

ΕΚΤΑΚΤΗ ΣΥΝΕΔΡΙΑ ΤΗΣ 24<sup>ΗΣ</sup> ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΥ 1995

ΠΡΟΕΔΡΙΑ ΜΑΝΟΥΣΟΥ ΜΑΝΟΥΣΑΚΑ

---

ΕΝΑΣ ΑΙΩΝΑΣ ΑΠΟ ΤΗΝ ΑΝΑΚΑΛΥΨΗ ΤΩΝ ΑΚΤΙΝΩΝ-X

ΟΜΙΛΙΑ ΤΟΥ ΑΝΤΕΠΙΣΤΕΛΛΟΝΤΟΣ ΜΕΛΟΥΣ ΤΗΣ ΑΚΑΔΗΜΙΑΣ  
Κ. Ν. Γ. ΑΛΕΞΑΝΔΡΟΠΟΥΛΟΥ

Κύριε πρόεδρε, κυρίες και κύριοι,

Ἐφέτος συμπληρώνεται ἡ πρώτη ἑκατονταετηρίδα ἀπὸ τὴν τυχαία ἀνακάλυψη τῶν Ἀκτίνων -X ἀπὸ τὸν καθηγητὴ τοῦ Πανεπιστημίου τοῦ Würzburg, Wilhelm Conrad Röntgen. Ὁ καθηγητὴς Röntgen ἐργαζόμενος ἐπὶ τῶν καθοδικῶν ἀκτίνων διαπίστωσε τυχαῖα, ὅπως ὁ ἴδιος ἀνέφερε στὴν πρώτη του ἀνακοίνωση στὶς 23 Ἰανουαρίου 1896, ὅτι καθοδικὴ λυχνία καλυμμένη μὲ μαῦρο χαρτὶ προκαλεῖ τὸν φωσφορισμὸ ὀρισμένων ἀλάτων ὅταν διὰ τῆς λυχνίας διέρχεται ἠλεκτρικὸ ρεῦμα. Τὴν τυχαία αὐτὴ παρατήρηση ἀκολούθησε συστηματικὴ καὶ ἐντατικὴ μελέτη, ἡ ὁποία ὀδήγησε ἐντὸς δύο μηνῶν στὴν πρώτη ἀνακοίνωση πάνω στὶς ἀκτίνες - X, μιὰ ἀνακοίνωση ἡ ὁποία ἐπηρέασε ἴσως ὅσο καμμία ἄλλη τὶς θετικὲς ἐπιστῆμες. Κατὰ τὴ σύντομη μελέτη διαπιστώθηκαν μερικὲς ἀπὸ τὶς βασικὲς ιδιότητες τῶν νέων αὐτῶν ἀκτίνων, ὅπως: ὅτι γιὰ τὶς ἀκτίνες αὐτὲς εἶναι διαφανῆ πολλὰ ἀπὸ τὰ ὑλικά τὰ ὁποῖα εἶναι ἀδιαφανῆ γιὰ τὸ φῶς, ὅτι ἐκφορτίζουν τὰ ἠλεκτροσκόπια, ὅτι διαδίδονται εὐθύγραμμα καὶ ἡ πορεία τους δὲν ἐπηρεάζεται ἀπὸ τὴν παρουσία ἠλεκτρικῶν καὶ μαγνητικῶν πεδίων. Φαινόμενα ὅμως ὅπως ἡ ἀνάκλαση, περίθλαση καὶ διάθλαση δὲν διαπιστώθηκαν, καὶ τοῦτο διότι ἡ παρατήρησή τους ἀπαιτοῦσε ἀνύπαρκτες γιὰ τὴν ἐποχὴ ἐκείνη τεχνικὲς. Ἡ μὴ παρατήρηση τῶν φαινομένων ἀνακλάσεως, περιθλάσεως καὶ διαθλάσεως καὶ τὸ γεγονός ὅτι δὲν εἶναι ὄρατὲς, ὀδήγησε στὸ συμπέρασμα ὅτι δὲν ἐπρόκειτο γιὰ ἀκτίνες ὅμοιες τοῦ φωτός. Ἐπίσης ἡ διαπίστωση τῆς μὴ ἐπίδρασης ἠλεκτρικῶν καὶ μαγνητικῶν πεδίων ἐπὶ τῆς τροχιάς τῶν ἀκτίνων, ἂν καὶ

εκφόρτιζαν τὰ ἤλεκτροσκόπια, ἀπέκλειε τὴν πιθανότητα νὰ πρόκειται γιὰ καθοδικὲς ἀκτίνες. Τὸ τελικὸ συμπέρασμα ἐπομένως ἦταν ὅτι πρόκειται περὶ ἀκτίνων ἀγνώστου φύσεως, γιὰ τὸ λόγο αὐτὸ ὁ καθηγητὴς Röntgen τὶς ὀνόμασε ἀκτίνες-X, μιὰ ὀνομασία ἡ ὁποία ἐπιγράφησε ἂν καὶ μετὰ ἀπὸ δεκαοκτὼ χρόνια ἔγινε γνωστὴ ἢ φύση τους. Ἡ πρόταση οἱ ἀκτίνες νὰ ὀνομαστοῦν Röntgen προσέκρουσε ἀφενὸς στὴ μετριοφροσύνη τοῦ καθηγητῆ καὶ ἀφετέρου στὸ Γαλλικὸ καὶ Ἀγγλικὸ σοβινισμὸ τῆς ἐποχῆς.

Ἡ ἀνακοίνωση τῆς ἀνακάλυψης τῶν ἀκτίνων-X προκάλεσε μεγάλη ἀναστάτωση τόσο στὴν παγκόσμια ἐπιστημονικὴ κοινότητα ὅσο καὶ στὸ εὐρύτερο κοινό. Καὶ οἱ μὲν ἐπιστήμονες ἔσπευσαν νὰ ἐπαληθεύσουν τὴν ὑπαρξή τους, πράγμα τὸ ὁποῖο ἔγινε χωρὶς κανένα πρόβλημα καὶ σὲ λιγότερο ἀπὸ ἓνα μῆνα ὑπῆρξε πλείαδα ἐπαληθεύσεων ἀπὸ ἐργαστήρια τῆς Εὐρώπης καὶ τῆς Ἀμερικῆς. Τὸ δὲ κοινὸ παρακολουθοῦσε τὶς ἐξελίξεις ἀπὸ τὸν τύπο ὁ ὁποῖος κατακλυζόταν ἀπὸ ἄρθρα, γελοιογραφίες, ἀκόμη καὶ ποιήματα σχετικὰ μὲ τὴ νέα ἀνακάλυψη. Μία ἀπὸ τὶς πλέον χαρακτηριστικὲς γελοιογραφίες εἶναι αὐτὴ ποὺ δημοσίευσε τὸ περιοδικὸ Life Time δυὸ μόνον ἑβδομάδες μετὰ τὴν πρώτη ἐπίσημη ἀνακοίνωση. Ἡ γελοιογραφία παραθέτει τὸ σκίτσο ἑνὸς ἀγρότη μὲ τὸ δρεπάνι του ὅπως θὰ ἀποτυπωνόταν σὲ μιὰ κοινὴ φωτογραφία καὶ δίπλα, ὅπως θὰ ἀποτυπωνόταν σὲ μία φωτογραφία μὲ ἀκτίνες-X, ἡ δευτέρα αὐτὴ φιγούρα παρουσίαζε τὸν ἀγρότη σὰν τὸ χάρο, ἕναν σκελετὸ νὰ κρατᾷ ἓνα δρεπάνι.

Τὴν ἀνακάλυψη τῶν ἀκτίνων-X ἀκολούθησε ἐπίσης ἓνας καταγιγισμὸς ἰσχυρισμῶν ἀνακαλύψεως πλείστων ὄσων νέων ἀκτίνων, ὅπως π.χ. ἀκτίνες Rubens, Lenard, N', N, κ.ἄ., ἡ ὑπαρξὴ ὅμως αὐτῶν τῶν ἀκτίνων δὲν ἐπαληθεύτηκε ἀπὸ ἄλλους ἐρευνητές, ὥστε καὶ ἂν ἀκόμη δὲν ἦταν προῦν ἐπιστημονικῆς ἀνεντιμότητος, ἦταν προῦν ἐπιστημονικῆς ἐπιπολαιότητος συνδυαζόμενης μὲ ὑπέρμετρη διάθεση αὐτοπροβολῆς.

Ἡ ἐξέλιξη τοῦ πεδίου ποὺ ἄνοιξε ἡ ἀνακάλυψη τοῦ καθηγητῆ Röntgen στὴν ἑκατονταετία ποὺ πέρασε μπορεῖ νὰ γίνῃ ἀντιληπτὴ συγκρίνοντας τὶς πηγὲς ἀκτίνων-X ἀμέσως μετὰ τὴν ἀνακάλυψή τους καὶ τῶν σημερινῶν ἐγκαταστάσεων. Οἱ πηγὲς τῆς ἐποχῆς ἐκείνης συνίσταντο ἀπὸ ἓνα καθοδικὸ σωλήνα, ἓνα πηνίο Ruhmkorff καὶ ἓνα φθορίζον διάφραγμα ὀλικῆς ἀξίας λίγων λιρῶν. Σήμερα ὑπάρχει ἀνά τὸν κόσμον μεγάλος ἀριθμὸς πολυδάπανων ὑψηλῆς τεχνολογίας ἐγκαταστάσεων ἀκτινοβολίας συγχρότρου, οἱ ὁποῖες στεγάζουν πάσης φύσεως ἐρευνες καὶ τεχνικὲς σχετιζόμενες μὲ τὶς ἀκτίνες-X. Ἡ πλέον σύγχρονη εἶναι ἡ Εὐρωπαϊκὴ Ἐγκατάσταση Ἀκτινοβολίας Συγχρότρου (ESRF) στὴν Grenoble, μιὰ μὴ κρατικὴ κοινοπραξία τῶν Εὐρωπαϊκῶν χωρῶν: Ἀγγλίας, Βελγίου, Γαλλίας, Γερμανίας, Δανίας,



Ἑλβετίας, Ἰσπανίας, Ἰταλίας, Νορβηγίας, ὀλλανδίας, Σουηδίας καὶ Φιλανδίας. Στὴν κοινοπραξία αὐτὴ δυστυχῶς δὲν συμμετέχει ἡ χώρα μας. Ἐκτὸς ὅμως τῶν δακτυλίων συσώρευσης ὡς πηγῶν ἀκτίνων-X, εὐρίσκονται στὸ πειραματικὸ στάδιο καὶ ἄλλες διατάξεις ὅπως οἱ Laser ἐλευθέρου ἠλεκτρονίου καὶ οἱ πηγὲς ἀκτίνων-X ἀντίστροφου Compton οἱ ὁποῖες ὑπόσχονται νὰ ἐπιταχύνουν τὴν ἐξέλιξη στὸ πεδίο ἔρευνας καὶ ἐφαρμογῶν τῶν ἀκτίνων-X.

Τὴν ἀνακάλυψη τῶν ἀκτίνων-X διαδέχθηκε μιὰ ἔντονη ἐρευνητικὴ δραστηριότητα, ὅπως ἄλλωστε ἦταν φυσικό, γιὰ τὸν προσδιορισμὸ τῆς φύσεως αὐτῶν τῶν ἀκτίνων ἢ ὁποῖα κατέληξε μετὰ ἀπὸ 17 χρόνια στὸ γνωστὸ πείραμα τοῦ Laue. Ὁ Laue μὲ τοὺς Walther Friedrich καὶ Paul Knipping τὸν Ἀπρίλη τοῦ 1912 ἐπέτυχαν, ἀξιοποιώντας μιὰ ἰδέα τοῦ νεαροῦ τότε Peter Paul Ewald, νὰ παρατηρήσουν περίθλαση ἀκτίνων-X ἀπὸ κρύσταλλα. Τὸ ἀποτέλεσμα ἦταν συνταρακτικὸ διότι ἀφενὸς ἀποδεικνύεται ἡ κυματικὴ τους ὑφή καὶ προσδιορίζεται ἡ τάξη μεγέθους τοῦ μήκους κύματός τους καὶ ἀφετέρου ἐπιβεβαιώνεται ἡ δομὴ τῶν κρυστάλλων καὶ προσδιορίζεται ἡ μεταξὺ τῶν ἀτόμων ἀπόσταση. Ἡ μέθοδος Laue ἐξακολουθεῖ νὰ χρησιμοποιεῖται γιὰ τὸν προσδιορισμὸ τῆς κρυσταλλικῆς δομῆς τῆς ὕλης καὶ μάλιστα ἄκρως ἐξειδικευμένη στὸν προσδιορισμὸ καὶ τὴν κινητικὴ τῶν πρωτεϊνῶν.

Ἡ ἀνακάλυψη τῶν ἀκτίνων-X, μετὰ δὲ καὶ ἀπὸ τὸ πείραμα Laue, εἶχε ὡς ἀποτέλεσμα τὴν ἀναθεώρηση τῆς ἔννοιας τῆς πραγματικότητας. Ἔτσι μέχρι τὴν ἀνακάλυψη τῶν ἀκτίνων-X, πραγματικότητα ἐθεωρεῖτο κάθε τι ποὺ ἔπεφτε στὴν ἀντίληψη μιᾶς ἀπὸ τὶς πέντε αἰσθήσεις. Μετὰ δὲ τὴν ἀνακάλυψη τῶν ἀκτίνων-X ἔγινε ἀντιληπτὸ ὅτι τὰ ὄρια τῆς πραγματικότητας εἶναι ἀσυγκρίτως εὐρύτερα καὶ ἀπαιτεῖται χρῆση ὀργάνων γιὰ τὴ συνειδητοποίησή της. Μετὰ ἀπὸ τὸ πείραμα τοῦ Laue π.χ. τὸ ἀντίστροφο πλέγμα ἐνὸς κρυστάλλου, ἓνα κομψὸ μαθηματικὸ δημιούργημα, γίνεται τόσο πραγματικὸ ὅσο καὶ ὁ κρυστάλλος αὐτὸς καθ'αυτὸν.

Οἱ ἐπιπτώσεις ποὺ εἶχε ἡ ἀναθεώρηση τῆς ἔννοιας τῆς πραγματικότητας εἶναι πέραν πάσης ἐκτιμῆσεως, τὶς ἄμεσες ὅμως συνέπειες στὶς θετικὲς ἐπιστῆμες μπορεῖ κάποιος νὰ ἐκτιμῆσει ἀπὸ τὸν κατάλογο τῶν βραβείων Nobel, παράρτημα-A, ποὺ ἔχουν ἀπονεμηθεῖ γιὰ ἔρευνα ποὺ ἀσχολεῖται ἢ χρησιμοποιεῖ ἀκτίνες-X.

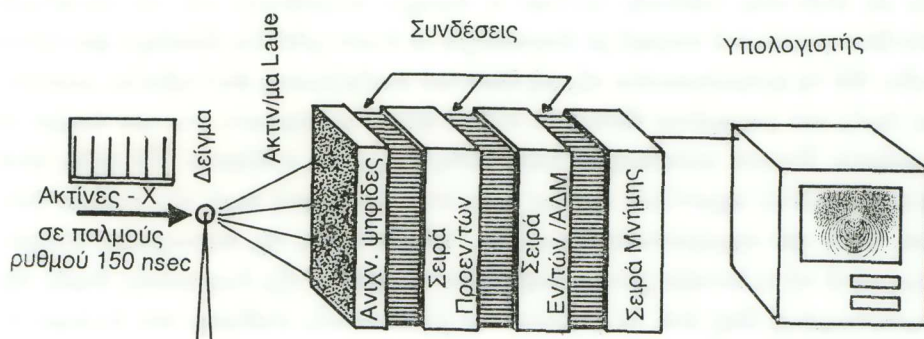
Ἡ περίθλαση τῶν ἀκτίνων-X, ποὺ στὴν ἀπλούστερη μορφή της συνίσταται στὸν προσδιορισμὸ τῆς θέσεως καὶ τῆς ἐντάσεως τῆς σκεδαζομένης ἀπὸ τὸν κρυστάλλο δέσμης ἀκτίνων-X ὀρισμένου μήκους κύματος, εἶχε ὡς πρώτη συνέπεια τὴν ἀνάπτυξη τῆς Κρυσταλλογραφίας. Ἐλάχιστα θέματα εἶναι καλύτερα προσαρμοσμένα στὸν κομψὸ τρόπο τῆς Μαθηματικῆς Φυσικῆς ἀπὸ τὴν Κρυσταλλογραφία, ἀλλὰ ἂν καὶ μερικὲς ιδιότητες τῶν κρυστάλλων συχνὰ εἶχαν μετρηθεῖ, ἡ Κρυσταλλογραφία δὲν

αποτελοῦσε μέρος τῆς Φυσικῆς μέχρι τὴν ἀνακάλυψη τῆς περίθλασης Ἀκτίνων-X. Ὡστε μὲ τὸν προσδιορισμὸ τῆς δομῆς, δηλαδὴ τὸν προσδιορισμὸ τῆς θέσεως τῶν ἀτόμων γιὰ ὅλες τὶς κρυσταλλικὲς ἐνώσεις, ὀργανικὲς, καὶ ἀνόργανες, νὰ γίνουν κατανοητὲς πολλὲς ἀπὸ τὶς μικροσκοπικὲς ιδιότητες, ἠλεκτρικὲς, μηχανικὲς καὶ ὀπτικὲς, μὲ βάση τὴ μικροδομὴ τῆς ὕλης. Ἐκτὸς ὅμως ἀπὸ τὸν προσδιορισμὸ τῆς κρυσταλλικῆς δομῆς τῶν ὀργανικῶν καὶ ἀνόργανων κρυσταλλικῶν ἐνώσεων, ἡ περίθλαση τῶν ἀκτίνων-X ἔχει καὶ τὶς ἐξῆς ἐφαρμογές: α) Προσδιορισμὸ τῶν ἀτελειῶν τῶν κρυστάλλων. β) Μελέτη τῆς κινητικῆς τῆς δομῆς τῶν πρωτεϊνῶν, γ) Ἀνάπτυξη τῆς μεθόδου τῆς περιθλάσεως ἀπὸ σκόνης, ποὺ ἐφαρμόζεται στὴν ποσοτικὴ ἀνάλυση καὶ μικροανάλυση χημικῶν οὐσιῶν τόσο στὸ ἐργαστήριον ὅσο καὶ στὴ γραμμὴ παραγωγῆς καὶ σὲ πλεῖστες ἄλλες ἐφαρμογές.

Ἡ ἀξιοποίηση τῶν κυκλικῶν ἐπιταχυντῶν ὑψηλῆς ἐνέργειας καὶ ὡς πηγῶν ἀκτίνων-X, κατὰ τὴ δεκαετία τοῦ 1970 ἀναζωογόνησε τὴν ἔρευνα καὶ ἐπέκτεινε τὶς ἐφαρμογὲς τῶν ἀκτίνων-X μὲ θεαματικὰ ἀποτελέσματα. Ἐτσι σήμερα ἡ κρυσταλλογραφία ἐστιάζει τὸ ἐνδιαφέρον τῆς στὴ δομὴ τῶν πρωτεϊνῶν γιὰ νὰ διαπιστωθεῖ ἐὰν ὑφίστανται μεταβολὲς τῆς δομῆς τους ὅταν βρίσκονται ἐν ἡρεμίᾳ καὶ ποιὲς εἶναι οἱ μεταβολὲς ὅταν δραστηριοποιοῦνται. Ἡ αἰμογλοβίνη π.χ. ἡ ὁποία δεσμεύει καὶ ἀποδεσμεύει τὸ ὀξυγόνο ποὺ χρησιμοποιοῦν οἱ μύες καὶ μπορεῖ ἐπίσης ἀντιστρεπτὰ νὰ δεσμεύσει CO, NO, κατὰ τὶς διαδικασίαις αὐτὲς ἀλλάζει δομὴ καὶ γιὰ νὰ γίνῃ κατανοητὸς ὁ μηχανισμὸς αὐτῆς τῆς λειτουργίας μελετᾶται μὲ ἀκτινογραφήματα Laue, ποὺ λαμβάνονται μὲ ρυθμοὺς ποὺ φτάνουν ἢ ἕνα ἀκτινογράφημα κάθε 150 nsec μὲ τὴ διάταξη τοῦ σχήματος 1.

Ὅπως τὸ πείραμα Laue θεμελίωσε τὴ σκέδαση τῶν ἀκτίνων-X, ἡ κατασκευή τοῦ ὁμώνυμου φασματοσκοπίου ἀπὸ τὸν W.H.Bragg στὰ τέλη τοῦ 1912, θεμελιώνει τὴ φασματοσκοπία τῶν ἀκτίνων-X, ἡ ὁποία κατὰ τὴν πρώτη τῆς περίοδο ἐστιάζει τὸ ἐνδιαφέρον τῆς στὴν ἀτομικὴ φασματοσκοπία, δηλαδὴ στὴ μελέτη τῶν φασμάτων ἀκτίνων ποὺ ἐκπέμπονται ἀπὸ ἄτομα. Τὰ ἀποτελέσματα εἶναι θεμελιώδους σημασίας γιὰ τὴν ἀτομικὴ φυσικὴ. Ὅταν μιὰ ἠλεκτρονικὴ ὀπὴ ἐσωτερικῆς στιβάδας συμπληρώνεται ἀπὸ ἠλεκτρόνιο, ἐκπέμπεται ἕνα φωτόνιο τὸ ὁποῖο φέρει πληροφορίες γιὰ τὶς στιβάδες καὶ τὴν κατάσταση τῶν ἠλεκτρονίων. Μὲ τὴν ἀποκρυπτογράφηση αὐτῶν τῶν πληροφοριῶν ἀσχολήθησαν Φυσικοὶ καὶ Χημικοὶ ἐπὶ δεκαετίαι ὥστε σήμερα νὰ θεωρεῖται ὅτι ἔχει γίνῃ πλήρως κατανοητὴ ἡ δομὴ καὶ ἡ λειτουργία τοῦ ἀτόμου καὶ νὰ ἔχει σχεδὸν ἐξαντληθεῖ τὸ ἐρευνητικὸ ἐνδιαφέρον σὲ αὐτὸ τὸ πεδίο. Ἄν καὶ τὸ ἐρευνητικὸ ἐνδιαφέρον γιὰ τὰ συνήθη ἄτομα ἔχει πλέον ἐξαντληθεῖ, δὲν ἔχει πάψει τὸ πεδίο νὰ βρῖσκει ἐφαρμογὲς στὴν τεχνολογία καὶ οἱ τεχνικὲς του νὰ ἐφαρμόζονται σὲ ἄλλους ἐρευνητικὸς κλάδους τῆς φυσικῆς ὅπως π.χ. στὴ μελέτη





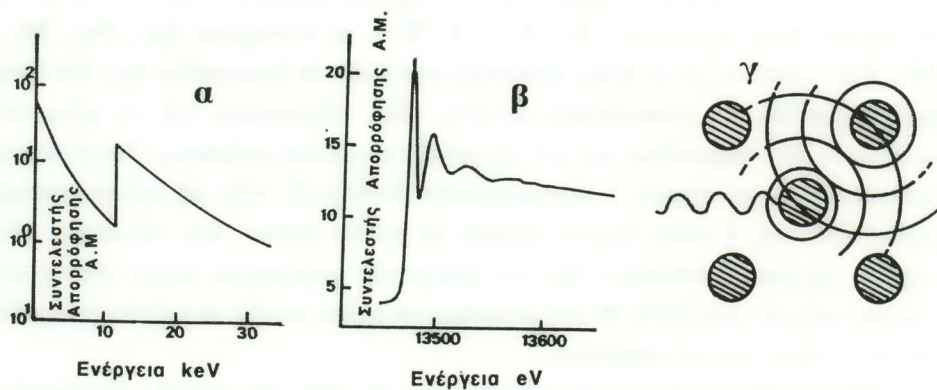
Σχ. 1. Διάταξη για τη λήψη επανειλημμένων ακτινογραφημάτων Laue. Παλμική δέσμη  $\lambda$  ακτίνων-X περιθλάται από το δείγμα, το στιγμιαίο ακτινογράφημα Laue σχηματίζεται πάνω σε μια σειρά ανιχνευτικών ψηφίδων. Τό από τις ψηφίδες ενισχύεται, μετατρέπεται σε ψηφιακό και αποθηκεύεται στη μνήμη για επεξεργασία στον υπολογιστή. Ο ρυθμός λήψεως ακτινογραφημάτων φθάνει έως και ένα κάθε 150 nsec. Η διάταξη αυτή επιτρέπει την παρακολούθηση των μεταβολών της δομής των βιολογικής σημασίας πρωτεϊνών. Η ίδια διάταξη χρησιμοποιείται για την μελέτη της κινητικής άλλων φαινομένων όπως π.χ. άλλης φάσεως κτλ.

των σωματιδίων και των μεταξύ τους αλληλεπιδράσεων. Αυτό επιτυγχάνεται με τη μελέτη των φασμάτων έκπομπής από εξωτικά άτομα, τα οποία είναι βραχύβια ατομικά συστήματα αποτελούμενα από απογυμνωμένους από ηλεκτρόνια πυρήνες στην περιοχή των οποίων υπάρχει ένα άλλο σχετικά μικρόβιο σωματίδιο αρνητικά φορτισμένο όπως π.χ.  $\mu^-$ ,  $\pi^-$ ,  $K^-$ ,  $\Pi^-$  ή  $\Sigma^-$ . Έτσι τα συστήματα  $P\mu^-$ ,  $P\pi^-$ ,  $PK^-$ ,  $PP^-$ ,  $P\Sigma^-$  μοιάζουν με το άτομο υδρογόνου που αντί του ηλεκτρονίου έχει ένα άλλο βαρύ σωματίδιο. Το έκπεμπόμενο φωτόνιο φέρει πληροφορίες για τη φύση και κατάσταση των σωματιδίων και για τις μεταξύ τους αλληλεπιδράσεις. Την ευρύτερη εφαρμογή εύρισκε σήμερα η φασματοσκοπία ακτίνων-X στην μη καταστρεπτική χημική ανάλυση, ή οποία έρχεται άρωγός σε πλήθος πεδίων, από τη μελέτη των ταχειών χημικών αντιδράσεων έως τον έλεγχο της γνησιότητας έργων τέχνης και γραμμωτοσήμων, στηρίζεται δε στη μονοσήμαντη σχέση μεταξύ φασμάτων έκπομπής και των ατόμων που τα εκπέμπουν.

Έξαντλούμένων των έρευνητικών θεμάτων της ατομικής φυσικής, το κύριο ενδιαφέρον της φασματοσκοπίας μετατίθεται στη μελέτη των φασμάτων από μη έλαστική σκέδαση ακτίνων-X. Το πεδίο θεμελιώνεται με το πείραμα του Arthur H. Compton, κατά το οποίο διαπιστώνεται η δυική ύφή των ακτίνων-X και η σκέδαση των φωτονίων από ηλεκτρόνια κατά τους νόμους διατήρησης όρμης και ενέργειας της κλασικής μηχανικής. Συνέπεια αυτής της διαπιστώσεως είναι ότι το φάσμα

τῆς μὴ ἐλαστικῆς σκέδασης ἀκτίνων- $X$  περιέχει πληροφορίες γιὰ τὴν κατάσταση τῶν ἠλεκτρονίων τοῦ στερεοῦ μὲ ἀποτέλεσμα νὰ ἀναπτυχθεῖ ἓνα ὀλόκληρο ἐρευνητικὸ πεδίο. Μὲ τὴ φασματοσκοπία τῆς μὴ ἐλαστικῆς σκεδαζόμενης ἀκτινοβολίας μελετῶνται ἐκτὸς τοῦ φαινομένου Compton πλῆθος ἄλλων φαινομένων, ἓνα τῶν ὁποίων τὸ φαινόμενο Raman συντονισμοῦ διαπιστώθηκε σχετικὰ πρόσφατα. Τὸ πεδίο αὐτὸ μετὰ τίς πρῶτες σημαντικὲς ἐρευνες πάνω στὴν ἐνεργειακὴ δομὴ τῶν στερεῶν ἀτόνισε, λόγῳ τῶν πειραματικῶν δυσκολιῶν. Ἡ ἀξιοποίηση τῆς ἀκτινοβολίας συγχρότρου κατὰ τὰ τελευταῖα χρόνια ἀναβάθμισε τὴ μελέτη τῆς ἐνεργειακῆς δομῆς τῆς συμπυκνωμένης ὕλης ἀπὸ τὰ φάσματα τῆς μὴ ἐλαστικῆς σκέδασης τῶν ἀκτίνων- $X$ , σὲ μὴ ἀπὸ τίς βασικότερες ἐρευνητικὲς μεθόδους.

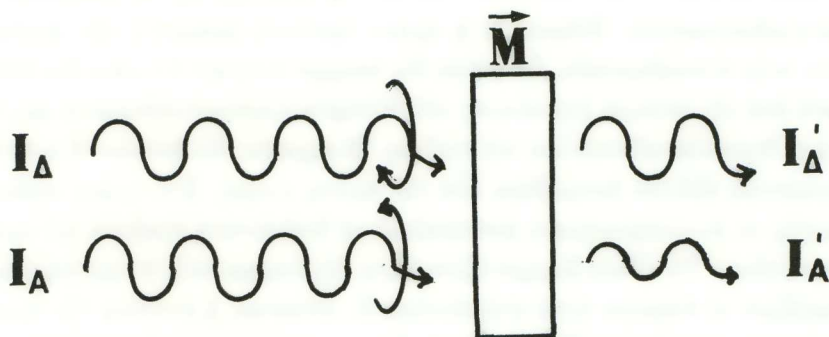
Τὸ μεγάλης ἔντασης πολυχρωματικὸ φάσμα ἀκτίνων- $X$  τῆς ἀκτινοβολίας συγχρότρου ἀνέπτυξε μὴ οὐσιαστικὰ νέα ἐρευνητικὴ τεχνικὴ, τὴ φασματοσκοπία ἀπορρόφησης πλησίον τῆς ἀκμῆς τοῦ συντελεστῆ ἀπορρόφησης τῶν ἀκτίνων- $X$ . Μὲ τὴ μέθοδο προσδιορίζεται ἡ τοπικὴ δομὴ στὴν περιοχὴ ἑνὸς ἀτόμου στὸ ἐσωτερικὸ ἢ στὴν ἐπιφάνεια τοῦ στερεοῦ. Ἡ ἐξάρτηση τοῦ μαζικοῦ συντελεστῆ ἀπορρόφησης τῶν ἀκτίνων- $X$  ἀπὸ τὴν ἐνέργεια τοῦ προσπίπτοντος φωτονίου εἶχε παρατηρηθεῖ ἀπὸ τὴν πρώτη ἐποχὴ τῶν ἀκτίνων- $X$  καθὼς καὶ οἱ ἀσυνέχειες ποὺ αὐτὸς παρουσιάζει στὶς χαρακτηριστικὲς ἐνέργειες τοῦ ἀπορροφῶντος ἀτόμου, γνωστὲς ὡς ἀκμὲς ἀπορρόφησης (σχῆμα 2.α).



Σχ. 2. α) Ἐξάρτηση τοῦ συντελεστοῦ ἀπορρόφησης ἀκτίνων- $X$  ὡς συνάρτηση τῆς ἐνέργειας τοῦ ἀπορροφούμενου φωτονίου. β) Λεπτὴ δομὴ τοῦ συντελεστῆ ἀπορρόφησης στὴν περιοχὴ τῆς ἀκμῆς ἀπορρόφησης. γ) Τὸ φωτοηλεκτρόνιο τὸ ὁποῖο ἐκπέμπεται ἀπὸ τὸ ἄτομο π.χ. Ge τὸ ὁποῖο ἀπορρόφησε τὸ φωτόνιο τῶν ἀκτίνων- $X$  σκεδάζεται ἀπὸ τὰ πλησιέστερα ἄτομα ποὺ τὸ περιβάλλουν π.χ. τὰ τέσσερα ἄτομα Cl.

Ἡ λεπτή δομή πού παρουσιάζεται στήν περιοχή τῆς ἀκμῆς ἀπορρόφησης, (σχῆμα 2.β) διαπιστώθηκε κατὰ τή δεκαετία τοῦ 1970, ὅτι ὀφείλεται στή σκέδαση τοῦ φωτοηλεκτρονίου πού ἐκπέμπεται ἀπό τὸ ἄτομο πού ἀπορροφᾷ τὶς ἀκτίνες καὶ στή συνέχεια σκεδάζεται ἀπὸ τὰ ἄτομα πού τὸ περιβάλλουν (σχῆμα 2.γ). Αὐτὸ ἔχει ὡς συνέπεια ἀπὸ τὸ φάσμα ἀπορρόφησης τῶν ἀκτίνων-X νὰ προκύπτουν οἱ πληροφορίες πού θὰ προέκυπταν ἀπὸ τὴ σκέδαση ἠλεκτρονίων μικρῆς ἐνέργειας, πηγῆς τοποθετημένης στή θέση τοῦ ἀπορροφῶντος ἀτόμου. Οἱ ἐφαρμογές τῆς μεθόδου εἶναι ἀναρίθμητες, ἐπεκτεινόμενες ἀπὸ τὴ μελέτη τῆς ἀλλαγῆς τῆς τοπικῆς δομῆς πού προκαλεῖ ἡ παρουσία ἑνὸς ἀτόμου προσμείσεως στὸ ἐσωτερικὸ ἡμιαγωγοῦ, ἕως τὴ μελέτη τοῦ φαινομένου τῆς κατάλυσης.

Τὸ 1987 ὁ G. Schütz ἀνακάλυψε τὸ φαινόμενο τοῦ κυκλικοῦ μαγνητικοῦ διχρωϊσμοῦ ἀκτίνων-X, δηλαδή διαπίστωσε διαφορετικὴ τιμὴ τοῦ μαζικοῦ συντελεστῆ ἀπορρόφησης μαγνητικῶν ὑλικῶν γιὰ δέσμες ἀκτίνων-X δεξιόστροφα καὶ ἀριστερόστροφα πολωμένες, καὶ μάλιστα ἡ διαφορὰ αὐτὴ ἐξαρτᾶται ἀπὸ τὴν ἐνέργεια τοῦ προσπίπτοντος φωτονίου.



Σχ. 3. Περιγραφή τοῦ φαινομένου τοῦ κυκλικοῦ Μαγνητικοῦ Διχρωϊσμοῦ. Ἡ ἀπορρόφηση τῶν κυκλικά πολωμένων ἀκτίνων-X ἀπὸ ἓνα μαγνητικὸ ὑλικὸ (M) ἐξαρτᾶται ἀπὸ τὴν κατάσταση πόλωσης τῶν ἀκτίνων-X.

Ἡ ἐρμηνεία τοῦ φαινομένου τοῦ διχρωϊσμοῦ στήν ὄρατὴ περιοχή δὲν προβλέπει τὴν ὑπαρξὴ ὁμοίου φαινομένου στήν περιοχή τῶν ἀκτίνων-X, ἔτσι θὰ πρέπει νὰ θεωρεῖται βέβαιο ὅτι ἡ πλήρης κατανόηση τοῦ φαινομένου τοῦ κυκλικοῦ μαγνητικοῦ διχρωϊσμοῦ θὰ ἀνοίξει νέους ὀρίζοντες.

Ἡ ἀνάπτυξη τῆς διαστημικῆς τεχνολογίας δημιούργησε τὶς προϋποθέσεις γιὰ τὴ διεύρυνση τοῦ πεδίου ἐρευνας τῆς φασματοσκοπίας ἀκτίνων-X, στήν ἀστροφυ-



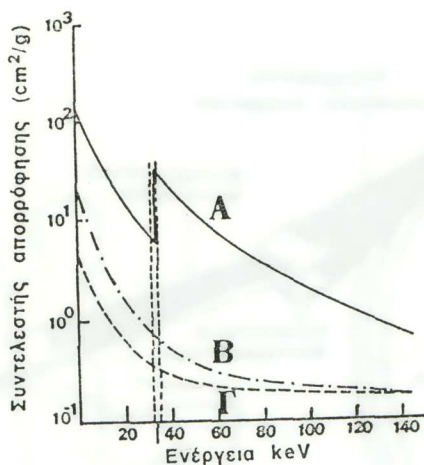
σική και τή μελέτη τοῦ ἥλιου. Ἡ συλλογή πληροφοριῶν μόνο στοῦ ὄρατοῦ τμήμα τοῦ φάσματος τῆς ἠλεκτρομαγνητικῆς ἀκτινοβολίας φέρει τὸν ἐρευνητὴ στὴν ἴδια μειο-νεκτικὴ θέση ποὺ βρίσκεται ἐπισκέπτῃς Ἰαπωνικοῦ κήπου πάσων ἀπὸ ἀχρωματοψία. Οἱ ὀλικὲς ἐκλείψεις τοῦ ἥλιου ἀποτελοῦσαν μοναδικὰς εὐκαιρίας γιὰ ἓνα πλῆθος παρατηρήσεων τὶς ὁποῖες ἡ λαμπρότητα τοῦ ἡλιακοῦ δίσκου τὶς καθιστοῦν ἀδύνατες· ἔτσι οἱ παρατηρήσεις αὐτὲς συλλέγονται σὲ ἀσφυκτικὰ περιορισμένα χρονικὰ ὅρια ἐνῶ οἱ ἴδιες πληροφορίες περιέχονται καὶ στὰ φάσματα ἀκτίνων-X τοῦ ἥλιου. Ἡ τοποθέτηση τηλεσκοπίων ἀκτίνων-X μὲ διαστημικοὺς σταθμοὺς ἐπιτρέπει τὴ συνεχὴ συλλογὴ τῶν πληροφοριῶν ἐκείνων ποὺ μόνο κατὰ τὴ στιγμή τῶν ἐκλείψεων μποροῦν ἀπὸ ἐπίγειες παρατηρήσεις νὰ συλλεγοῦν. Ἡ χρῆση φασματοσκοπίων ἀκτίνων-X συνδυαζομένων μὲ σύστημα σαρώσεως ἐπέτρεψε τὴ λήψη τῶν φασμάτων ἐκπομπῆς τῶν πολλαπλῶς ἰονισμένων ἀτόμων π.χ. Fe, ἀπὸ διάφορα σημεῖα τοῦ ἡλιακοῦ δίσκου, ὥστε νὰ καθίσταται δυνατὴ ἡ χαρτογράφηση τῶν ἰσόθερμων τοῦ Ἡλιακοῦ δίσκου. Ὁ ἐντοπισμὸς τέλους τῶν πηγῶν ἀκτίνων-X στοῦ σύμπαν καὶ ὁ συσχετισμὸς τους μὲ τὶς πηγὰς ραδιοκυμάτων συμβάλλει στὴν ἀνάπτυξη τῆς σύγχρονης ἀστροφυσικῆς.

Ἀξιοποιοῦνται σὲ δύο βασικοὺς κλάδους τῆς ἱατρικῆς, τὴν ἀκτινοθεραπεία καὶ τὴν ἀκτινοδιαγνωστικὴ. Πιθανὸν δὲ ἡ πρώτη πρακτικὴ ἐφαρμογὴ τῶν ἀκτίνων-X νὰ ἔγινε στὴν ἀκτινοθεραπεία, δεδομένου ὅτι ὑπάρχει ἀναφορὰ ὅτι μόνο δύο ἐβδομάδες μετὰ ἀπὸ τὴν ἐπίσημη ἀνακοίνωση τοῦ Röntgen χρησιμοποιήθηκαν οἱ νέες ἀκτίνες γιὰ τὴ θεραπεία τοῦ καρκίνου τοῦ στήθους. Ἡ σημασία τῶν ἀκτίνων-X στὴν ἀκτινοδιαγνωστικὴ ἐξάλλου ἐκτιμήθηκε ἀπὸ τὴν πρώτη στιγμή. Στὸ πρῶτο στάδιο τῆς ἐφαρμογῆς τὰ ἀκτινογραφήματα ἀποτελοῦσαν τὴν δισδιάστατη προβολὴ τοῦ τρισδιάστατου ὄργάνου. Τὸ εἶδωλο ἐσχηματίζετο λόγω τῆς διαφορετικῆς ἀπορροφῆσεως ποὺ παρουσιάζουν οἱ διάφοροι ἴστοι στὶς ἀκτίνες-X, ἐπομένως ἡ ἀντίθεση τῆς ἀμαύρωσης τοῦ ἀκτινογραφήματος δὲν μπορεῖ νὰ εἶναι σημαντικὴ, ἐκτὸς ἐὰν πρόκειται περὶ ὀστέων ἢ ξένου σώματος. Βελτίωση στὴν ἀντίθεση τῆς ἀμαύρωσης καὶ ἐπομένως ἡ δημιουργία εὐκρινέστερων εἰδώλων ἐπετεύχθη μὲ τὴ χρῆση χρωστικῶν οὐσιῶν οἱ ὁποῖες συνίστανται ἀπὸ ἀκίνδυνες γιὰ τὸν ὄργανισμό χημικὲς ἐνώσεις βαρέων στοιχείων, τὰ ὁποῖα ἀπορροφοῦν ἐντονότερα τὶς ἀκτίνες-X καὶ ἐντοπίζονται κατὰ προτίμηση στοῦ ὑπὸ ἐξέταση ὄργανο. Ἡ ἀνάγκη πληρέστερης εἰκόνας τοῦ ὑπὸ ἐξέταση ὄργανου ἐπιβάλλει τὴ λήψη ἀκτινογραφημάτων ἀπὸ διαφορετικὰς διευθύνσεις. Ἐπεκτείνοντας αὐτὴ τὴν ἰδέα καθίσταται προφανὲς ὅτι μὲ πλῆθος προβολῶν ἀπὸ διαφορετικὰς γωνίες θὰ μπορούσε νὰ κατασκευαστεῖ τῇ βοήθειᾳ τῆς γεωμετρίας ἓνα τρισδιάστατο εἶδωλο τοῦ ὄργανου. Ἡ σκέψη αὐτὴ ὀδήγησε στὴν ἐφεύρεση τοῦ ἀξονικοῦ τομογράφου διὰ τοῦ ὁποίου λαμβάνεται τὸ εἶδωλο τομῆς τοῦ σώματος διὰ τῆς περι-



στροφής της πηγής ακτίνων-Χ γύρω από το σώμα. Στους συνήθεις αξονικούς τομογράφους μιὰ ακτινοδιαγνωστική λυχνία ακτίνων-Χ και ένα σύστημα απεικόνισης σε αντιδιαμετρική θέση περιστρέφονται μηχανικά γύρω από τον ασθενή. Ο χρόνος απεικόνισης του ειδώλου εξαρτάται από την ταχύτητα περιστροφής της λυχνίας και είναι πολύ μεγαλύτερος από εκείνον που οι άλλοι περιοριστικοί παράμετροι επιβάλλουν. Η αδυναμία αυτή υπερπηδάται στη γενιά του αξονικού τομογράφου ηλεκτρονικής δέσμης όπου η στρεφόμενη ακτινοδιαγνωστική λυχνία αντικαθίσταται από μιὰ δακτυλιοειδή λυχνία στο κέντρο του οποίου τοποθετείται ο ασθενής και μιὰ δέσμη ηλεκτρονίων ή οποία σαράνει την αντικάθοδό της έτσι ώστε να ελαττώνεται σημαντικά ο χρόνος του ακτινογραφήματος.

Επαναστατική βελτίωση στην ακτινοδιαγνωστική αποτελεί ή διχρωματική απεικόνιση κατά την οποία τα ακτινογραφήματα του υπό εξέταση ὄργάνου λαμβάνονται με ενέργειες λίγο μεγαλύτερες και λίγο μικρότερες από αυτή της άκμης απορροφήσεως της χρωστικής ουσίας. Η διαφορά των δύο ακτινογραφήματων σχηματίζει το εἶδωλο του ὄργάνου στο οποίο κατά προτίμηση έχει έναποτεθεί ή χρωστική ουσία όπως προκύπτει από το σχήμα 4.

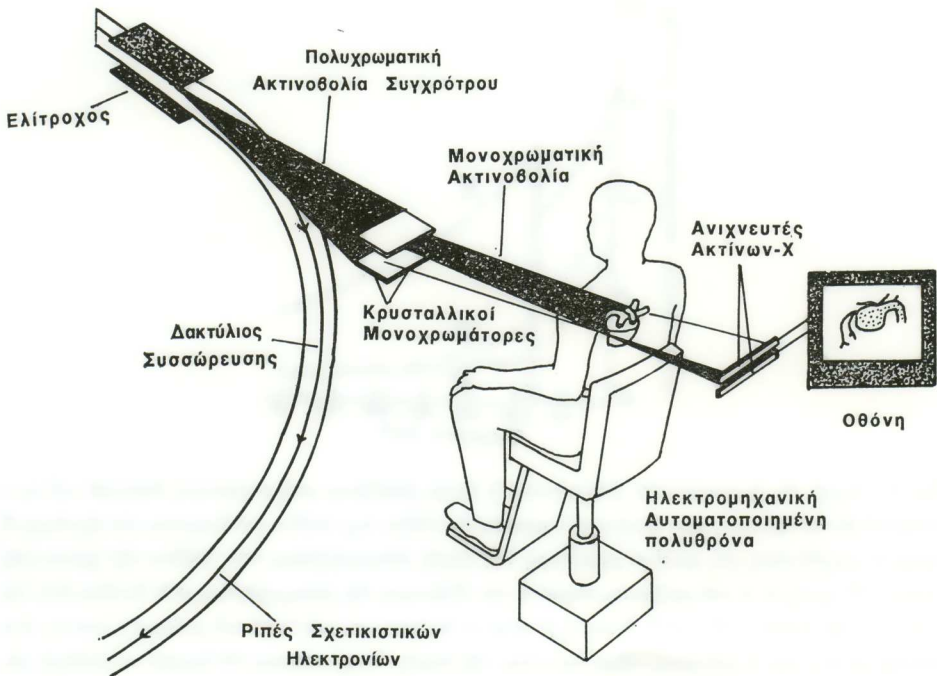


Σχ. 4. Αρχή της διχρωματικής απεικόνισης ή οποία βασίζεται στη σημαντική διαφορά του συντελεστού απορροφήσεως των ακτίνων-Χ χρωστικής ουσίας π.χ. Ιωδίου για ενέργεια των ακτίνων-Χ κατά τι μεγαλύτερη και κατά τι μικρότερη της άκμης απορροφήσεως του Ιωδίου της χρωστικής ουσίας. Η γραμμή Α του σχήματος παριστᾶ την εξάρτηση της απορροφήσεως του Ιωδίου από την ενέργεια των ακτίνων-Χ, ενώ ή Β και ή Γ είναι οι αντίστοιχες για ὀστά και μαλακούς ιστούς. Δύο εἶδωλα με ακτίνες-Χ ενέργειας πάνω και κάτω της άκμης απορροφήσεως θα διαφέρουν αίσθητά μόνο στην περιοχή που περιέχει Ιώδιο, έτσι ή διαφορά των δύο ειδώλων θα απεικονίζει μόνο το ὄργανο στο οποίο έχει έναποτεθεί το Ιώδιο.

Στὸ σχῆμα φαίνεται ἡ ἐξάρτηση τοῦ συντελεστῆ ἀπορρόφησης ἀπὸ τὴν ἐνέργεια τῶν ἀκτίνων-Χ γιὰ μαλακοὺς ἰστούς, γιὰ ὀστᾶ καὶ γιὰ χρωστικὴ οὐσία περιέχουσα ἰώδιο. Εἶναι φανερό ὅτι τὰ εἶδωλα τόσο τῶν ὀστέων ὅσο καὶ τῶν ἰστῶν ποὺ δὲν περιέχουν ἰώδιο δὲν παρουσιάζουν διαφορὰ στὴν ἀμάρωση γιὰ τὶς δύο ἀκτινοβολίες, αὐτὴ μὲ ἐνέργεια λίγο πιὸ πάνω καὶ λίγο πιὸ κάτω ἀπὸ τὴν ἀκμὴ ἀπορρόφησης, σὲ ἀντίθεση μὲ τὸ ὄργανο ποὺ περιέχει ἰώδιο οὕτως ὥστε ἡ ἀφαίρεση τῶν δύο εἰκόνων νὰ ἀναδεικνύει τὶς λεπτομέρειες τοῦ ὄργανου στὸ ὅποιο ἔχει ἐναποτεθεῖ ἰώδιο.

Τὸ σχῆμα 5 σχεδιαγραφεῖ τὴν ἀρχὴ λειτουργίας του σὲ πειραματικὸ στάδιο εὐρισκομένου διχρωματικοῦ=ἄξονικοῦ τομογράφου ἀκμῆς ἀπορρόφησης. Μιὰ δέσμη ἀκτίνων-Χ ἀπὸ δακτύλιο συσσώρευσης διαχωρίζεται σὲ δύο μονοχρωματικὲς δέσμες γύρω ἀπὸ τὴν ἀκμὴ ἀπορρόφησης οἱ ὁποῖες σχηματίζουν τὸ εἶδωλο τοῦ ὄργανου πάνω σὲ δύο κατάλληλα συστήματα ἀπεικόνισης γιὰ περαιτέρω ὑπολογιστικὴ ἐπεξεργασία.

Τὰ ἐπιτεύγματα τῶν ἀκτίνων-Χ κατὰ τὴν ἑκατονταετία ποὺ πέρασε δὲν ἀμφιβάλλω ὅτι εἶναι περισσότερο ἀπὸ ὅσα καὶ πλεόν ἡ καλπάζουσα φαντασία δὲν τὰ εἶχε συλλάβει στὴν ἀρχὴ τοῦ αἰῶνα μας καὶ ἐπομένως θὰ ἀποφύγῃ τὸν πειρασμὸ νὰ κάνω



Σχ. 5. Ἀρχὴ λειτουργίας διχρωματικοῦ ἄξονικοῦ τομογράφου ἀκμῆς ἀπορρόφησης.



ὅποιαδήποτε πρόβλεψη γιὰ τὸ τί θὰ ἐπιτευχθεῖ μὲ τὶς ἀκτίνες-Χ στὸν αἰῶνα ποὺ ἔρχεται. Ἐκ τοῦ ἀσφαλοῦς ὅμως μπορῶ νὰ διαπιστώσω ὅτι τὸ πεδίο τῶν ἀκτίνων-Χ ὑπόσχεται νὰ συμβάλει στὶς ἐπιστῆμες καὶ στὶς ἐφαρμογές πολὺ περισσότερο ἀπὸ ὅτι ἔχει συμβάλει μέχρι σήμερα.

Σᾶς εὐχαριστῶ.

#### ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α΄.

Βραβεῖα Nobel γιὰ ἔρευνα βασιζόμενη  
στὶς ἀκτίνες - Χ

- 1901 W. C. Röntgen : Φυσικῆς,  
γιὰ τὴν ἀνακάλυψη τῶν ἀκτίνων-Χ.
- 1914 M. von Laue: Φυσικῆς,  
γιὰ τὴ σκέδαση ἀκτίνων-Χ ἀπὸ κρύσταλλο.
- 1915 W. Bragg καὶ W. L. Bragg: Φυσικῆς,  
γιὰ τὸν προσδιορισμὸ τῆς κρυσταλλικῆς δομῆς μὲ περίθλαση ἀκτίνων-Χ.
- 1917 C. G. Barkla: Φυσικῆς,  
γιὰ τὴ χαρακτηριστικὴ ἀκτινοβολία τῶν στοιχείων.
- 1924 M. Siegbahn: Φυσικῆς,  
γιὰ τὴ φασματοσκοπία ἀκτίνων-Χ.
- 1927 A. H. Compton: Φυσικῆς,  
γιὰ τὴ σκέδαση τῶν ἀκτίνων-Χ ἀπὸ ἠλεκτρόνια.
- 1936 P. Dabbye: Χημείας,  
γιὰ τὴν περίθλαση τῶν ἀκτίνων-Χ ἀπὸ τὰ ἠλεκτρόνια τῶν ἀερίων.
- 1962 M. Perutz καὶ J. Kendrew: Ἱατρικῆς,  
γιὰ τὴ δομὴ τῆς αἰμογλοβίνης.
- 1962 J. Watson, M. Wilkins, καὶ F. Crick: Ἱατρικῆς,  
γιὰ τὴ δομὴ τοῦ DNA.
- 1979 A. McLeod Cormack καὶ G. Newbold Hounsfield: Ἱατρικῆς,  
γιὰ τὴν ὑπολογιστικὴ ἀξονικὴ τομογραφία.
- 1985 H. Hauptman καὶ J. Karle: Χημείας,  
γιὰ τὶς ἀπευθείας μεθόδους προσδιορισμοῦ τῆς δομῆς μὲ ἀκτίνες-Χ.
- 1988 J. Deisenhofer, R. Huber καὶ M. Michel: Χημείας,  
γιὰ τὴ δομὴ τῶν σημαντικῶν στὴ φωτοσύνθεση πρωτεϊνῶν.