χρονόμετρα. Η χωροχρονική θέση ενός γεγονότος καθορίζεται από την τετράδα (πίνακας στήλη)

$$X=(x_{\mu})=(t,x_i)=\begin{pmatrix} x^1 \\ x^2 \\ x^3 \\ T \end{pmatrix} \quad (3.1)$$

Στα επόμενα θεωρούμε ότι οι ελληνικοί δείκτες είναι χωροχρονικοί δείκτες και παίρνουν τιμές από 0 έως 3 ενώ οι λατινικοί δείκτες είναι χωρικοί και παίρνουν τιμές από 1 έως 3. Σχετικά με τα συστήματα αναφοράς τίθεται το εξής ερώτημα: Είναι όλα τα συστήματα αναφοράς κατάλληλα για την περιγραφή των νόμων της φυσικής;

Όπως γνωρίζουμε, η απάντηση στο παραπάνω ερώτημα είναι αρνητική. Τα συστήματα αναφοράς που είναι κατάλληλα για την περιγραφή των νόμων της Φυσικής ονομάζονται αδρανειακά συστήματα αναφοράς. Συγκεκριμένα έχουμε τον εξής ορισμό:

Αδρανειακό (ΑΣΑ) λέγεται ένα σύστημα αναφοράς στο οποίο ισχύει ο πρώτος νόμος του Newton δηλαδή ένα σύστημα αναφοράς στο οποίο το ελεύθερο σωματίο εκτελεί ευθύγραμμη ομαλή κίνηση. Ο πρώτος νόμος του Newton είναι ο νόμος εκείνος , ο οποίος αξιώνει την ύπαρξη τέτοιων συστημάτων. Για τα αδρανειακά συστήματα αναφοράς έχουμε τις εξής ιδιότητες:

Ένα σύστημα αναφοράς το οποίο εκτελεί ευθύγραμμη ομαλή κίνηση ως προς ένα αδρανειακό σύστημα αναφοράς είναι επίσης αδρανειακό σύστημα αναφοράς. Ένα σύστημα αναφοράς το οποίο εκτελεί επιταχυνόμενη κίνηση ως προς ένα αδρανειακό σύστημα αναφοράς δεν είναι αδρανειακό σύστημα αναφοράς.

Ευθεία είναι η γραμμή ελαχίστου μήκους που συνδέει δύο σημεία του επιπέδου

Γεωδαισιακή γραμμή είναι η γραμμή επάνω σε οποιαδήποτε επιφάνεια που ενώνει δύο σημεία της και έχει το ελάχιστο δυνατόν μήκος π.χ. Ο μέγιστος κύκλος στην επιφάνεια μίας σφαίρας. *Στους μη-Ευκλείδειους χώρους, αντικαθιστά την έννοια της ευθείας.*

Χώρος είναι το περιβάλλον και η έννοια της απόστασης

[$\max \hat{a}$ Σύμπαν , $\min \hat{a}$ σημείο]

Διάσταση είναι η δυνατότητα αλλαγής διεύθυνσης κίνησης κάθετα στην προηγούμενη σε ένα χώρο.

Μετρική ονομάζεται το πλέγμα των αποστάσεων μεταξύ γειτονικών σημείων. Εξαρτάται από το σύστημα συντεταγμένων και την πραγματική γεωμετρία του υπό μελέτη χώρου.

Σ' ένα *Ευκλείδειο επίπεδο* μερικές από τις δυνατές μετρικές είναι:

$$ds^2 = dx^2 + dy^2 \quad (3.2) \quad (\text{Καρτεσιανές συντ/νες})$$

$$ds^2 = dr^2 + r^2 d\theta^2 \quad (3.3) \quad (\text{Πολικές συντ/νες})$$

Πάνω στην *επιφάνεια μιας σφαίρας* έχει τη μορφή:

$$ds^2 = dr^2 + \sin^2 r \cdot d\theta^2 \quad (3.4) \quad (\text{Πολικές συντ/νες-σφαιρική γεωμετρία})$$

Μετρική Minkowski της ειδικής σχετικότητας

$$ds^2 = (cdt)^2 - dx^2 - dy^2 - dz^2 \quad (3.5)$$

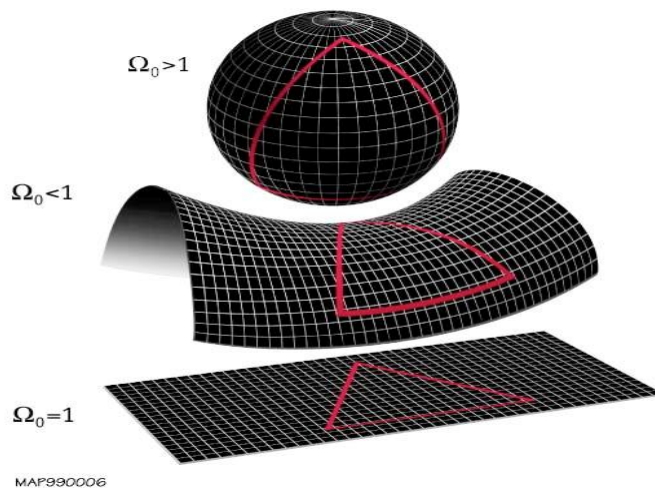
Καμπυλότητα είναι η ποσότητα που ορίζεται σε κάθε σημείο οποιασδήποτε επιφάνειας και χαρακτηρίζει την τάση της μετρικής να αυξάνει [*θετική*], να παραμένει σταθερή [*μηδενική*] ή να μειώνεται [*αρνητική*] καθώς απομακρυνόμαστε από τη γραμμή βάσεως.

Όσο μεγαλύτερη [*αντιστρόφως μικρότερη*] είναι η τιμή της θετικής [*αρνητικής*] καμπυλότητας, τόσο πιο γρήγορα μικραίνουν [*αυξάνονται*] τα διαστήματα μεταξύ των γειτονικών σημείων, όπως προκύπτει από τον τύπο του Gauss.

Ο Gauss εισάγει τον όρο προσδιορίζοντας ένα μέγεθος που μετρείται μόνο ενώ βρισκόμαστε εντός του χώρου που αυτό χαρακτηρίζει. Οι τοπικές μετρήσεις σε λείες επιφάνειες προσεγγίζουν καλά τον Ευκλείδειο χώρο, αλλά μακροσκοπικά διαπιστώνονται αποκλίσεις με την ύπαρξη καμπυλότητας.

“Αν και η άρνηση του 5ου Αξιώματος μπορεί να συλληφθεί από τον ανθρώπινο νου χωρίς εμφανείς αντιφάσεις, η διαίσθησή μας για τον κόσμο είναι περιορισμένη από τον τύπο του χώρου που έχει επιβληθεί στο μυαλό μας.”

Εμμανουήλ Καντ.



Ο χώρος όπως τον γνωρίζουμε δεν υπάρχει στην πραγματικότητα. Όσα ακολουθούν τείνουν να προσεγγίσουν την αλήθεια ή τουλάχιστον διάφορες εννοιολογικές συλλήψεις για την αλήθεια. Υπάρχει πληθώρα μοντέλων για τις πρόσθετες διαστάσεις του Σύμπαντος, αφού απουσιάζει κάποιο αδιαμφισβήτητο γεγονός στο οποίο να συμφωνούν όλοι οι φυσικοί και να το χρησιμοποιούν ως βάση στις προσομοιώσεις που δημιουργούν. Δυστυχώς, τα πράγματα δεν είναι τόσο απλά. Υπάρχουν τουλάχιστον δύο, και πιθανότατα τρεις, εντελώς διαφορετικές θεωρίες σχετικά με το πώς θα πρέπει να μοιάζουν αυτές οι πρόσθετες διαστάσεις. Και σε καθεμιά από αυτές τις θεωρίες η ακριβής μορφή αυτών των διαστάσεων π.χ. το σχήμα τους, κατά πόσο δηλαδή είναι καμπύλες ή ευθείες είναι άγνωστη. Παρόλα αυτά δεν υπάρχει κανένας λόγος να απογοητευτούμε..

Θεωρία Kaluza-Klein

*« Αν ο χώρος είναι ή δεν είναι, και πώς είναι και τι είναι» (... περί τόπου
ώσπερ και περί απείρου γνωρίζειν, ει έστιν ή μή, και πως έστι, και τι εστίν).*
Αριστοτέλης (Φυσικά Δ1, 208α27 -28)

Η ιδέα πως το σύμπαν μας μπορεί να έχει περισσότερες από τις τρεις οικείες χωρικές διαστάσεις είναι μία ιδέα που έχει εισαχθεί από τους Teodor Kaluza και Oscar Klein πενήντα χρόνια πριν τη διατύπωση της θεωρίας των χορδών. Στην γενική θεωρία της βαρύτητας ο Einstein εισήγαγε τις τέσσερις διαστάσεις μέσω της σύνδεσης χώρου και χρόνου. Ο Γερμανός μαθηματικός Kaluza αποφάσισε να διατυπώσει τις εξισώσεις του Einstein σε πέντε διαστάσεις, προσθέτοντας μία πέμπτη διάσταση στο χώρο. Το αποτέλεσμα ήταν ότι από τις εξισώσεις αυτές προέκυψαν οι συνηθισμένες τετραδιάστατες βαρυτικές εξισώσεις του Einstein και επιπλέον ένα άλλο σύνολο εξισώσεων για τον ηλεκτρομαγνητισμό του Maxwell. Δηλαδή, μπορούμε να ενοποιήσουμε τη βαρυτική με την ηλεκτρομαγνητική θεωρία στο επίπεδο των πέντε διαστάσεων. Και με αυτή την έννοια η ηλεκτρομαγνητική δύναμη δεν είναι μία ξεχωριστή δύναμη αλλά δρα σαν μία άλλη βαρυτική δύναμη. Η αδυναμία όμως της θεωρίας αυτής είναι η επιπλέον μία διάσταση και μάλιστα μη παρατηρήσιμη. Ο Σουηδός φυσικός Oscar Klein το 1926 έδωσε την εξής απάντηση γιατί δεν παρατηρούμε την πέμπτη διάσταση. Γιατί απλούστατα είναι πολύ μικρή και βασικά αόρατη. Σαν παράδειγμα ανέφερε ότι από μακριά ένας σωλήνας ποτίσματος φαίνεται σαν ένα μακρύ αντικείμενο μιας διάστασης, όμως από κοντά αποκτάει μία επιπλέον διάσταση. Έτσι και στον τρισδιάστατο χώρο ότι θεωρούμε σημείο στην πραγματικότητα είναι ένας λεπτός κύκλος γύρω από την τέταρτη χωρική διάσταση. Δεν βλέπουμε όμως τους κύκλους λόγω των εξαιρετικά μικρών διαστάσεων που έχουν. Εξαρτάται λοιπόν από την κλίμακα που χρησιμοποιούμε, αν είμαστε μακριά βλέπουμε ένα σημείο, αν είμαστε κοντά τότε παρατηρούμε ένα μικρό κύκλο γύρω από μία επιπλέον διάσταση του χώρου. Αυτή είναι η βασική ιδέα για την ενοποίηση ηλεκτρομαγνητικών και βαρυτικών δυνάμεων των Kaluza-Klein. Ο Klein μπόρεσε να υπολογίσει την περιφέρεια αυτών των κύκλων χρησιμοποιώντας το φορτίο του ηλεκτρονίου και την ισχύ των βαρυτικών

δυνάμεων μεταξύ των σωματιδίων. Έτσι βρέθηκε το μήκος της ίσο με 10^{-30} cm ή 10^{17} φορές μικρότερο από το μέγεθος του πυρήνα. Οι διαστάσεις αυτές είναι απαγορευτικές κι έτσι η θεωρία αυτή παρέμεινε μία παράξενη μαθηματική κατασκευή για τουλάχιστον πενήντα χρόνια.

Στο σχήμα φαίνεται ένα Σύμπαν με εκτεταμένες διαστάσεις (δύο δείχνονται) και συγχρόνως καμπύλες διαστάσεις (δύο δείχνονται).



Μία αξιοσημείωτη ιδιότητα αυτών των θεωριών είναι πως το ακριβές μέγεθος, σχήμα, αριθμός των σπών κλπ, σε αυτές τις επιπλέον διαστάσεις καθορίζουν ιδιότητες όπως είναι οι μάζες και τα ηλεκτρικά φορτία των 'στοιχειωδών' φορτίων.

Η θεωρία της σχετικότητας

Υπήρξαν δύο θρίαμβοι της φυσικής, δύο τεράστιες επαναστάσεις τον περασμένο αιώνα. Η πρώτη είναι η ειδική θεωρία της σχετικότητας που εν ολίγης υποστηρίζει ότι οτιδήποτε κινείται μέσα στο σύμπαν μπορεί να ταξιδέψει μέχρι τη ταχύτητα του φωτός δεν υπάρχει δηλαδή η αυτόματη, η στιγμιαία μετάδοση της πληροφορίας. Αυτό σημαίνει ότι όλες οι παρατηρήσεις δηλαδή όσα συμβαίνουν γύρω μας είναι τοπικά φαινόμενα. Αν λοιπόν βρίσκομαι σε έναν χώρο έναν συγκεκριμένο χρόνο και κάνω κάτι θα χρειαστεί χρόνος για να μεταδοθεί σε οποιοδήποτε άλλον παρατηρητή. Μπορούμε να φανταστούμε μία σφαίρα πληροφορίας που φεύγει για να πάει σε κάποιον άλλον παρατηρητή. Αυτό σημαίνει ότι επικοινωνία σε δύο σημεία του χωροχρόνου είναι δυνατή μόνο όταν αυτά συνδέονται ή να το πούμε αλλιώς μια αλλαγή παίρνει κάποιο χρόνο για να γίνει αισθητή. Αυτό ήδη θέτει ένα μεγάλο πρόβλημα σε σύγκριση με αυτό που ξέραμε. Δύο μάζες λέει ο Νεύτωνας κάθονται η μία κοντά στην άλλη μέσα στο κενό έλκονται μαγικά και μάλιστα ,κατά την εικόνα του, στιγμιαία. Το συμπέρασμα από αυτήν εδώ την παρατήρηση στην ειδική θεωρία της σχετικότητας είναι ότι τα πάντα που συμβαίνουν είναι συνάρτηση με το που βρισκόμαστε στον χωροχρόνο, να το

πούμε διαφορετικά ότι χρειαζόμαστε πεδία για να περιγράψουμε την φύση, αυτό είναι το πεδίο που βρισκόμαστε στον χώρο και στον χρόνο.

Η Θεωρία της Σχετικότητας του Einstein στην Ειδική και στην Γενική της μορφή αποτελεί έναν από τους θεμέλιους λίθους της κλασσικής φυσικής και έχει κεντρική θέση στην κατανόηση πολλών περιοχών της αστροφυσικής, της κοσμολογίας και γενικότερα της θεμελιώδους φυσικής.

Η ειδική θεωρία της σχετικότητας πρωτοδιατυπώθηκε από τον Einstein το 1905. Ο όρος «ειδική» αιτιολογείται λόγω της αποκλειστικής αναφοράς και αντίστοιχης ισχύος της θεωρίας σε μια ιδιαίτερη κλάση συστημάτων αναφοράς, των λεγόμενων αδρανειακών συστημάτων, εκείνων δηλαδή που κινούνται, το ένα ως προς το άλλο, ευθύγραμμα και ομαλά. Είναι αξιοσημείωτο ότι το οικοδόμημα της ειδικής θεωρίας του Einstein εδραιώθηκε ουσιαστικά στις ακόλουθες δύο προτάσεις:

1. Αρχή της ειδικής σχετικότητας: Όλα τα αδρανειακά συστήματα αναφοράς είναι

ισοδύναμα για την περιγραφή των νόμων της φυσικής.

2. Αξίωμα της παγκοσμιότητας της ταχύτητας του φωτός: Η ταχύτητα του φωτός, c , στο κενό είναι σταθερή και ανεξάρτητη από την κινητική κατάσταση του εκπέμποντος σώματος.

Το σύνολο των σχετικιστικών φαινομένων της ειδικής θεωρίας είναι δυνατόν να εξαχθεί κατά λογικώς παραγωγικό τρόπο στη βάση των δύο αυτών προτάσεων. Υπ' αυτή την έννοια, η ειδική θεωρία της σχετικότητας αποτελεί «πρότυπο» επιστημονικής θεωρίας όσον αφορά την αποτελεσματικότητα της θεωρητικής της κατασκευής, επιτυγχάνοντας την ευρύτερη δυνατή σύλληψη γεγονότων υπό την ελάχιστη δυνατή προϋπόθεση αξιωματικών προτάσεων. Η πρόταση (1), λόγου χάρη, η «αρχή της ειδικής σχετικότητας», συνιστά απλώς επέκταση της Γαλιλαϊκής αρχής της σχετικότητας από το πεδίο της νευτώνειας μηχανικής στο σύνολο των νόμων της φυσικής συμπεριλαμβανομένων των νόμων του ηλεκτρομαγνητισμού και της οπτικής (Einstein 1952, σ.14). Η εμβέλεια της αρχής προηγείται εννοιολογικά του ορισμού των γεωμετρικών αντικειμένων καθώς και της

υλοποίησης των φυσικών μεγεθών. Ενώ το περιεχόμενο της αρχής διασφαλίζει την αντικειμενικότητα της φυσικής περιγραφής, προτάσσοντας την ανεξαρτησία ή αμεταβλητότητα των θεμελιωδών φυσικών νόμων από την υιοθέτηση ενός αδρανειακού συστήματος αναφοράς. Κατ' αυτόν τον τρόπο το αίτημα της σχετικότητας (ή δοκιμότερα του αναλλοίωτου) έχει ισχύ μεταθεωρητική: συνιστά ενοποιητική, συγκροτούσα αρχή. Αποτελεί όρο δυνατότητας άσκησης της φυσικής επιστήμης. Όσο δε αφορά την αξιωματική πρόταση (2) περί καθολικότητας της ταχύτητας του φωτός, μολονότι ριζοσπαστική κατά την περίοδο ανάπτυξης της ειδικής θεωρίας, αποτελεί πλέον πειραματικώς επικυρωμένο συμβάν (πχ., Alvager et al 1964) .

Το αφετηριακό σημείο του Einstein στην ανάπτυξη και συγκρότηση της ειδικής σχετικότητας προέκυψε ως αποτέλεσμα της σύγκρουσης μεταξύ του νευτώνειου χωροχρονικού πλαισίου και της θεωρητικής δομής του ηλεκτρομαγνητισμού. Ενώ οι νόμοι της νευτώνειας κλασικής μηχανικής διατηρούνται αναλλοίωτοι (αμετάβλητοι) ως προς τους συνήθεις μετασχηματισμούς του Γαλιλαίου,

$$x' = x - vt, y' = y, z' = z, t' = t, (3.6)$$

οι θεμελιώδεις νόμοι του ηλεκτρομαγνητισμού δηλαδή οι εξισώσεις του Maxwell διατηρούν αναλλοίωτο το περιεχόμενό τους ως προς μια διαφορετική ομάδα μετασχηματισμών, την ομάδα Lorentz ,

$$x' = \gamma (x - vt), y' = y, z' = z, t' = \gamma (t - vx / c^2) (3.7)$$

$$\text{όπου } \gamma = (1 - v^2/c^2)^{-1/2} (3.8)$$

συμβολίζει τον επονομαζόμενο «παράγοντα Lorentz » και v το μέτρο της σχετικής ταχύτητας κίνησης μεταξύ δύο αδρανειακών συστημάτων αναφοράς $\Sigma (x, y, z, t)$ και $\Sigma' (x', y', z', t')$ κατά τη διεύθυνση του άξονα x . Είναι άξιο παρατήρησης ότι οι κλασικές εξισώσεις μετασχηματισμών του Γαλιλαίου αποτελούν οριακή περίπτωση των μετασχηματισμών Lorentz , όταν η σχετική ταχύτητα των συστημάτων Σ και Σ' είναι μικρή συγκριτικά με την ταχύτητα του φωτός, δηλαδή $v/c \ll 1$. Αυτό εξηγεί την υψηλή ακρίβεια των νόμων της

νευτώνειας μηχανικής σε ένα ευρύ φάσμα φυσικών φαινομένων. Θα πρέπει να υπογραμμισθεί εντούτοις ότι η χωροχρονική δομή των μετασχηματισμών Lorentz είναι ριζικώς διαφορετική και μη αναγώγιμη προς εκείνη των μετασχηματισμών του Γαλιλαίου. Το πλέον ριζοσπαστικό χαρακτηριστικό των μετασχηματισμών Lorentz αποτελεί ο μετασχηματισμός του χρόνου, ο οποίος εκφράζει κατά βάση τη σχετικότητα της ταυτοχρονίας (ή συγχρονικότητας). Όπως αποτυπώνεται στην τελευταία των Εξ. (2), γεγονότα ισόχρονα του t , βάσει των ενδείξεων των ρολογιών του συστήματος αναφοράς Σ , δεν αντιστοιχούν σε γεγονότα ισόχρονα του t' , βάσει των ενδείξεων των ρολογιών του συστήματος Σ' . Επομένως η εκτίμηση ενός αδρανειακού παρατηρητή ως προς την ταυτοχρονία δύο γεγονότων δηλαδή ως προς το εάν τα δύο γεγονότα λαμβάνουν χώρα την ίδια χρονική στιγμή εξαρτάται από την επιλογή του συστήματος αναφοράς που υιοθετείται. Η ύπαρξη αυτού του αποτελέσματος οφείλεται στην καθολικότητα της ταχύτητας του φωτός: το φως έχει την ίδια σταθερή και πεπερασμένη ταχύτητα c σε όλα τα αδρανειακά συστήματα αναφοράς. Εάν η ταχύτητα διάδοσης του φωτός ήταν μη πεπερασμένη, και συνεπώς «ακαριαίως μεταδιδόμενη», κατά την αντίληψη της «στιγμιαίας δράσης από απόσταση» στη νευτώνεια μηχανική, τότε $t'=t$, καταλήγοντας στον απόλυτο χαρακτήρα του νευτώνειου χρόνου.

Γενική θεωρία σχετικότητας

Η ειδική θεωρία της σχετικότητας ενοποίησε τους νόμους της μηχανικής και της ηλεκτροδυναμικής, καταδεικνύοντας την αλληλεξάρτηση του χώρου και του χρόνου. Η χωροχρονική δομή Minkowski της ειδικής θεωρίας, όμως, έχει χαρακτήρα στατικό. Είναι εξ αρχής και δια παντός καθορισμένη. Δεν επηρεάζεται από την παρουσία και την κίνηση της ύλης. Η ειδική θεωρία περιγράφει νόμους και φαινόμενα της φυσικής ελλείψει των βαρυτικών πεδίων της ύλης. Άμεσα λοιπόν προβάλλει το μείζον πρόβλημα της θεμελίωσης μιας νέας σχετικιστικής θεωρίας της βαρύτητας.

Η γενική θεωρία της σχετικότητας του Einstein (1916) επιτυγχάνει αυτό ακριβώς: «επεκτείνει» την ειδική θεωρία κατά τέτοιο τρόπο ώστε να καθιστά δυνατή τη μελέτη και της ίδιας της βαρύτητας. Ο Einstein επιδίωξε να προσδώσει στο νόμο της βαρύτητας σχετικιστική μορφή, δηλαδή μορφή

ανεξάρτητη από το σύστημα αναφοράς*. Στη γενική θεωρία το βαρυτικό πεδίο συνιστά ενδογενές στοιχείο της δομής του χωροχρόνου. Τα αποτελέσματά του αντανακλώνται στην καμπύλωση του χωροχρόνου, οι δε συνέπειές του δεν εξαρτώνται εν γένει από την επιλογή ενός ιδιαίτερου συστήματος αναφοράς ή την υιοθέτηση ενός κατάλληλου μετασχηματισμού συντεταγμένων.

Ο Einstein θεμελίωσε τη γενική θεωρία της σχετικότητας συνυφαίνοντας την αρχή της ισοδυναμίας (αδρανειακής-βαρυτικής μάζας) και την αρχή της αδράνειας με τη γεωμετρική δομή του καμπύλου χώρου Riemann (Ρήμαν). Σύμφωνα με την αρχή της ισοδυναμίας, πάντοτε υπάρχει ένα τοπικό σύστημα αναφοράς σε ελεύθερη πτώση, ως προς το οποίο το βαρυτικό πεδίο δεν έχει επίδραση στην κινητική κατάσταση των σωμάτων ή σε οποιαδήποτε άλλη φυσική διαδικασία. Προκύπτει δε ως επακόλουθο της αρχής της ισοδυναμίας ότι, σχετικά με ένα σύστημα αναφοράς σε ελεύθερη πτώση, ένα υλικό σώμα δεν εμφανίζει κάποιο είδος επιτάχυνσης εντός του δυναμικού ενός πεδίου βαρύτητας και συνεπώς διαγράφει, τουλάχιστον τοπικά, ευθεία τροχιά. Ο ριζοσπαστικός συλλογισμός του Einstein κατά την ανάπτυξη της γενικής θεωρίας συνίσταται συνακόλουθα στην εξής πρόταση: οι ευθείες τροχιές των σωμάτων στο τοπικώς αδρανειακό σύστημα αναφοράς οφείλουν να θεωρηθούν ως οι γεωδαισιακές καμπύλες, δηλαδή ως οι κατ'εξοχήν «ευθείες» κοσμικές γραμμές στον πλήρη καμπυλωμένο χωρόχρονο Riemann. Έτσι οι τροχιές των σωμάτων σε ελεύθερη πτώση ταυτοποιούνται με τις τοπικά ευθείες γραμμές μιας καμπυλωμένης γεωμετρίας.

Αυτή η πρόταση γενικεύει το νευτώνειο νόμο της αδράνειας, ενσωματώνοντας τα φαινόμενα της αδράνειας και της βαρύτητας σε μια συνθήκη. Βαρύτητα και αδράνεια αποτελούν πλέον εναλλακτικούς χαρακτηρισμούς ενός και του αυτού φαινομένου. Αυτό που καθίσταται αντιληπτό ως αδρανειακό φαινόμενο από έναν παρατηρητή, εκλαμβάνεται ως αποτέλεσμα της δράσης ενός πεδίου βαρύτητας από έναν άλλον. Ένα αδρανειακό σύστημα αναφοράς είναι πλήρως ισοδύναμο, όσον αφορά κάθε φυσική περιγραφή, με ένα σύστημα σε ελεύθερη πτώση. Ο χαρακτηρισμός του φαινομένου ως αδρανειακού ή βαρυτικού εξαρτάται συνεπώς από την

υιοθέτηση ενός κατάλληλου συστήματος αναφοράς ως προς το οποίο μελετώνται οι φυσικοί νόμοι.

Η αρχή της αδράνειας ισχύει τώρα αυστηρώς τοπικά. Η δε έννοια της νευτώνειας αδράνειας αποκτά εντελώς διαφορετικό νόημα: εμφανίζεται όχι ως το μέτρο αντίστασης της ύλης στη μεταβολή της κινητικής της κατάστασης, αλλά ως το δυναμικό αποτέλεσμα της ύλης επί του χωροχρόνου. Κάθε υλικό σώμα τροποποιεί τη μορφή του περιβάλλοντος χωροχρόνου, τον «στρεβλώνει», όπως ένα βάρος καμπυλώνει μια επίπεδη ελαστική μεμβράνη πάνω στην οποία βρίσκεται. Η έννοια της νευτώνειας βαρύτητας αποκτά επίσης εντελώς διαφορετικό νόημα: δεν κατανοείται πλέον ως αυθύπαρκτη φυσική οντότητα, ως ένα εξωγενές πεδίο δυνάμεων που δρα επί του χωροχρόνου, αλλά εκλαμβάνεται ως σύμφυτο στοιχείο και παράγοντας καθορισμού της ίδιας της δομής του χωροχρόνου.

Ο χωρόχρονος της γενικής θεωρίας της σχετικότητας είναι ένας καμπύλος τετραδιάστατος χωρόχρονος, μεταβλητής καμπυλότητας, του οποίου η δομή (ή η μετρική Riemann) ds_{2R} ,

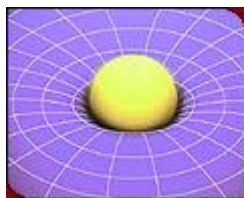
$$ds_{2R} = g_{11}dx_{21} + g_{22}dx_{22} + g_{33}dx_{23} + g_{44}dx_{24} \\ + 2g_{12}dx_1dx_2 + 2g_{13}dx_1dx_3 + 2g_{14}dx_1dx_4 \\ + 2g_{23}dx_2dx_3 + 2g_{24}dx_2dx_4 + 2g_{34}dx_3dx_4, \quad (3.9)$$

περιγράφει το πεδίο βαρύτητας που δημιουργείται από την κατανομή της κοσμικής ύλης. Οι μετρικές ιδιότητες του χωροχρόνου Riemann περιγράφονται από τις δέκα ανεξάρτητες συνιστώσες του μετρικού τανυστή $g_{\mu\nu}$ ($\mu, \nu = 1, 2, 3, 4$), οι οποίες στη φυσική ορολογία κατανοούνται ως δυναμικά του βαρυτικού πεδίου. Σε ένα τοπικά αδρανειακό σύστημα αναφοράς του καμπύλου χωροχρόνου Riemann, τα δυναμικά του βαρυτικού πεδίου για $\mu \neq \nu$ ($g_{12}, g_{13}, g_{14}, g_{23}, g_{24}, g_{34}$) μηδενίζονται και η μετρική Riemann λαμβάνει τη μορφή της μετρικής Minkowski ($g_{22} = g_{33} = g_{44} = -1, g_{11} = +1$). Οι νόμοι της ειδικής θεωρίας της σχετικότητας διατηρούν επομένως την ισχύ τους σε ένα τοπικά αδρανειακό σύστημα αναφοράς του καμπύλου χωροχρόνου. Η ειδική θεωρία εμφανίζεται κατ' αυτόν τον τρόπο ως μια τοπική θεωρία, «οριακή» περίπτωση της γενικής θεωρίας της σχετικότητας, ισχύουσα σε μια απειροστή περιοχή της δομής της.

Στη θεωρία βαρύτητας του Einstein η μεταβλητότητα των ιδιοτήτων της πραγματικότητας παρουσιάζεται ως εκδήλωση της αλληλεπίδρασης της

ενδογενούς σχέσης του χώρου και του χρόνου, της κίνησης και της ύλης. Η δομή του χωροχρόνου, η κατανομή της ύλης και η κίνηση συνιστούν οργανική ολότητα. Το σύμπαν κατανοείται όχι ως προδιαγεγραμμένος μηχανισμός, κατά το στατικό πρότυπο της κλασικής νευτώνειας φυσικής, αλλά ως ενιαίο και αυτοκαθοριζόμενο όλο σε διαρκή μεταλλαγή και εξέλιξη.

Η θεωρία βαρύτητας του Einstein απελευθερώνει τη φυσική από το μηχανιστικό χαρακτήρα της νευτώνειας «βαρυτικής δύναμης» και τη συνακόλουθη δύσκολα κατανοούμενη έννοια της «ακαριαίας εξ αποστάσεως δράσης». Η νευτώνεια «δύναμη» της βαρύτητας αντικαθίσταται από το βαρυτικό πεδίο της ύλης, ενώ το τελευταίο ερμηνεύεται γεωμετρικά ως η μετρική του καμπύλου χωροχρόνου Riemann. Η ύλη δεν εκπέμπει κάποιο είδος «δύναμης», όπως η νευτώνεια αντίληψη αποδεχόταν, αλλά παραμορφώνει το τετραδιάστατο συνεχές. Η κίνηση δεν αποδίδεται πλέον στη δράση δυνάμεων αλλά στην καμπύλωση του χωροχρονικού συνεχούς που συνυφάνεται με την ύπαρξη της ύλης. Οι τροχιές, λόγου χάρη, των πλανητών του ηλιακού μας συστήματος δεν καθορίζονται από την επενέργεια «βαρυτικών δυνάμεων», αλλά από την καμπύλωση του χώρου που προκαλεί



το βαρυτικό πεδίο του ήλιου.

Η διορατικότητα του Einstein κατά την ανάπτυξη της γενικής θεωρίας της σχετικότητας συνίσταται στην εγκαθίδρυση της ενότητας μεταξύ της μετρικής του καμπύλου χωροχρόνου Riemann και του βαρυτικού πεδίου. Τυπική έκφραση αυτής της ενότητας, από μαθηματική άποψη, αποτελεί το γεγονός ότι τόσο η μετρική όσο και το βαρυτικό πεδίο αποδίδονται από το ίδιο σύνολο ποσοτήτων, τον θεμελιώδη μετρικό τανυστή $g_{\mu\nu}$. Η σύνδεση μεταξύ του μετρικού τανυστή και της κατανομής της ύλης δίνεται από τις εξισώσεις πεδίου της γενικής θεωρίας

$$R_{\mu\nu} - 1/2 g_{\mu\nu} R = (-8\pi G/c^4) T_{\mu\nu}, \quad (3.10)$$

Όπου $R_{\mu\nu}$ και $T_{\mu\nu}$ είναι οι τανυστές «καμπυλότητας» και ενέργειας– ορμής, αντιστοίχως, και G η παγκόσμια βαρυτική σταθερά.

Το αριστερό μέλος των εξισώσεων πεδίου χαρακτηρίζει τη δομή του χωροχρόνου, συγκεκριμένα την καμπυλότητά του υπό την παρουσία της ύλης. Το δεξιό μέλος περιγράφει την κατανομή της ολικής ύλης(μάζας-ενέργειας) στον χωρόχρονο. Το φυσικό νόημα των εξισώσεων πεδίου του Einstein έγκειται ακριβώς στην περιγραφή του τρόπου με τον οποίο η κατανομή της ύλης στον χωρόχρονο επηρεάζει τη δομή του και δημιουργεί το βαρυτικό πεδίο, καθώς και το πώς το βαρυτικό πεδίο με τη σειρά του καθορίζει τους τρόπους κίνησης και κατανομής της ύλης. Συγκροτείται λοιπόν ένα είδος αλληλεξάρτησης των εννοιών χώρου, χρόνου, κίνησης και ύλης, που στο πλαίσιο της χρονογεωμετρικής θεωρίας βαρύτητας του Einstein και των αναπτύξεών της αποκτά τη συνθετότερη και πληρέστερη προς το παρόν μορφή. Έτσι η θεωρία της σχετικότητας στις δύο βαθμίδες της, την ειδική και τη γενική, επέφερε, έναντι του κλασικού νευτώνειου προτύπου, μια εννοιολογική επανάσταση στη φυσική επιστήμη, η οποία είναι σήμερα εν εξελίξει κυρίως στην προσπάθεια σύνθεσης της γενικής θεωρίας της σχετικότητας με την κβαντική θεωρία της ύλης.

Πειραματικές δοκιμασίες

Για μικρές ταχύτητες (δηλαδή πολύ μικρότερες από τη ταχύτητα του φωτός) η θεωρία τείνει να δώσει ακριβώς τα ίδια συμπεράσματα με τη Νευτώνεια θεωρία. Ο ίδιος ο Einstein πρότεινε τρία διαφορετικά πειραματικά τεστ, τα οποία η Γενική Θεωρία της Σχετικότητας πέρασε με επιτυχία. Οι αρχικές όμως δοκιμασίες ήσαν πολύ περιορισμένες για να καθιερώσουν τη θεωρία. Τα τελευταία όμως 40 χρόνια με την εντυπωσιακή ανάπτυξη της αστροφυσικής και τη τεράστια βελτίωση της ακρίβειας των μετρήσεων μας, η Γενική θεωρία της Σχετικότητας έχει περάσει με επιτυχία πάρα πολλά τεστ.

1. Ένα επιτυχημένο παράδειγμα απόδειξης της Γ.Θ.Σ., είναι η στροφή του άξονα της έλλειψης της τροχιάς του Ερμή (που επειδή είναι ο πλησιέστερος πλανήτης στον Ήλιο, δέχεται ισχυρές βαρυτικές δυνάμεις), κατά 575 " κάθε αιώνα.

Οι αστρονόμοι του 19ου αιώνα, με την Νευτώνεια Μηχανική εξήγησαν το μεγαλύτερο μέρος αυτής της 'προπόρευσης του περιηλίου' αλλά έμεναν ακόμη 43 " να εξηγηθούν. Ο Αϊνστάιν την εξήγησε με βάση την Γ.Θ.Σ.

2. Το 1960, πέντε χρόνια μετά το θάνατο του Αϊνστάιν, όταν απέκτησαν οι επιστήμονες ρολόγια υψηλής ακριβείας (ατομικά ρολόγια), έγινε το εξής πείραμα. Εγκατέστησαν το ένα ρολοί στο υπόγειο ενός ουρανοξύστη και ένα άλλο στην κορυφή του. Τα ρολόγια ήταν απόλυτα συγχρονισμένα. Αλλά όμως το ρολοί του υπογείου εμφάνιζε μια επιβράδυνση σε σύγκριση με το άλλο της κορυφής, επειδή βρισκόταν βαθύτερα στο εσωτερικό του βαρυτικού πεδίου της Γης.

3. Το Σύμπαν είναι γεμάτο από αντικείμενα μεγάλης μάζας που ασκούν βαρυτικές έλξεις. Τα αντικείμενα αυτά κάνουν το χωροχρόνο να μην είναι παντού τελείως επίπεδος αλλά καμπυλωμένος. Κάθε τι συμπεριλαμβανομένου του φωτός, αναγκάζεται να ακολουθεί καμπυλωμένες τροχιές στον χωροχρόνο. Ενώ στην εποχή του, κανείς δεν γνώριζε για την καμπυλότητα του χώρου, σήμερα γνωρίζουμε ότι ο Einstein είχε δίκιο, διότι οι αστρονόμοι μερικές φορές παρατηρούν μακρινά αστέρια, που θα έπρεπε κανονικά να κρύβονται από κοντινότερα αντικείμενα όπως ο Ήλιος, αφού



βρίσκονται σε ευθεία γραμμή πίσω του.

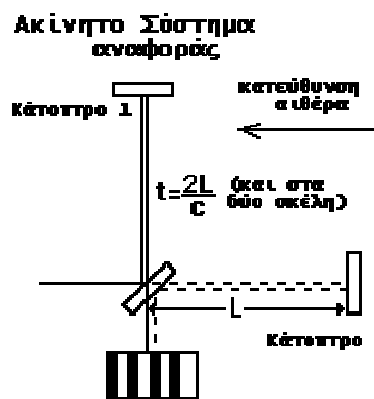
Το πείραμα Michelson-Morley **Η απόρριψη του αιθέρα**

Ενώ οι εξισώσεις του Maxwell για τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα δεν απαιτούσαν την ύπαρξη κάποιου μέσου διάδοσης, όπως συμβαίνει στα μηχανικά κύματα, εν τούτοις οι φυσικοί του 19ου αιώνα πίστευαν ότι τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα, άρα και το φως, χρειάζονταν ένα μέσο διάδοσης. Επειδή όμως ανάμεσα στη Γη και στον Ήλιο δεν εμφανιζόταν κανένα μέσον, οι φυσικοί υπέθεταν την ύπαρξη κάποιου μέσου διαφανούς κι άρα μη άμεσα παρατηρήσιμου. Το μέσον αυτό που υπήρχε παντού, ακόμη και στο κενό, το ονόμασαν αιθέρα.

Θεωρούσαν ότι τα κύματα φωτός αντιστοιχούσαν στις ταλαντώσεις του μέσου αυτού, που είχε περίεργες ιδιότητες. Δεν είχε μιν μάζα αλλά ήταν

άκαμπτο και δεν επιδρούσε στις τροχιές κανενός ουράνιου σώματος. Οι φυσικοί, επίσης, πίστευαν ότι οι νόμοι του ηλεκτρομαγνητισμού ίσχυαν για ένα απόλυτο ή παγκόσμιο σύστημα αναφοράς, όπως το έλεγαν, και το οποίο ήταν ακίνητο ως προς τον αιθέρα. Έτσι για να τους χρησιμοποιήσουν σε ένα άλλο σύστημα, που κινείται ως προς το απόλυτο σύστημα αναφοράς του αιθέρα, έπρεπε να τους τροποποιήσουν.

ΤΟ ΠΕΙΡΑΜΑ



Ο Michelson προχώρησε στην εφεύρεση ενός νέου οργάνου, με ακρίβεια πολύ μεγαλύτερη από εκείνη που υπήρχε μέχρι τότε, που σήμερα ονομάζεται συμβολόμετρο Michelson.

Στην προσπάθεια να μετρηθεί η ταχύτητα της Γης μέσω του υποτιθέμενου "αιθέρα", χρειαζόμαστε τη γνώση της ταχύτητας της Γης στο διάστημα, περίπου $V=30 \text{ km/s}$, άρα και την ταχύτητα του αιθέρα ως προς τη Γη. Με σύστημα αναφοράς τη Γη, η ταχύτητα του φωτός που κατευθύνεται προς το 2ο κάτοπτρο, πρέπει να είναι $C-V$ (μετασχηματισμός Γαλιλαίου), και όταν φεύγει από το 2ο κάτοπτρο $C+V$, όπου C η ταχύτητα του φωτός ως προς τον αιθέρα. Η διαφορά του χρόνου μετάβασης και επιστροφής της ακτίνας στο 1ο κάτοπτρο δείχνεται ότι είναι $t=2L/C$. Όταν φεύγουν οι ακτίνες έχουν την ίδια φάση αλλά όταν ανακλώνται πάνω στα δύο κάτοπτρα, έχουν διαφορά φάσης λόγω μεγαλύτερου χρόνου που έκανε η μία ακτίνα. Ενώνονται λοιπόν και συμβάλλουν δίνοντας φωτεινούς και σκοτεινούς κροσσούς συμβολής (κάτω σχήμα). Κατά τη διάρκεια του πειράματος, το συμβολόμετρο στρεφόταν κατά 90° για να αλλάξει η κατεύθυνση της ταχύτητας του αιθέρα ως προς τον ένα βραχίονα. Αν η θεωρία του αιθέρα ήταν σωστή έπρεπε, λόγω περιστροφής του συμβολομέτρου, να δούμε μετατόπιση των κροσσών συμβολής, μικρή μεν μετρήσιμη δε. Το αποτέλεσμα όμως ήταν αρνητικό. Όσες φορές κι αν επανέλαβαν το πείραμα ποτέ δεν ανιχνεύτηκε έστω και η παραμικρή μετατόπιση. Το πείραμα έγινε σε διάφορες θέσεις της Γης και σε διαφορετικές

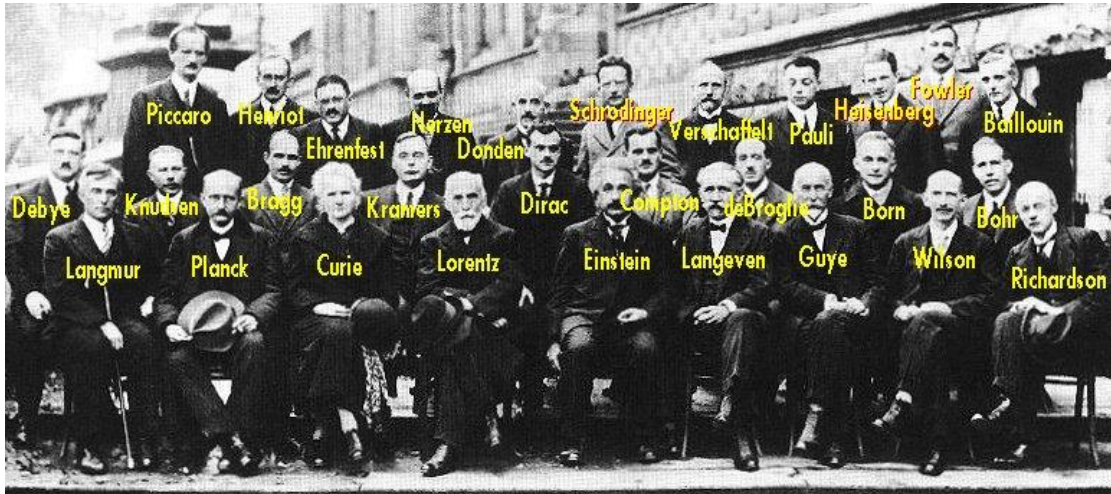
εποχές. Ποτέ δεν υπήρξε καμιά μεταβολή στους κροσσούς συμβολής. Οι επιστήμονες της εποχής μεταξύ των οποίων και ο Michelson, εξεπλάγησαν που δεν υπήρξε καμιά μετατόπιση. Το αρνητικό αποτέλεσμα σήμαινε ότι ήταν αδύνατον να μετρηθεί η απόλυτη ταχύτητα της Γης ως προς το σύστημα του αιθέρα. Χρειαζόταν όμως το επαναστατικό πνεύμα του Αϊνστάιν (με την ειδική θεωρία της σχετικότητας-1905) και των επόμενων φυσικών για να δοθεί μια διαφορετική εξήγηση: Αφ' ενός ότι το φως είναι ηλεκτρομαγνητικό κύμα κι όχι μηχανικό, άρα δεν έχει την ανάγκη της ύπαρξης του αιθέρα για να διαδοθεί και αφ' ετέρου ότι το φως σε όλα τα συστήματα αναφοράς έχει την ίδια ταχύτητα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο

Η ΘΕΩΡΙΑ ΤΩΝ ΚΒΑΝΤΑ

"Η Φυσική έχει πια λύσει τα θεμελιακά προβλήματα. Από τώρα και μπρος δεν θα είναι παρά απλή εφαρμογή των γενικών νόμων. Μένουν βέβαια μερικά θεματάκια, που δεν τα έχουμε κατανοήσει πλήρως: η κατανομή του μέλανος σώματος, οι φασματικές γραμμές των αερίων...".

Λόρδος Κέλβιν γύρω στο 1900



Οι συμμετέχοντες ερευνητές στο συνέδριο Solvay των Βρυξελών, το έτος 1927

Η άλλη μεγάλη επανάσταση είναι η κβαντική μηχανική. Εν ολίγοις οι ποσότητες στη φύση είναι διακριτές δηλαδή δεν υπάρχει 1,6 μονάδες από κάτι αλλά π.χ. αν πάρουμε αέριο υδρογόνου και ρίξουμε φως πάνω και κάνουμε φασματοσκοπία και κοιτάξουμε τι φως εκπέμπει ή απορροφά θα δούμε διακριτές γραμμές, τις περίφημες γραμμές του υδρογόνου.



Αυτή εδώ η διακριτότητα, η οποία αντιστοιχεί στο φως που παίρνουμε όταν από μία τροχιά του ηλεκτρονίου πηγαίνουμε σε μία άλλη τροχιά. Αυτή εδώ η διακριτότητα εξηγείτε μόνο από την κβαντική μηχανική. Παλιά με την κλασική μηχανική εκείνο που θα έπρεπε να συμβαίνει θα ήταν το εξής: το ηλεκτρόνιο θα μείωνε συνεχώς την ενέργεια του και σιγά σιγά θα πλησίαζε τον πυρήνα μέχρι την πρόσκρουση σε αυτόν. Η κβαντική μηχανική εξηγεί γιατί δεν συμβαίνει αυτό και μας δίνει τις φασματικές γραμμές. Η κβαντική μηχανική όσο τρελή και αν ακούγεται, και δυστυχώς δεν την διδασκόμαστε στα σχολεία είναι ή φυσική του μικρόκοσμου αυτό έχει αποδειχθεί πέραν πάσης αμφιβολίας και είναι χάρης αυτής που έχουμε πολλά επιτεύγματα στην τεχνολογία όπως το τσιπ. Την χρησιμοποιούμε κατά κόρον στην καθημερινή μας ζωή απλώς δεν έχουμε συνηθίσει σ'αυτή γιατί έχει κάποια παράδοξα όπως τον δεισμό του σωματιδίου με το κύμα. Με περίφημο παράδειγμα το πείραμα των δύο οπών.

Οι ρίζες της κβαντικής θεωρίας ανιχνεύονται στο 1900. Ένα από τα θεμελιώδη προβλήματα της εποχής αποτέλεσε η εκπομπή ακτινοβολίας ενός αντικειμένου όταν αυτό θερμαίνεται. Όταν ένα μέταλλο θερμαίνεται εκπέμπει περισσότερη ακτινοβολία σε κάποιες συγκεκριμένες συχνότητες απ'ότι σε κάποιες άλλες. Για ένα εξιδανικευμένο σώμα γνωστό ως μέλαν⁴, το γράφημα της έντασης της ακτινοβολίας ως προς τη συχνότητα εμφανίζει μια χαρακτηριστική καμπύλη. Σε μια δεδομένη θερμοκρασία, η καμπύλη είναι αύξουσα, προχωρώντας όμως σε υψηλότερες συχνότητες φτάνει στο μέγιστο και στη συνέχεια αρχίζει να φθίνει. Σε διαφορετικές θερμοκρασίες το μέγιστο αντιστοιχεί σε διαφορετικές συχνότητες. Είναι εύκολο να το διαπιστώσουμε, θερμαίνοντας μια σιδερένια σφαίρα: καθώς η θερμοκρασία αυξάνει, το χρώμα της γίνεται ερυθρό, ύστερα πορτοκάλι και τέλος κυανόλευκο. Σύμφωνα με την κλασική φυσική η ακτινοβολία της κοιλότητας προέρχεται από τις ταλαντώσεις των φορτισμένων σωματιδίων στα τοιχώματα της κοιλότητας και η συχνότητά της είναι ίση με τη συχνότητα των ταλαντώσεων αυτών. Η ενέργεια της ακτινοβολίας μπορεί να πάρει οποιαδήποτε τιμή.

Μεγέθη για την περιγραφή της ακτινοβολίας:

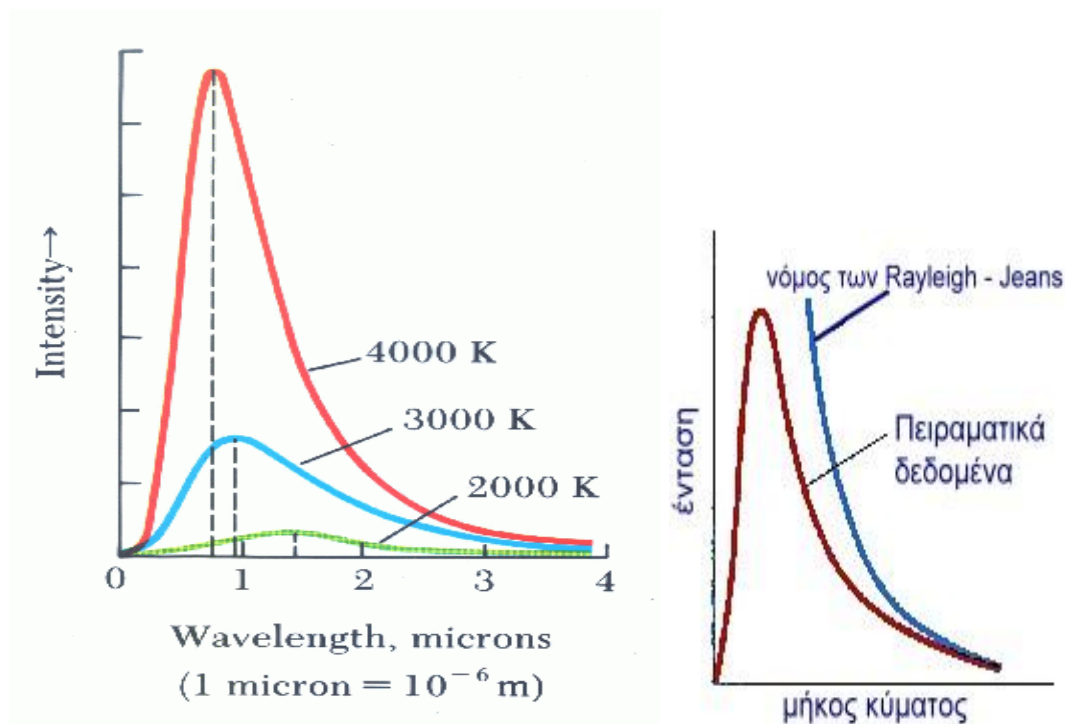
$I(f,T)$ είναι η εκπεμπόμενη ισχύς (ενέργεια/χρόνο) ανά μονάδα επιφάνειας και συχνότητας.

$u(f,T)$ είναι η φασματική πυκνότητα ενέργειας, δηλ. η ενέργεια ανά μονάδα συχνότητας και όγκου στην κοιλότητα που αναπαριστά το μέλαν σώμα. $I(f,T)=u(f,T) c/4$, όπου c η ταχύτητα του φωτός στο κενό.

Τα μεγέθη αυτά μπορούν να γραφούν και ως συνάρτηση του μήκους κύματος, λ , χρησιμοποιώντας τις $I(\lambda,T)d\lambda=I(f,T)df$, $u(\lambda,T)d\lambda=u(f,T)df$, $\lambda f=c$.

Τα προβλήματα και τα κβάντα

Η ακτινοβολία μέλανος σώματος, $I(\lambda,T)$, ως συνάρτηση του μήκους κύματος και της θερμοκρασίας έχει τη μορφή που φαίνεται στο Σχήμα



Ήταν ένα παράξενο φαινόμενο που κανείς δεν ήταν σε θέση να εξηγήσει. Οι φυσικοί αναζητούσαν κάποια εξήγηση –έναν μαθηματικό τύπο που θα αναπαρήγαγε την καμπύλη- το μόνο όμως που κατάφερναν ήταν η αναπαραγωγή ενός τμήματός της⁵ καμπύλης. Το πρόβλημα εντοπιζόταν στην κορυφή της. Καμιά μαθηματική σχέση δεν την προέβλεπε.



Τότε εμφανίστηκε ο Μαξ Πλανκ ένας νεαρός γερμανός καθηγητής από το πανεπιστήμιο του Βερολίνου. Συνειδητοποιώντας την αποτυχία των παραδοσιακών θεωρήσεων του προβλήματος, ο Πλανκ δοκίμασε κάτι εντελώς διαφορετικό. Σύμφωνα με τη θεωρία που ήταν μέχρι τότε αποδεκτή, η εκπομπή της ακτινοβολίας θεωρούνταν συνεχής. Ο Πλανκ υπέθεσε ότι η εκπομπή της ακτινοβολίας γινόταν κατά συγκεκριμένες ποσότητες, της οποίες ο Αϊνστάϊν τις ονόμασε **κβάντα**⁶. Παρ' όλα αυτά, η προσαρμογή της θεωρητικής καμπύλης στα πειραματικά δεδομένα απαιτούσε μια νέα σταθερά, την οποία συμβόλισε με h . Η ενέργεια (E) κάθε κβάντου συνδέεται με την συχνότητα του κύματος με την παρακάτω απλή σχέση:

$$E = hf \quad (4.1)$$

όπου h είναι η σταθερά του Planck. Η τιμή της είναι $6.622 \cdot 10^{-34}$ joule x second. Άρα για οποιαδήποτε συχνότητα, η ενέργεια εκπέμπεται κατά διακριτά ποσά ενέργειας hf .

Σε αρκετά υψηλές συχνότητες, η εκπομπή ενός και μόνο κβάντου (ή φωτόνιου) θα απαιτούσε περισσότερη ενέργεια από αυτή που είναι διαθέσιμη. Επομένως η ακτινοβολία στις υψηλές συχνότητες θα ελαττωθεί και ο ρυθμός με τον οποίο το σώμα αποβάλλει ενέργεια δεν θα είναι άπειρος αλλά πεπερασμένο.

Η σταθερά αυτή έκανε τον Πλανκ να αμφιβάλλει για την ορθότητα της προσέγγισης. Η μέθοδος όμως λειτούργησε, ο τύπος του Πλανκ περιέγραφε τέλεια την πειραματική καμπύλη. Παρόλο που τότε ο ίδιος δεν το είχε συνειδητοποιήσει, η νέα αυτή προσέγγιση αποτελούσε μια ανακάλυψη αποφασιστικής σημασίας για τη φυσική, μια ανακάλυψη που θα οδηγούσε σε μια επανάσταση στην επιστήμη.

Όπως ήταν αναμενόμενο, η κβαντική υπόθεση θεωρήθηκε υπερβολικά ριζοσπαστική και σχεδόν κανένας φυσικός εκείνης της περιόδου δεν πείσθηκε. Η γενική αποδοχή του έργου του Πλάνκ ήταν εξαρτημένη όχι μόνο από πειραματικές επιβεβαιώσεις, αλλά και από περαιτέρω επιδείξεις της χρησιμότητας ή και της αναγκαιότητας της κβαντικής υπόθεσης για την επιστημονική σκέψη. Για λίγα χρόνια, η κβαντική υπόθεση βρέθηκε να αιωρείται μεταξύ αμφιβολίας και αδιαφορίας. Κατόπιν ο Αϊνστάιν επέκτεινε και εφάρμοσε την σύλληψη του Πλάνκ, για την επίλυση ενός άλλου φαινομένου που δεν μπορούσε πάλι να εξηγηθεί με την κλασική Φυσική. Το φαινόμενο αυτό ήταν το **φωτοηλεκτρικό**.

Φωτοηλεκτρικό φαινόμενο και φωτόνια

Με τον όρο "φωτοηλεκτρικό φαινόμενο" χαρακτηρίζεται η εκπομπή ηλεκτρονίων (φωτοηλεκτρονίων) από ένα μέταλλο όταν πέσει πάνω σε αυτό ορατό ή υπεριώδες φως.

Το "φωτοηλεκτρικό φαινόμενο" ανακαλύφθηκε από τον Hertz (το 1887) και ερμηνεύθηκε από τον Αϊνστάιν (το 1905), ο οποίος πήρε για την ερμηνεία του το Nobel Φυσικής (το 1921).

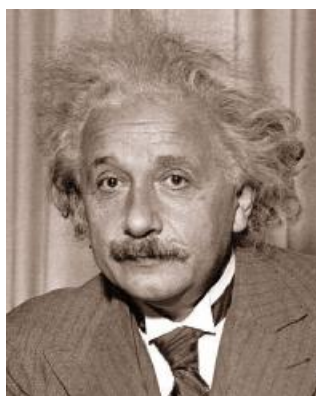
Πειραματικά δεδομένα για το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο (τα οποία δεν μπορούσαν να ερμηνευθούν από την τότε αποδεκτή κλασική θεωρία) είναι τα εξής:

1) Ο αριθμός των εκπεμπόμενων φωτοηλεκτρονίων (ένταση του φωτοηλεκτρικού ρεύματος) είναι ανάλογος προς την ένταση του προσπίπτοντος φωτός (αποδεκτό για την κλασική θεωρία) ενώ η μέγιστη κινητική τους ενέργεια είναι ανεξάρτητη της έντασης αυτής (θα έπρεπε να ήταν ανάλογη).

2) Η μέγιστη κινητική ενέργεια των φωτοηλεκτρονίων είναι ανάλογη προς τη συχνότητα του προσπίπτοντος φωτός (και όχι προς την έντασή του, όπως αναμενόταν).

3) Φωτοηλεκτρικό ρεύμα (φωτοηλεκτρόνια) εμφανίζονται μόνο όταν η συχνότητα του προσπίπτοντος φωτός υπερβεί μια ορισμένη τιμή (συχνότητα κατωφλίου) (ενώ δεν θα έπρεπε να υπάρχει οριακή συχνότητα).

4) Τα φωτοηλεκτρόνια εκπέμπονται από την μεταλλική επιφάνεια αμέσως μόλις αυτή φωτιστεί (άρα η μεταβίβαση της ενέργειας είναι στιγμιαία και όχι βαθμιαία, όπως ορίζει η κλασική θεωρία).



Οι υποθέσεις του Αϊνστάιν για την ερμηνεία του φωτοηλεκτρικού φαινομένου:

A) Το φως (συχνότητας f) αποτελείται από μια δέσμη "φωτεινών πακέτων" (φωτονίων) που το καθένα φέρει ενέργεια $E=hf$.

B) Κάθε φωτόνιο μπορεί να δώσει την ενέργειά του σε (και άρα να εξαγάγει) ένα μόνο ηλεκτρόνιο, και η μεταφορά αυτή της ενέργειας γίνεται ακαριαία.

Άρα, αν η ελάχιστη ενέργεια με την οποία το ηλεκτρόνιο είναι δέσμιο στο μέταλλο (που ισούται με το έργο το οποίο χρειάζεται για την υπερνίκηση των δυνάμεων που το κρατούν δέσμιο, και λέγεται έργο εξαγωγής) είναι Φ , τότε η μέγιστη κινητική ενέργεια των εκπεμπόμενων φωτοηλεκτρονίων (K_{\max}) θα δίδεται από τη σχέση

$$hf = K_{\max} + \Phi \quad (4.2)$$

Η παραπάνω εξίσωση είναι η εξίσωση του φωτοηλεκτρικού φαινομένου.



Το μοντέλο του Bohr για το άτομο

“Αν κάποιος δεν είναι συγκλονισμένος από την κβαντική πραγματικότητα τότε σίγουρα δεν την κατάλαβε”

Niels Bohr

Το δεύτερο πρόβλημα της κλασικής Φυσικής (θυμηθείτε το πρώτο αφορούσε το φάσμα που έδινε ένα θερμό σώμα) που προέτρεψε τους επιστήμονες να ψάξουν μια άλλη θεωρία, η οποία να συμφωνεί με τις παρατηρήσεις τους, ήταν το "ατομικό μοντέλο".

Θυμηθείτε το "πλανητικό μοντέλο" του ατόμου, που εισήγαγε στη Φυσική ο μεγάλος πειραματικός φυσικός Ernest Rutherford το 1911. Το μοντέλο αυτό ήταν μια μικρογραφία του ηλιακού μας συστήματος. Στη θέση των πλανητών φανταστείτε τα ηλεκτρόνια να περιφέρονται γύρω από τον Ήλιο που παίζει τον ρόλο του πυρήνα του ατόμου. Τα ηλεκτρόνια συγκρατούνται στην τροχιά τους από ηλεκτρομαγνητικές δυνάμεις (δυνάμεις Coulomb).

Το μοντέλο του Rutherford αδυνατούσε να εξηγήσει τα γραμμικά φάσματα των αερίων, αυτό συνέβαινε για τους παρακάτω λόγους:

Σύμφωνα με αυτό το μοντέλο, το ηλεκτρόνιο γύρω από τον πυρήνα σε κυκλική τροχιά. Το μέτρο της ταχύτητάς του είναι σταθερό, αλλά η κατεύθυνση της συνεχώς μεταβάλλεται και επομένως το ηλεκτρόνιο έχει επιτάχυνση. Σύμφωνα με την ηλεκτρομαγνητική θεωρία, το ηλεκτρόνιο, όπως και κάθε επιταχυνόμενο φορτίο εκπέμπει ακτινοβολία, δηλαδή ακτινοβολεί ενέργεια. Η ενέργεια του ηλεκτρονίου θα πρέπει να μειώνεται συνεχώς. Επομένως θα

πρέπει να κινείται σε σπειροειδή τροχιά με διαρκώς μειούμενη ακτίνα και με διαρκώς μεταβαλλόμενη συχνότητα, μέχρις ότου πέσει στον πυρήνα! Εντούτοις, κάτι τέτοιο δεν παρατηρείται, τα άτομα είναι σταθερά.

Για να λυθεί αυτό το πρόβλημα ο Δανός Φυσικός Niels Bohr πρότεινε ένα νέο πρότυπο για το άτομο του υδρογόνου. Αυτό το ατομικό μοντέλο στηριζόταν στις παρακάτω παραδοχές:

Το ηλεκτρόνιο του ατόμου του υδρογόνου περιφέρεται γύρω από το θετικά φορτισμένο πυρήνα με την επίδραση της δύναμης Coulomb που δέχεται από αυτόν.

Το ηλεκτρόνιο μπορεί να κινείται μόνο σε ορισμένες τροχιές, οι οποίες ονομάζονται επιτρεπόμενες τροχιές. Οι επιτρεπόμενες τροχιές είναι εκείνες για τις οποίες ισχύει ότι η στροφορμή του ηλεκτρονίου είναι κβαντισμένη και ίση με ακέραιο της ποσότητας $h/2\pi$, όπου h είναι η σταθερά του Planck. Το μέτρο της στροφορμής δίνεται από την εξίσωση:

$$L = m \cdot v \cdot r \quad (4.3)$$

όπου m είναι η μάζα του ηλεκτρονίου, v είναι το μέτρο της ταχύτητάς του και r η ακτίνα της κυκλικής τροχιάς του.

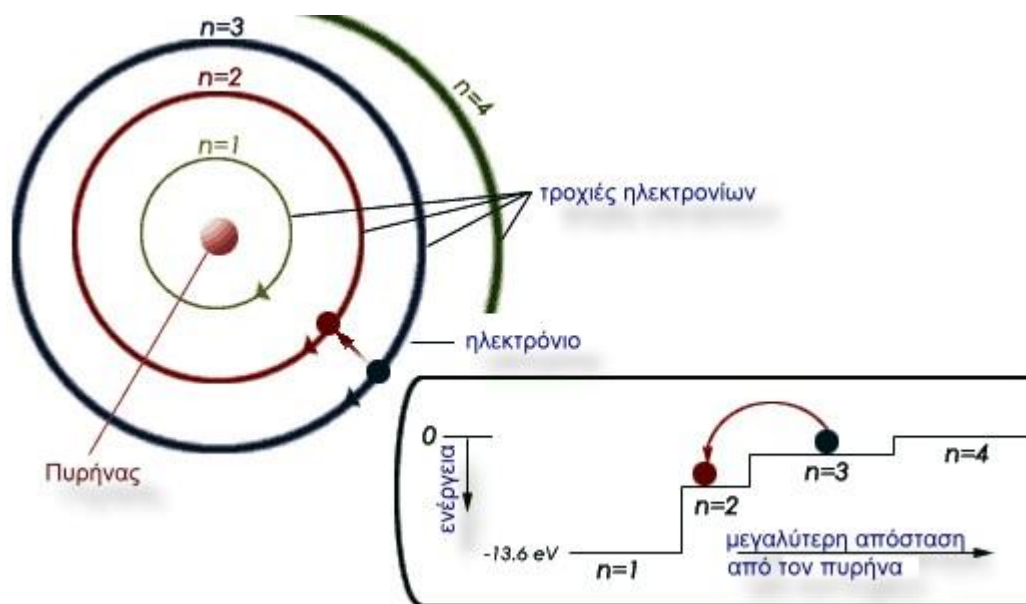
Εφαρμόζοντας τη συνθήκη σύμφωνα με την οποία η στροφορμή του ηλεκτρονίου είναι κβαντισμένη, έχουμε:

$$m \cdot v \cdot r = n \cdot \frac{h}{2 \cdot \pi} = n \cdot h', \quad n = 1, 2, 3, \dots, \infty \quad (4.4)$$

Όταν το ηλεκτρόνιο κινείται σε ορισμένη επιτρεπόμενη τροχιά δεν εκπέμπει ακτινοβολία. Η παραδοχή αυτή έρχεται σε αντίθεση με την ηλεκτρομαγνητική θεωρία σύμφωνα με την οποία το ηλεκτρόνιο θα έπρεπε να ακτινοβολεί συνεχώς ενέργεια, να διαγράφει σπειροειδή τροχιά με διαρκώς μειούμενη ακτίνα και τελικά να πέφτει στον πυρήνα.

Όταν το ηλεκτρόνιο μεταπηδήσει από μια επιτρεπόμενη τροχιά σε άλλη μικρότερης ενέργειας, τότε εκπέμπεται ένα φωτόνιο με ενέργεια ίση με την διαφορά μεταξύ της αρχικής και της τελικής του ενέργειας. Αν E_a είναι η ενέργεια του ατόμου πριν από την μετάβαση, E_t η ενέργεια μετά την μετάβαση και $h \cdot f$ η ενέργεια του εκπεμπόμενου φωτονίου, τότε ισχύει:

$$E_a - E_t = h \cdot f \quad (4.5)$$



Με το πρότυπό του, ο Bohr εξήγησε πώς τα ηλεκτρόνια θα μπορούσαν να πηδήσουν από μια τροχιά σε άλλη εκπέμποντας ή απορροφώντας ενέργεια. Παραδείγματος χάριν, εάν ένα ηλεκτρόνιο πηδά σε μια τροχιά πιο κοντά στον πυρήνα, πρέπει να εκπέμψει ενέργεια ίση με τη ενεργειακή διαφορά των δύο τροχιών. Αντιθέτως, όταν το ηλεκτρόνιο πηδά σε μια τροχιά πιο μακριά από τον πυρήνα, πρέπει να απορροφήσει ένα κβάντο φωτός ίσο με τη διαφορά ενέργειας των δυο τροχιών. Η θεωρία του Bohr ελέγχθηκε το 1914 από τον Hertz.

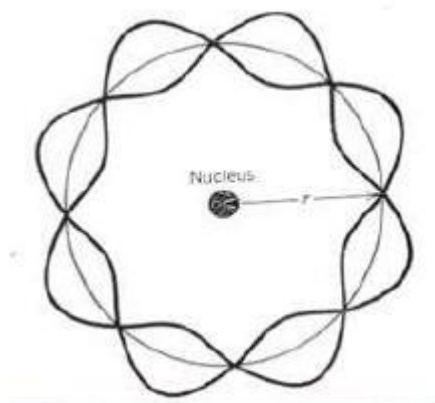
Ο τύπος του Μπορ ανταποκρινόταν καλά στο υδρογόνο και προέβλεπε τη θέση όλων των φασματικών γραμμών. Όταν όμως εφαρμόστηκε στο ήλιο, απέτυχε. Οι προβλεπόμενες τιμές δεν συμφωνούσαν με τις παρατηρούμενες φασματικές γραμμές.

Ο Μπορ είχε κάνει ένα σημαντικό βήμα, χρειαζόταν όμως μια μελέτη σε βάθος που θα εξηγούσε την επιτυχία της μεθόδου. Λίγα χρόνια αργότερα, αυτή ήρθε εντελώς απρόσμενα από τον γάλλο πρίγκιπα Λουί ντε Μπρολί



(Louis de Broglie). Ήταν ήδη γνωστό ότι το φως συμπεριφερόταν ως κύμα, ότι δηλαδή η κίνηση του είχε τη μορφή κύματος. Ο Ντε Μπρολί υπέθεσε ότι και τα σωματίδια της ύλης συμπεριφερόντουσαν ως

κύματα. Πιο συγκεκριμένα, στο μοντέλο ατόμου του υδρογόνου του Μπορ, το ηλεκτρόνιο αντιστοιχούσε σε ένα στάσιμο κύμα. Στάσιμα κύματα προκύπτουν όταν κινήσουμε ένα σχοινί έτσι ώστε τα "όρη που θα σχηματιστούν να παραμένουν στάσιμα (να κινούνται κατά μήκος του σχοινοῦ). Σύμφωνα με τον ντε Μπρολί, κάθε τοχιά του ατόμου του υδρογόνου διέθετε ένα διαφορετικό, αλλά πάντοτε ακέραιο, αριθμό από όρη.



Πιστεύοντας λοιπόν στη συμμετρία της φύσης ο de Broglie, έθεσε τέρμα στο διαχωρισμό σωματίδιο - κύμα, χρησιμοποιώντας το διάσημο τύπο του Einstein:

$$E = m \cdot c^2 = h \cdot f \quad (4.6)$$

Όπου m είναι η μάζα του σωματιδίου και c η ταχύτητα του φωτός

Η σύλληψη του de Broglie ήταν εμπνευσμένη. Εντούτοις η επιτροπή που εξέτασε την διατριβή του, θεώρησαν αυτήν την πτυχή της διατριβής του ένα έξυπνο μαθηματικό τεχνάσμα χωρίς ιδιαίτερη πρακτική αξία. Παρόλα αυτά του απονεμήθηκε ο διδακτορικός τίτλος και ο επιβλέπων του Paul Langevin έστειλε ένα αντίγραφο της εργασίας του de Broglie στον Einstein. Ήταν ο Einstein που επισήμανε αμέσως την αξία της εργασίας και των επιπτώσεών της.

Ο de Broglie τιμήθηκε με το Νόμπελ Φυσικής το 1929. Χάρης στην εργασία του τώρα ήταν σαφές ότι, *όλα "τα κύματα" πρέπει να συμπεριφέρονται ως "σωματίδια" και ότι όλα "τα σωματίδια" πρέπει να συμπεριφέρονται ως "κύματα"*.

Η είδηση διαδόθηκε γρήγορα και σύντομα οι επιστήμονες σε ολόκληρη την Ευρώπη ανυπομονούσαν να μάθουν για τη νέα θεωρία. Ο Έρβιν



Σρέντινγκερ (Erwin Schrödinger), καθηγητής στο Πανεπιστήμιο της Ζιρίχης, αποδέχθηκε μια πρόσκληση από το Πίτερ Ντιμπάι (Peter Debye) για μια σχετική διάλεξη (colloquium). Στη διάλεξη αυτή ο Σρέντινγκερ παρουσίασε μια σαφή εικόνα του έργου του ντε Μπρολί, περιγράφοντας τα στάσιμα κύματα και τον τρόπο με τον οποίο εξηγούσαν τις τροχιές του Μπορ. Μόλις ο Σρέντινγκερ ολοκλήρωσε, ο Ντιμπάι σηκώθηκε και είπε: << Σρέντινγκερ, ομιλείτε περί κυμάτων, αλλά που είναι η κυματική σας εξίσωση;>> πράγματι η κυματική εξίσωση ήταν αναγκαία. Πως όμως θα αναπαριστούσε το κύμα: Ο Σρέντινγκερ αποφάσισε να χρησιμοποιήσει μια κυματική συνάρτηση την οποία συμβόλισε με ψ . Στη συνέχεια διατύπωσε μια εξίσωση για την συνάρτηση ψ , η οποία είναι μία από τις διασημότερες εξισώσεις στην επιστήμη

$$i\hbar \frac{\partial \Psi}{\partial t} = -\frac{\hbar^2}{2m} \left(\frac{\partial^2 \Psi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \Psi}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \Psi}{\partial z^2} \right) \quad (4.7)$$

Όπου:

$$\frac{\partial \Psi}{\partial t}$$

συμβολίζει τη λεγόμενη μερική παράγωγο της συνάρτησης Ψ ως προς τον χρόνο και περιγράφει τη χρονική εξέλιξη της τιμής της Ψ , ή με άλλα λόγια τον ρυθμό μεταβολής της Ψ ενός σημείου

$$\frac{\partial \Psi}{\partial x}$$

συμβολίζει τη λεγόμενη μερική παράγωγο της συνάρτησης Ψ ως προς x περιγράφει τη «χωρική» εξέλιξη της τιμής της Ψ , το πώς δηλαδή εξελίσσεται η τιμή της Ψ , σε συνάρτηση με την απόσταση - x - από κάποιον άξονα.

$$\frac{\partial^2 \Psi}{\partial x^2}$$

περιγράφει τη χωρική εξέλιξη της παραπάνω συνάρτησης. Λέγεται δεύτερη (μερική) παράγωγος της Ψ ως προς x .

Όσο για τα υπόλοιπα σύμβολα της εξίσωσης. Το σύμβολο m παριστάνει τη μάζα του σωματιδίου, το σύμβολο \hbar παριστάνει το πηλίκο της h σταθεράς του Planck δια 2π και το i την τετραγωνική ρίζα του αριθμού -1 .

Αλλά ο Σρέντινγκερ κατάφερε πολύ περισσότερα από την ίδια την εξίσωση. Έθεσε τα θεμέλια μιας νέας περιγραφής του ατόμου και του φωτός, η οποία βασιζόταν στα κύματα. Η θεωρία αυτή συχνά αναφέρεται και ως κυματομηχανική. Τους επόμενους μήνες ο Σρέντινγκερ εφάρμοσε τη θεωρία του για να επιλύσει κάποια από τα δυσκολότερα προβλήματα της φυσικής.

Ποια ήταν όμως η ακριβής φύση της κυματικής συνάρτησης; Κανένας, συμπεριλαμβανομένου και του Σρέντινγκερ, δεν ήταν βέβαιος. Ο Σρέντινγκερ ήταν βεβαιωμένος ότι το ψ αναπαριστούσε το ηλεκτρόνιο ως ένα <<κυματοπακέτο>>, είχε όμως ανακαλύψει ότι το πακέτο αυτό δεν ήταν δυνατό να παραμείνει περιορισμένο και πως γρήγορα διαχεόταν στο χώρο.



Στα 1926 ο Μαξ Μπορν του Πανεπιστημίου του Γκέτινγκεν αποφάνθηκε ότι η κυματοσυνάρτηση δεν αναπαριστούσε το ίδιο το ηλεκτρόνιο, αλλά αποτελούσε ένα κύμα “πιθανότητας”, το οποίο έδινε την πιθανότητα κάποιας συγκεκριμένης θέσης του ηλεκτρονίου. Η ερμηνεία αυτή είναι σήμερα αποδεκτή.

Η Αρχή της Απροσδιοριστίας

Μέχρι το 1926 όλοι πίστευαν στην αιτιοκρατία. Αιτιοκρατία σημαίνει ότι ένας παρατηρητής μπορεί να κάνει πρόβλεψη για οτιδήποτε θα συμβεί στο Σύμπαν αρκεί να πληρούνται οι παρακάτω δυο προϋποθέσεις:

1. να γνωρίζει πλήρως την κατάσταση του Σύμπαντος κάποια χρονική στιγμή, και

2. να χρησιμοποιήσει ένα σύνολο επιστημονικών νόμων για να κάνει τους υπολογισμούς του.



Ο Heisenberg έδειξε ότι η πρώτη προϋπόθεση είναι αδύνατη. Απέδειξε ότι δεν μπορούμε να μετρήσουμε ταυτόχρονα τη θέση και τη ταχύτητα ενός σωματιδίου με όση ακρίβεια επιθυμούμε, ασχέτως εάν τα όργανα μέτρησης που χρησιμοποιούμε είναι πολύ ακριβή.

Ο πιο απλός τρόπος για να βρούμε τη θέση ενός σωματιδίου είναι να το φωτίσουμε φως. Ένα μέρος των φωτεινών κυμάτων θα σκεδαστεί από το σωματίδιο και έτσι θα προσδιορίσουμε τη θέση που βρίσκεται. Η ακρίβεια που θα έχουμε στον προσδιορισμό της θέσης του σωματιδίου εξαρτάται από το μήκος κύματος των φωτεινών κυμάτων που θα χρησιμοποιήσουμε. Επομένως για να μετρήσουμε με μεγάλη ακρίβεια τη θέση του σωματιδίου χρειαζόμαστε φωτεινά κύματα με μικρό μήκος κύματος.

Λόγω της υπόθεσης του Planck δεν μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε τυχαία ένα οσοδήποτε μικρό ποσό φωτός, αλλά το ελάχιστο που μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε είναι τουλάχιστον ένα κβάντο φωτός. Αυτό το κβάντο φωτός θα αλληλεπιδράσει με το σωματίδιο και θα του αλλάξει την ταχύτητά του κατά τρόπο μη προβλέψιμο. Επιπλέον, εάν θέλουμε να είναι όσο το δυνατόν πιο ακριβής η μέτρηση της θέσης του σωματιδίου, τόσο πιο μικρό

μήκος κύματος χρειαζόμαστε, αλλά τότε μεγαλώνει πολύ η ενέργεια του φωτόνιου και κατά συνέπεια η ταχύτητα του σωματιδίου θα μεταβληθεί πολύ.

Με απλά λόγια: " όσο πιο ακριβής είναι η μέτρηση της θέσης ενός σωματιδίου τόσο λιγότερο ακριβής είναι η μέτρηση της ταχύτητάς του και αντιστρόφως".

Ο Heisenberg έδειξε ότι, αν πολλαπλασιάσουμε την απροσδιοριστία στη θέση του σωματιδίου επί την απροσδιοριστία στην ταχύτητά του επί τη μάζα του, θα έχουμε έναν αριθμό που δεν μπορεί ποτέ να γίνει πιο μικρός από ορισμένη ποσότητα, τη λεγόμενη σταθερά του Planck. Η μαθηματική σχέση που εκφράζει την αρχή αβεβαιότητας του Heisenberg είναι η παρακάτω:

$$\Delta p_x \cdot \Delta x \geq \frac{h}{4 \cdot \pi} \quad (4.8)$$

Η αρχή αβεβαιότητας βάζει ένα όριο στην ακρίβεια των μετρήσεων που μπορούμε να κάνουμε, αυτό το όριο δεν εξαρτάται ούτε από την μέθοδο μέτρησης που χρησιμοποιούμε, αλλά ούτε και από το είδος του σωματιδίου (δηλ. αν είναι πρωτόνιο ή ηλεκτρόνιο ή νετρόνιο κ.λ.π.).

Η αρχή αβεβαιότητας του Heisenberg είναι θεμελιώδης, αναπόδραστη χαρακτηριστική ιδιότητα του Κόσμου.

Η αρχή αβεβαιότητας είχε βαθιά επίπτωση στην εικόνα του ανθρώπου για τον Κόσμο. Αν και πέρασαν περισσότερα από πενήντα χρόνια, αυτή η επίπτωση δεν έχει κατανοηθεί από πολλούς φιλοσόφους, και εξακολουθεί να αποτελεί αντικείμενο διαμάχης. Επίσης σήμανε το τέλος του ονείρου του Laplace για μια θεωρία της φυσικής και ένα μοντέλο του Σύμπαντος που θα ήταν απόλυτα ντετερμινιστικά: δεν μπορούμε βέβαια να προβλέψουμε με απόλυτη ακρίβεια τα μελλοντικά γεγονότα του Σύμπαντος αν δεν μπορούμε να προσδιορίσουμε με απόλυτη ακρίβεια ούτε την σημερινή του κατάσταση! Αν και έχουμε κάποια στατιστικά εργαλεία που τουλάχιστον για το δικό μας κόσμο λειτουργούν. Πάντα όμως θα παραμένουν στατιστικά.

Στα τέλη της δεκαετίας του 1920, η κβαντική μηχανική ήταν καλά θεμελιωμένη και είχε εφαρμοστεί σε πολλά διαφορετικά προβλήματα. Ήταν

μια έξοχη θεωρία που λειτουργούσε καλά στο βασίλειο των ατόμων. Διέφερε ωστόσο ριζικά από την κλασική μηχανική. Αντίθετα με την τελευταία, περιόριζε τα σωματίδια σε ένα φάσμα από ενεργειακές στάθμες. Τον περισσότερο χρόνο τα σωματίδια βρισκόταν στην κατώτερη ή θεμελιώδη στάθμη. Όταν όμως φωτιζόταν από μια δέσμη φωτός (ακτινοβολίας), μετεβαίνουν σε ενεργειακά υψηλότερες στάθμες, με άλλα λόγια, σε διεγερμένες καταστάσεις.

ΜΗ ΤΟΠΙΚΟΤΗΤΑ, E-P-R, ΘΕΩΡΗΜΑ ΤΟΥ BELL ΚΑΙ ΚΒΑΝΤΙΚΟΣ ΣΥΣΧΕΤΙΣΜΟΣ ΕΝΑ ΑΣΥΛΛΗΠΤΟ ΓΕΓΟΝΟΣ

Ο Άλμπερτ Αϊνστάιν δεν συμπαθούσε τη φυσική των κβάντων. Μεταξύ άλλων, αντέδρασε στο τυχαίο που περιγράψαμε παραπάνω με την περιβόητη φράση “Ο Θεός δεν παίζει ζάρια με το Σύμπαν”. Στο οποίο ο Νιλς Μπορ



απάντησε:” Πάψε να λες στο Θεό τι να κάνει!”.

Σε μια προσπάθεια να αποδειχθεί πως η κβαντική θεωρία ήταν ελλιπής, το 1935, οι Einstein, Podolsky και Rosen (EPR) δημοσίευσαν ένα νοερό πείραμα που προσπαθούσε να αποδείξει τη γελοιότητα των ισχυρισμών της κβαντικής θεωρίας. Σκεπτόμενοι έξυπνα, εξαίρεσαν μία από τις συνέπειες των κβάντων που δεν είχε κατανοηθεί ιδιαίτερα εκείνη την εποχή: Κανονίζετε να έχετε δύο σωματίδια που δημιουργούνται ταυτόχρονα, που σημαίνει πως βρίσκονται σε συσχετισμό ή σε υπέρθεση. Μετά τα εκτοξεύετε προς αντίθετες κατευθύνσεις του σύμπαντος. Κάνετε, κατόπιν, κάτι στο ένα σωματίδιο για να αλλάξετε την κατάσταση του. Το άλλο σωματίδιο αλλάζει ακαριαία για να υιοθετήσει μια αντίστοιχη κατάσταση. Ακαριαία!

Η ιδέα ήταν τόσο κωμική που ο Einstein αναφερόταν σε αυτήν ως “απόκοσμη δράση από απόσταση”. Σύμφωνα με τη δική του θεωρία της σχετικότητας τίποτα δεν μπορεί να ταξιδέψει γρηγορότερα από το φως. Κι

αυτό ήταν απείρως πιο γρήγορο. Επιπλέον, η ιδέα πως ένα ηλεκτρόνιο μπορεί να παρακολουθεί στενά ένα άλλο στην αντίθετη μεριά του σύμπαντος, απλώς παραβίαζε κάθε αίσθηση της πραγματικότητας.

Εν συνεχεία, το 1964, ο John Bell δημιούργησε μια θεωρία που στην ουσία έλεγε πως η θεωρία (E-P-R) ήταν σωστή. Αυτό ακριβώς συμβαίνει: η ιδέα ότι κάτι είναι τοπικό ή υπάρχει σε μία μόνο θέση, είναι εσφαλμένη. Τα πάντα είναι μη τοπικά. Τα σωματίδια συνδέονται στενά σε ένα επίπεδο που είναι πέραν του χρόνου και του χώρου.

Στα χρόνια που πέρασαν από τότε ο Bell δημοσίευσε το θεώρημά του, η ιδέα αυτή επαληθεύτηκε πολλές φορές στο εργαστήριο. Ο χρόνος και ο χώρος, τα βασικότερα χαρακτηριστικά του σύμπαντος στο οποίο ζούμε, έχουν κατά κάποιον τρόπο παραγκωνιστεί στον κόσμο των κβάντων από την ιδέα πως όλα βρίσκονται σε επαφή όλη την ώρα. Δεν είναι παράξενο που ο Einstein πίστευε πως αυτό θα αποτελούσε τη χαριστική βολή για την κβαντομηχανική;

Μολαταύτα, αυτό το φαινόμενο φαίνεται να αποτελεί ένα εφασμόσιμο νόμο του σύμπαντος. Στην ουσία, ο Σρέντινγκερ φέρεται να έχει πει πως ο κβαντικό συσχετισμός δεν ήταν μια από τις ενδιαφέρουσες απόψεις περι κβάντων αλλά ήταν η άποψη. Το 1975, ο θεωρητικός φυσικός Henry Stapp αποκάλεσε το θεώρημα του Bell την πιο βαθυστόχαστη ανακάλυψη της επιστήμης.

ΤΙ ΕΙΝΑΙ ΤΟ ΣΤΟΙΧΕΙΩΔΕΣ ΣΩΜΑΤΙΔΙΟ

Το ερώτημα <<τι είναι ένα στοιχειώδες σωματίδιο>> πρέπει κυρίως, όπως είναι φυσικό, να απαντηθεί πειραματικά. Θα συνοψίσω λοιπόν τα σπουδαιότερα πειραματικά αποτελέσματα.

Γύρω στο 1930 ο Dirac, στη θεωρία του για τα ηλεκτρόνια, προέβλεψε ότι εκτός από τα ηλεκτρόνια θα έπρεπε να υπάρχουν και τα κατάλληλα αντισωματίδια: τα ποζιτρόνια. Λίγα χρόνια αργότερα επιβεβαιώθηκε πειραματικά από τους Anderson και Blackett η ύπαρξη των ποζιτρονίων, η εμφάνισή τους κατά τη δίδυμη γένεση και με αυτό τον τρόπο η ύπαρξη της αντιύλης.

Το επόμενο συμαντικό βήμα ήταν ή ανακάλυψη από τον Fermi της τεχνητής ραδιενέργειας. Έγινε γνωστό από πολλά πειράματα ότι ένας ατομικός πυρήνας μπορεί να μετατραπεί σε κάποιον άλλο με εκπομπή σωματιδίων, αν το επιτρέπουν οι νόμοι διατήρησης ενέργειας, της στροφορμής, του ηλεκτρικού φορτίου κ.λ.π.

Τη δεκαετία του 1930 έγινε ακόμη μία σημαντική πειραματική ανακάλυψη. Βρέθηκε ότι στην κοσμική ακτινοβολία υπάρχουν σωματίδια με πολύ μεγάλη ενέργεια, τα οποία όταν συγκρουστούν με άλλα σωματίδια, ας πούμε ένα πρωτόνιο, στο γαλάκτωμα μιας φωτογραφικής πλάκας, καταλήγουν σε έναν καταγισμό πολλών δευτερογενών σωματιδίων. Αργότερα αποδείχθηκε ότι ακόμη και σε σύγκρουση δύο σωματιδίων μεγάλης ενέργειας συμβαίνει πράγματι πολλαπλή γένεση δευτερογενών σωματιδίων. Το 1940, ο Powell ανακάλυψε τα πιόνια, τα οποία έχουν τον κύριο λόγο σ'αυτούς τους καταγισμούς.

Στα πειράματα του '50 και του '60 αυτή η καινούργια κατάσταση επιβεβαιώθηκε επανειλημμένα: ανακαλύφθηκαν πολλά νέα σωματίδια με μεγάλη ή μικρή διάρκεια ζωής και καμία σαφής απάντηση δεν μπορούσε πλέον να δοθεί στο ερώτημα από τι συνίσταται τα σωματίδια αυτά, αφού το εν λόγω ερώτημα δεν είχε πια ουσιαστικό νόημα. Η μετατροπή ενέργειας σε ύλη, η οποία είχε ήδη αναγνωριστεί από τον Einstein ήταν η απάντηση.

Αν θέλουμε να συγκρίνουμε τα σύγχρονα αποτελέσματα της φυσικής των στοιχειωδών σωματιδίων με κάποια από τις αρχαίες φιλοσοφίες δεν θα είναι αυτή του Δημόκριτου αλλά η φιλοσοφία του Πλάτωνα. Τα σωματίδια της σύγχρονης φυσικής είναι αναπαραστάσεις ομάδων συμμετρίας, αυτό μας διδάσκει η κβαντική θεωρία, και γι'αυτόν ακριβώς το λόγο μοιάζουν με τα συμμετρικά σώματα της πλατωνικής θεωρίας.

Η φράση λοιπόν "Από τι συνίσταται ένα πρωτόνιο;" Δεν έχει κανένα νόημα. Ο Μπορ συνίθηζε να λέει μια ιστορία περί αυτού:

Ένα μικρό παιδί μπαίνει σ'ένα κατάστημα κρατώντας ένα νόμισμα 20 λεπτών και λέει στον καταστηματούχο ότι θέλει να αγοράσει ανακατεμένα γλυκίσματα αξίας 20 λεπτών. Ο καταστηματούχος του δίνει δύο καραμέλες και του λέει: <<Ανακάτεψε τις μόνος σου!>>

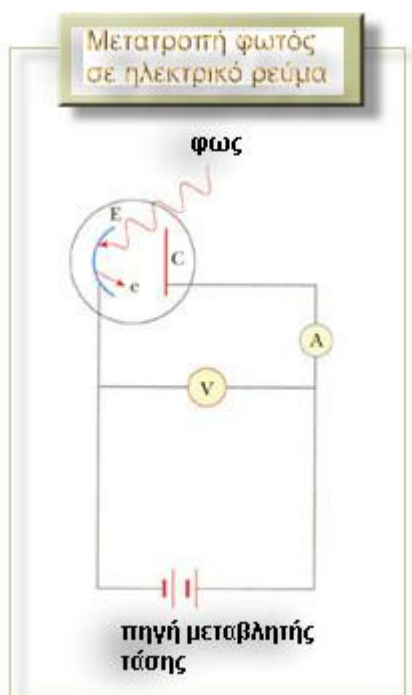
Ο Heisenberg λέει:

<<Πολλοί θα έχουν έχουν αντίθετη άποψη όσον αφορά το ότι η υπόθεση για την ύπαρξη των κουάρκ έχει προέλθει από εμπειρικά ευρήματα, με άλλα λόγια όσον αφορά την καθιέρωση της καταλληλότητας της ομάδας SU_3^8 σε εμπειρικό επίπεδο. Το ίδιο θα ισχύει και για την ερμηνεία πολλών πειραμάτων με τη χρήση της ομάδας SU_3 . Δεν υπάρχει αφανώς πίσω από την υπόθεση των κουάρκ η αντίληψη, που ανασκευάστηκε εδώ και καιρό πειραματικά, ότι μπορούμε να κάνουμε διάκριση ανάμεσα σε απλά και σύνθετα σωματίδια;>>

ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ

ΦΩΤΟΗΛΕΚΤΡΙΚΟ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ

Η κύρια εφαρμογή του φωτοηλεκτρικού φαινομένου είναι η διαδικασία μετασχηματισμού του φωτός σε ηλεκτρικό ρεύμα (αυτό επιτυγχάνεται με τις φωτοβολταϊκές κυψέλες). Στο διπλανό σχήμα απεικονίζεται μια συσκευή που λειτουργεί με βάση το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο. Ένας αερόκενος σωλήν-νας περιέχει μια μεταλλική πλάκα (E) που συνδέεται με την κάθοδο της πηγής, ενώ μια άλλη μεταλλική πλάκα (C) συνδέεται με τον θετικό πόλο της πηγής.



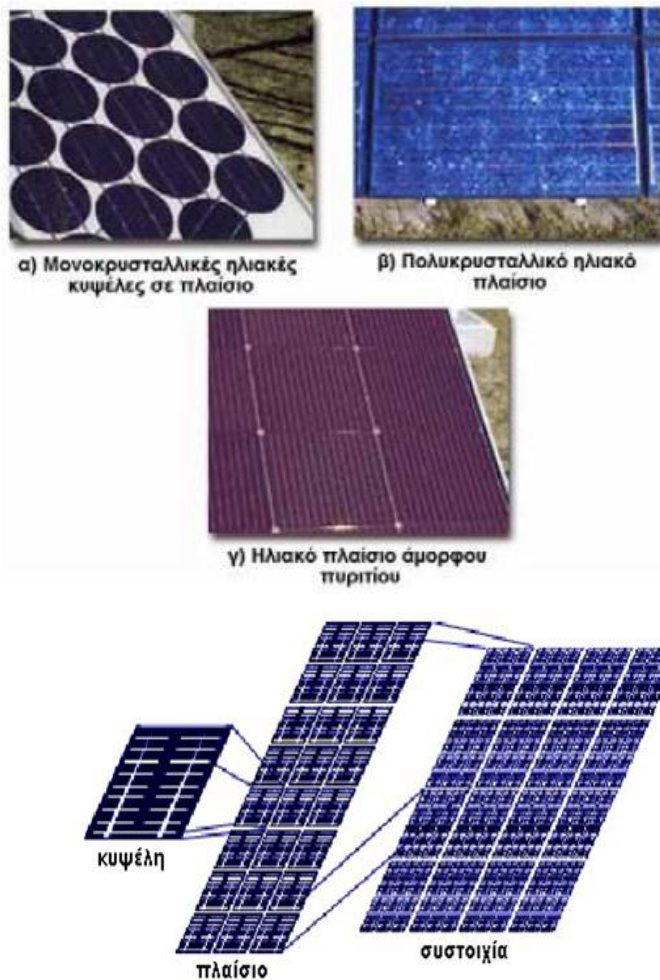
Όταν ο σωλήνας δεν φωτίζεται το αμπερόμετρο δεν δείχνει κάποια ένδειξη. Όταν όμως φωτιστεί η πλάκα (E) με φως που έχει μήκος κύματος μικρότερο από κάποιο ιδιαίτερο μήκος κύματος - που εξαρτάται από το μέταλλο που χρησιμοποιείται - τότε το αμπερόμετρο δείχνει ένδειξη, δηλαδή το κύκλωμα διαρρέεται από ηλεκτρικό ρεύμα. Αυτό το ρεύμα προκύπτει από τα φωτοηλεκτρόνια που εκπέμπονται από την αρνητική πλάκα (εκπομπός) και στη συνέχεια συλλέγονται από τη θετική πλάκα (συλλέκτης).

Οι πιο απλές φωτοβολταϊκές κυψέλες κατασκευάζονται σήμερα από ημιαγώγιμα υλικά δύο στρωμάτων, με επικρατέστερο το πυρίτιο (Si). Με την πρόσπτωση ηλιακής ακτινοβολίας εμφανίζεται μια διαφορά δυναμικού (τάση) μεταξύ των δύο αυτών στρωμάτων. Οι εμπορικά διαθέσιμες σήμερα ηλιακές κυψέλες πυριτίου μπορούν να μετατρέψουν σε ηλεκτρισμό το 18-19 % περίπου της ηλιακής ακτινοβολίας ορατού φάσματος. Οι ηλιακές κυψέλες πυριτίου διακρίνονται σε τρεις μεγάλες κατηγορίες. Ανάλογα με την επεξεργασία που επιδέχεται η πρώτη ύλη κατασκευής τους, κατασκευάζονται κυψέλες από άμορφο, μονοκρυσταλλικό και πολυκρυσταλλικό πυρίτιο.

Οι κυψέλες μονοκρυσταλλικού πυριτίου απαιτούν πρώτη ύλη πολύ υψηλής καθαρότητας και έχουν την υψηλότερη απόδοση μετατροπής ηλιακής ακτινοβολίας προς ηλεκτρική ενέργεια, έχουν όμως και την υψηλότερη τιμή αγοράς.

Οι κυψέλες πολυκρυσταλλικού πυριτίου είναι φθηνότερες, επειδή βασίζονται σε απλούστερη μέθοδο παραγωγής, αλλά έχουν μικρότερο βαθμό απόδοσης σε σχέση με τις μονοκρυσταλλικές.

Το άμορφο πυρίτιο χρησιμοποιείται για την κατασκευή κυψελών υπό μορφή λεπτής μεμβράνης. Οι κυψέλες αυτές έχουν το μικρότερο βαθμό απόδοσης, όμως παρουσιάζουν ιδιαίτερο ενδιαφέρον σε εξειδικευμένες εφαρμογές, όπως αναφέρεται και στη συνέχεια.

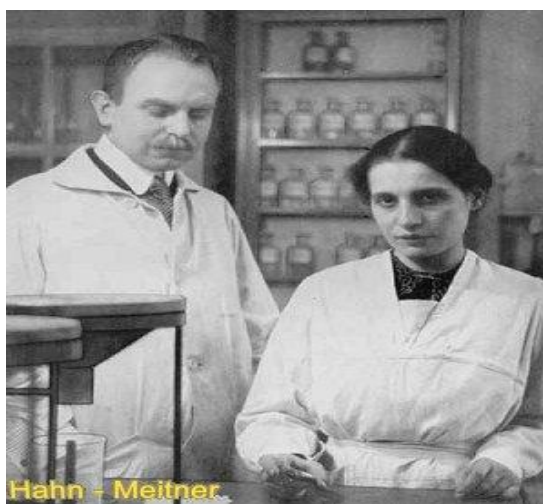


Τα τελευταία χρόνια η ενεργειακή κρίση έχει αρχίσει και γίνεται ορατή σε όλες τις εκφάνσεις της καθημερινής ζωής, επηρεάζοντάς την σε σημαντικό βαθμό. Τα αποθέματα πετρελαίου λιγοστεύουν με ταχύτατους ρυθμούς ενώ η ζήτηση αυξάνεται με φρενήρεις ρυθμούς. Ταυτόχρονα, οι φυσικές καταστροφές, σημαντικό μέρος των οποίων αποδίδεται στην κλιματική αλλαγή, που με τη σειρά της αποδίδεται –εν μέρει- στην ρύπανση εξαιτίας της παραγωγής και χρήσης συμβατικών μορφών ενέργειας, και στη συνεχιζόμενη μόλυνση του περιβάλλοντος κατέστησαν αναγκαία την εκμετάλευση του φ/β. Εκτός της ανάγκης για ενέργεια φιλική προς το περιβάλλον είναι και η χαρά της ενεργειακής ανεξαρτησίας του ανθρώπου. Είναι μια ελευθερία που σιγά σιγά θα μπει στη ζωή μας.

ΠΥΡΗΝΙΚΑ ΟΠΛΑ



Η διερεύνηση των πυρηνικών αντιδράσεων είχε αρχίσει ήδη στα τέλη του 19ου αιώνα από τους Bequerel και το ζεύγος Maria Sklodowska και Pierre Curie. Το έτος 1898 εισήγαγε ο Γερμανός φυσικός Hans Friedrich Geitel (Γκάρτελ, 1855-1923) τον όρο «ατομική ενέργεια» αναφερόμενος στα φαινόμενα που σχετίζονται με διεργασίες ραδιενεργού διάσπασης. Αργότερα προστέθηκε ως συνώνυμο ο όρος «πυρηνική ενέργεια».



Με αξιοποίηση της κβαντομηχανικής και της θεωρίας της σχετικότητας των αρχών του 20ου αιώνα και άλλων βελτιωμένων θεωριών που αναπτύχθηκαν μέχρι τα τέλη της δεκαετίας του 1930, πέτυχαν οι Otto Hahn (Χαν, 1879-1968) και Fritz Strassmann (Στράσμαν, 1902-1980) το έτος 1938

τη διάσπαση του ατόμου ουρανίου, η οποία εξηγήθηκε θεωρητικά από την Lise Meitner (Μάιτνερ, 1878-1968) και τον ανεψιό και συνεργάτη της Otto Robert Frisch (Φρις, 1904-1979). Σημαντικές γνώσεις στο θέμα της αλυσιδωτής ή αλυσωτής πυρηνικής αντίδρασης προσέφεραν επίσης οι σύζυγοι Jean Frederic Joliot (Ζολιό, 1900-1958) και Irene Joliot-Curie (Ζολιό-Κιουρί, 1897-1956), κόρη της Μαρίας Κιουρί. Το ζεύγος Ζολιό-Κιουρί είχε πάρει ήδη το έτος 1935 το βραβείο Νόμπελ για εργασίες του στην πυρηνική φυσική.

Τα γεγονότα περί τη διάσπαση του ατόμου κρύβουν όμως επίσης σημαντικές πολιτικές και κοινωνικές αντιπαραθέσεις, αλλά και προβλήματα προσωπικών σχέσεων και συνειδήσεων. Συγκεκριμένα, ο Γερμανός χημικός Χαν και η Αυστριακή φυσικός Μάιτνερ ήταν από τις αρχές του 20ου αιώνα και επί 3 δεκαετίες συνεργάτες στο Βερολίνο, όπου στο κράτος της Πρωσίας εκείνης της εποχής δεν επιτρεπόταν ακόμα να σπουδάζουν γυναίκες σε πανεπιστήμιο. Η Μάιτνερ, ήδη διδάκτωρ του πανεπιστημίου της Βιέννης, έμπαινε στα πανεπιστημιακά εργαστήρια από την πόρτα του υπηρετικού προσωπικού και προσέφερε επιστημονικό έργο χωρίς οποιαδήποτε αμοιβή! Μέχρι το 1910 είχαν ανακαλύψει οι δύο ερευνητές διάφορα νουκλίδια και στη συνέχεια είχαν επιστημονική γνωριμία με τον Einstein και τη Maria Curie. Μεταξύ 1912 και 1915 εργάστηκε η Μάιτνερ ως βοηθός του Planck στο Βερολίνο, πάλι χωρίς αμοιβή. Με το τέλος του α' παγκόσμιου πολέμου συνέχισε τη συνεργασία της με τον Χαν και ανακάλυψαν μαζί το ισότοπο πρωτακτίνιο 231. Από το έτος 1918 έγινε η Μάιτνερ έμμισθη ερευνήτρια και το 1926 καθηγήτρια στο πανεπιστήμιο του Βερολίνου.

Ο Ότο Φρις έδωσε κάποια στιγμή στον Δανό φυσικό Niels Bohr, με τον οποίο συνεργαζόταν, πληροφορίες για τα πειράματα του Χαν, τη σημασία τους και τη θεωρητική εξήγηση που έδωσαν η Μάιτνερ και ο ίδιος, πριν ακόμα δημοσιευτεί η εργασία στο αγγλικό επιστημονικό περιοδικό Nature. Κάθε μνημένος ερευνητής καταλάβαινε πλέον ότι έτσι είχε ανοίξει ο δρόμος για την αξιοποίηση της πυρηνικής ενέργειας και για την κατασκευή νέου τύπου όπλων. Λέγεται ότι ο Bohr είπε αυθόρμητα μπροστά στον Φρις, όταν άκουσε τις πληροφορίες για την πυρηνική διάσπαση: «Αχ, πόσο ηλίθιοι είμαστε!».

Ακολούθησε η εσπευσμένη επίσκεψη του Bohr στην Αμερική, όπου ενημέρωσε τον Einstein και άλλους ερευνητές για τον κίνδυνο που διέτρεχε η

ανθρωπότητα, αν ανέπτυσσε η ναζιστική Γερμανία πυρηνικά όπλα. Έτσι αποφασίστηκε από την κυβέρνηση των ΗΠΑ, που ενημερώθηκε σχετικά, να χρηματοδοτηθεί ένα έργο (Σχέδιο Manhattan) για την κατασκευή πυρηνικών όπλων, των οποίων η επιρροή στις πολεμικές εξελίξεις ήταν ακόμα ασαφής, αν και η ποσότητα της απελευθερούμενης κατά τη διάσπαση του ατόμου ενέργειας πρέπει να έδινε μια εικόνα των αναμενόμενων επιπτώσεων.

Το έτος 1942 πέτυχε ο Ιταλός φυσικός Enrico Fermi (Φέρμι, 1901-1954) την πρώτη ελεγχόμενη πυρηνική αλυσωτή αντίδραση σε ένα πυρηνικό αντιδραστήρα στο Σικάγο. Ο Φέρμι είχε ανακαλύψει ήδη το έτος 1934 ότι με βομβαρδισμό των πυρήνων με νετρόνια (ουδετερόνια) εξελίσσονται οι πυρηνικές διεργασίες πολύ αποδοτικότερα. Το 1938 είχε απονεμηθεί στον Φέρμι το βραβείο Νόμπελ φυσικής.



Στο θεωρητικό τομέα προέκυψε, μετά από πολλές συσκέψεις, ότι είναι δυνατή η κατασκευή μίας βόμβας που λειτουργεί με την αρχή της πυρηνικής διάσπασης, και ότι για την εκκίνηση της αλυσωτής αντίδρασης απαιτείται μια κρίσιμη μάζα ραδιενεργού υλικού. Το πρόβλημα που έπρεπε ακόμα να λυθεί ήταν η ελεγχόμενη εκκίνηση της αλυσωτής αντίδρασης. Αυτό ήταν δυνατόν να γίνει, είτε με τη βίαιη συνένωση δύο υποκρίσιμων μαζών U-235 ή με τη συμπίεση μιας υποκρίσιμης μάζας πλουτωνίου, η οποία επιτυγχάνεται με γειτονική έκρηξη συμβατικού εκρηκτικού υλικού.

Ο Edward Teller υπέβαλε μια πιο προχωρημένη πρόταση: Να επενδυθεί η κρίσιμη μάζα με κέλυφος δευτερίου ή τριτίου (ισότοπα του υδρογόνου), ώστε να εξομοιωθεί η λειτουργία καύσης στον πυρήνα των άστρων. Αυτές οι ιδέες θεωρήθηκαν αρχικά πρακτικά ανεφάρμοστες, μετά το β' παγκόσμιο πόλεμο υλοποιήθηκαν όμως ως σύντηξη πυρήνων και οδήγησαν στην κατασκευή της λεγόμενης υδρογονοβόμβας.

Το καλοκαίρι του 1942 διαπιστώθηκε μια αύξηση της παραγωγής δευτερίου και τριτίου σε εργοστάσιο της Νορβηγίας, η οποία ήταν υπό γερμανική κατοχή. Αυτό προκάλεσε υποψίες στους Αμερικάνους ερευνητές για την πιθανότητα να προηγηθούν οι Γερμανοί ερευνητές υπό την καθοδήγηση του ναζιστικού καθεστώτος στην κατασκευή της ατομικής βόμβας. Λόγω δε του γεγονότος ότι είχαν απλωθεί στην Αμερική οι συζητήσεις, οι μελέτες και τα πειράματα σε όλη τη χώρα, παρά τα σημαντικά μέτρα μυστικότητας που είχαν ληφθεί, κρίθηκε αναγκαία η συγκέντρωση ανθρώπων και δραστηριοτήτων σε μία ελεγχόμενη περιοχή της χώρας. Έτσι αποφασίστηκε η δημιουργία ενός κέντρου ανάπτυξης της ατομικής βόμβας στο Los Alamos, στην έρημο του Νέου Μεξικού.

Υπό τη γενική διεύθυνση του Οπενχάιμερ δημιουργήθηκε έτσι το ερευνητικό και κατασκευαστικό κέντρο στην έρημο, για το οποίο αξιοποιήθηκαν όλοι σχεδόν οι σχετικοί ερευνητές και τεχνικοί που βρίσκονταν στις ΗΠΑ, έστω και εξ αποστάσεως ως σύμβουλοι. Συνολικά εργάστηκαν για την κατασκευή της ατομικής βόμβας περί τα 100.000 άτομα. Όταν, τελικά, έγινε στις 16 Ιουλίου 1945 η πρώτη δοκιμαστική έκρηξη μιας βόμβας πλουτωνίου στο Alamogordo, κοντά στο Los Alamos, με εκρηκτική ισχύ 21 χιλιάδων τόνων TNT, είχε επιτευχθεί ο στόχος του σχεδίου Manhattan και είχε αρχίσει η εποχή των πυρηνικών όπλων στην υφήλιο.

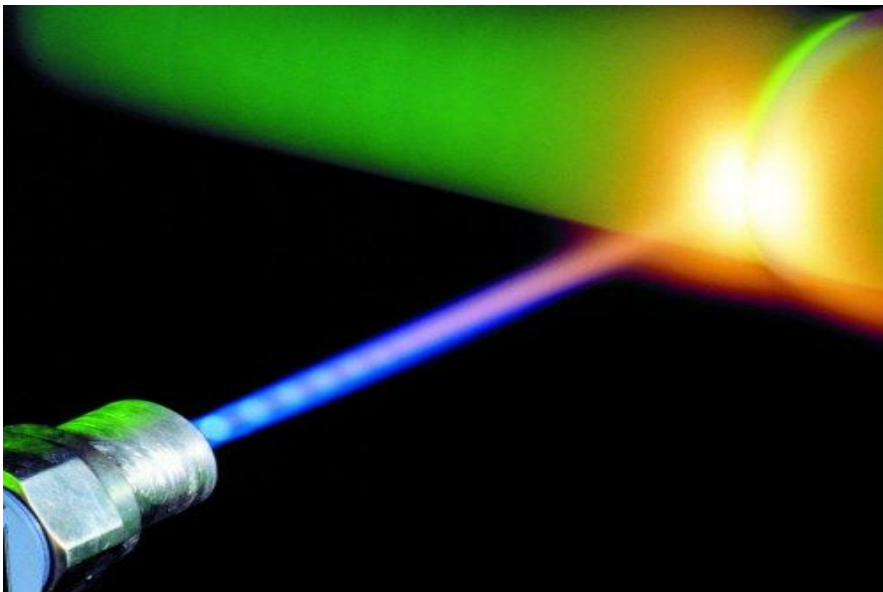
Ο πόλεμος στην Ευρώπη είχε όμως ήδη τελειώσει με τη συνθηκολόγηση των δυνάμεων του άξονα το Μάιο του 1945, οπότε δεν χρειάστηκε να δοκιμαστεί αυτή η νέα βόμβα σε ευρωπαϊκό έδαφος. Η Ιαπωνία δεν είχε όμως ακόμα συνθηκολογήσει, αν και τυπικά ο πόλεμος είχε λήξει, οπότε η αμερικάνικη κυβέρνηση έκρινε σκόπιμο, χωρίς σοβαρό στρατιωτικό λόγο, να ρίξει στις 6 Αυγούστου 1945 μία βόμβα ουρανίου-235 στη Χιροσίμα και στις 9 Αυγούστου 1945 μία βόμβα πλουτωνίου-239 στο Ναγκασάκι. Προφανέστατα, επρόκειτο για δοκιμή του νέου όπλου σε ζωντανούς στόχους!



Η πόλη της Χιροσίμα μετά την έκρηξη της ατομικής βόμβας

Αμέσως μετά υποχώρησε το ιαπωνικό καθεστώς αφού πήρε επίσημη διαβεβαίωση από τους Αμερικάνους, όχι ότι δεν θα ρίξουν άλλες ατομικές βόμβες, αλλά ότι θα επιτρέψουν να συνεχιστεί η αυτοκρατορική δυναστεία στην Ιαπωνία, η οποία επιβιώνει μέχρι τις αρχές του 21ου αιώνα.

Laser



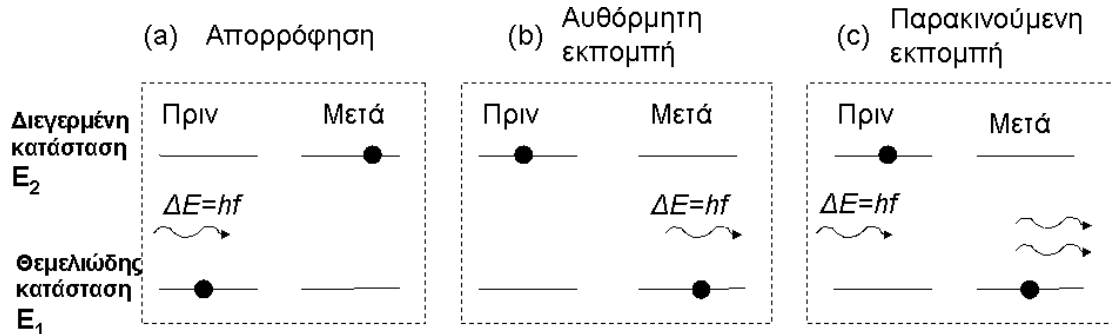
Αρχή λειτουργίας

Στις συνηθισμένες θερμοκρασίες τα ηλεκτρόνια ενός ατόμου βρίσκονται κυρίως στη χαμηλότερη δυνατή ενεργειακή τους στάθμη. Τότε λέμε ότι το άτομο βρίσκεται στη θεμελιώδη του κατάσταση. Στην περίπτωση αυτή το άτομο μπορεί να διεγερθεί, δηλ. κάποιο από τα ηλεκτρόνιά του να μεταβεί σε

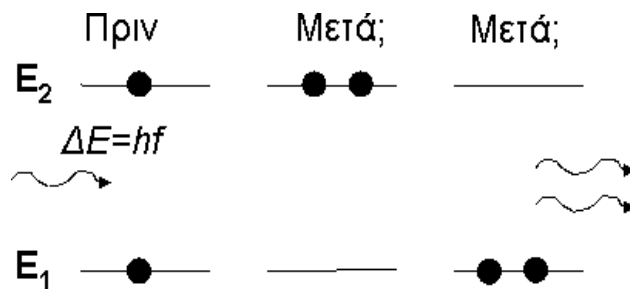
υψηλότερη ενεργειακή στάθμη, απορροφώντας ένα φωτόνιο ενέργειας ίσης με τη διαφορά ενέργειας των σταθμών μεταξύ των οποίων γίνεται η μετάβαση - δείτε το Σχ. 1(a). Η διεργασία αυτή λέγεται παρακινούμενη απορρόφηση.

Αν με κάποιον τρόπο ένα άτομο βρεθεί σε μια διεγερμένη ενεργειακή κατάσταση το άτομο αυτό έχει κάποια πιθανότητα να εκπέμψει ένα φωτόνιο και να μεταβεί σε χαμηλότερη κατάσταση. Η διεργασία αυτή λέγεται αυθόρμητη αποδιέγερση (δείτε το Σχ. 1(b)). Τα φωτόνια που εκπέμπονται με αυθόρμητη αποδιέγερση έχουν τυχαίες διευθύνσεις. Συνήθως ένα άτομο παραμένει σε διεγερμένη κατάσταση περίπου 10⁻⁸ sec.

Αν κατά τη διάρκεια παραμονής του ηλεκτρονίου στη διεγερμένη κατάσταση πέσει πάνω του ένα φωτόνιο ενέργειας ίσης με την ενεργειακή διαφορά διεγερμένης-θεμελιώδους, το φωτόνιο αυτό παρακινεί το άτομο να αποδιεγερθεί, εκπέμποντας ένα δεύτερο φωτόνιο, το οποίο έχει ίδια κατεύθυνση και φάση με το φωτόνιο που υποκίνησε την αποδιέγερση (δείτε το Σχ. 1(c)). Η διαδικασία αυτή λέγεται παρακινούμενη ή εξαναγκασμένη εκπομπή και είναι η βάση της λειτουργίας του laser.



Σχ. 1: (a) Η διεργασία της διέγερσης ατόμου με απορρόφηση ενός φωτονίου. (b) Η διεργασία της αυθόρμητης εκπομπής/αποδιέγερσης. (c) Η διεργασία της παρακινούμενης ή εξαναγκασμένης εκπομπής. Το φωτόνιο σε όλες τις περιπτώσεις έχει ενέργεια $\Delta E = E_2 - E_1$.



Στο σύστημα που δείχνεται στο αριστερό μέρος του σχήματος οι δύο δυνατότητες αλληπίδρασης με προσπίπτον φωτόνιο ενέργειας $\Delta E = E_2 - E_1$ οι οποίες φαίνονται στο κεντρικό και δεξιό μέρος του σχήματος είναι ισοπίθανες.

Το φωτόνιο που εκπέμπεται με εξαναγκασμένη εκπομπή, μαζί με το προσπίπτον, μπορούν να υποκινήσουν αποδιέγερση δύο ακόμα διεγερμένων ατόμων, αν υπάρχουν στην περιοχή, αποδίδοντας δύο νέα φωτόνια κ.ο.κ., υποκινώντας έτσι μια αλυσιδωτή αντίδραση, με τελικό προϊόν μια δέσμη φωτονίων ίδιας ενέργειας, κατεύθυνσης, και φάσης. Η δέσμη αυτή αποτελεί το φως laser και η διεργασία παραγωγής της λέγεται διεργασία laser (Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation - Ενίσχυση του φωτός μέσω εξαναγκασμένης εκπομπής ακτινοβολίας).

Τα βασικά χαρακτηριστικά του φωτός laser είναι τα εξής:

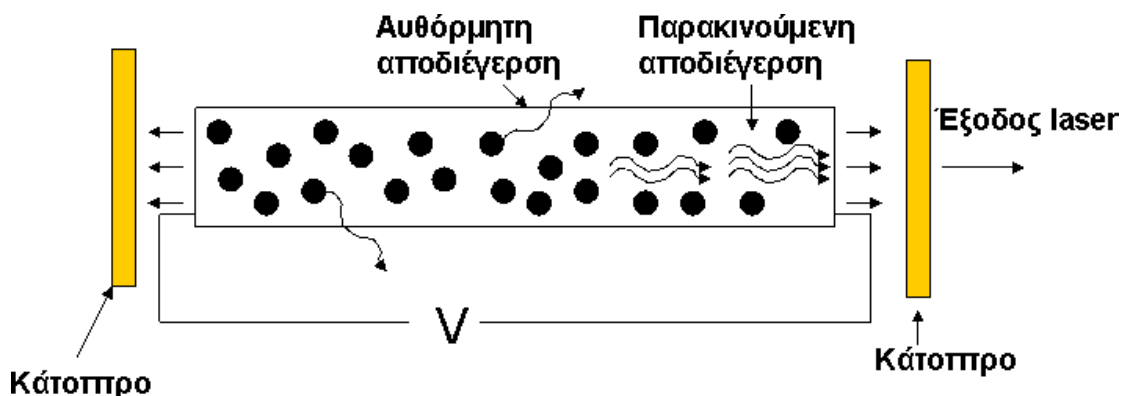
- 1)Μονοχρωματικότητα (τα φωτόνια της δέσμης έχουν όλα την ίδια - σχεδόν - συχνότητα)
- 2)Κατευθυντικότητα (τα φωτόνια της δέσμης έχουν όλα την ίδια διεύθυνση)
- 3)Συμφωνία φάσης (τα φωτόνια της δέσμης έχουν όλα την ίδια φάση)
- 4)Μεγάλη ένταση (πολλά φωτόνια σε μικρή επιφάνεια)

Τα παραπάνω χαρακτηριστικά είναι αυτά που κάνουν το laser μοναδικό, καθώς δίδουν τη δυνατότητα μεγάλης έντασης και ελεγχόμενης συμβολής ακόμα και μακριά από την εστία παραγωγής της δέσμης.

Άρα σε ένα σύστημα με λιγότερα από τα μισά άτομα σε διεγερμένη κατάσταση (όπως σε ένα σύστημα σε θερμοκρασία περιβάλλοντος) θα έχουμε περισσότερο απορρόφηση παρά εκπομπή φωτονίων και άρα μη δυνατότητα δημιουργίας laser. Αντίθετα, αν το μεγαλύτερο ποσοστό των ατόμων είναι σε διεγερμένη κατάσταση θα έχουμε κυρίως εξαναγκασμένη εκπομπή και άρα δυνατότητα δημιουργίας laser. (Η κατάσταση στην οποία το μεγαλύτερο ποσοστό των ατόμων ενός συστήματος είναι σε διεγερμένη στάθμη λέγεται αναστροφή πληθυσμών.)

Ένα παράδειγμα συσκευής laser δείχνεται στο Σχ. 3. Τα άτομα διεγείρονται μέσω κρούσεων με φορτισμένα σωματίδια (τα οποία επιταχύνονται στο δυναμικό V) ενώ το όλο σύστημα είναι περιορισμένο σε γυάλινο σωλήνα στα άκρα του οποίου υπάρχουν κάτοπτρα που επανακατευθύνουν τα εκπεμπόμενα φωτόνια μέσα στον σωλήνα ώστε να αλληλεπιδράσουν με περισσότερα άτομα, προκαλώντας έτσι ενίσχυση της

δέσμης. Τα φωτόνια που εκπέμπονται με αυθόρμητη αποδιέγερση διαφεύγουν από τον σωλήνα.



Σχ. 3: Παράδειγμα συσκευής laser.

ΧΡΗΣΕΙΣ

1. Στην Ιατρική, για το κλείσιμο αιμοφόρων αγγείων που αιμορραγούν, για τη διάλυση θρόμβων αίματος, λίθων και όγκων, για επανακόλληση του αμφιβληστροειδούς χιτώνα του ματιού, διόρθωση μυωπίας κ.α.
2. Στην Αστρονομία και την Αστροναυτική, για την ακριβή μέτρηση αποστάσεων και των ταχυτήτων μακριών αντικειμένων, π.χ. για την ακριβή μέτρηση της απόστασης γης-σελήνης. Δέσμες ακτίνων laser ανακλώνται στη σελήνη και επιστρέφουν στη γη.
3. Στη Μηχανολογία, για την κοπή, διάτρηση και τήξη των δύστηκτων μετάλλων.
4. Στις τηλεπικοινωνίες, για τη διάδοση σημάτων σε πολύ μεγάλες αποστάσεις.
5. Στην ολογραφία (τρόπος φωτογράφησης χωρίς τη χρήση φακών) για την τρισδιάστατη απεικόνιση αντικειμένων.
6. Στους ηλεκτρονικούς υπολογιστές και στην κατασκευή συστημάτων οπτικής σάρωσης, π.χ. στους ψηφιακούς δίσκους (CD). Οι ακτίνες laser

χρησιμοποιούνται για την αποκωδικοποίηση των εμπορευμάτων στα καταστήματα. Το φως του laser ανακλάται διαφορετικά από τις γραμμές και τα διαστήματα του συμβόλου, όταν τα σαρώνει, και μετατρέπεται σε ηλεκτρικό σήμα, το οποίο στη συνέχεια μετατρέπεται στο δυαδικό σύστημα και το

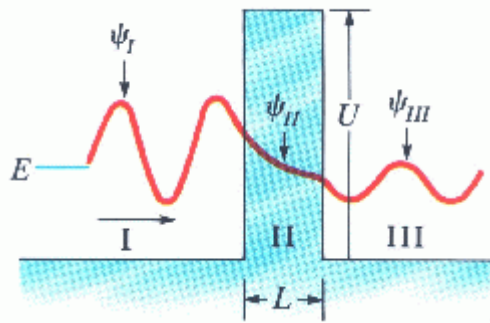


επεξεργάζεται ο ηλεκτρονικός υπολογιστής.

Ορθογώνιο φράγμα δυναμικού

Ορθογώνιο φράγμα δυναμικού είναι μια περιοχή σταθερής δυναμικής ενέργειας, U , που περιβάλλεται από περιοχές χαμηλότερης ή μηδενικής δυναμικής ενέργειας (βλ. Σχ. 4). Αντίθετα από τα προηγούμενα συστήματα, όπου υπήρχε παγίδευση των σωματιδίων και ενδιαφερόμασταν για δέσμιες καταστάσεις, εδώ δεν υπάρχουν δέσμιες καταστάσεις και το πρόβλημα συνίσταται στην εύρεση της πιθανότητας ένα σωματίδιο που προσπίπτει πάνω στο φράγμα να το διαπεράσει ή να ανακλαστεί από αυτό (ή, ισοδύναμα, στην εύρεση του ποσοστού των σωματιδίων που διαπερνούν το φράγμα ή ανακλώνται, θεωρώντας πρόσπτωση πάνω στο φράγμα ρεύματος σωματιδίων).

Στην κλασική φυσική ένα σωματίδιο ενέργειας (E) μεγαλύτερης από το ύψος του φράγματος θα το διαπεράσει με πιθανότητα μονάδα, ενώ αν $E < U$ θα έχει μηδενική πιθανότητα να το διαπεράσει (το φράγμα είναι κλασικά απαγορευμένη περιοχή). Στην κβαντομηχανική, όπως θα δούμε, σωματίδιο με $E < U$ έχει μια μη αμελητέα πιθανότητα να διέλθει μέσω του φράγματος. Το φαινόμενο αυτό της διέλευση σωματιδίων μέσω φραγμάτων δυναμικού λέγεται φαινόμενο σήραγγας και έχει εξαιρετικές εφαρμογές. (Σημειώστε επίσης ότι για $E > U$ η κβαντομηχανική πιθανότητα διέλευσης δεν είναι πάντα



μονάδα.)

κυματοσυνάρτηση σωματιδίου που προσπίπτει σε αυτό, ερχόμενο από αριστερά.

Σχ. 4: Φράγμα δυναμικού και

Πρακτικές εφαρμογές του φαινομένου σήραγγας

Εφαρμογές του φαινομένου σήραγγας έχουμε πολλές. Μια τέτοια εφαρμογή είναι το λεγόμενο μικροσκόπιο "πεδίου - εκπομπής" με το οποίο μπορούμε να πετύχουμε μεγέθυνση πάνω από ένα εκατομμύριο φορές, το μικροσκόπιο "πεδίου - ιόντων" και το "σαρωτικό μικροσκόπιο σήραγγας" με το οποίο μπορούμε να πετύχουμε μεγέθυνση 100 εκατομμύρια φορές και να αποκτήσουμε μια εικόνα των επιφανειών των στερεών άτομο προς άτομο.



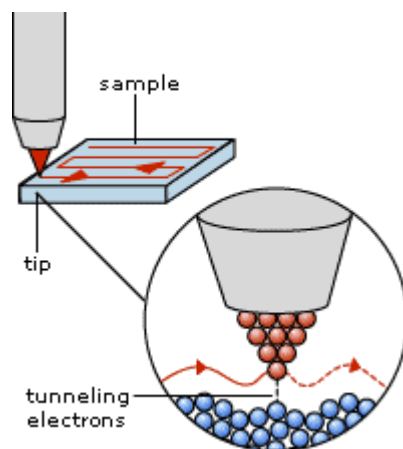
Οι Binnig και Rohrer πέτυχαν να

κατασκευάσουν ένα μικροσκόπιο εκμεταλλευόμενοι το φαινόμενο σήραγγας. Η κεντρική ιδέα τους ήταν να μιμηθούν κάποιον που προσπαθεί να προσδιορίσει την υφή μιας ανώμαλης επιφάνειας μέσα σε ένα σκοτεινό δωμάτιο σαρώνοντας σχολαστικά την επιφάνεια με τα δάκτυλα του πολλές φορές.

Υποθέστε ότι αντί για ένα δάκτυλο χρησιμοποιούμε μια πολύ αιχμηρή ακίδα από βολφράμιο την οποία πλησιάζουμε σ' ένα αγώγιμο δείγμα χωρίς να την φέρνουμε ποτέ σε επαφή με αυτό, για να μπορούν τα ηλεκτρόνια να "ρέουν" από την ακίδα προς το δείγμα αλλά και αντίστροφα. Εφαρμόζοντας μια διαφορά δυναμικού, από λίγα χιλιοστά του βολτ έως λίγα βολτ, ανάμεσα στην ακίδα και το δείγμα προκαλούμε ένα ρεύμα σήραγγας της τάξεως των νανοαμπέρ (10^{-9} A). Εάν η ακίδα κινείται παράλληλα στην επιφάνεια του

δείγματος, το ρεύμα μεγαλώνει ή μικραίνει ανάλογα με το αν το δείγμα παρουσιάζει «λόφους» και «κοιλιάδες» στην επιφάνεια του. Για να διατηρηθεί το ρεύμα σταθερό πρέπει η απόσταση ακίδας -δείγματος να διατηρείται σταθερή. Πρέπει δηλαδή η ακίδα να κινείται συνεχώς πλησιάζοντας ή απομακρυνόμενη από το δείγμα. Παρακολουθώντας την κίνηση της ακίδας έχουμε μια εικόνα των ανωμαλιών που παρουσιάζει η επιφάνεια του δείγματος σε κάθε θέση.

Όταν η ακίδα, με υψηλό θετικό δυναμικό, βρεθεί δηλαδή πάνω από το υλικό που εξετάζεται, τότε το ενεργειακό φράγμα που χωρίζει τα ηλεκτρόνια του υλικού από την ακίδα γίνεται κβαντομηχανικά διαβατό και κάνει την εμφάνισή του ένα ασθενές ηλεκτρικό ρεύμα. Αντίθετα, όταν η ακίδα βρίσκεται πάνω από μια εσοχή της επιφάνειας, το ενεργειακό φράγμα γίνεται απαγορευτικά μεγάλο και το ηλεκτρικό ρεύμα μειώνεται δραστικά ή σταματάει τελείως. Έτσι οι διακυμάνσεις αυτού του ρεύματος "ψυχρής εκπομπής" καταγράφουν με εκπληκτική ακρίβεια τις ανωμαλίες της παρατηρούμενης επιφάνειας.



Με πολλαπλές σαρώσεις της επιφάνειας του δείγματος και με εξομοιώσεις που πετυχαίνουμε με τη βοήθεια ηλεκτρονικών υπολογιστών καταλήγουμε σε απεικονίσεις αγωγίμων επιφανειών σε ατομική κλίμακα, όπως στις παραπάνω εικόνες.

Με πολύ υψηλής ποιότητας ακίδα είναι δυνατό να δούμε όχι πλέον τις κοινές ανωμαλίες μιας επιφάνειας αλλά τις "ανωμαλίες" που προέρχονται από την ίδια την ατομική υφή της. Μπορούμε να δούμε τα άτομα τα ίδια!

Πιεζοηλεκτρικοί κρύσταλλοι για τον έλεγχο της κίνησης

Η κίνηση όμως της ακίδας μπρος-πίσω πρέπει να γίνεται με απόλυτη ακρίβεια κατά τη σάρωση της επιφάνειας; Κι αυτό δεν θα μπορούσε να γίνει με μηχανικό τρόπο. Οι Binnig και Rohrer χρησιμοποίησαν πιεζοηλεκτρικούς κρυστάλλους για να στερεώσουν την ακίδα τους και να ελέγξουν την κίνηση της στο επίπεδο xy (για τη σάρωση) αλλά και στον άξονα z (πλησίασμα – απομάκρυνση της ακίδας).

Οι πιεζοηλεκτρικοί κρύσταλλοι έχουν την ιδιότητα να αναπτύσσουν στα άκρα τους μια διαφορά δυναμικού όταν συμπιέζονται και το αντίστροφο. Να συμπιέζονται ή να εκτείνονται όταν μια διαφορά δυναμικού εφαρμόζεται σ' αυτούς.

Εάν εφαρμοστεί λοιπόν η κατάλληλη διαφορά δυναμικού στους x και y κρυστάλλους μπορούμε να εξασφαλίσουμε την κίνηση σάρωσης της ακίδας με ταχύτητες της τάξης των 10 nm/s.

Καθώς η σάρωση προχωράει, ένα κύκλωμα «νιώθει» κάθε αλλαγή στο ρεύμα σήραγγας και παράγει την κατάλληλη τάση, που εφαρμόζεται στον κρύσταλλο z μετακινώντας την ακίδα μέχρι να αποκατασταθεί η σταθερότητα του ρεύματος σήραγγας.

Η κάθετη ρύθμιση της ακίδας (η απόστασή της από το δείγμα), ελέγχεται με τη βοήθεια του κβαντικού φαινομένου που αναφέραμε πριν, του φαινομένου της σήραγγας – έτσι βγήκε και η ονομασία αυτού του οργάνου.

Ένα ηλεκτρικό δυναμικό μεταξύ της άκρης της ακίδας και της επιφάνειας αναγκάζει ένα ηλεκτρικό ρεύμα να ρεύσει μεταξύ τους παρά το γεγονός ότι δεν βρίσκονται σε επαφή. Η ένταση του ρεύματος εξαρτάται έντονα από την απόστασή τους, και αυτό καθιστά δυνατό, να διατηρηθεί η απόσταση ανάμεσα στην ακίδα και το δείγμα σταθερή, περίπου 10^{-7} εκατ. (δηλ. περίπου δύο ατομικές διαμέτρους).

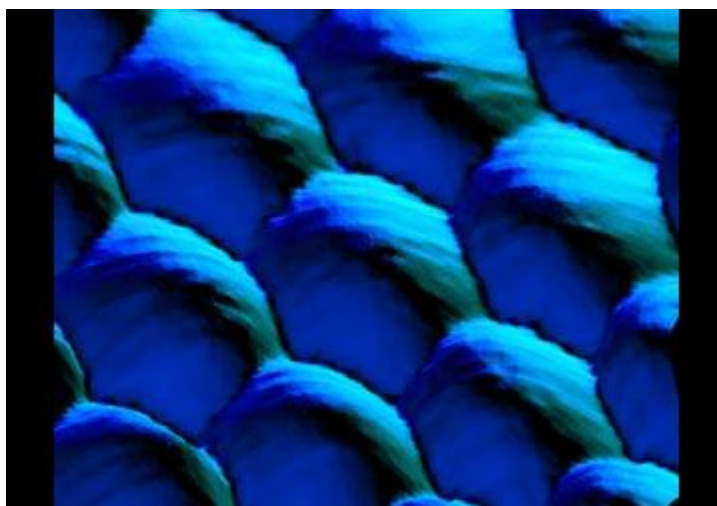
Η ακίδα είναι επίσης εξαιρετικά αιχμηρή, η άκρη της σχηματίζεται από ένα και μοναδικό άτομο. Αυτό της επιτρέπει, να ακολουθήσει ακόμη και τις μικρότερες λεπτομέρειες της επιφάνειας που ανιχνεύει. Καταγράφοντας την κάθετη μετακίνηση της ακίδας, το καθιστά δυνατό να μελετηθεί η δομή της επιφάνειας άτομο με άτομο.

Όσο για τον έλεγχο της οριζόντιας μετακίνησης της ακίδας, σε δύο ξεχωριστές κάθετες κατευθύνσεις, χρησιμοποιούνται πιεζοηλεκτρικά στοιχεία.

Αυτό γίνεται για να ανιχνεύεται η επιφάνεια σε δύο παράλληλες γραμμές, σαν να σαρώνεται ταυτόχρονα. Γι' αυτό και το όνομα του οργάνου περιέχει τη λέξη σάρωση.

Η ακρίβεια της εικόνας είναι ιδιαίτερα μεγάλη, αν σκεφθούμε ότι η ακίδα αποτελείται από 1 έως 2 άτομα. Η οριζόντια ανάλυση είναι περίπου 2 Å και η κάθετη ανάλυση περίπου 0.1 Å. Αυτό το καθιστά δυνατό, να απεικονίζει μεμονωμένα άτομα, δηλαδή να έχουμε τη μέγιστη δυνατή λεπτομέρεια στην ατομική δομή της επιφάνειας του υλικού που εξετάζεται.

Βλέπουμε δηλαδή, πως το όργανο αυτό, δεν είναι ένα αληθινό μικροσκόπιο (δηλ. ένα όργανο που δίνει μια άμεση εικόνα ενός αντικειμένου) δεδομένου ότι είναι βασισμένο στην αρχή ότι η δομή μιας επιφάνειας μπορεί να μελετηθεί, χρησιμοποιώντας μια ακίδα που ανιχνεύει την επιφάνεια σε μια σταθερή απόσταση από αυτή.



Η επιφάνεια του λευκόχρυσου

Οι πρώτοι ερευνητές πέτυχαν με εξαιρετική ακρίβεια την οικοδόμηση ενός τέτοιου μικροσκοπίου ανίχνευσης. Ένα παράδειγμα αυτής της μηχανικής ακρίβειας, είναι το γεγονός ότι οι ενοχλητικές δονήσεις από το περιβάλλον αποβλήθηκαν με την οικοδόμηση του μικροσκοπίου επάνω σε έναν βαρύ μόνιμο μαγνήτη που επιπλέει ελεύθερα σε ένα πιάτο υπεραγωγικού μολύβδου.

Είναι εμφανές ότι αυτή η τεχνική μπορεί να χρησιμοποιηθεί για εφαρμογές στη φυσική και τη μικροηλεκτρονική ημιαγωγών. Στη χημεία, επίσης, για τη μελέτη των αντιδράσεων επιφάνειας και το ρόλο της κατάλυσης. Είναι επίσης δυνατό να σταθεροποιηθούν τα οργανικά μόρια σε

μια επιφάνεια και να μελετηθούν οι δομές τους. Μεταξύ άλλων εφαρμογών, αυτή η τεχνική έχει χρησιμοποιηθεί στη μελέτη των μορίων DNA.

Από την αρχή λειτουργίας του το STM, δε μπορεί να απεικονίσει επιφάνειες μη αγώγιμων υλικών. Για τέτοιου είδους απεικονίσεις χρησιμοποιείται το SFM (Scanning Force Microscope), το οποίο στηρίζεται στην ανίχνευση των απωστικών δυνάμεων που αναπτύσσονται ανάμεσα στα άτομα όταν αυτά πλησιάσουν πολύ μεταξύ τους.

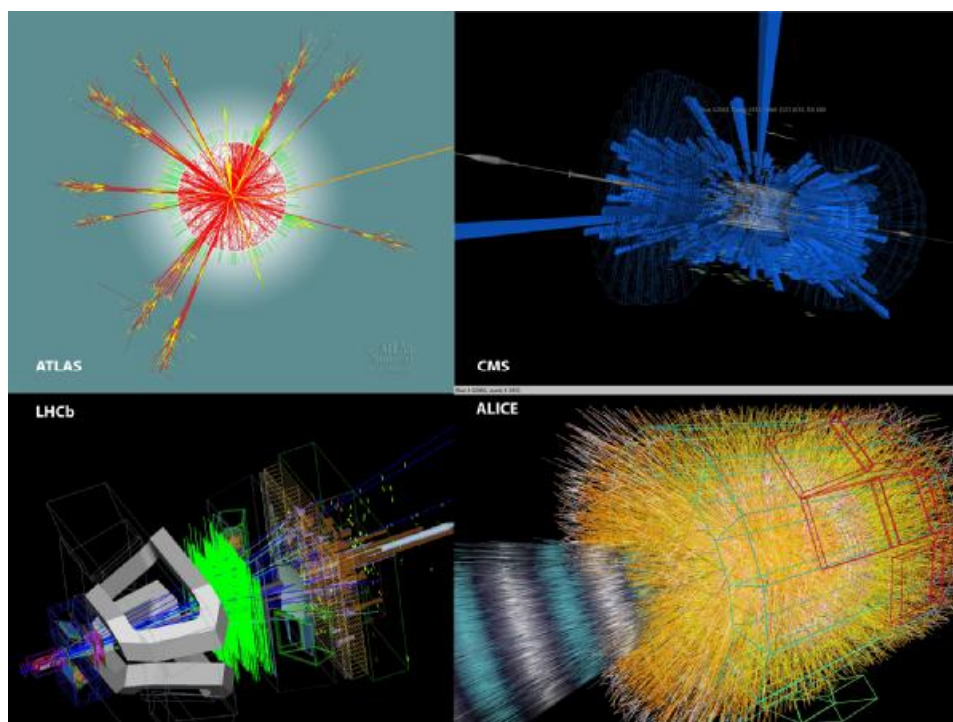
Ένα κλασικό παράδειγμα του φαινομένου σήραγγας είναι οι πυρηνικές αντιδράσεις σύντηξης που τροφοδοτούν με ενέργεια τον Ήλιο. Αν δυο ελαφρείς πυρήνες πλησιάσουν αρκετά, η αντίδραση συντελείται γρήγορα και απελευθερώνεται ενέργεια. Η ισχυρή αμοιβαία απώθηση των πυρήνων τους κρατά μακριά - ακόμη και σε θερμοκρασίες που επικρατούν στο κέντρο του Ήλιου δεν έχουν αρκετή ενέργεια για να ξεπεράσουν το φραγμό αυτό. Μπορεί όμως να πλησιάσουν, και όταν αυτό συμβεί υπάρχει μια πολλή μικρή αλλά σημαντική πιθανότητα να λάβει χώρα η σύντηξή τους. Αφού οι πυρήνες συγκρούονται συχνά, δε χρειάζεται να περάσει πολύς χρόνος για να ξεκινήσει η αντίδραση.

Το φαινόμενο της σήραγγας αποδεικνύει πως οι σχέσεις απροσδιοριστίας δεν περιορίζουν απλώς το πόσο καλά μπορεί να μετρηθούν τα πράγματα - δείχνουν πως περιορίζουν το πόσο καλά μπορεί να οριστούν, είτε μετρηθούν είτε όχι. Υπάρχει κάποιο είδος αναπόφευκτης "ασάφειας" σε φυσικές ποσότητες στον κβαντικό κόσμο.

ΚΒΑΝΤΟΜΗΧΑΝΙΚΗ ΚΑΙ ΙΑΤΡΙΚΗ

Αφότου ανήγγειλαν οι επιστήμονες ότι κατόρθωσαν να συντάξουν το βιβλίο του ανθρώπινου γονιδιώματος⁹ (06/26/2000), η Κβαντομηχανική θα διαδραματίσει σημαντικό ρόλο στο σχεδιασμό των φαρμάκων του 21ου αιώνα. Η σπουδαία δυνατότητά της να προβλέπει και να περιγράφει τις εξαιρετικά σύνθετες χημικές αντιδράσεις δίνει στην Κβαντομηχανική καθοδηγητικό ρόλο στο σχεδιασμό των νέων φαρμάκων που θα θεραπεύσουν την ασθένεια προτού εμφανισθεί, μέσω της αλλαγής του αρμόδιου γονιδίου.

CERN Η ΤΕΛΕΥΤΑΙΑ ΛΕΞΗ ΤΗΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ



Το CERN (πλήρης τίτλος: Organisation Européenne pour la Recherche Nucléaire «Ευρωπαϊκός Οργανισμός Πυρηνικών Ερευνών»), διατηρώντας τη σύντμηση (ακρωνύμιο) της αρχικής ονομασίας του Conseil Européenne pour la Recherche Nucléaire, είναι το μεγαλύτερο σε έκταση (πειραματικό) κέντρο πυρηνικών ερευνών και ειδικότερα επί της σωματιδιακής φυσικής στον κόσμο. Βρίσκεται δυτικά της Γενεύης, στα σύνορα Ελβετίας και Γαλλίας. Ιδρύθηκε το 1954 από δώδεκα ευρωπαϊκές χώρες και σήμερα αριθμεί 20 κράτη-μέλη⁷, μεταξύ των οποίων και η Ελλάδα, η οποία είναι και ιδρυτικό μέλος.

Η κύρια λειτουργία του αφορά την παροχή επιταχυντών σωματιδίων και άλλων υλικοτεχνικών υποδομών που χρειάζονται για την πειραματική έρευνα στο πεδίο της φυσικής υψηλών ενεργειών. Στο CERN λειτουργούν επομένως πολλοί επιταχυντές, ένας εκ των οποίων είναι ο πελώριος Super Proton Synchrotron (SPS), ή LHC (Μέγας Επιταχυντής Αδρονίων), ο οποίος αναπτύσσεται σε υπόγεια κυκλική σήραγγα 27 χιλιομέτρων που επιτρέπει στα πρωτόνια να επιταχύνονται στα 7 TeV, δηλαδή σε πολύ υψηλές ενέργειες.

Όπως αποδείχθηκε στην πράξη, όμως, οι ερευνητές του CERN δεν περιορίζονται αυστηρά στον τομέα της Ατομικής και Πυρηνικής Φυσικής: Στο

CERN εργαζόταν, ως έκτακτος ερευνητής, ο Τιμ Μπέρνερς Λι (Tim Berners-Lee), ο επινοητής του Παγκόσμιου Ιστού, της δημοφιλέστερης, σήμερα, υπηρεσίας του Διαδικτύου.

Το CERN απασχολεί σήμερα περίπου 3.000 μόνιμους εργαζόμενους, ενώ περίπου 6.500 επιστήμονες και μηχανικοί (που αντιπροσωπεύουν 500 πανεπιστήμια και 80 διαφορετικές εθνικότητες), περίπου το μισό της κοινότητας της σωματιδιακής φυσικής στον κόσμο, δουλεύουν σε πειράματα που οργανώνονται από το CERN.

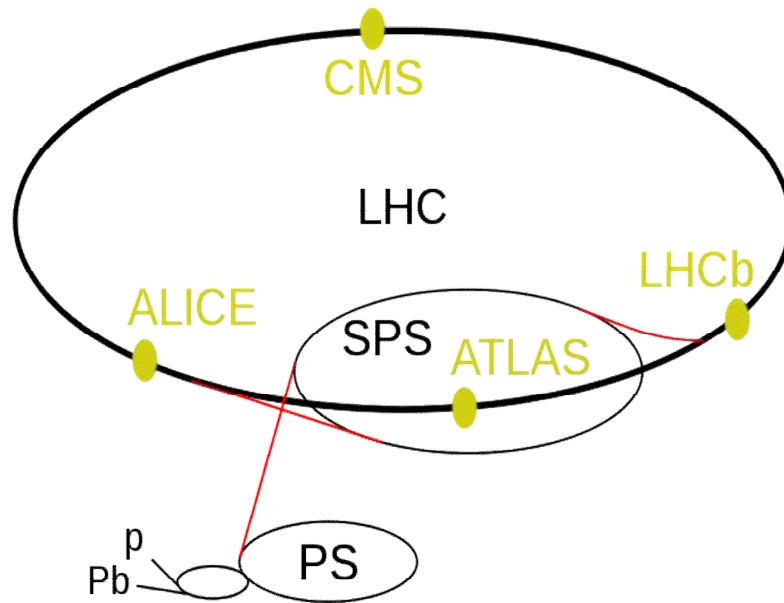
Τι προσπαθούν να εντοπίσουν και τι προεκτάσεις θα έχει αυτό για την επιστήμη

Είναι ένα πείραμα θεμελιώδους φυσικής, μια περίπτωση θεμελιώδους γνώσης που αποσκοπεί στο να διεισδύσουμε πιο βαθιά στα ενδότερα της ύλης. Στο αρχέγονο ερώτημα του ανθρώπου, από τι αποτελούνται όλα αυτά που βλέπουμε γύρω μας και ότι όλη αυτή η ποικιλομορφία του σύμπαντος ανάγεται σε μια απλότητα. Παρότι βλέπουμε τόσα πολλά τελείως διαφορετικά πράγματα στο σύμπαν αυτά ανάγονται σε κάποιες βασικές στοιχειώδεις μορφές. Σωματίδια που κατά καιρούς θεωρούνταν στοιχειώδη τελικά δεν είναι, αλλά αποτελούνται από άλλα. Αρχικά ο Dalton μίλησε για άτομα, μετά είδαμε ότι τα άτομα αποτελούνται από πυρήνες και ηλεκτρόνια μετά ότι τα ηλεκτρόνια δεν είναι σαν την πουτίγκα που νόμιζε ο Thomson αλλά γυρνάνε γύρω από τον πυρήνα... Σήμερα έχουμε φτάσει στο να θεωρούμε ότι αυτό που περιγράφει καλύτερα τα στοιχειώδη σωματίδια είναι η θεωρία του καθιερωμένου προτύπου (standard model), το οποίο και θέλουν να ελέγξουν με αυτό το πείραμα. Πως; Είναι σαν να θες να δεις ένα ρολόι, ένα πολύπλοκο μηχανισμό, από τι αποτελείται; Ποιος είναι ο πιο εύκολος τρόπος; να το σπάσεις. Έτσι και εδώ προσπαθούν αυτούς τους πυρήνες να τους σπάσουν. Βάζουν να συγκρουστούν μεταξύ τους δισεκατομμύρια πυρήνες από την μια πλευρά και δισεκατομμύρια από την άλλη. Για να το κάνουμε όμως αυτό πρέπει να τους επιταχύνουμε πάρα πολύ. Οι πυρήνες μεταξύ τους, όπως γνωρίζουμε καλά από τη στοιχειώδη φυσική ακόμη και του λυκείου απωθούνται από ηλεκτρομαγνητικές δυνάμεις, επομένως για να φτάσουμε στο σημείο να τις σπάσουμε πρέπει να έχουμε μεγάλη ενέργεια, για αυτό και η

φυσική στοιχειωδών σωματιδίων λέγεται και φυσική υψηλών ενεργειών. Τώρα τι περιμένουμε να δούμε; Ο Αντρέας έχει ήδη πει πολλά. Στην δημοσιογραφική κάλυψη του θέματος υπάρχει και ένας «μυστικισμός» γύρω από το πείραμα, όταν μιλάμε για τα «σωματίδια του Θεού», το περίφημο Higgs. Αν θυμάστε και με την αποκρυπτογράφηση του DNA πάλι λέγανε ότι θα βρούμε το «handwriting of God», το «χειρόγραφο του Θεού». Είναι πολύ της μόδας ακόμα και οι μεγαλύτερες τομές της επιστήμης, να πρέπει οπωσδήποτε να πάρουν μία ανορθολογική, μυστικιστική, χριστιανική χροιά, είναι φαινόμενο της εποχής μας. Μοιάζουν με ορισμένες απόψεις της εποχής του μεσοπολέμου, που ο Τρότσκι έλεγε “ο 20ός αιώνας πάει αγκαλιά με τον 13^ο και οι μεγαλύτερες ανακαλύψεις του ανθρώπου μαζί με το μεγαλύτερο σκοταδισμό των σκοτεινών χρόνων”. Μερικές φορές και η επιστήμονες πέφτουν θύματα αυτής της ιστορίας και μάλιστα οικειοθελώς, διότι υπάρχει ένας μεγάλος ανταγωνισμός για να εξασφαλίσουν λεφτά για την έρευνα. Αυτό είναι ακριβό πείραμα, βέβαια αν σκεφτείτε, ότι ο Μπους δίνει 700 δισεκατομμύρια δολάρια στους μεγαλοτραπεζίτες, στο «σοσιαλισμό για τους πλούσιους» που εφαρμόζεται σήμερα στην Αμερική, τα γύρω στα 15 δισεκατομμύρια δολάρια που δίνονται για το πείραμα στο Cern δεν είναι τίποτα, αλλά μέχρι να φτάσουν στο σημείο να σου δώσουν λεφτά για αυτό το πείραμα πρέπει αυτό να το πουλήσουν με τέτοιες σαχλαμάρες όπως είναι η ονομασία το «σωματίδιο του Θεού».

ΠΩΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΕΙ

Όλα ξεκινάνε από μια φιάλη συμπιεσμένο υδρογόνο που σηματοδοτεί την αρχή του μεγαλύτερου και δυνατότερου ατομικού επιταχυντή που συνθέτει τον εντυπωσιακό επιταχυντή του Cern (LHC, Large Hadron Collider). Άτομα υδρογόνου από αυτή τη φιάλη τροφοδοτούνται με ακριβή ρυθμό μέσα στον αρχικό θάλαμο ενός γραμμικού επιταχυντή. Από τα άτομα αυτά αφαιρούνται τα ηλεκτρόνια και αφήνουν μόνο πυρήνες υδρογόνου, δηλαδή τα πρωτόνια. Επειδή, όπως προείπαμε, είναι θετικά φορτισμένα μπορούμε να τα επιταχύνουμε με ένα ηλεκτρικό πεδίο.



Το ταξίδι τους έχει αρχίσει για να πάρουν μέρος σε μια υψηλής ενέργειας σύγκρουση που μοιάζει με αυτές τις συγκρούσεις που ακολούθησαν μετά την Μεγάλη Έκρηξη. Αυτή η αρχική επιτάχυνση μοιάζει με το πρώτο στάδιο εκτόξευσης ενός πυράυλου. Την ώρα που αυτό το πακέτο πρωτονίων θα φύγει από τον επιταχυντή θα ταξιδεύει με το ένα τρίτο της ταχύτητας του φωτός. Πρόκειται να εισέλθει στον επιταχυντή (προωθητή), το δεύτερο στάδιο της “εκτόξευσης”. Για να μεγιστοποιηθεί η ένταση της δέσμης το πακέτο διαχωρίζεται σε τέσσερα μέρη ένα για κάθε δακτύλιο του προωθητή. Επειδή δεν είναι πρακτική η γραμμική επιτάχυνση, ο προωθητής είναι κυκλικός με περίμετρο 157 μέτρα. Για να επιταχυνθούν τα πακέτα, το ηλεκτρικό πεδίο εκτελεί παλμούς με την ίδια λογική όπως σπρώχνουμε ένα παιδί στην κούνια. Μαγνήτες ασκούν δυνάμεις κάθετες πάνω στη διεύθυνση κίνησης των πρωτονίων. Έτσι πολλοί ισχυροί ηλεκτρομαγνήτες χρησιμοποιούνται για να κατευθύνουν την δέσμη των πρωτονίων κυκλικά στον προωθητή. Τα πρωτόνια επιταχύνονται μέχρι το 91,6% της ταχύτητας του φωτός και συμπιέζονται το ένα κοντά στο άλλο.

Ξαναενώνοντας τα πακέτα από τους τέσσερις δακτυλίους τα διοχετεύουμε στο “Σύγχροτρο πρωτονίων”, δηλαδή στο τρίτο στάδιο του πυράυλου. Το Σύγχροτρο έχει περίμετρο 628 μέτρα και τα πρωτόνια παραμένουν σε αυτό 1,2 δευτερόλεπτα φτάνοντας το 99,9% της ταχύτητας του φωτός. Εδώ φτάνουμε σε ένα κρίσιμο σημείο μετάβασης όπου από κει και

πέρα η προστιθέμενη ενέργεια στα πρωτόνια από το παλλόμενο ρεύμα δεν μπορεί να αυξήσει πλέον την ταχύτητα αφού έχουμε φτάσει πλέον το όριο της ταχύτητας του φωτός. Αντί γι' αυτό, η ενέργεια εκδηλώνεται ως αύξηση της μάζας. Εν συντομία, τα πρωτόνια δεν μπορούν να πάνε γρηγορότερα και έτσι γίνονται βαρύτερα. Η μικροσκοπική κινητική ενέργεια των πρωτονίων μετρείται σε μονάδες ηλεκτρονιοβόλτ (eV). Η ενέργεια κάθε πρωτονίου έχει ανεβεί στα 25 GeV (25 δις/μύρια eV). Τα πρωτόνια τώρα είναι 25 φορές βαρύτερα από την κατάσταση ηρεμίας!

Τα πακέτα τώρα περνάνε στο τέταρτο στάδιο, το σούπερ Σύγχροτρο πρωτονίων, ένα τεράστιο δακτύλιο με 7 χιλιόμετρα διάμετρο ειδικά σχεδιασμένο να δέχεται πρωτόνια αυτής της ενέργειας και να την αυξάνει στα 450 GeV.

Σε λίγο τα πακέτα πρωτονίων έχουν αρκετή ενέργεια για να μεταφερθούν στην τροχιά του γιγαντιαίου επιταχυντή του πέμπτου και τελευταίου σταδίου όπου και θα γίνει η σύγκρουση των δεσμών, ο οποίος βρίσκεται στις Άλπεις μεταξύ Γαλλίας και Ελβετίας. Βρίσκεται βαθιά μέσα στη γη και έχει περίμετρο 27 χιλιόμετρα. Υπάρχουν 2 σωλήνες κενού μέσα στον LHC στους οποίους ταξιδεύουν δέσμες ηλεκτρονίων με αντίθετη φορά. Χρησιμοποιώντας πολύ εξελιγμένους κατευθυντές που συγχρονίζουν τα νέα πακέτα με τα υπάρχοντα, στον ένα σωλήνα τα εισάγουμε με δεξιόστροφη φορά και στο δεύτερο με αριστερόστροφη. Οι σωλήνες είναι φτιαγμένοι ώστε να τέμνονται σε τέσσερα σημεία ανιχνευτές, όπου μπορούμε να τα κάνουμε να συγκρουστούν. Η ενέργεια της σύγκρουσης είναι διπλή από την ενέργεια του κάθε πρωτονίου χωριστά και τα προϊόντα της σύγκρουσης είναι αυτά που θα ανιχνευτούν. Για μισή ώρα το Σύγχροτρο πρωτονίων εισάγει πακέτα στον LHC. Τελικά υπάρχουν 2.808 πακέτα στον επιταχυντή. Κατά το χρόνο αυτό ο LHC προσθέτει και άλλη ενέργεια και τα πρωτόνια φτάνουν τόσο κοντά στην ταχύτητα του φωτός που περιστρέφονται 11.000 φορές το δευτερόλεπτο στο δακτύλιο των 27 χιλιομέτρων παίρνοντας μια ηλεκτρική ώθηση σε κάθε περιστροφή. Τελικά κάθε πρωτόνιο έχει ενέργεια πάνω από 7 TeV και είναι 7.000 φορές βαρύτερο από την αρχική του κατάσταση!!! Το μαγνητικό πεδίο που χρειάζεται για να κρατήσει τα πρωτόνια σε κυκλική τροχιά είναι τόσο τεράστιο που η κατανάλωση των ηλεκτρομαγνητών είναι 12.000 A ρεύματος. Αυτό επιτυγχάνεται κάνοντας τον LHC πιο κρύο από τη θερμοκρασία του

απώτερου διαστήματος έτσι ώστε οι μαγνήτες του να γίνουν υπεραγώγιμοι (βλ. 5^ο κεφάλαιο), αυτό επιτυγχάνεται βάζοντας ανάμεσα σε στρώσεις των σωλήνων υγρό ήλιο.



Δεξαμενές υγρού ηλίου

Τώρα τα πρωτόνια είναι έτοιμα να συγκρουστούν. Ένας μαγνήτης αλλάζει την πορεία τους και κατευθύνει σε σύγκρουση. Η συνολική ενέργεια δύο πρωτονίων που συγκρούονται στον LHC είναι 14 TeV και αναπαράγει παρόμοιες καταστάσεις που συνέβησαν μερικές στιγμές μετά την Μεγάλη Έκρηξη. Οι τροχιές των σωματιδίων από αυτήν την σύγκρουση θα αναλυθούν από υπολογιστές και ελπίζουμε αυτές οι τροχιές να μας δώσουν μια καινούργια ματιά στη γέννηση του σύμπαντος μας, στην εξέλιξή του, στις δυνάμεις που ασκούνται σε αυτό και να μας αποκαλύψουν το μέλλον του...

ΚΒΑΝΤΙΚΟΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΕΣ

Κβαντικός υπολογιστής ονομάζεται οποιαδήποτε υπολογιστική συσκευή που κάνει χρήση χαρακτηριστικών κβαντομηχανικών ιδιοτήτων, όπως η αρχή της υπέρθεσης και της διεμπλοκής καταστάσεων για να πραγματοποιεί επεξεργασία δεδομένων. Σε έναν κλασικό υπολογιστή, στοιχειώδης μονάδα πληροφορίας πληροφορίας είναι το bit, ενώ σε έναν κβαντικό υπολογιστή το qubit. Η βασική αρχή της κβαντικής υπολογιστικής επιστήμης είναι το γεγονός ότι οι κβαντομηχανικές ιδιότητες της ύλης μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την αναπαράσταση και τη δόμηση δεδομένων, καθώς και το γεγονός ότι μπορούν να επινοηθούν και να κατασκευαστούν μηχανισμοί βασισμένοι στην κβαντομηχανική για την επεξεργασία αυτών των

δεδομένων. Παραδείγματος χάριν ένα άτομο υδρογόνου στη θεμελιώδη του κατάσταση, όπου το μηδέν αντιπροσωπεύεται από την ηλεκτρονιακή κατάσταση με σπιν πάνω και το ένα από την κατάσταση με σπιν κάτω.

Η κβαντική υπολογιστική επιστήμη βρίσκεται ακόμα σε πειραματικό στάδιο, ωστόσο τα αποτελέσματα των πειραμάτων που έχουν πραγματοποιηθεί σε αυτό το πεδίο (με μικρό αριθμό qubits) είναι ενθαρρυντικά.

Το πεδίο της κβαντικής οπτικής αναπτύσσεται ραγδαία, τα τελευταία χρόνια. Από την ανάπτυξη αυτή περιμένουμε νέες ανακαλύψεις και πολύ σημαντική ανάπτυξη που θα επεκτείνεται και στις τεχνολογικές εφαρμογές. Η τεχνολογία του επόμενου αιώνα θα στηρίζεται στα κβαντικά φαινόμενα, όπως η τεχνολογία του αιώνα που πέρασε στηρίζονταν στην κλασική φυσική.

ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ TERAHERTZ

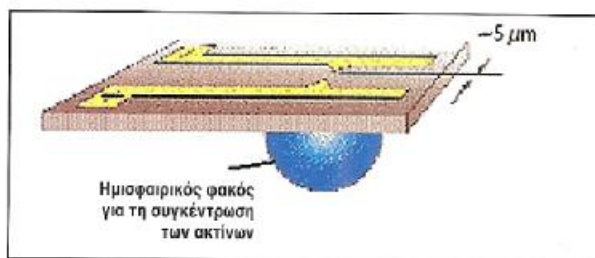
Τον τελευταίο αιώνα διεξήχθησαν εκτεταμένες μελέτες πάνω στα διάφορα είδη της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας και σταδιακά κατακτήθηκε ολόκληρο σχεδόν το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα. Ξεκινώντας από την περιοχή του ορατού, που περιλαμβάνει τις ακτινοβολίες που γίνονται ορατές από το ανθρώπινο μάτι, οι επιστήμονες επεκτάθηκαν και στις υπόλοιπες περιοχές του φάσματος, όπως είναι οι ακτίνες γάμμα, οι ακτίνες Χ, η υπεριώδης ακτινοβολία, η υπέρυθρη, τα μικροκύματα και τα ραδιοκύματα. Οχι μόνο μελετήθηκαν οι φυσικές τους ιδιότητες, αλλά αναπτύχθηκε και τεχνολογία για την παραγωγή αλλά και ανίχνευση ακτινών από όλες τις φασματικές περιοχές και επιπλέον ανακαλύφθηκαν και εξελίχθηκαν ποικίλες τεχνικές για την πλήρη αξιοποίηση τους σε όλους τους τομείς της επιστημονικής έρευνας και της καθημερινής ζωής.

Ωστόσο, υπάρχει μια μικρή περιοχή του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος, η οποία μέχρι πρότινος παρέμενε ανεξερεύνητη. Πρόκειται για την περιοχή των Terahertz (10^{12} Hz), την περιοχή δηλαδή της οποίας η ακτινοβολία προέρχεται από ένα τρισεκατομμύριο ταλαντώσεις ανά δευτερόλεπτο του ηλεκτρομαγνητικού πεδίου και έχει μήκος κύματος ενός χιλιοστομέτρου. Για την ακρίβεια, πρόκειται για την περιοχή ανάμεσα στα μικροκύματα και το μέσο της περιοχής των υπέρυθρων, δηλαδή από τα 100 GHz (10^9 Hz) έως τα 30

THz, που συχνά καλείται και «χάσμα των Terahertz». Την τελευταία δεκαετία έχει παρατηρηθεί μεγάλη στροφή των επιστημόνων προς την περιοχή αυτή του φάσματος καθώς θεωρείται ότι οι πιθανές εφαρμογές της εκτείνονται σε πολύ μεγάλο εύρος και θα ανοίξουν νέους ορίζοντες στη φασματοσκοπία, την ιατρική, τη φαρμακευτική, την αστρονομία, τη μετεωρολογία και την ασφάλεια των πολιτών.

Για ποιον λόγο όμως οι ερευνητές είναι τόσο αισιόδοξοι όσον αφορά τη συγκεκριμένη περιοχή του φάσματος; Διότι το «χάσμα» αυτό αποτελεί ουσιαστικά τη μετάβαση από τα ραδιοκύματα στο φως, με αποτέλεσμα η ακτινοβολία των Terahertz να συνδυάζει ιδιότητες και από τις δύο αυτές περιοχές του φάσματος, γεγονός που την καθιστά ικανή να διέρχεται από πολλά στερεά υλικά, όπως τα ραδιοκύματα, αλλά ταυτόχρονα και να εστιάζεται, όπως τα οπτικά κύματα. Έτσι, η μελέτη και η χρήση της απαιτεί μεν κεραίες, εκπομπούς και δέκτες, προϋποθέτει όμως ταυτόχρονα και οπτικό εξοπλισμό, όπως φακούς και κάτοπτρα. Για τον λόγο αυτό αποκαλείται μερικές φορές και «ψευδοοπτική». Η διαφάνεια των περισσότερων στερεών υλικών στην ακτινοβολία Terahertz, και το γεγονός ότι απορροφάται έντονα από το νερό, σε συνδυασμό με το ότι είναι απολύτως ασφαλής, την καθιστά κατάλληλη για φασματοσκοπία σε διάφορους κλάδους της επιστήμης. Έτσι, η εν λόγω ακτινοβολία μπορεί να ακτινοβολήσει έναν στόχο και να μας δώσει το φάσμα απορρόφησης του, αποκαλύπτοντας τη μοριακή δομή του. Μάλιστα παρέχει κάποιες επιπλέον πληροφορίες σε σχέση με τη φασματοσκοπία μέσω ορατού φωτός. Παρέχει στοιχεία τόσο για τους ενδομοριακούς δεσμούς, όσο και για τους δεσμούς μεταξύ ομάδων ομοειδών μορίων, διακρίνοντας έτσι ακόμα και τα σχήματα των μορίων και των ομάδων τους. Και αν ο στόχος σαρωθεί σημείο προς σημείο, μπορεί να σχηματιστεί με κατάλληλη μαθηματική επεξεργασία το τρισδιάστατο είδωλο του! Κάθε φασματογράφημα λοιπόν που λαμβάνεται με ακτινοβολία Terahertz αποτελεί στοιχείο ταυτότητας για το υλικό, το δακτυλικό του αποτύπωμα.

Κεραία ειδικά
διαμορφωμένη
για την παραγωγή
ακτινοβολίας Terahertz.



Στο σημείο αυτό εύλογα γεννάται το ερώτημα: αφού το υπόλοιπο ηλεκτρομαγνητικό φάσμα προς τα δύο άκρα είναι τόσο καλά μελετημένο και αξιοποιημένο, γιατί η εν λόγω περιοχή που βρίσκεται στο μέσο έμεινε ανέγγιχτη για τόσα πολλά χρόνια; Ο λόγος είναι πως δεν υπήρχε η κατάλληλη τεχνολογία που να παράγει ή να ανιχνεύει ακτίνες στα Terahertz ή ακτίνες T, όπως αποκαλούνται επίσης. Η ήδη υπάρχουσα τεχνογνωσία, που χρησιμοποιείται στις γειτονικές φασματικές περιοχές για να παράγει ραδιοκύματα ή φωτεινή ακτινοβολία, δεν επαρκεί για τη μεταξύ τους περιοχή. Για παράδειγμα, οι εκπομποί που παράγουν τα ραδιοκύματα, φέρουν ειδικά ηλεκτρονικά κυκλώματα στα οποία τα ηλεκτρόνια ταλαντώνονται με συχνότητα 100.000 έως ένα δισεκατομμύριο φορές το δευτερόλεπτο, παράγοντας την ακτινοβολία αντίστοιχης συχνότητας. Ωστόσο, για να εκτελέσουν τα ηλεκτρόνια ένα τρισεκατομμύριο ταλαντώσεις το δευτερόλεπτο, που σημαίνει ότι πρέπει να ταλαντώνονται χίλιες φορές ταχύτερα, απαιτείται ειδικός, εξαιρετικά λεπτομερής σχεδιασμός ώστε να μη εξασθενίσουν απλώς οι ταλαντώσεις λόγω θερμικών φαινομένων ή να μη διοχετευτεί η ενέργεια τους σε άλλες περιοχές του κυκλώματος. Επίσης υπάρχουν αρκετά λέιζερ που λειτουργούν σε συχνότητες μέχρι και 100 Terahertz, αλλά συναντώνται μεγάλες δυσκολίες στο να μειωθεί επιπλέον η συχνότητα, μέχρι τα 30 Terahertz ή και λιγότερο, ώστε να συμπέσει με το «χάσμα». Το μήκος κύματος στο οποίο εκπέμπει κάθε λέιζερ εξαρτάται από τις ιδιότητες του ενεργού υλικού που περιέχει. Ένα είδος λέιζερ είναι τα λέιζερ ημιαγωγού, των οποίων το ενεργό υλικό είναι κάποιος ημιαγωγός. Οι ημιαγωγοί φέρουν τρεις ενεργειακές ζώνες, τις ζώνες σθένους και αγωγιμότητας, στις οποίες επιτρέπεται η κίνηση φορέων, δηλαδή ηλεκτρονίων και οπών, και τη ζώνη του ενεργειακού χάσματος, μια ζώνη μεταξύ των άλλων δύο, η οποία είναι ενεργειακά απαγορευμένη για τους φορείς και της οποίας το εύρος αποτελεί χαρακτηριστικό στοιχείο του κάθε ημιαγωγίμου υλικού. Αν ένα ημιαγωγίμο

υλικό διεγερθεί από άλλο φως ή ηλεκτρική εκκένωση, τα ηλεκτρόνια του κερδίζουν ενέργεια και μεταπηδούν από τη ζώνη σθένους στη ζώνη αγωγιμότητας, που Βρίσκεται ενεργειακά υψηλότερα. Για να επανέλθουν στην αρχική τους κατάσταση, αποβάλλουν την επιπλέον ενέργεια με τη μορφή φωτονίων, δηλαδή φωτεινής ακτινοβολίας. Από το εύρος του ενεργειακού χάσματος, άρα από το είδος του υλικού, εξαρτάται το ακριβές μήκος κύματος της εκπεμπόμενης ακτινοβολίας. Υπάρχει λοιπόν πληθώρα λέιζερ που εκπέμπουν στις περιοχές του ορατού και του υπερύθρου, ανάλογα με το υλικό που χρησιμοποιούν ως μέσο, είναι όμως εξαιρετικά δύσκολο να βρεθεί υλικό που να εκπέμπει στην περιοχή των Terahertz, καθώς θα πρέπει να έχει ενεργειακό χάσμα 100 φορές μικρότερο από ότι τα συνήθη ημιαγώγιμα υλικά που χρησιμοποιούνται.

Τα τελευταία χρόνια υπάρχει έντονο ενδιαφέρον στην επιστημονική κοινότητα για την παραγωγή ενός λέιζερ που να εκπέμπει στα Terahertz, και η συνεχής προσπάθεια φαίνεται να αποδίδει καρπούς. Επιπλέον, έχουν ανακαλυφθεί από διάφορες ερευνητικές ομάδες και άλλοι τρόποι παραγωγής ακτινών T H πίεση για την παραγωγή των εν λόγω συχνοτήτων προέρχεται κυρίως από δύο κατευθύνσεις: από τη μία πλευρά επείγονται οι φασματοσκόποι που επιθυμούν να εργαστούν σε μεγαλύτερα μήκη κύματος από τα συνήθη που χρησιμοποιούν στην υπέρυθρη, οπτική και υπεριώδη περιοχή, και από την άλλη οι αστρονόμοι που χρειάζονται μικρότερα μήκη κύματος από αυτά των ραδιοκυμάτων τα οποία μελετούν συνήθως, ώστε να συλλέξουν περισσότερες πληροφορίες για την ιστορία και τη δομή του σύμπαντος.

ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ Terahertz

Αφού λοιπόν δεν ήταν εύκολο να βρεθεί υλικό που να εκπέμπει ακτινοβολία στις επιθυμητές συχνότητες, οι ερευνητές επεχείρησαν να το κατασκευάσουν οι ίδιοι. Ήταν ήδη γνωστό ότι, λόγω κβαντικών φαινομένων, αν ένα ηλεκτρόνιο εγκλωβιστεί σε ένα πολύ λεπτό στρώμα ημιαγώγιμου υλικού, της τάξης των μερικών δισεκατομμυριοστών του μέτρου, τότε μεταβάλλονται τα ενεργειακά άλματα που αυτό εκτελεί, διότι τροποποιείται το ενεργειακό χάσμα του ημιαγωγού. Μεταβάλλοντας λοιπόν το πάχος του ημιαγώγιμου στρώματος μπορούν να ελεγχθούν με ακρίβεια οι ενεργειακές

μεταπτώσεις των ηλεκτρονίων και να τους δοθούν διάφορες επιθυμητές τιμές, που διαφορετικά θα ήταν απαγορευμένες. Εναποθέτοντας πολλά τέτοια στρώματα το ένα πάνω στο άλλο, δημιουργείται μια δομή που ονομάζεται «υπερπλέγμα» και λειτουργεί ως ένας συνθετικός κρύσταλλος με τεχνητό ενεργειακό χάσμα. Το υπερπλέγμα αυτό μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την κατασκευή ενός λέιζερ. Αν εφαρμοστεί μια διαφορά δυναμικού στα άκρα του υλικού, κάθετα στα διαδοχικά ημιαγώγιμα στρώματα, τότε τα ηλεκτρόνια θα παράγουν ακτινοβολία στη συχνότητα που αντιστοιχεί στο ενεργειακό χάσμα του συγκεκριμένου υλικού, σε μια σειριακή ακολουθία. Δηλαδή ένα ηλεκτρόνιο στο πρώτο στρώμα θα παράγει ένα φωτόνιο, το οποίο θα διεγείρει την παραγωγή ενός δεύτερου φωτονίου στο επόμενο στρώμα και ούτω καθεξής. Με αυτόν τον τρόπο λειτουργούν τα λέιζερ κβαντικής ακολουθίας (quantum cascade laser). Το πρώτο λέιζερ της εν λόγω τεχνολογίας κατασκευάστηκε το 1994 από τον Federico Capasso) στα εργαστήρια Bell, στο New Jersey, και τον Jerome Faist, που ήδη εργάζεται στο Πανεπιστήμιο Neuchatel της Ελβετίας. Σήμερα υπάρχουν ποικίλα τέτοια λέιζερ που εκπέμπουν σε διάφορες συχνότητες του μέσου της περιοχής των υπερύθρων. Ωστόσο, μέχρι πρότινος, δεν στάθηκε δυνατό να κάτι σκευαστεί ένα Terahertz λέιζερ αφού ανέκυπταν διάφορες δυσκολίες. Τη μεγαλύτερη αποτελούσε το γεγονός πως το ίδιο το υλικό απορροφούσε την ακτινοβολία Terahertz που παρήγαγε, πριν αυτή προλάβει να αξιοποιηθεί με κάποιον τρόπο.

Αυτά ίσχυαν έως ότου ο Alessandro Tredicucci από το Εθνικό Κέντρο Νανοεπιστήμης και Νανοτεχνολογίας στην Πίζα της Ιταλίας, με τους συνεργάτες τους από το Turin Polytechnic της Ιταλίας και το Πανεπιστήμιο του Cambridge τη Μεγάλης Βρετανίας, δημιούργησαν έναν πρωτοποριακό κυματοδηγό και το ενσωμάτωσαν μέσα στο υπερπλέγμα τους, το οποίο αποτελείται από 150 διαδοχικές στρώσεις γαλλίου-αρσενικού και αργιλίου – γαλλίου -αρσενικού (GaAs/AlGaAs), οδηγώντας έτσι σημαντικό ποσοστό της παραγόμενης ακτινοβολίας εκτός του υπερπλέγματος πριν αυτό εξαντληθεί. Ανακοινώθηκε λοιπόν τον Μάιο του 2002 η κατασκευή του πρώτου λέιζερ στον κόσμο που παράγει ακτινοβολία στα 4,4 Terahertz, με ισχύ που φθάνει τα 2 mW. Βέβαια υπάρχει μια ακόμα τεχνολογική πρόκληση που πρέπει να ξεπεραστεί πριν αρχίσει η βιομηχανική παραγωγή του. Το εν λόγω λέιζερ λειτουργεί αυτή τη στιγμή πολύ κοντά στο απόλυτο μηδέν της θερμοκρασίας,

κοντά στους 8 βαθμούς Kelvin, κάτι που απαγορεύει την εμπορική εκμετάλλευση του. Μάλιστα είναι αρκετοί οι ερευνητές που ισχυρίζονται ότι η συγκεκριμένη διάταξη δεν θα μπορέσει ποτέ να λειτουργήσει σε θερμοκρασία δωματίου. Όμως αυτό ίσως και να μη είναι απαραίτητο. Στις μέρες μας, είναι αρκετά εύκολο από τεχνολογική άποψη και σχετικά οικονομικό να ψύχονται οι ηλεκτρονικές συσκευές στη θερμοκρασία του υγρού αζώτου, που είναι περίπου 77 βαθμοί Kelvin. Αυτό είναι το όριο που καλούνται να καταρρίψουν οι κατασκευαστές του Terahertz λέιζερ και υποστηρίζουν πως θα τα καταφέρουν.

Μια άλλη ερευνητική ομάδα με επιστήμονες από πολλά ερευνητικά εργαστήρια, όπως το Εργαστήριο Jefferson του Τμήματος Ενέργειας στο Newport News της Virginia, το Εθνικό Εργαστήριο Brookhaven και το Εθνικό Εργαστήριο Lawrence Berkeley, ανακοίνωσε τον Νοέμβριο του 2002 ότι πέτυχε την παραγωγή ακτινών T με ένταση 20.000 φορές μεγαλύτερη από εκείνη των αντίστοιχων ακτινοβολιών που είχαν παραχθεί έως τότε. Εισηγητής της μεθόδου που ακολουθήθηκε και συντονιστής της ομάδας ήταν ο Gwyn Williams, από το Εργαστήριο Jefferson, διαχειριστής του Βασικού Ερευνητικού Προγράμματος Free-Electron Laser. Ο γραμμικός επιταχυντής που υπάρχει στο συγκεκριμένο εργαστήριο παράγει ομάδες ηλεκτρονίων, σαν μικροσκοπικές δέσμες, μήκους μόλις μερικών δεκάτων του χιλιοστομέτρου. Το μήκος αυτό όμως είναι συγκρίσιμο με το μήκος κύματος της ακτινοβολίας Terahertz. Όταν οι δέσμες αυτές των ηλεκτρονίων διέλθουν μέσα από μαγνητικό πεδίο, τότε παράγουν ακτινοβολία, τη λεγόμενη ακτινοβολία σύγχροτρον, αντίστοιχου μήκους κύματος, που στην περίπτωση αυτή είναι ακτινοβολία Terahertz.

Η εταιρία Teraview, θυγατρική της Toshiba, που ασχολείται με συστήματα απεικόνισης με τη χρήση ακτινοβολίας Terahertz για ποικίλες εφαρμογές, αξιοποιεί μια τεχνολογία που έχει αναπτυχθεί τα τελευταία χρόνια, τα λέιζερ υπερβραχέων παλμών, που παράγουν παλμούς ορατού φωτός διάρκειας μικρότερης του ενός τρισεκατομμυριοστού του δευτερολέπτου, οι οποίοι διαδίδονται ταχύτατα. Χρησιμοποιώντας ένα λέιζερ σαπφείρου εμπλουτισμένου με τιτάνιο, οι ειδικοί της Teraview βομβαρδίζουν κατάλληλα διαμορφωμένο ημιαγώγιμο κρύσταλλο με παλμούς που καταφθάνουν ο ένας μετά τον άλλον με συχνότητα της τάξης των Terahertz. Ο κρύσταλλος αυτός

είναι γαλλίου-αρσενικού (GaAs) και ουσιαστικά αποτελεί το υπόστρωμα πάνω στο οποίο κατασκευάζεται μια κατάλληλη κεραία. Μια συνεχής τάση εφαρμόζεται στην κεραία ενώ ταυτόχρονα οι ταχύτατοι, υπερβραχείς παλμοί του λέιζερ εστιάζονται στο διάκενο της. Ο συνδυασμός αυτός εξαναγκάζει τα ηλεκτρόνια να υπερπηδήσουν το διάκενο της κεραίας ενώ το ρεύμα που παράγεται οδηγεί στη γένεση παλμών ακτινοβολίας Terahertz, οι οποίοι έχουν πολύ μεγάλο εύρος, μεγαλύτερο από 10 Terahertz και χρόνο ζωής της τάξης των 100 τετράκις εκατομμυριοστών του δευτερολέπτου. Η δημιουργούμενη ακτινοβολία συλλέγεται από κατάλληλο σύστημα οπτικών φακών και λαμβάνει μορφή δέσμης. Βέβαια, η ακριβής μορφή του παραγόμενου φάσματος εξαρτάται από τον σχεδιασμό της διάταξης και τα χαρακτηριστικά του λέιζερ διέγερσης.

Πολλές ερευνητικές ομάδες ανά τον κόσμο παράγουν συνεχείς δέσμες ακτινοβολίας Terahertz διασταυρώνοντας δέσμες από διαφορετικά λέιζερ που εκπέμπουν στο μέσο της περιοχής των υπερύθρων. Για παράδειγμα, η ομάδα του Gerald Frazer στο National Institute of Standards and Technology «αναμιγνύει» ως προς τη συχνότητα την έξοδο ενός λέιζερ σταθερής συχνότητας που δίνει ακτινοβολία στο εγγύς υπέρυθρο, με την έξοδο ενός λέιζερ σαπφείρου με προσμίξεις τιτανίου, μέσα σε ειδική διάταξη γαλλίου-αρσενικού, ανεπτυγμένου σε πολύ χαμηλή θερμοκρασία, που φέρει κεραία κατάλληλου σχήματος. Η τεχνική αυτή αποδίδει κάποιες δεκάδες δισεκατομμυριοστών του Watt, με μια φασματική μορφή που ρυθμίζεται πλήρως από το σήμα του λέιζερ το οποίο εκπέμπει στο εγγύς υπέρυθρο.

Οι Ταλαντωτές Οπισθοδρομικού Κύματος (Backward -wave Oscillators, BWOs), αποτελούν ηλεκτρονικές λυχνίες κενού που μπορούν να παράγουν συνεχή ακτινοβολία στο άκρο των μεγάλων μηκών κύματος της περιοχής των Τθγ3πθγιζ, δηλαδή περίπου στα 0,1 - 1,5 Terahertz. Ωστόσο για να λειτουργήσουν οι εν λόγω συσκευές, απαιτούν ιδιαίτερα ομοιογενές μαγνητικό πεδίο.

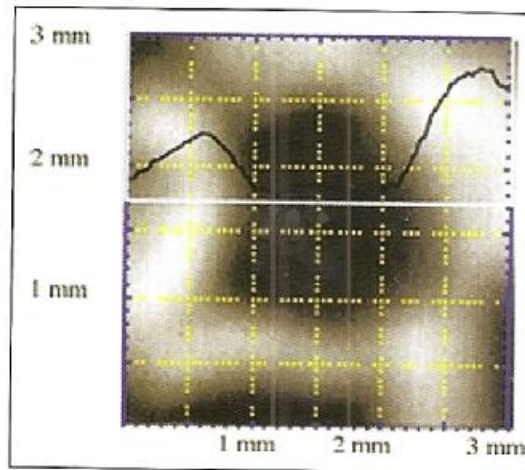
Τέλος, μια άλλη εταιρία, η Virginia Diodes, στο Charlottesville, έχει κατασκευάσει τις λεγόμενες Άμεσα Πολλαπλασιαζόμενες πηγές (Direct Multiplied sources, DM). Πρόκειται για πηγές που εκπέμπουν σήμα μήκους κύματος της τάξης των χιλιοστομέτρων, το οποίο στη συνέχεια πολλαπλασιάζουν ευθέως σε συχνότητες ΤθγβΗθιίζ. Ηδη έχουν

χρησιμοποιηθεί κάποιες, που εκπέμπουν περίπου στο 1 ΤβΓ3ΐϑΓίζ με ισχύ ενός εκατομμυριοστού του Watt, σε εργαστήρια ραδιοαστρονομίας. Ωστόσο, οι συγκεκριμένες πηγές αποδίδουν πολύ μεγαλύτερη ισχύ σε χαμηλότερες συχνότητες. Για τον λόγο αυτό χρησιμοποιούνται κυρίως σε εφαρμογές που απαιτούν συχνότητες χαμηλότερες των 500 GHz.

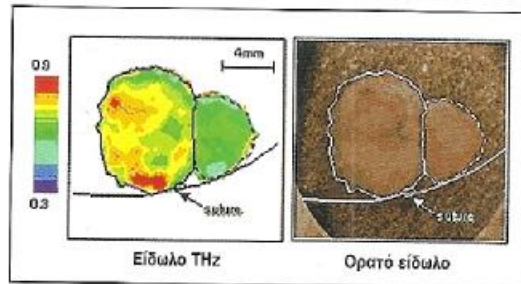
ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ

Η ακτινοβολία Terahertz ανοίγει νέους ορίζοντες στη φασματοσκοπία και τη δημιουργία τρισδιάστατων ειδώλων διαφόρων υλικών και δομών, αφού μπορεί να αποκαλύψει πλήρως τη μοριακή δομή των υλικών, αλλά και να σχηματίσει ταυτόχρονα έναν πλήρη «μοριακό χάρτη» της επιφάνειας ενός δείγματος, αν τη σαρώσει σημείο προς σημείο. Παρουσιάζουν εξαιρετικό ενδιαφέρον οι φασματοσκοπικές μελέτες του ίδιου υλικού με ακτινοβολίες διαφόρων μηκών κύματος. Ο τρόπος με τον οποίο ένα υλικό απορροφά, ανακλά ή σκεδάζει την ακτινοβολία εξαρτάται από τη συχνότητα της. Έτσι η φασματοσκοπική του μελέτη με διαφορετικές ακτινοβολίες αποκαλύπτει διαφορετικές πτυχές της δομής του κάθε φορά. Για παράδειγμα, το ορατό φως μας επιτρέπει να δούμε το μελάνι στο εξώφυλλο ενός βιβλίου, οι ακτίνες X το παρουσιάζουν ως ένα ομοιόμορφο υλικό και αγνοούν την ύπαρξη του μελανιού, ενώ οι ακτίνες T μας επιτρέπουν να δούμε αναλυτικά το εσωτερικό του βιβλίου και να διαβάσουμε το περιεχόμενο του χωρίς καν να το ανοίξουμε!

Απεικόνιση με ακτίνες T ενός δακτυλίου από πεοργεπε, ο οποίος είναι βυθισμένος σε άμμο βάθους 0,5 cm. Τα πεοργεπε είναι τυπικό παράδειγμα υλικού κατασκευής του περιβλήματος μη μεταλλικών ναρκών.



Απεικόνιση ενός καρκινικού όγκου του δέρματος.



Η τεχνική με την οποία συλλέγονται φάσματα ενός δείγματος με ακτινοβολία Terahertz καλείται Φασματοσκοπία Χρονικού Πεδίου (Time Domain Spectroscopy, TDS), ενώ στην παραλλαγή όπου σχηματίζεται και τρισδιάστατη αναπαράσταση της δομής, ονομάζεται Παλμική Απεικόνιση Terahertz (Terahertz Pulsed Imaging, TPI). Υπάρχει η δυνατότητα να μελετηθεί και η διερχόμενη από το δείγμα, και η ανακλώμενη ακτινοβολία, ανάλογα με το αν το δείγμα είναι διαφανές ή όχι στις Terahertz συχνότητες. Αυτό που μετράται είναι η μεταβολή στην ένταση του ηλεκτρικού πεδίου των παλμών σε συνάρτηση με τον χρόνο, με κατάλληλη δε μαθηματική επεξεργασία αυτή μετατρέπεται σε φάσμα. Η ακτινοβολία Terahertz σε αυτές τις τεχνικές παράγεται έμμεσα από το λέιζερ των υπερβραχέων παλμών με τον τρόπο που περιγράφηκε νωρίτερα. Η διάταξη λοιπόν έχει ως εξής: μια δέσμη ορατού φωτός από παλμικό λέιζερ υπερβραχέων παλμών διέρχεται από ειδικό κρύσταλλο που τη διαχωρίζει σε δύο δέσμες. Η πρώτη, η δέσμη άντλησης, προσπίπτει πάνω στο σύστημα το οποίο παράγει στη συνέχεια τους παλμούς συχνότητας Terahertz, ενώ η δεύτερη, η δέσμη διέγερσης, κατευθύνεται προς τον ανιχνευτή των ακτίνων Terahertz και ελέγχει τη λειτουργία του. Η δέσμη παλμών Terahertz, που δημιουργείται από το φως

άντλησης προσπίπτει στο δείγμα, οπότε είτε το διαπερνά είτε ανακλάται πάνω του, στη συνέχεια δε ο ανιχνευτής λαμβάνει τους διερχόμενους ή ανακλώμενους παλμούς Terahertz. Ταυτόχρονα, ανιχνεύει το ηλεκτρικό πεδίο των παλμών ορατού φωτός της δέσμης διέγερσης που προσπίπτουν πάνω του με ρυθμό Terahertz. Η οπτική διαδρομή της δέσμης διέγερσης μπορεί να μεταβληθεί με ειδικά κάτοπτρα και να μεταβληθεί έτσι ο χρόνος άφιξης της στον ανιχνευτή. Η χρονική καθυστέρηση που υφίσταται ο παλμός καθώς διαπερνά τα διάφορα επίπεδα του δείγματος δίνει μια πλήρη εικόνα του βάθους στο οποίο βρίσκεται το κάθε του τμήμα. Αν λοιπόν η δέσμη σαρώσει ολόκληρη την επιφάνεια, λαμβάνεται μια πλήρης τρισδιάστατη εικόνα του δείγματος. Έτσι γίνεται χρονική επεξεργασία του σήματος που φθάνει στον ανιχνευτή, και ανάλογα με τις χρονικές καθυστερήσεις που παρουσιάζει κάθε παλμός, σχηματίζεται το είδωλο, ενώ με μαθηματική επεξεργασία του ίδιου σήματος, δηλαδή με μετασχηματισμούς Fourier ως προς τον χρόνο, το χρονικό σήμα μετατρέπεται σε φάσμα ως προς τη συχνότητα, το οποίο ουσιαστικά είναι ένα φάσμα απορρόφησης και μας δίνει πολλές πληροφορίες όσον αφορά τη μοριακή σύσταση του δείγματος.

Όλο και περισσότεροι ερευνητές στρέφουν το ενδιαφέρον τους στη φασματοσκοπία με ακτίνες T. Άλλωστε, η ακτινοβολία Terahertz είναι μη ιονίζουσα και συνεπώς λιγότερο βλαβερή από τις ακτίνες X. Μια εταιρία που ασχολείται αποκλειστικά με φασματοσκοπία και απεικόνιση, είναι η Teraview, που εδρεύει στο Cambridge και είναι θυγατρική της Toshiba Research Europe. Η Teraview έχει ήδη κατασκευάσει ένα σύστημα απεικόνισης, παρόμοιο με αυτό που περιγράφηκε πιο πάνω, για ιατρικές αλλά και μη ιατρικές εφαρμογές, το οποίο όμως είναι αρκετά ογκώδες. Το πιο ογκώδες του τμήμα ωστόσο είναι το λέιζερ υπερβραχέων παλμών που απαιτείται για τη δημιουργία των παλμών Terahertz. Για τον σκοπό αυτό, η Teraview συνήψε συμφωνία με την εταιρία Coherent που εδρεύει στη Santa Clara, με σκοπό την κατασκευή ενός μικρότερου και οικονομικότερου λέιζερ ημιαγωγού. Μακροπρόθεσμο στόχο της ομάδας του Coherent, αποτελεί η σμίκρυνση της συσκευής παλμικής απεικόνισης Terahertz σε διαστάσεις ενός κοινού τηλεχειριστηρίου της τηλεόρασης.

Οι εμπορικές εφαρμογές στις οποίες σκοπεύει να κινηθεί η Teraview σε πρώτη φάση αφορούν τους χώρους της διαγνωστικής ιατρικής, της

φαρμακευτικής, της ασφάλειας και του μη καταστρεπτικού ελέγχου. Η παλμική απεικόνιση Terahertz αναμένεται να αποτελέσει σημαντικότερο διαγνωστικό εργαλείο για τον έγκαιρο εντοπισμό κάποιων μορφών καρκίνου. Το 85% των περιπτώσεων εμφάνισης καρκίνου, αφορά όγκους που αναπτύσσονται επιθηλιακά, δηλαδή στο δέρμα και γενικότερα στην επιφάνεια των ανθρώπινων ιστών, όπως οι όγκοι του μαστού, του προστάτη, των πνευμόνων. Οι συνήθεις διαγνωστικές μέθοδοι που χρησιμοποιούνται για τους επιθηλιακούς όγκους, δεν τους εντοπίζουν αρκετά νωρίς, διότι δεν είναι αρκετά ευαίσθητες σε μικροσκοπικές αλλαγές που συμβαίνουν στους ιστούς. Αντίθετα, η παλμική απεικόνιση Terahertz εμφανίζει εξαιρετικά μεγάλη ευαισθησία σε μικροσκοπικές διαφοροποιήσεις που μπορεί να υπάρχουν σε γειτονικά σημεία του ανθρώπινου ιστού και μπορεί να εντοπίσει καρκινώματα σε πολύ πρώιμα στάδια, όταν η ασθένεια είναι ακόμα απόλυτα ιάσιμη. Κάποιες πρώτες δοκιμές έχουν ήδη λάβει χώρα στο νοσοκομείο Addenbrooke, στο Cambridge, σε καρκινικούς όγκους του δέρματος, κατά τις οποίες η εν λόγω τεχνική απέδωσε έντονες διαφοροποιήσεις μεταξύ υγιούς και προσβεβλημένου ιστού, ακόμα και σε μη προχωρημένα στάδια. Οι ερευνητές δεν είναι ακόμα απολύτως βέβαιοι για το πού οφείλεται η τόσο μεγάλη ευαισθησία της μεθόδου. Κατά τον Don Arnone, διευθύνοντα σύμβουλο της Teraview, οι καρκινικοί όγκοι μάλλον παρουσιάζουν αυξημένη ροή αίματος σε σχέση με τον γειτονικό, υγιή ιστό, και η ακτινοβολία Terahertz είναι γενικά ιδιαίτερα ευαίσθητη στην περιεκτικότητα ενός υλικού σε νερό, διότι παρουσιάζει ισχυρή απορρόφηση μέσα σε αυτό. Βέβαια, αυτό είναι και μεγάλο μειονέκτημα της μεθόδου, διότι όπου υπάρχει αυξημένη περιεκτικότητα σε νερό, η ακτινοβολία δεν μπορεί να διεισδύσει σε αρκετά μεγάλο βάθος. Ωστόσο, ο βασικός στόχος της Teraview είναι ο πρώιμος εντοπισμός καρκινωμάτων του δέρματος που βρίσκονται ακριβώς κάτω από την επιδερμίδα και δεν γίνονται αντιληπτοί δια γυμνού οφθαλμού, ενώ οι υπόλοιπες μέθοδοι τους εντοπίζουν σε αρκετά προχωρημένα στάδια. Ένα τέτοιο επίτευγμα θα μπορούσε να μειώσει αισθητά το ποσοστό θνησιμότητας από κάποιες μορφές καρκίνου. Σίγουρα η παλμική απεικόνιση Terahertz δεν μπορεί να αντικαταστήσει πλήρως άλλες διαγνωστικές μεθόδους, όπως οι ακτινογραφίες, τα υπερηχογραφήματα και οι μαγνητικές τομογραφίες,

αποτελεί όμως εξαιρετικά σημαντική συμπληρωματική διαγνωστική μέθοδο, που μπορεί να προσφέρει πολύτιμες πληροφορίες.

Ένας άλλος χώρος της ιατρικής στον οποίο η παλμική απεικόνιση Terahertz μπορεί να αποτελέσει σημαντικό διαγνωστικό εργαλείο, είναι η οδοντιατρική. Η Teraview έχει ήδη κάνει τα πρώτα της βήματα προς αυτήν την κατεύθυνση. Οι ακτίνες T μπορούν να βοηθήσουν σημαντικά στην πρόληψη της καταστροφής των δοντιών από την τερηδόνα και τη διάβρωση. Η τερηδόνα οφείλεται σε βακτηρίδια που επικάθονται, λόγω των τροφών, στο εξωτερικό στρώμα των δοντιών, τη λεγόμενη αδαμαντίνη και την προσβάλλουν δημιουργώντας μια αλλοίωση εσωτερικά στο δόντι, με τη μορφή κοιλότητας. Αν η αλλοίωση αυτή δεν γίνει έγκαιρα αντιληπτή, προχωρά και στο εσωτερικό στρώμα του δοντιού, την οδοντίνη, και τότε η θεραπεία είναι αρκετά επώδυνη και ενδεχομένως να μη είναι και εφικτή, οπότε ο οδοντίατρος αναγκάζεται να καταφύγει στην εξαγωγή του δοντιού. Οι ακτινογραφίες των δοντιών εντοπίζουν τις κοιλότητες αυτές σε αρκετά προχωρημένο στάδιο, όταν πια απαιτείται διάτρηση του δοντιού με ειδικό τροχό και σφράγιση του με ειδικό υλικό. Με την παλμική απεικόνιση Terahertz λαμβάνονται τρισδιάστατα είδωλα των δοντιών, και διακρίνονται εξαιρετικά εύκολα τα δύο στρώματα της αδαμαντίνης και της οδοντίνης, λόγω του διαφορετικού δείκτη διάθλασης που φέρουν, καθώς και οποιαδήποτε απόκλιση της πυκνότητας και της σύστασης της αδαμαντίνης σε κάθε σημείο του δοντιού. Τα πειράματα Teraview απέδειξαν πως η εμφάνιση της τερηδόνας γίνεται αντιληπτή στα πρώτα στάδια πριν ακόμα αρχίσει να δημιουργείται η κοιλότητα, οπότε και αντιμετωπίζεται άμεσα.

Όσον αφορά τη διάβρωση του δοντιού, αυτή οφείλεται σε οξέα που έρχονται σε επαφή με το δόντι, οξέα που περιέχονται κυρίως στα ανθρακούχα αναψυκτικά. Η διάβρωση αυτή προσβάλλει, το δόντι με διαφορετικό τρόπο από αυτόν της τερηδόνας. Το αλλοιώνει από έξω προς τα μέσα, καταστρέφοντας σταδιακά ολόκληρη την αδαμαντίνη. Έτσι μειώνεται συνεχώς το μέγεθος του δοντιού και αν δεν αντιμετωπιστεί εγκαίρως η διάβρωση, αυτή προχωρά και στην οδοντίνη, οπότε εκεί η κατάσταση γίνεται εξαιρετικά επώδυνη και οδηγεί σε νέκρωση του δοντιού. Η συγκεκριμένη αλλοίωση αντιμετωπίζεται με τεχνικές οδοντοπροσθετικής που σημαίνουν μεγάλο κόστος και ταλαιπωρία για τον ασθενή. Από κάποιες μετρήσεις που εκτέλεσαν

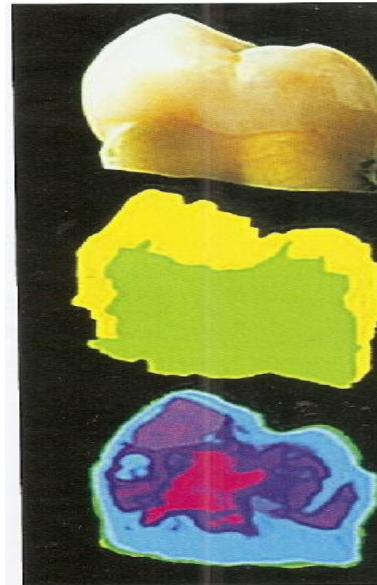
οι ερευνητές της Teraview, διαπίστωσαν ότι με τη χρήση των ακτινών T μπορούν να καταγράψουν μείωση του πάχους του δοντιού, ακόμα και της τάξης των μερικών χιλιοστών του χιλιοστομέτρου.

Μια άλλη εφαρμογή πάνω στην οποία διεξάγει τις πρώτες έρευνες η ομάδα του Cambridge, αν αποδώσει καρπούς, αναμένεται να αποβεί ιδιαίτερα προσοδοφόρα. Πρόκειται για τη βιομηχανία των καλλυντικών. Η εμφάνιση και η κατάσταση της επιδερμίδας του προσώπου και του σώματος εξαρτάται κατά κύριο λόγο από την υγρασία που κατακρατεί. Το σύνολο σχεδόν των καλλυντικών έχουν ως σκοπό την ενυδάτωση της περιοχής στην οποία εφαρμόζονται. Για την παραγωγή λοιπόν αποτελεσματικών προϊόντων, είναι πολύ σημαντική η λεπτομερής καταγραφή της περιεκτικότητας του δέρματος σε υγρασία, σημείο προς σημείο, καταγραφή που μπορεί να επιτευχθεί με τη μέθοδο της Teraview, αφού είναι εξαιρετικά ευαίσθητη στην περιεκτικότητα νερού και επιπλέον αρκεί να καταγράψει μόνο την εξωτερική επιδερμίδα, της οποίας το πάχος είναι στα όρια διείσδυσης των ακτινών Terahertz. Ήδη η Teraview έχει συνάψει συνεργασία με γνωστή εταιρία καλλυντικών.

Μια άλλη βιομηχανία που μπορεί να βοηθηθεί σημαντικά από τα συστήματα παλμικής απεικόνισης Terahertz και φασματοσκοπίας χρονικού πεδίου είναι η φαρμακοβιομηχανία. Τα συστήματα ακτινοβολίας Terahertz μπορούν να συνεισφέρουν σημαντικά στην επιτάχυνση της έρευνας πάνω στα φάρμακα και την ταχύτερη είσοδο τους στην αγορά, γεγονός πολύ σημαντικό για την ανακούφιση και τη θεραπεία χιλιάδων ασθενών σε όλο τον κόσμο. Καταρχήν, με τη χρήση ακτινών T διαπιστώνεται άμεσα πόσο ομοιόμορφα κατανεμημένες είναι οι θεραπευτικές ουσίες σε σκευάσματα μορφής χαπιού. Επιπλέον μελετάται ο χρόνος ζωής των φαρμάκων, δηλαδή πόσο γρήγορα εξασθενούν οι θεραπευτικές τους ουσίες. Σε πολλά φάρμακα, μετά τη διαδικασία κάθαρσης τους, τα μόρια κρυσταλλοποιούνται σε ποικίλες μορφές, που καλούνται πολύμορφα. Το κάθε πολύμορφο χαρακτηρίζεται από διαφορετική διαλυτότητα, σταθερότητα αλλά και βιοσυμβατότητα, και έτσι επιδρούν σημαντικά στην αποτελεσματικότητα του φαρμάκου. Μια από τις βασικές εργασίες των φαρμακοβιομηχανιών είναι η μελέτη των πολυμόρφων, η μεταξύ τους σύγκριση και ο αποκλεισμός κάποιων, αν κριθεί απαραίτητο. Η φασματοσκοπία με ακτίνες T, σε συνδυασμό με άλλες φασματοσκοπικές μεθόδους, παρέχει πολύτιμες πληροφορίες για όλα αυτά τα ζητήματα.



Με τα μάτια της ακτινοβολίας Terahertz, οι άνθρωποι φαίνονται σαν μεταλλικά ρομπότ ενώ τα ρούχα τους είναι εντελώς διαφανή.



Απεικόνιση ενός ανθρώπινου δοντιού με ακτίνες T.

Ωστόσο, οι εφαρμογές που αφορούν τον ιατροφαρμακευτικό χώρο, συνήθως καθυστερούν μερικά χρόνια ώσπου να εγκριθούν και να προχωρήσουν στην εμπορευματοποίηση τους, διότι αφορούν άμεσα την ανθρώπινη ζωή και υγεία και επιβάλλεται να περάσουν από διάφορες δοκιμασίες και ελέγχους πριν εφαρμοστούν στον ανθρώπινο οργανισμό. Για τον λόγο αυτό, η Teraview προχώρησε και σε άλλες, μη ιατρικές, εφαρμογές που θα μπορούσαν να προωθηθούν πολύ πιο γρήγορα.

Μια τέτοια εφαρμογή εντοπίζεται στον χώρο της ασφάλειας, στον οποίο βρίσκουν πρόσφορο έδαφος και η φασματική τεχνική και η τεχνική της απεικόνισης, αφού η πρώτη επιτρέπει την ανίχνευση επικίνδυνων ουσιών ενώ η δεύτερη την «οπτική» επαφή με κρυμμένα, επικίνδυνα αντικείμενα. Για παράδειγμα, με τις ακτίνες Terahertz μπορούν να ανιχνευτούν επικίνδυνες ουσίες μέσα σε φακέλους που έχουν αποσταλεί με το ταχυδρομείο, ή ακόμα και να αναγνωστεί το περιεχόμενο του φακέλου χωρίς καν αυτός να ανοιχθεί. Αυτό επιτυγχάνεται διότι το μελάνι έχει εντελώς διαφορετική χημική σύσταση από το χαρτί, και είναι εύκολο να απεικονιστεί με τις ακτίνες T η κατανομή του μελανιού στην επιφάνεια του χαρτιού, ακόμα και αν αυτό είναι διπλωμένο,

διότι η απεικόνιση είναι τρισδιάστατη και αναγνωρίζονται τα διάφορα επίπεδα της διπλωμένης σελίδας. Η δυνατότητα αυτή βέβαια προσφέρει και ένα ακόμα πλεονέκτημα, στους ιστορικούς και στους αρχαιολόγους, που μπορούν να μελετήσουν το περιεχόμενο πολύ παλαιών βιβλίων και συγγραμμάτων χωρίς τον κίνδυνο να τους προκαλέσουν φθορές ανοίγοντας τα. Επίσης, το ύφασμα αποτελεί υλικό διαφανές για τις ακτίνες Terahertz. οπότε απεικονίζονται όλα τα αντικείμενα που φέρει ένας άνθρωπος κρυμμένα μέσα στα ρούχα του, μεταλλικά και μη μεταλλικά. Ιδίως όταν η διάταξη παλμικής απεικόνισης Terahertz λάβει φορητή μορφή, ο έλεγχος για παρουσία όπλων θα αποτελεί μια εξαιρετικά απλή διαδικασία, κάτι που με τις ακτίνες X δεν είναι εύκολο αφού απαιτείται ειδική εγκατάσταση σε σταθερό σημείο. Επίσης απλοποιείται σημαντικά και ο εντοπισμός βομβών, ακόμα και αν είναι κατασκευασμένες από πλαστικό υλικό, αφού οι ακτίνες T μπορούν και το διαπερνούν, αλλά και ο εντοπισμός ναρκών. Οι νάρκες αποτελούν αιτία θανάτου αθώων ανθρώπων ακόμα και πολλά χρόνια μετά τη λήξη ενός πολέμου. Το πλαστικό υλικό τους καθιστά εξαιρετικά δύσκολη την ανίχνευση τους. Με κάποιες δοκιμές που έλαβαν χώρα σε ειδικά δοχεία γεμισμένα με άμμο, διαπιστώθηκε από τους ειδικούς της Teraview πως οι ακτίνες Terahertz μπορούν να ανιχνεύσουν, μεταλλικά ή μη, αντικείμενα θαμμένα σε βάθος ενός εκατοστόμετρου περίπου. Αυτό είναι το βάθος στο οποίο τοποθετούνται ως επί το πλείστον οι νάρκες κατά προσωπικού.

Μια άλλη ερευνητική ομάδα της Μεγάλης Βρετανίας, από το Rutherford Appleton Laboratory, έχει ήδη επιτύχει την κατασκευή μιας επαναστατικής κάμερας που δίνει την εικόνα του κόσμου μέσα από τις ακτίνες Terahertz. Η συσκευή αυτή έχει αρκετά μικρές διαστάσεις, περίπου μιας μπαταρίας αυτοκινήτου, ώστε να είναι φορητή, και πολύ χαμηλό κόστος, συνδυασμός που αναμένεται να επεκτείνει τις εφαρμογές και τη χρήση των ακτινών T. Μάλιστα, επειδή οι ερευνητές επεδίωκαν αποτελέσματα σε εξαιρετικά σύντομο χρονικό διάστημα, προχώρησαν σε μια πρωτοποριακή μέθοδο εργασίας. Αναγνωρίζοντας τα καθημερινά προβλήματα που αντιμετωπίζουν και τις καθυστερήσεις που υφίστανται λόγω γραφειοκρατικών διαδικασιών, ακαδημαϊκών υποχρεώσεων αλλά και λόγω του γεγονότος ότι μερικές φορές συνεργάζονται ομάδες από διαφορετικές χώρες οπότε απαιτούνται ταξίδια και συναντήσεις σε εποχές που να εξυπηρετούνται όλοι, αποφάσισαν να

δημιουργήσουν μια ερευνητική ομάδα απαλλαγμένη από όλα αυτά τα προβλήματα. Συγκέντρωσαν λοιπόν 30 εξέχοντες ερευνητές σε ένα ερευνητικό κέντρο που τους παρείχε εξοπλισμό υψηλής τεχνολογίας, απεριόριστη τεχνική υποστήριξη και οποιαδήποτε άλλη υπηρεσία απαιτεί η υψηλή έρευνα, τους ενέκριναν προϋπολογισμό 650.000 ευρώ και τους άφησαν να εργαστούν απερίσπαστοι, σε εντατικούς ρυθμούς, με σκοπό να αποδώσουν αποτέλεσμα (που διαφορετικά θα απαιτούσε δύο χρόνια) μέσα σε τέσσερις μήνες. Το πρόγραμμα αυτό ονομάστηκε Startiger, ξεκίνησε τον Ιούνιο του 2002 και, πράγματι, τον Ιούλιο του ίδιου έτους ελήφθη η πρώτη έγχρωμη απεικόνιση από ένα ανθρώπινο χέρι, που βρισκόταν πίσω από μία δέσμη χαρτιού πάχους 15 χιλιοστών, με την πρώτη Terahertz κάμερα. Η κάμερα αυτή αποτελείται από 16 ανιχνευτές καταμεμημένους σε τετραγωνική διάταξη. Κάθε ανιχνευτής φέρει δύο μέρη: μια μικροσκοπική κεραία σε σχήμα T μήκους ενός χιλιοστού, η οποία λαμβάνει την Terahertz ακτινοβολία και τη μετατρέπει σε ηλεκτρονικό παλμό, και ένα σύνολο οπτικών εξαρτημάτων που εστιάζουν την ακτινοβολία πάνω στην κεραία. Τα οπτικό αυτό σύστημα δεν αποτελείται από τους συνήθεις φακούς και κάτοπτρα, αλλά από φωτονικούς κρυστάλλους, δηλαδή κρυστάλλους πυριτίου στους οποίους έχει σχηματιστεί ένα σύστημα κυλινδρικών οπών κατάλληλα καταμεμημένων, ώστε να μεταφέρεται μια δέσμη ακτινοβολίας στην επιθυμητή διεύθυνση. Οι ανιχνευτές λειτουργούν σε δύο διαφορετικές συχνότητες, στα 0,3 και 0,25 Terahertz, ώστε η κάμερα να διακρίνει κάποια υλικά μεταξύ τους. Θα εκτελεστούν αρχικά προσομοιώσεις της λειτουργίας της κάμερας σε πανίσχυρα υπολογιστικά συστήματα και στη συνέχεια θα προχωρήσει η ομάδα στην κατασκευή του τελικού προϊόντος.

Πολλές εταιρίες έχουν επενδύσει κεφάλαια στην Startiger. Οι δύο βασικότερες είναι η ESA, η Ευρωπαϊκή Υπηρεσία Διαστήματος, που μελετά την ακτινοβολία Terahertz η οποία προέρχεται από το διάστημα, και φιλοδοξεί με την κάμερα αυτή να εντοπίσει πλήθος νέων γαλαξιών που εκπέμπουν μόνο σε αυτήν τη συχνότητα, και η QineyiQ, ένας ιδιωτικοποιημένος Βρετανικός οργανισμός που διεξάγει στρατιωτική έρευνα. Η Terahertz κάμερα μπορεί να αποτελέσει σημαντικό βοήθημα για τους πιλότους των αεροσκαφών, αφού δίνει την εικόνα του χώρου που υπάρχει πίσω από πυκνή ομίχλη, ενώ μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για λόγους ασφαλείας και φυσικά

για ιατρικούς σκοπούς, όπως το σύστημα της Teraview. Οι αστρονόμοι γενικά θα βρουν έναν πολύτιμο βοηθό στην έρευνα τους για την αρχή του σύμπαντος, διότι εκτιμούν πως το 98% της ακτινοβολίας που προέκυψε από τη «Μεγάλη Έκρηξη» ανήκει στην εν λόγω περιοχή. Αρκετές είναι και οι εφαρμογές στη μετεωρολογία, αφού με τη χρήση συστημάτων ακτινών T τοποθετημένων πάνω σε δορυφόρους ή τηλεσκόπια μπορούν να ανιχνευτούν διάφορα συστατικά της ατμόσφαιρας και η ακριβής συγκέντρωσή τους.

Ωστόσο, παρά τα οφέλη που παρέχουν τα συστήματα ακτινοβολίας Terahertz, υπάρχουν αρκετές αντιδράσεις σε ηθικό επίπεδο. Ένα σύστημα που μπορεί να «δει» μέσα από τα ενδύματα και τους τοίχους των κατοικιών, παραβιάζει σε μεγάλο βαθμό την ιδιωτική ζωή των πολιτών. Κατά τον Jim Dempsey, ηγετικό στέλεχος του Κέντρου για τη Δημοκρατία και την Τεχνολογία στην Ουάσιγκτον, αυτά τα συστήματα απεικόνισης έρχονται σε σύγκρουση με το Σύνταγμα και τη διακήρυξη της ελευθερίας του ατόμου. Τον Ιούλιο του 2001 αποφασίστηκε από το Ανώτατο Δικαστήριο των Ηνωμένων Πολιτειών πως οι κάμερες υπερύθρων απαγορεύεται να χρησιμοποιούνται για απεικόνιση του εσωτερικού των κατοικιών εκτός αν υπάρχει δικαστικό ένταλμα, ενώ κάτι παρόμοιο αναμένεται να αποφασιστεί και για τις κάμερες Terahertz. Πάντως, σίγουρα, παρά τις αντιρρήσεις και τα κοινωνικά αυτά θέματα, παρουσιάζει πολύ μεγάλο ενδιαφέρον να δει κανείς τον κόσμο με τα μάτια της ακτινοβολίας Terahertz.

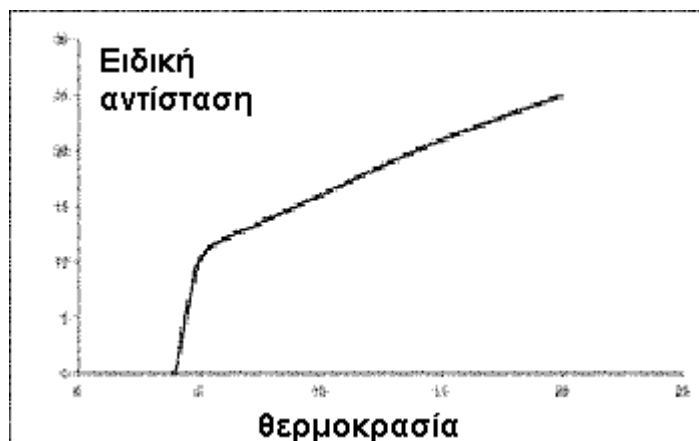
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο

ΟΙ ΤΕΛΕΥΤΑΙΕΣ ΔΕΚΑΕΤΙΕΣ – ΥΠΕΡΑΓΩΓΙΜΩΤΗΤΑ

Η ανακάλυψη. Μηδενική αντίσταση και ηλεκτρικό ρεύμα που δεν θερμαίνει

Την πρώτη δεκαετία του εικοστού αιώνα το εργαστήριο του Kammerlingh Onnes στο έχει γίνει διάσημο στην κοινότητα των φυσικών για τα επιτεύγματά του στις τεχνικές υγροποίησης αερίων, τεχνικές που άνοιγαν το δρόμο για την έρευνα των ιδιοτήτων των στερεών στις θερμοκρασίες της περιοχής του απολύτου μηδενός. Μία από τις σχετικές έρευνες αφορούσε και την αγωγιμότητα των μετάλλων στις θερμοκρασιακές αυτές περιοχές . Τρία χρόνια μετά την υγροποίηση του ηλίου, το έτος δηλαδή 1911 ο Onnes ανακάλυψε ότι σε πολύ χαμηλές θερμοκρασίες, - τις οποίες κατάφερε να προσεγγίζει με υγρό ήλιο - η ηλεκτρική αντίσταση του υδραργύρου μηδενίζεται, η αγωγιμότητά του με άλλα λόγια γίνεται άπειρη. Κάτω από τη θερμοκρασία των 4, 2 K

ο υδράργυρος εκδηλώνει « **υπεραγωγιμότητα** »



Στα χρόνια που ακολούθησαν η εργαστηριακή εμπειρία έδειξε ότι δεν ήταν μόνο ο υδράργυρος. Ήταν και άλλα μέταλλα , ξαφνικά, σε μια ορισμένη τιμή θερμοκρασίας, χαρακτηριστική για καθένα από αυτά - ΚΡΙΣΙΜΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ- έχαναν την ηλεκτρική τους αντίσταση. Ο μόλυβδος στους

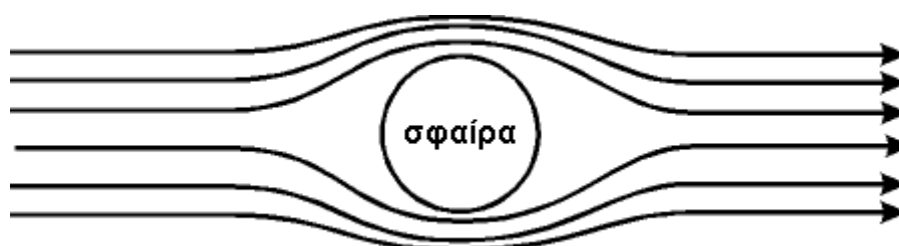
7,2 K, ο κασσίτερος στους 3,7 K, το χρώμιο στους 3 K, το αλουμίνιο σε 1,4 K ο ψευδάργυρος στους 0,9 K, έχαναν την ηλεκτρική τους αντίσταση.

Το εντυπωσιακό ήταν ότι η εκδήλωση της υπεραγωγιμότητας σήμαινε ότι το ηλεκτρικό ρεύμα που έκανε σε κάθε περίπτωση την εμφάνισή του δεν θύμιζε «ηλεκτρικό ρεύμα» ως προς το ότι δεν συνέβαινε υποβάθμιση της ενέργειας, μετατροπή δηλαδή της ενέργειας σε θερμική ενέργεια όπως συμβαίνει στα γνωστά μας ηλεκτρικά ρεύματα. Ηλεκτρικά ρεύματα που δημιουργήθηκαν σε κλειστά υπεραγωγίμα κυκλώματα διατηρήθηκαν επί χρόνια χωρίς απόσβεση μολονότι στο κύκλωμα δεν υπήρχε καμία ηλεκτρική πηγή.

Διώχνουν από μέσα τους τα μαγνητικά πεδία

Το δεύτερο εντυπωσιακό φαινόμενο που συνόδευε την εκδήλωση υπεραγωγιμότητας ανακαλύφθηκε από τον Γερμανό Walter Meissner 30 χρόνια αργότερα. Ένα υπεραγωγίμο υλικό σε θερμοκρασία κάτω από την κρίσιμη εάν βρεθεί σε μαγνητικό πεδίο, απωθεί όλες τις δυναμικές γραμμές του πεδίου. Το φαινόμενο αυτό είναι γνωστό σήμερα ως φαινόμενο Meissner. Η υπεραγωγιμότητα δηλαδή σχετίζεται:

- α. με ΜΗΔΕΝΙΚΗ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ και
- β. με την εκδήλωση ενός έντονου ΔΙΑΜΑΓΝΗΤΙΣΜΟΥ



όταν δηλαδή ο υπεραγωγός βρεθεί σε μαγνητικό πεδίο η μαγνήτισή του είναι αντίθετη προς το μαγνητικό πεδίο με αποτέλεσμα να εμφανίζονται απωστικές δυνάμεις ανάμεσα στον υπεραγωγό και στον μαγνήτη

Τα σιδηρομαγνητικά υλικά, Fe, Ni, Co δεν είναι υπεραγωγοί, όπως και τα μέταλλα Na, K, Cu, Ag, Au που έχουν ένα ηλεκτρόνιο στην εξωτερική στιβάδα.

Δύο είδη υπεραγωγών

Υπεραγωγοί τύπου I - Είναι εκείνοι που απωθούν τελείως από το εσωτερικό τους τα εφαρμοζόμενα μαγνητικά πεδία. Τα πιο συνηθισμένα και απλά υπεραγωγιμα υλικά, ο Pb, Hg, Sn, Cr, Zn, είναι τύπου I.

Οι υπεραγωγοί τύπου I είναι μέταλλα που εκδηλώνουν αγωγιμότητα σε συνήθεις θερμοκρασίες

Η θεωρία BCS παρέχει ικανοποιητική ερμηνεία στην υπεραγωγιμότητα τύπου I. Η θεωρία BCS υποστηρίζει ότι τα ηλεκτρόνια ομαδοποιούνται σε ζεύγη Cooper προκειμένου να βοηθήσουν το ένα το άλλο να ξεπεράσει τα «εμπόδια» που θέτει η κρυσταλλική δομή στην κίνησή τους

Υπεραγωγοί τύπου II - Είναι εκείνοι οι οποίοι αποβάλλουν τελείως από το εσωτερικό τους τα μικρής έντασης μαγνητικά πεδία, αλλά αποβάλλουν μόνον εν μέρει τα εφαρμοζόμενα μαγνητικά πεδία μεγάλης έντασης. Ο διαμαγνητισμός τους δεν είναι τέλειος αλλά μερικός στα ισχυρά μαγνητικά πεδία. Το Νιόβιο είναι ένα παράδειγμα ενός στοιχειώδους υπεραγωγού τύπου II.

Οι υπεραγωγοί τύπου 2 – που είναι και οι «σκληροί» υπεραγωγοί - είναι ενώσεις και κράματα μετάλλων. Διαφέρουν από τους τύπου I διότι η μετάβασή τους από τη φυσική τους κατάσταση στην κατάσταση υπεραγωγού γίνεται βαθμιαία. Με αυτούς επιτυγχάνονται ψηλότερες ΚΡΙΣΙΜΕΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΕΣ, όπως η θερμοκρασία ρεκόρ των 138 K για ένα υλικό με Hg, TlO, Ba, Ca, Cu, O.

Οι πολύ υψηλές αυτές κρίσιμες θερμοκρασίες οφείλονται σε μηχανισμούς που δεν έχουν μέχρι σήμερα γίνει κατανοητοί.

Μια θεωρητική ερμηνεία από την Κβαντική Φυσική

Μέχρι το 1957 η υπεραγωγιμότητα ήταν ένα φαινόμενο χωρίς ερμηνεία. Το 1957 ο John Bardeen, ο Leon Cooper και ο Robert Schrieffer παρουσίασαν τη θεωρία BCS που φέρει τα αρχικά των ονομάτων τους.

Η έννοια κλειδί στη θεωρία τους ήταν το ζευγάρωμα των ηλεκτρονίων με ενέργεια κοντά στη στάθμη Fermi, σε «ΖΕΥΓΟΣ COOPER» μέσα από την αλληλεπίδραση με το κρυσταλλικό πλέγμα. Το ζευγάρωμα συνοδεύεται από μία ασθενική έλξη σχετιζόμενη με τις ταλαντώσεις του πλέγματος. Η σύζευξη με το πλέγμα λέγεται και ρηονον αλληλεπίδραση

Το ζεύγος Cooper είναι δύο ηλεκτρόνια που δείχνουν να ομαδοποιούνται – σε συμφωνία με τη θεωρία BCS ή με κάποια άλλη- παρά το γεγονός ότι και τα δύο έχουν αρνητικό φορτίο και «φυσιολογικά» θα έπρεπε να απωθούνται. Κάτω από τη κρίσιμη θερμοκρασία T_c τα ζευγάρια αυτά ηλεκτρονίων δημιουργούν ένα συμπύκνωμα – μία μοναδική κβαντική κατάσταση- το οποίο ρέει χωρίς αντίσταση. Δεδομένου όμως ότι μόνο ένα μικρό κλάσμα των ηλεκτρονίων είναι ζεύγη το αντικείμενο στο οποίο συμβαίνει αυτό δεν χαρακτηρίζεται ως ένα συμπύκνωμα Bose Einstein

Τα βασικά σημεία της θεωρίας BCS

Τα ηλεκτρόνια καθώς κινούνται μέσα στο μέταλλο, αλληλεπιδρούν με τα κατιόντα, δημιουργώντας τοπικές παραμορφώσεις του φορτίου - δηλαδή περιοχές με μεγαλύτερη πυκνότητα θετικού φορτίου γύρω τους - οι οποίες διαδίδονται μέσα στην πλεγματική δομή καθώς ταξιδεύει το ηλεκτρόνιο και προκαλούν με τη σειρά τους νέες παραμορφώσεις στο περιοδικό δυναμικό. Βλέπε και την παραπάνω εικόνα. Ένα άλλο ηλεκτρόνιο τώρα που βρίσκεται σε κάποια απόσταση, έλκεται από αυτήν την τοπική θετική πυκνότητα φορτίου που διαδίδεται μαζί με το πρώτο ηλεκτρόνιο. Ουσιαστικά δηλαδή πρόκειται για μια αλληλεπίδραση ηλεκτρονίου-φωνονίου.

Με τον τρόπο αυτό τα ηλεκτρόνια έλκονται έμμεσα το ένα με το άλλο και σχηματίζουν ένα ζεύγος Cooper. Η κατάσταση αυτή των δύο ηλεκτρονίων είναι μια δέσμια κατάσταση, και τα ζεύγη αυτά είναι οι φορείς του ρεύματος κατά την υπεραγωγιμότητα.

Γιατί όμως τα ζεύγη αυτά έχουν τόσο υψηλή αγωγιμότητα; Η θεωρητική απάντηση είναι ότι ένα ζεύγος Cooper είναι πιο σταθερό ενεργειακά από ένα μεμονωμένο ηλεκτρόνιο. Φυσικά αυτό εξηγείται επειδή το ζεύγος Cooper είναι πιο ανθεκτικό κατά τις σκεδάσεις με τις ταλαντώσεις του πλέγματος, καθώς η έλξη του κάθε ηλεκτρονίου με τον συνέταιρό του βοηθάει και τα δύο να μην ξεφεύγουν από την πορεία τους. Τα ζευγάρια Cooper κινούνται μέσα στο πλέγμα, σχετικά ανεπηρέαστα από τις θερμικές ταλαντώσεις, κάτω από την κρίσιμη θερμοκρασία.

Η θεωρία BCS όμως προβλέπει μια θεωρητική μέγιστη τιμή για κρίσιμη θερμοκρασία, της τάξης των 30-40K, καθώς πάνω από αυτήν η θερμική

ενέργεια θα απαιτούσε αλληλεπιδράσεις ηλεκτρονίων-φωονίων πολύ υψηλής ενέργειας για να δημιουργηθούν και να παραμείνουν σταθερά τα ζεύγη Cooper.

Το 1986 ωστόσο γνωρίσαμε υπεραγωγούς με υψηλή κρίσιμη θερμοκρασία, που έσπασαν το όριο των 30-40K. Η υψηλότερη T_c σήμερα φτάνει τους 150K. Η θεωρία BCS δεν μπορεί να εξηγήσει αυτή την υπεραγωγιμότητα.



Το φαινόμενο σήραγγας Josephson

Μια άλλη σημαντική θεωρητική πρόοδος έγινε το 1962 από τον 22χρονο Brian D. Josephson, φοιτητή του Cambridge University, ο οποίος πρόβλεψε ότι ΕΝΑ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟ ΡΕΥΜΑ ΘΑ ΜΠΟΡΟΥΣΕ ΝΑ ΚΑΝΕΙ ΤΗΝ ΕΜΦΑΝΙΣΗ ΤΟΥ ΜΕΤΑΞΥ ΔΥΟ ΥΠΕΡΑΓΩΓΙΜΩΝ ΥΛΙΚΩΝ ακόμα κι αν μεταξύ τους βρίσκεται ένα μη υπεραγωγίμο υλικό ή ένας μονωτής. Η πρόβλεψή του επιβεβαιώθηκε και 1973 τιμήθηκε με το βραβείο Nobel. Το φαινόμενο αυτό σήραγγας «φαινόμενο Josephson» έχει βρει εφαρμογή στον ανιχνευτή SQUID, τον καλύτερο ανιχνευτή μαγνητικών πεδίων.

Η έννοια ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟ ΧΑΣΜΑ

Είναι η ενέργεια που απαιτείται να σπάσει ένα ζεύγος ηλεκτρονίων. Σύμφωνα με τη θεωρία BCS η τιμή του προσδιορίζεται από την

$$E_g = 7/2 kT_c, \quad (5.1)$$

όπου k η σταθερά του Boltzmann ($8.62 \cdot 10^{-5} \text{ eV/K}$).

Εφόσον το ζεύγος ηλεκτρονίων θεωρείται σήμερα η βασική μέθοδος για την ερμηνεία της υπεραγωγιμότητας το ενεργειακό χάσμα είναι και η ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ για να πάψει να υφίσταται η κατάσταση υπεραγωγιμότητας

Κβάντωση της μαγνητικής ροής

Ένας υπεραγωγός τύπου I μπορεί να παγιδεύσει τη μαγνητική ροή εφόσον βρεθεί σε μαγνητικό πεδίο με θερμοκρασία μεγαλύτερη από την κρίσιμη. Τόσο η θεωρία London όσο και η BCS προβλέπουν ότι η παγιδευμένη μαγνητική ροή είναι κβαντισμένη.

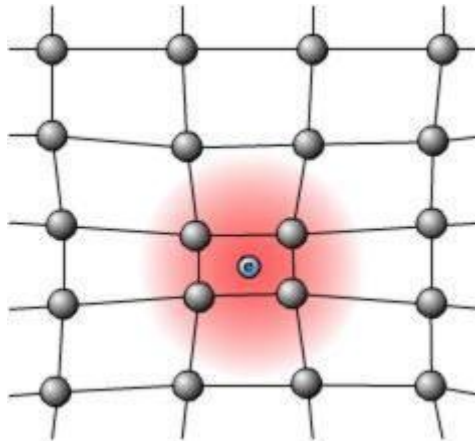
$$\Phi = n\Phi_0 \quad \text{με} \quad \Phi_0 = \pi\hbar/e \quad (5.2)$$

ΚΡΙΣΙΜΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ

Η κρίσιμη θερμοκρασία είναι το πιο σημαντικό χαρακτηριστικό των υπεραγωγίων υλικών. Η θερμοκρασία μετάβασης εξαρτάται από το υπεραγωγίμο υλικό και το υπόστρωμά του. Τα νέα υψηλής θερμοκρασίας υπεραγωγίμα υλικά που ανακαλύφθηκαν την περίοδο 1986-1988 έχουν μεγάλη θερμοκρασία μετάβασης, κρίσιμη πυκνότητα ρεύματος και κρίσιμο μαγνητικό πεδίο. Αυτά τα υλικά είναι παραδοσιακοί υπεραγωγοί και μπορούν να κατασκευαστούν με ελάχιστο κόστος και πολυπλοκότητα.

Το στοιχείο TIBACACuO (TBCCO) έχει μηδενική αντίσταση σε κρίσιμη θερμοκρασία των 125K, αλλά το θάλλιο είναι τόσο δηλητηριώδες που μπορεί να μην είναι χρήσιμο σε ορισμένες περιπτώσεις. Ειδικός χειρισμός και σταθερό περιβάλλον μπορεί να χρειάζεται όταν το θάλλιο χρησιμοποιείται. Σύμφωνα με τον ερευνητή της IBM, Ed Angler, η κρίσιμη θερμοκρασία μπορεί να διακυμάνεται ελέγχοντας τον αριθμό των επιπέδων στο υλικό του θάλλιου.

ΔΟΝΗΣΕΙΣ ΠΛΕΓΜΑΤΟΣ



Οι δονήσεις πλέγματος σε ένα υψηλής θερμοκρασίας υπεραγώγιμο κεραμικό οξείδιο είναι αρκετά μαλακές και είναι πρωταρχικά υπεύθυνες για θερμοκρασίες μετάβασης. Γενικά οι δονήσεις πλέγματος παίζουν ένα βασικό ρόλο στις υπεραγώγιμες ιδιότητες του κεραμικού οξειδίου. Αυτά τα οξείδια πάσχουν από προβλήματα μηχανικά και ηλεκτρικά. Μπορούν να είναι εύθραστα, δύσκολα να χειριστούν, και έχουν χαμηλά κρίσιμα ρεύματα. Καινοτομικές τεχνικές επεξεργασίας έχουν αναπτυχθεί για να ξεπεραστούν αυτά τα προβλήματα. Τα νέα υπεραγώγιμα υλικά μπορούν να παραχθούν σε λεπτό φιλμ ή σχηματισμό μονοκρυσταλλικό.

ΣΥΝΔΕΣΗ ΤΗΣ ΥΠΕΡΑΓΩΓΙΜΗΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ

ΜΕ ΑΛΛΕΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ.

Η βραβευμένη με το Nobel 1987 ανακάλυψη των υπεραγώγιμων υλικών, που οδήγησε στη γρήγορη ανάπτυξη υλικών με θερμοκρασία μετάβασης αρκετά πάνω από τη θερμοκρασία υγρού αζώτου, δημιούργησε την έναυση για παγκόσμια έρευνα και ανάπτυξη. Εργαστηριακά πειράματα επιδεικνύουν ότι αυτή η νέα τεχνολογία είναι εύρωστη για να υπηρετήσει διαστημικές και στρατιωτικές εφαρμογές. Καθοριστικές μειώσεις σε απώλειες, βάρος, μέγεθος και κατανάλωση ισχύος έχουν συνειδητοποιηθεί με την εφαρμογή της υπεραγώγιμης τεχνολογίας. Κινητήρες συνεχούς ρεύματος που χρησιμοποιούν υπεραγώγιμη τεχνολογία μπορούν να επιτύχουν έξοδο

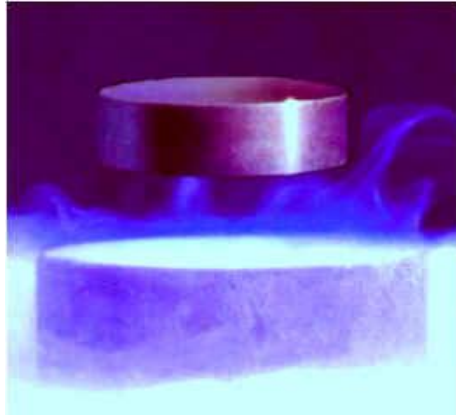
μεγαλύτερη από 60 φορές από τη συμβατική τεχνολογία. Οι εναλλασσόμενοι σύγχρονοι κινητήρες με περιελίξεις που αποτελούνται από υψηλής θερμοκρασίας υπεραγώγιμα πηνία έχουν δείξει αξιοσημείωτη μείωση στο βάρος, το μέγεθος, και τις απώλειες.

Πρόσφατα ένα χαμηλής απώλειας, φορητό, μικροκυματικό φίλτρο έχει αναπτυχθεί για εφαρμογές στον εξοπλισμό δορυφορικών τηλεπικοινωνιών, που φαίνεται η ανάπτυξη της υψηλής θερμοκρασίας υπεραγώγιμης τεχνολογίας σε μονολιθικά ολοκληρωμένα κυκλώματα (MMIC). Η υπεραγώγιμη τεχνολογία έχει αναπτυχθεί στην τεχνολογία της υπέρυθρης ανίχνευσης, με αξιοσημείωτη βελτίωση στην αύξηση της απόκρισης.

Σύγχρονες έρευνες στην υπεραγώγιμη ηλεκτρονική τεχνολογία οδηγούν προς εκείνη τη μέρα όπου οι συμβατικοί ημιαγωγοί θα αντικατασταθούν από τις επαφές Josephson στους ψηφιακούς επεξεργαστές και τα ψηφιακά ή υβριδικά συστήματα. Η υπεραγώγιμη τεχνολογία μπορεί να χρησιμοποιηθεί από ψηφιακές εφαρμογές λόγω μιας συγκεκριμένης ιδιότητας: Η κβάντιση της μαγνητικής ροής σε ένα υπεραγώγιμο βρόχο. Αυτή η ιδιότητα χρησιμοποιείται ευρέως στο σχεδιασμό και την ανάπτυξη υπεραγώγιμων λογικών κυκλωμάτων και γρήγορους A/D μετατροπείς. Υψηλή ανάλυση, πολύ στενό εύρος ζώνης, μεγάλη δυναμική περιοχή, γρήγορη απόκριση, ελάχιστο μέγεθος, και χαμηλή κατανάλωση ισχύος είναι τα κυριότερα πλεονεκτήματα αυτών των συσκευών. Η υπεραγωγιμότητα επίσης διαδραματίζει ένα ρόλο κλειδί στην επιστήμη των ηλεκτρονικών μηχανικών, οπτικών μηχανικών, σε υψηλής ισχύος μαγνήτες, σε συστήματα προώθησης, σε τρένα μαγνητικά



υπερυψωμένα, σε γεννήτριες ισχύος, και σε μεταφορά ενέργειας.



Αιώρηση μαγνήτη πάνω από υπεραγώγιμο υλικό

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6^ο ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ ΕΠΙΛΟΓΟΣ ΠΑΡΑΠΟΜΠΕΣ

Φαίνεται γενικά αποδεκτό ότι η φυσική των στοιχειωδών σωματιδίων διαδραματίζει έναν πολύ σημαντικό ρόλο στη σύγχρονη επιστήμη. Αυτό μπορεί να διαπιστωθεί από το πλήθος των φυσικών που ασχολούνται με την έρευνα αυτού του πεδίου και από τους εξαιρετικά μεγάλους προϋπολογισμούς εθνικών και διεθνών οργανισμών οι οποίοι παρέχουν τον απαραίτητο πειραματικό εξοπλισμό γι'αυτή την έρευνα.

Παίρνουμε όμως πιο θεμελιώδεις, πιο ουσιώδεις πληροφορίες όταν τα συγκρουόμενα σωματίδια έχουν ολοένα και μεγαλύτερες ενέργειες, δηλαδή όταν κατασκευάζουμε ολοένα και πιο μεγάλους επιταχυντές. Είναι ένα σχεδόν γενικά αποδεκτό δόγμα πως έτσι πρέπει να γίνεται. Στο παρελθόν, το βήμα σε μεγαλύτερες ενέργειες άνοιγε κάθε φορά ένα νέο πεδίο, γιατί λοιπόν δεν θα έπρεπε να συνεχιστεί αυτή η κατάσταση και στο μέλλον;

Ακόμη και αν αυτό το δόγμα είναι αποδεκτό, τα οικονομικά και κοινωνικά προβλήματα του καιρού μας θα καταστήσουν εξαιρετικά δύσκολη την οικονομική υποστήριξη της κατασκευής επιταχυντών πολύ μεγαλύτερους από τους υπάρχοντες. Επομένως αναμένουμε ότι κατά τις επόμενες δεκαετίες η φυσική των στοιχειωδών σωματιδίων θα πρέπει να βασίζεται στις υπάρχουσες εγκαταστάσεις. Οι δακτύλιοι αποθήκευσης της Γενεύης είναι η εγκατάσταση που παράγονται οι διαδικασίες με τη μεγαλύτερη δυνατή ενέργεια. Αν νέα πειραματικά αποτελέσματα προσελκύσουν το ενδιαφέρον των επιστημόνων σε ακόμη μεγαλύτερες ενέργειες, θα μπορούσε ίσως κανείς να χρησιμοποιήσει την κοσμική ακτινοβολία για μια προκαταρκτική διερεύνηση. Βέβαια τα πειράματα αυτά με την κοσμική ακτινοβολία δεν μπορούν να είναι εξίσου αξιόπιστα.

Μερικοί φυσικοί κάνουν έκκληση για την κατασκευή μεγαλύτερων επιταχυντών παρ' όλες τις οικονομικές, πολιτικές και κοινωνικές επιπτώσεις, συγκρίνοντας αυτές τις μηχανές του παρόντος με τις αιγυπτιακές πυραμίδες ή με τους καθεδρικούς ναούς του Μεσαίωνα. Υποστηρίζουν ότι εκείνα τα τεράστια μνημεία ανεγέρθηκαν ως σύμβολα της σχέσης της ανθρωπότητας με την υπέρτατη δύναμη. Η ερμηνεία του κόσμου, κάτι τόσο ουσιώδες για τις κοινωνίες εκείνων των εποχών, γινόταν ορατή μέσω του μεγάλου συμβόλου.

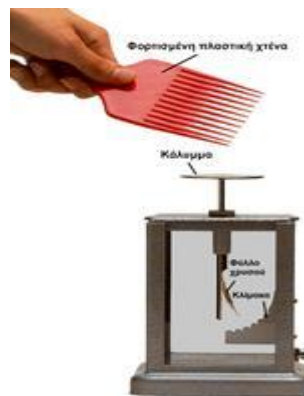
Με τον ίδιο τρόπο, οι μεγάλοι επιταχυντές του καιρού μας θα μπορούσαν να είναι τα σύμβολα της επιστημονικής ερμηνείας μας για τον κόσμο.

Δεν ξέρω αν μπορούμε να επιδοκιμάσουμε αυτού του είδους τη θέση. Είναι αλήθεια ότι η επιστήμη φαίνεται να αποτελεί το επίκεντρο της εμπιστοσύνης στις μέρες μας. Στην Ιατρική, στη γεωργία, στις τεχνικές εφαρμογές, βασιζόμαστε στην ορθότητα της επιστήμης. Ταυτόχρονα, όμως, αισθανόμαστε πως αυτή η ερμηνεία του κόσμου είναι πολύ στενή. Παραλείπει ουσιώδη τμήματα που ανήκαν στο περιεχόμενο των αρχαιότερων θρησκειών, ώστε είναι δύσκολο να μιλήσει κανείς γι' αυτά. Ωστόσο η ανησυχία της νέας γενιάς καθώς και πολλά άλλα δείγματα αστάθειας φαίνεται να υποδηλώνουν πως υπάρχει κάποιο χάσμα που πρέπει να καλυφθεί. Δεν γίνεται να λοιπόν να δεχθούμε ότι ο μέσος άνθρωπος μπορεί να θεωρήσει έναν μεγάλο επιταχυντή, που απ' έξω μοιάζει με ένα μεγάλο εργοστάσιο, ως σύμβολο της ερμηνείας του για τον κόσμο.

ΠΑΡΑΠΟΜΠΕΣ

1) Το ηλεκτροσκόπιο είναι μια απλή συσκευή με την οποία ανιχνεύουμε αν ένα σώμα είναι ηλεκτρισμένο. Αποτελείται από μια φιάλη, η οποία στο εσωτερικό της έχει δύο λεπτά φύλλα χρυσού τα οποία μέσω μιας μεταλλικής ράβδου συνδέονται με έναν μεταλλικό δίσκο, ο οποίος βρίσκεται έξω από την φιάλη.

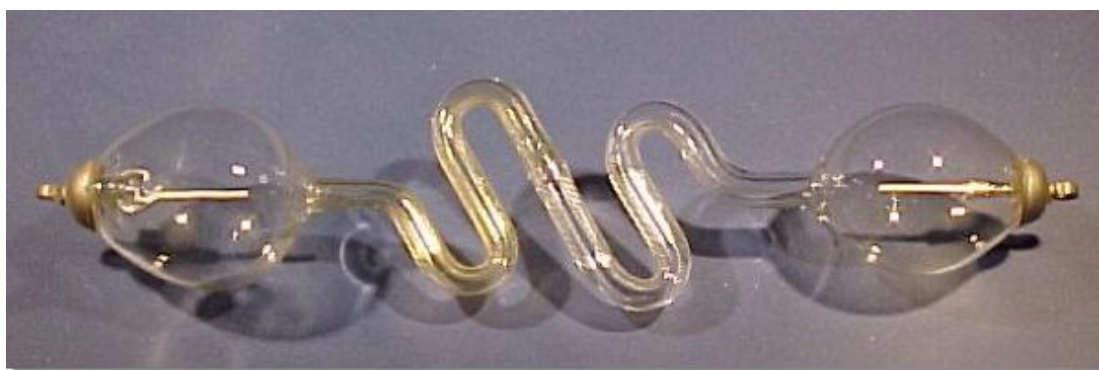
Αν ακουμπήσουμε ένα ηλεκτρισμένο σώμα στο δίσκο, το ηλεκτρικό φορτίο θα περάσει, μέσω της ράβδου, από το σώμα στα δύο μεταλλικά φύλλα, τα οποία θα φορτιστούν ομώνυμα. Όμως τα ομώνυμα φορτία απωθούνται και έτσι τα δύο φύλλα απωθούνται και τελικά αποκλίνουν, δείχνοντας μας ποιά σώματα είναι φορτισμένα



Η πλαστική χτένα φορτίζεται όταν τρίβεται πάνω σε μαλλί. Μπορούμε να μετρήσουμε το φορτίο της, αν τη φέρουμε σε επαφή με ένα ηλεκτροσκόπιο φύλλων χρυσού και παρατηρήσουμε την απόκλιση των φύλλων από τη ράβδο.

2) Το 1855 κατασκεύασε ο Johann Wilhelm Geissler (Γκάισλερ, 1814-1879), υαουργός από εκπαίδευση, αλλά με ερευνητικές ανησυχίες, μία αεραντλία χωρίς κινούμενα μηχανικά μέρη, η οποία δημιουργούσε κενό της τάξης των 0,008 Torr, περί τις 300 φορές καλύτερο. για το σκοπό αυτό βελτίωσε ο Γκάισλερ την αεραντλία του Toricelli. Σ' αυτή την κατασκευή πραγματοποιούσε μια στήλη υδραργύρου κατακόρυφες ταλαντώσεις και το κενό που δημιουργείτο στο πάνω μέρος του σωλήνα απορροφούσε τον αέρα από ένα κλειστό δοχείο. Οι λεγόμενοι σωλήνες Γκάισλερ που διαδόθηκαν

ευρέως και αξιοποιήθηκαν, μεταξύ άλλων, στις μελέτες για τη δομή του ατόμου, είχαν ενσωματωμένα ηλεκτρόδια από πλατίνα, μέσω των οποίων προκαλούσαν οι ερευνητές ηλεκτρικές εκκενώσεις. Όλες οι σημερινές καθοδικές λυχνίες και λάμπες φθορισμού είναι διάδοχες δημιουργίες εκείνων των πρώτων σωλήνων Γκάιςλερ!



³⁾ Αν και τα άτομα ενός συγκεκριμένου στοιχείου έχουν πάντα τον ίδιο αριθμό πρωτονίων, πολλά στοιχεία έχουν άτομα που διαφέρουν ως προς τον αριθμό των νετρονίων που περιέχουν. Αυτά είναι γνωστά ως ισότοπα του στοιχείου.

⁴⁾ Το μέλαν σώμα ορίζεται ως ένα αντικείμενο που απορροφά όλη την ακτινοβολία που πέφτει πάνω του, σε όλες τις συχνότητες (για αυτό και φαίνεται μαύρο). Για μέλαν σώμα η εκπεμπόμενη ισχύς είναι συνάρτηση μόνο της συχνότητας (f) και της θερμοκρασίας (T) και είναι μέγιστη. Άρα το μέλαν σώμα είναι ένας ιδανικός εκπομπός, το πρότυπο για να μελετήσει κανείς τη θερμική εκπομπή των σωμάτων (οι τύποι είναι απλούστεροι).

Η καλύτερη αναπαράσταση μέλανος σώματος είναι μια θερμαινόμενη κοιλότητα (π.χ. ένας φούρνος). Αν ανοίξει κανείς μια οπή σε φούρνο, η εκπεμπόμενη ακτινοβολία έχει όλα τα χαρακτηριστικά της ακτινοβολίας μέλανος σώματος.

⁵⁾ Καθώς η θερμοκρασία αυξάνει το μέγιστο της καμπύλης εκπομπής μετακινείται προς υψηλότερες συχνότητες (μικρότερα μήκη κύματος). Η μετακίνηση αυτή περιγράφεται από τον Νόμο μετατόπισης του Wien: $\lambda_{\max} T = 0.2898 \text{ cm K}$ (λ_{\max} είναι το μήκος κύματος το οποίο η εκπομπή ακτινοβολίας γίνεται μέγιστη).

Για χαμηλές συχνότητες (μεγάλα μήκη κύματος) η εκπομπή μέλανος σώματος περιγράφεται από τον νόμο των Rayleigh-Jeans: $I(\lambda, T) = E_{\text{αν}} \frac{2\pi c}{\lambda^4}$, όπου $E_{\text{αν}} = kBT$ (σύμφωνα με τον Boltzmann) είναι η μέση ενέργεια (ανά ταλαντωτή) των ταλαντωτών που εκπέμπουν την ακτινοβολία. kB είναι η σταθερά του Boltzmann.

Για υψηλές συχνότητες (μικρά μήκη κύματος) η εκπομπή μέλανος σώματος περιγράφεται από τον εκθετικό νόμο του Wien (πειραματικός νόμος): $I(\lambda, T) = (A/\lambda^5)e^{-B/\lambda T}$, A, B σταθερές.

⁶⁾ Quantum (κβάντουμ) –quanta (κβάντα στον πληθυντικό) –σημαίνει στα λατινικά στοιχειώδη ποσότητα αδιαίρετη που υπάρχει στη φύση ή στην κοινωνία γενικότερα. Έτσι στη φύση η μικρότερη ποσότητα ηλεκτρισμού είναι το φορτίο του ηλεκτρονίου, που αποτελεί το κβάντουμ του ηλεκτρικού φορτίου. Παρόμοια φαινόμενα συμβαίνουν και στην κοινωνία μας. Όλοι σήμερα ξέρουμε ότι το μικρότερο νόμισμα που κυκλοφορεί στη χώρα μας είναι το εκατοστό του ευρώ δηλαδή το λεπτό (cent). Όλα τα άλλα είναι ακέραια πολλαπλάσια του και συνεπώς το λεπτό είναι το κβάντουμ ή κβάντο του νομισματικού μας συστήματος και το νομισματικό μας σύστημα είναι κβαντισμένο.

⁷⁾ Οι 12 ιδρυτικές χώρες μέλη του 1954 ήταν: Βέλγιο, Γαλλία, Γερμανία, Δανία, Ελβετία, Ελλάδα, Ηνωμένο Βασίλειο, Ιταλία, Νορβηγία, Ολλανδία, Σουηδία, Γιουγκοσλαβία (αποσύρθηκε το 1961)

Από την ίδρυση του το 1954 το CERN δέχεται συνεχώς νέα μέλη:

Αυστρία το 1959, Ισπανία το 1961 (αποσύρθηκε το 1969, και έγινε πάλι μέλος το 1983), Πορτογαλία το 1985, Φινλανδία το 1991, Πολωνία το 1991, Ουγγαρία το 1992, Τσεχία το 1993, Σλοβακία το 1993, Βουλγαρία το 1999

⁸⁾ Το U βγαίνει από το Unitary group και το SU από το Special Unitary group.

⁹⁾ Η χαρτογράφηση του ανθρώπινου γονιδιώματος, το μεγαλύτερο μέχρι σήμερα εγχείρημα στον τομέα της βιολογίας, άλλαξε ριζικά την ιατρική πράξη. Το ανθρώπινο γονιδίωμα περιέχει το σύνολο της γενετικής πληροφορίας και αποτελείται από περίπου 3 δισεκατομύρια βάσεις, που κατανέμονται στα 22 αυτοσωματικά χρωμοσώματα και τα 2 χρωμοσώματα του φύλλου. Υπολογίζεται ότι υπάρχουν 50.000 – 100.000, των οποίων οι

κωδικοποιούσες περιοχές καταλύπτουν περίπου το 2 – 3% του συνολικού DNA, του πρωταρχικού μορίου της ζωής. Το ανθρώπινο γονιδίωμα είναι χαρακτηριστικό του ανθρώπινου είδους, δεν είναι απόλυτα όμοιο, αλλά σε πολλούς γενετικούς τόπους εμφανίζονται 2 – 3 αλληλόμορφα ή πολυμορφισμοί. Η χαρτογράφηση του ανθρώπινου γονιδιώματος άρχισε από το 1990 από την Ακαδημαϊκή κοινότητα, στην οποία προστέθηκε και η ιδιωτική πρωτοβουλία το 1998.

¹⁰⁾ Μέχρι τα μέσα της δεκαετίας του 1960, οι φυσικοί αντελήφθησαν ότι η προηγούμενη αντίληψή τους, ότι δηλαδή η ύλη αποτελείται από στοιχειώδη πρωτόνια, νετρόνια και ηλεκτρόνια, ήταν ανεπαρκής για να εξηγήσει τις δεκάδες καινούρια σωματίδια που έχουν ανακαλυφθεί. Η θεωρία των κουάρκ των Gell-Mann και Zweig έλυσε αυτά τα προβλήματα. Κατά την διάρκεια των τριάντα τελευταίων ετών, η θεωρία που σήμερα είναι γνωστή σαν το Καθιερωμένο Πρότυπο των στοιχειωδών σωματιδίων και αλληλεπιδράσεων έχει σταδιακά μεγαλώσει και έγινε κοινά αποδεκτή με τις καινούριες αποδείξεις από τους καινούριους επιταχυντές σωματιδίων.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Werner Heisenberg, <<Συναντήσεις με τον Einstein>> εκδόσεις ΚΑΤΟΠΤΡΟ Απρίλιος 1995.
2. Werner Heisenberg, <<Φυσική και Φιλοσοφία>> εκδόσεις ΚΑΛΒΟΣ πρώτη έκδοση 1959.
3. Μάνος Δανέζης και Στράτος Θεοδωσίου, <<Το Σύμπαν που Αγάπησα>> Τόμος Α' εκδόσεις Δίαυλος 1999
4. Μάνος Δανέζης και Στράτος Θεοδωσίου, <<Το Σύμπαν που Αγάπησα>> Τόμος Β' εκδόσεις Δίαυλος 1999
5. Γ.Θ. Καλκάνης και Δ.Ι. Κωστόπουλος, <<Φυσική Από τον Μικρόκοσμο στον Μακρόκοσμο>> εκδόθηκε εκ των ιδίων 1995
6. Κωνσταντίνος Παπαϊωάννου, <<Θεωρία και Πράξη>> (φυσική) Τόμος 12 εκδόσεις ΒΕΡΓΙΝΑ
7. Κωνσταντίνος Παπαϊωάννου, <<Θεωρία και Πράξη>> (φυσική) Τόμος 13 εκδόσεις ΒΕΡΓΙΝΑ 1991
8. Barry Parker, <<Χaos και Αστρονομία>> εκδόσεις ΤΡΑΥΛΟΣ 1996
9. William Arntz, Betsy Chasse και Mark Vicente, <<Τι στο μπιπ ξέρουμε>> εκδόσεις ΟΡΦΕΑΣ 2006
10. Παντελής Γιαννουλάκης, <<Άλλες Διαστάσεις>> εκδόσεις ΑΡΧΕΤΥΠΟ 2003
11. <<Popular Science>> έκδοση Μάρτιος 2004
12. <<Περισκόπιο>> έκδοση Φεβρουάριος 2010

ΙΣΤΟΣΕΛΙΔΕΣ

1. <http://www.physics4u.gr/>
2. <http://users.sch.gr/apouliassis/index.htm>
3. <http://el.wikipedia.org/wiki>
4. <http://esperia.iesl.forth.gr/~kafesaki/Modern-Physics/index.html>
5. <http://www.google.com/imgres?imgurl=http://hermes.physics.auth.gr>
6. <http://sfrang.com/historia/default.htm>
7. <http://www.arvisolar.gr/Contents.aspx?CatId=22&lang=gr>
8. <http://www.livepedia.gr/index.php>
9. <http://mpl.med.uoa.gr/Downloads/Presentations/eq2.ppt>
10. <http://tety248.edu.physics.uoc.gr/Laue.pdf>
11. <http://dapgeol.tripod.com/radiochronologisi.htm>
12. <http://www.jgc.gr/jgc/server/more.asp?lng=GR&pmode=gpstheory&recid=25>
13. <http://13tee-thess.thess.sch.gr/lamp.htm>
14. <http://physics4u.wordpress.com/2009/10/04/ó-ó-í-é/>
15. http://www.physics.ntua.gr/POPPHYS/software/part_adv/indexpa.html
16. www.startiger.com
17. www.terraview.co.uk
18. www.space.com
19. <http://www.scribd.com/doc/>