



Η ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ Χ

Οι ακτίνες Χ είναι ηλεκτρομαγνητικής φύσης και καλύπτουν μία μικρή περιοχή του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος. Οι ακτινοβολίες αυτές εκπέμπονται υπό μορφή κυμάτων που διαδίδονται με την ταχύτητα του φωτός. Το γινόμενο του μήκους κύματος λ επί τον αριθμό των παραγόμενων ανά δευτερόλεπτο κυμάτων ν , είναι σταθερό και ισούται με την ταχύτητα διάδοσης του κύματος,

$$\lambda \cdot \nu = c \quad (1)$$

Έτσι εξηγούνται ορισμένα φαινόμενα όπως της ανάκλασης. Άλλα φαινόμενα όμως, όπως η απορρόφηση της ακτινοβολίας, εξηγούνται καλύτερα όταν θεωρηθεί ότι, η υπό μορφή ακτινοβολίας εκπεμπόμενη ενέργεια εκπέμπεται ασυνεχώς και κατά στοιχειώδη ποσά (φωτόνια).

Κάθε φωτόνιο έχει ενέργεια E , η οποία εξαρτάται από τη συχνότητα ν της ακτινοβολίας.

$$E = h \cdot \nu \quad (2)$$

(όπου h η σταθερά PLANCK)

Από τις σχέσεις (1) και (2) προκύπτει η σχέση

$$E = h \cdot \frac{c}{\lambda} \quad (3)$$

Από τη σχέση (3) συνάγεται ότι όσο μικραίνει το μήκος κύματος της ακτινοβολίας τόσο αυξάνει η ενέργεια των φωτονίων.

ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΑΚΤΙΝΩΝ Χ

Οι ακτίνες Χ παράγονται όταν τα ηλεκτρόνια κινούμενα με μεγάλη ταχύτητα προσπίπτουν επί της ύλης.

Εκμετάλλευση του φαινομένου αυτού γίνεται στις λυχνίες παραγωγής ακτίνων Χ.

Σήμερα για την παραγωγή των ακτίνων Χ χρησιμοποιούνται σωλήνες Coolidge (Εικόνα 1).

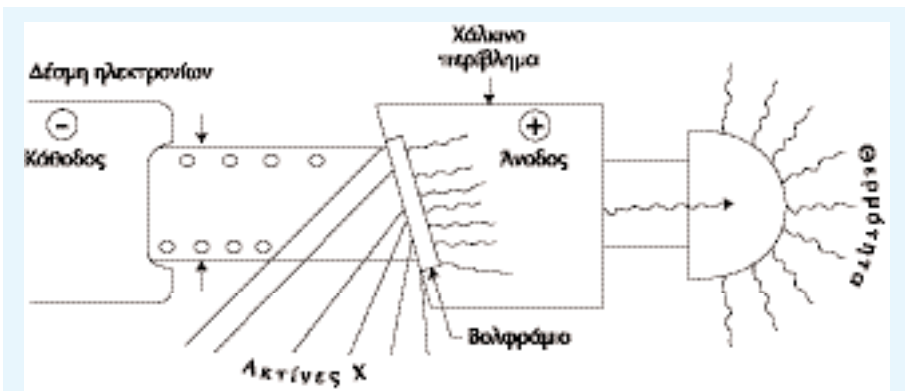
Μια λυχνία ακτίνων Χ αποτελείται από ένα σύστημα καθόδου-ανόδου μέσα σε γυάλινο περίβλημα στο οποίο η πίεση των αερίων είναι πολύ χαμηλή, περίπου 10^{-6} mmHg ή χαμηλότερη.

Τα απαραίτητα για τη λειτουργία της λυχνίας ηλεκτρόνια παράγονται από την σε υψηλή θερμοκρασία θερμαινόμενη κάθοδο. Μεταξύ ανόδου και καθόδου εφαρμόζεται μια υψηλή τάση (άνοδος θετική, κάθοδος αρνητική) υπό την επίδραση της οποίας τα από την κάθοδο παραγόμενα ηλεκτρόνια αποκτούν πολύ μεγάλη ταχύτητα. Όταν αυτά τα ηλεκτρόνια προσπίπτουν επί της ανόδου, το μεγαλύτερο μέρος της ενέργειάς τους μετατρέπεται σε θερμότητα ενώ ένα μικρό μόνο μέρος, περίπου 1%, μετατρέπεται σε ακτίνες Χ.

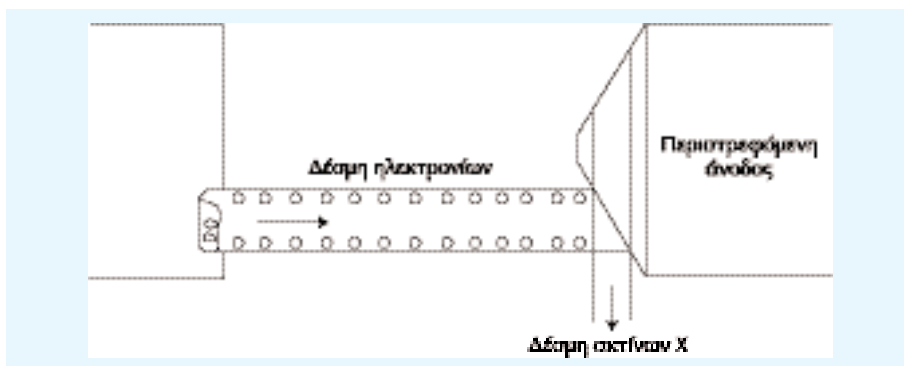
Συγκεκριμένα το ποσοστό της ενέργειας των ηλεκτρονίων το οποίο σε μια λυχνία μετατρέπεται σε ακτινοβολία Χ, για την περιοχική τάσεων οι οποίες εφαρμόζονται στη διαγνωστική δίνεται από τον τύπο:

$$f = 1,4 \cdot 10^{-9} \cdot Z \cdot V$$

όπου Z = ο ατομικός αριθμός του υλικού της ανόδου και V = η τάση σε Volt. Εάν π.χ. η άνοδος είναι από βολφράμιο τότε $Z = 74$, για $V = 100.000$ Volt



Εικόνα 1. Λυχνία Coolidge παραγωγής ακτίνων Χ.



Εικόνα 2. Τυπική διάταξη λυχνίας περιστρεφόμενης ανόδου.

έχουμε:

$$f = 1,4 \cdot 10^{-9} \cdot 74 \cdot 10^5 = 0,01$$

δηλαδή η απόδοση της λυχνίας σε ακτίνες Χ είναι 1%.

Βλέπουμε λοιπόν ότι πρακτικά όλη η ενέργεια του ρεύματος των ηλεκτρονίων μετατρέπεται σε θερμότητα. Γι' αυτόν το λόγο η άνοδος είναι κατασκευασμένη από δύσστηκτο μέταλλο, συνήθως βολφράμιο (σημείο τήξης 3370°C), ενώ λαμβάνεται πρόνοια για την καλή ψύξη της με τη χρησιμοποίηση διαφόρων τεχνικών, όπως περίβλημα χαλκού που είναι ευθερμαγωγό της ανόδου και κυκλοφορία γύρω από το χαλκό ψυχρού λαδιού υπό μεγάλη πίεση, ή χρησιμοποίηση περιστρεφόμενης ανόδου (Εικόνα 2).

Μέσα στις λυχνίες Χ επικρατεί κενό, γιατί η παρουσία έστω και μικρής ποσότητας αέρα δεν επιτρέπει στα ηλεκτρόνια να αποκτήσουν τη μέγιστη ταχύτητά τους λόγω συγκρούσεων με τα μόρια του αέρα, ενώ συντελεί επίσης στη γρήγορη καταστροφή της καθόδου λόγω οξειδωσης.

ΤΟ ΦΑΣΜΑ ΤΩΝ ΑΚΤΙΝΩΝ Χ

Το φάσμα των ακτίνων Χ, είναι σύνθετο, αποτελούμενο από γραμμικό και συνεχές φάσμα.

Γραμμικό φάσμα ή χαρακτηριστική ακτινοβολία

Αυτό οφείλεται στην ακτινοβολία την οποία εκπέμπουν τα άτομα του υλικού της ανόδου. Τα ηλεκτρόνια συγκρουόμενα με τα άτομα του υλικού της ανόδου τα διεγείρουν, με αποτέλεσμα ένα από τα εσωτερικά ηλεκτρόνια να φεύγει από την τροχιά του. Κατά την εκ νέου συμπλήρωση του δημιουργηθέντος "κενού" εκπέμπεται φωτόνιο ορισμένου μήκους κύματος χα-

ρακτηριστικού του ατόμου. Αφού η συμπλήρωση αυτή γίνεται για οποιοδήποτε από τα ηλεκτρόνια του ατόμου, αρκεί να ανήκει σε τροχιά μεγαλύτερης ενέργειας, είναι φανερό ότι το γραμμικό φάσμα θα αποτελείται από πολλές γραμμές χαρακτηριστικές του υλικού της ανόδου. Γι' αυτό το λόγο η παραγόμενη ακτινοβολία λέγεται και χαρακτηριστική ακτινοβολία.

Επειδή η ενέργεια η οποία απαιτείται για να εκδιωχθεί ένα ηλεκτρόνιο από εσωτερική τροχιά είναι μεγάλη, πρέπει το ηλεκτρόνιο που προκαλεί τη διέγερση να έχει υψηλή ταχύτητα. Έτσι απαιτείται υψηλή τάση για τη λειτουργία της λυχνίας ακτίνων Χ.

Συνεχές φάσμα ή ακτινοβολία πέδησης

Όταν τα γρήγορα κινούμενα ηλεκτρόνια προσπίπτουν επί του στόχου υφίστανται απότομη ελάττωση της ταχύτητάς τους. Η απωλεσθείσα ενέργεια ενός ηλεκτρονίου είναι δυνατό να εμφανισθεί υπό μορφή φωτονίου. Έτσι η ενέργεια του φωτονίου μπορεί να έχει οποιαδήποτε τιμή μεταξύ του μηδενός και ολόκληρης της κινητικής ενέργειας του ηλεκτρονίου. Φωτόνιο μέγιστης ενέργειας παράγεται όταν το ηλεκτρόνιο χάσει εφάπαξ ολόκληρη την ενέργειά του. Η παραγόμενη ακτινοβολία λέγεται ακτινοβολία πέδησης.

Το συνεχές φάσμα έχει σαφές όριο προς την πλευρά των μικρών μηκών κύματος που είναι:

$$\lambda_{\text{ελαχ}} = \frac{12420}{V} \text{ \AA} \text{ όπου } V, \text{ Volts}$$

Παράγοντες που επιδρούν στη μορφή του φάσματος

Η ακτινοβολία η οποία εκπέμπεται από τη λυχνία ακτίνων Χ εξαρτάται αφ' ενός μεν από τον αριθμό και την ταχύτητα των προκαλούντων αυτήν ηλεκτρονίων, αφ' ετέρου από το υλικό της ανόδου.

Από τον αριθμό των ηλεκτρονίων τα οποία ανά μονάδα χρόνου προσπίπτουν στην άνοδο, εξαρτάται ο αριθμός των εκπεμπόμενων φωτονίων. Κατά συνέπεια η μεταβολή του αριθμού των ηλεκτρονίων, θα έχει ως αποτέλεσμα τη μεταβολή της έντασης της ακτινοβολίας, χωρίς να ακολουθεί και μεταβολή της μορφής του φάσματος. Ο αριθμός των από την κάθοδο εκπεμπόμενων ηλεκτρονίων εξαρτάται από τη θερμοκρασία στην οποία βρίσκεται η κάθοδος, και η οποία ρυθμίζεται μέσω του κυκλώματος χαμηλής τάσης.

Όσο περισσότερο θερμή είναι η κάθοδος, τόσο περισσότερα ηλεκτρόνια εκπέμπονται από αυτήν για να σχηματίσουν το ρεύμα της λυχνίας.

Η υψηλή τάση που εφαρμόζεται στα άκρα μιας λυχνίας ακτίνων Χ, επιδρά στην ταχύτητα των ηλεκτρονίων. Η μεταβολή της ταχύτητας των ηλεκτρονίων προκαλεί άλλη μεταβολή στο γραμμικό φάσμα και άλλη στο συνεχές. Στο γραμμικό φάσμα, αύξηση της ταχύτητας προκαλεί αύξηση μόνο της έντασης κάθε γραμμής, χωρίς να συνοδεύεται από μετατόπιση των γραμμών στα φάσμα. Στο συνεχές φάσμα όμως η αύξηση της ταχύτητας προκαλεί αύξηση της έντασης που αντιστοιχεί σε κάθε μήκος κύματος, αλλά και μετατόπιση του ελάχιστου μήκους κύματος προς τα μικρότερα μήκη κύματος.

Γενικά, αυξάνοντας την υψηλή τάση η ποιότητα της ακτινοβολίας μεταβάλλεται σε ακτινοβολία μικρότερου μήκους κύματος η οποία χαρακτηρίζεται ως “σκληρότερη” (περισσότερο διεισδυτική).

Η μορφή του φάσματος εξαρτάται και από το υλικό της ανόδου και συγκεκριμένα από τον ατομικό του αριθμό. Στο γραμμικό φάσμα η αύξηση του ατομικού αριθμού προκαλεί μετατόπιση των γραμμών προς τα μικρότερα μήκη κύματος, ενώ στο συνεχές η επίδραση είναι σχεδόν ασήμαντη.

ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΩΝ ΑΚΤΙΝΩΝ Χ

Οι ακτίνες Χ γενικά ακολουθούν τους νόμους της ορατής ακτινοβολίας, κατέχουν όμως πρόσθετες ιδιότητες μερικές των οποίων είναι οι εξής:

- α) Τα πολύ μικρά μήκη κύματος τις καθιστούν ικανές να διεισδύσουν μέσα σε υλικά στα οποία το ορατό φως δεν διεισδύει.
- β) Προκαλούν φθορισμό ορισμένων ουσιών πάνω στις οποίες προσπίπτουν.
- γ) Επιδρούν στα φωτογραφικά φιλμ, και το αποτέλεσμα μπορεί να γίνει ορατό με την εμφάνιση των φιλμ.
- δ) Επιδρούν στα βιολογικά συστήματα.

ΑΠΟΡΡΟΦΗΣΗ ΤΩΝ ΑΚΤΙΝΩΝ Χ ΑΠΟ ΤΗΝ ΎΛΗ

Μεταξύ των ιδιοτήτων των ακτίνων Χ είναι και η διεισδυτικότητα αυτών μέσα στην ύλη. Γενικά όταν μία δέσμη ακτίνων Χ προσπέσει επί της ύλης δεν θα εξέλθουν από αυτήν όσες ακτίνες εισήλθαν, αλλά ένα μέρος από αυτές θα απορροφηθεί από την ύλη.

Το ποσοστό απορρόφησης των ακτίνων Χ εξαρτάται από τρεις παράγοντες.

1. Το μήκος κύματος των ακτίνων Χ.
2. Τη σύνθεση της ύλης κατά μήκος της διαδρομής των ακτίνων Χ.
3. Το πάχος και την πυκνότητα της ύλης.

Έχει αναφερθεί ότι όσο μεγαλύτερη τιμή έχει η τάση της λυχνίας, τόσο

η παραγόμενη ακτινοβολία είναι περισσότερο μετατοπισμένη προς τα μικρότερα μήκη κύματος και άρα περισσότερο διεισδυτική. Μεγάλη διεισδυτική ικανότητα όμως, σημαίνει μικρή απορρόφηση. Επομένως, η απορρόφηση των ακτίνων X από την ύλη θα είναι μικρότερη για μικρότερα μήκη κύματος.

Ένα υλικό με μικρό ατομικό αριθμό Z , π.χ. ένα φύλλο αλουμινίου ($Z = 13$) απορροφά λιγότερο ποσό ακτίνων X απ' ό τι ένα φύλλο χαλκού ($Z = 29$) της ίδιας επιφάνειας και βάρους.

Ο μόλυβδος με $Z = 82$ αποτελεί άριστο υλικό απορρόφησης των ακτίνων X . Γι' αυτό το λόγο χρησιμοποιείται για τη θωράκιση των λυχνιών ακτίνων X και γενικά για την κατασκευή προστατευτικών μέσων π.χ. γάντια, ποδιές, επένδυση τοίχων ακτινολογικών εργαστηρίων.

ΣΚΕΔΑΖΟΜΕΝΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ

Όταν μία δέσμη ακτίνων X προσπίπτει σε ένα αντικείμενο ένα ποσοστό αυτής αποκλίνει της αρχικής δέσμης. Η ακτινοβολία αυτή χαρακτηρίζεται ως σκεδαζόμενη.

Η ένταση της σκεδαζόμενης ακτινοβολίας σε ένα μέτρο απόσταση από το αντικείμενο είναι περίπου ίση προς το $1/1000$ της προσπίπτουσας. Η μεγαλύτερη ένταση της σκεδαζόμενης ακτινοβολίας συναντάται παράλληλα προς την επιφάνεια του αντικειμένου, όταν η προσπίπτουσα δέσμη συναντά κάθετα την επιφάνεια αυτή.