

Αυτινοβολία Χ

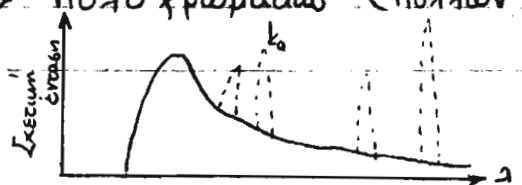
Παράγεται όταν η ηλεκτρόνια κινούνται με μεγάλη ταχύτητα μέσα στο κενό αλληλεπιδρούν με ένα υλικό (στόχος) πάνω στο οποίο προσπίπτουν. Η αυτινοβολία Χ που παράγεται έτσι έχει ευρύ φάσμα (συνέχες φάσμα ή αυτινοβολία πηδήσεως) στο οποίο παρατηρούνται ορισμένες βενές περιοχές με έντονη ελαστικότητα υψηλή σε σύγκριση με τη υπόλοιπη περιοχή του φάσματος (χαρακτηριστικές κορυφές). Η μορφή του φάσματος εξαρτάται από: Την ενέργεια των ηλεκτρονίων, τον ατομικό αριθμό του στόχου και άλλους παράγοντες (πάχος του στόχου, ...) καθώς και από την χρήση απορροφητών (μεταλλικά φίλτρα, με σκοπό να απορροφήσουν τα χαμηλής ενέργειας φωτόνια της αυτινοβολίας Χ).

4.1. Υστορία της Ανακάλυψης των Ακτίνων - Χ

Η ανακάλυξή τους είναι συνέπεια μελετών και πειραμάτων σχετιών με ηλεκτρικές εκκενώσεις σε αέρια. Η ηλεκτρική εκκένωση χαρακτηρίζεται η δίοδος ηλεκτρικού ρεύματος μέσα από αέρια, που βρίσκονται σε χαμηλή πίεση. Η δίοδος αυτή χαρακτηρίζεται από φωτεινά φαινόμενα. Ανακαλύφθηκαν το 1899 από τον W.C. Röntgen που παρατήρησε ότι είχε παραχθεί μια άγνωστη ως τότε αυτινοβολία. Για τη μελέτη των ηλεκτρικών εκκενώσεων θεωρείται αέριο σε υψηλό βολτ, στα άκρα του οποίου είναι τοποθετημένα δύο ηλεκτρόδια στα οποία εφαρμόζεται υψηλή τάση μερικών kV Volts. Ο Röntgen παρατήρησε ότι η αυτινοβολία που προέρχεται από το βολτ, προαγούσε φθορισμό σε ορισμένους υφασμάτινους τοποθετημένους έξω από το βολτ. Διαπίστωσε λοιπόν ότι η αυτινοβολία αυτή μπορούσε να περάσει μέσα από βερικά βόματα και μετά να προαγέσει φθορισμό σε υφασμάτινους, την χαρακτήρισε δε ως άγνωστη (Χ).

4.2 Φάσμα της Αυτινοβολίας Χ

Το φάσμα των ακτίνων Χ είναι συνεχές πολυχρωματικό (πολλών συνεχόμενων ενεργειών), παρατηρούνται δε



ορισμένες περιοχές με πολύ μεγαλύτερη ένταση (χαρακτηριστικές κορυφές) που αντιστοιχούν στο γραμμικό ή χαρακτηριστικό φάσμα των αερίων X

4.3 Φύση και Ποιότητα των Αερίων X

Αποτελούνται από φωτόνια με μήκος κύματος $10^{-12} - 10^{-8}$ m. Ένα φωτόνιο αεριοβολίας X, διαφέρει από φωτόνιο αεριοβολίας γ ως προς τον τρόπο παραγωγής του και όχι ως προς τη φύση του ιδιότητες όταν συμβεί να συμβήσουν οι ενέργειές τους και επομένως και τα μήκη κύματός τους.

Η ποιότητα μιας δέσμης αεριοβολίας X καθορίζεται κυρίως από:

- α/ Την μέγιστη ενέργεια των φωτονίων που παρατηρούνται στο φάσμα της.
- β/ Τις σχετικές εντάσεις των φωτονίων στα διάφορα μήκη κύματος του φάσματος
- γ/ Την δέση και ένταση των χαρακτηριστικών κορυφών του φάσματος.

4.4 Φυσικοί Μηχανισμοί Παραγωγής Αερίων - X

Οι αλληλεπιδράσεις μεταξύ μιονίων (ταχέως κινούμενων) και ύλης που καταλήγουν στην παραγωγή αερίων X είναι δύο ειδών:

α/ Αλληλεπιδράσεις που καταλήγουν σε ελάττωση της κινητικής ενέργειας του μιονίου (πέδηση) με επιβλητή αεριοβολίας X ενέργεια ίση με την ελάττωση της κινητικής ενέργειας του μιονίου. Σε αυτές οφείλεται το β u.v εχέος φάσμα των αερίων X και συμβαίνουν όταν τα μιονία διέρχονται δίπλα σε πυρήνες του υμνού οπότε δέχονται ισχυρή μιονοστατική έλξη με αποτέλεσμα να επιβραδύνονται της πορείας τους με ελάττωση κινητική ενέργεια, ενώ συγχρόνως εκπέμπεται αεριοβολία X.

β/ Αλληλεπιδράσεις που καταλήγουν σε ευδίωξη ενός μιονίου της K ή L στοιβάδας του υμνού στο οποίο προσπίπτουν τα μιονία και επιβλητή αεριοβολίας X υπό την επίδραση του κενού στη στοιβάδα K ή L από άλλο περιφερικότερο (μεγαλύτερης ενέργειας) μιονία. Σε αυτές οφείλεται το γραμμικό ή χαρακτηριστικό φάσμα των αερίων X.

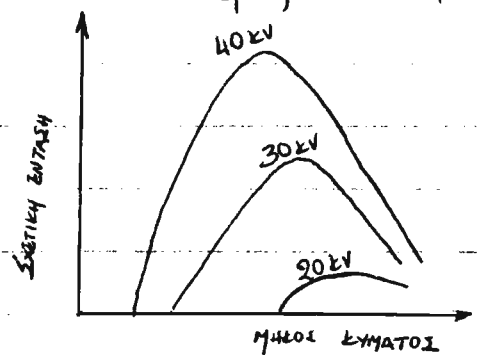
Τυχαιά, ανεπιθύμητη παραγωγή ακτίνων X, αναφέρεται στην λειτουργία των
επιτ. συσκευών: α/ Ρωλίνες μαγνητικών ακτίνων (συσκευές τηλεράβων),
β/ Ηλεκτρονικά μικροσκόπια και γ/ Λε διόδου ή τριόδου ηλεκτρονικές λυχνίες.

4.9 Μελέτη του φάσματος της Ακτινοβολίας X

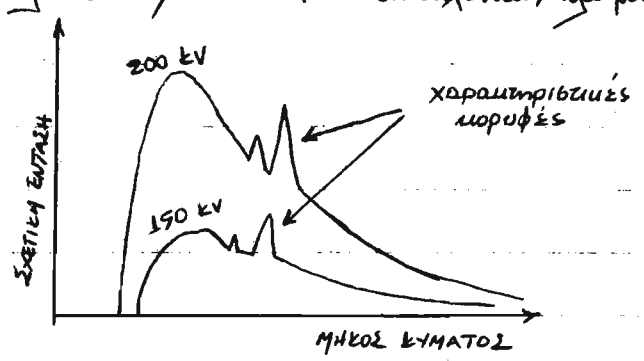
Το φάσμα της ακτινοβολίας X διακρίνεται σε συνεχές και γραμμικό ή χαρακτηριστικό.

Συνεχές φάσμα: Εξαρτάται από την κινητική ενέργεια των ηλεκτρονίων που προσπίπτουν στο στόχο. Αύξηση της ενέργειας των ηλεκτρονίων μεταβάλλει το συνεχές φάσμα ως εξής: α/ Αυξάνει την ένταση της ακτινοβολίας X β' όσον αφορά μήκος κύματος β/ Ελαττώνεται το ελάχιστο μήκος κύματος της εκπέμπουσας ακτινοβολίας και γ/ Η μέγιστη ένταση κάθε μήκους κύματος στρέφεται προς τα μικρότερα μήκος κύματος.

Η ενοπιική ένταση της ακτινοβολίας (I) ικώται με: $I = k \cdot Z \cdot V^2$
όπου k = σταθερά, Z = ατομικό αριθμός του υλικού κ, V = δυναμικό επιταχύνσεως ηλεκτρονίων



Συνεχές φάσμα



Γραμμικό ή Χαρακτηριστικό φάσμα

Χαρακτηριστικό φάσμα: Παράγεται μαζί με το συνεχές, όταν τα ηλεκτρόνια έχουν αρκετή κινητική ενέργεια ώστε να μπορούν να αλληλεπιδράσουν με τα άτομα του υλικού του στόχου και να ευδιώσουν ηλεκτρόνια εσωτερικών στοιβάδων. Η θέση των κορυφών είναι ανεξάρτητη του δυναμικού επιταχύνσεως και εξαρτάται μόνο από τον ατομικό αριθμό του υλικού του στόχου.

Όταν χρησιμοποιείται στόχος που τα άτομά του έχουν μικρό ατομικό αριθμό, παρέχονται μόνο χαμηλές της σειράς K , ενώ χαμηλές των σειρών K και L προέρχονται από άτομα με μεγαλύτερο ατομικό αριθμό.

4.6 Πυκνωτές Παραγωγής Ακτίνων Χ

Για την παραγωγή των ακτίνων X απαιτούνται τα εξής:

α/ Μία πηγή ημετρονίων, β/ Ένας υγρός αέρσιος σωλήνας (δηλαδή με πάρα πολύ χαμηλή πίεση όπου τα ημετρόνια μπορούν να αποκτήσουν πολύ μεγάλη ταχύτητα) γ/ Μια υψηλή διαφορά δυναμικού για την επιτάχυνση των ημετρονίων και δ/ Ένα κατάλληλο υλικό στο οποίο να προσκρούουν τα ταχεία ημετρόνια (στόχος).

Για λόγους αυτοπροστασίας, κάθε πυκνωτής ακτίνων X πρέπει να θωρακίζεται.

Σωλήνες Crookes: Η κάθοδος είναι κατασκευασμένη από αρχαίο βε κοίλο σήμα και η άνοδος από βαρύ μέταλλο συνήθως βορφόριο. Η πίεση μέσα στο σωλήνα είναι 10^{-3} mm Hg. Δεν υπάρχει ιδιαίτερη πηγή ημετρονίων αλλά με την εφαρμογή της υψηλής τάσης, τα άτομα του αέρα που υπάρχουν μέσα στο σωλήνα ιονίζονται. Τα θετικά ιόντα προσπίπτοντας στη κάθοδο προκαλούν εμπορική ημετρονίων, τα οποία αποκτούν μεγάλη κινητική ενέργεια και προσπίπτουν σε ένα σήμα της ανόδου (λόγω του κοίλου σχήματος της κάθόδου) προκαλώντας εμπορική αυτοβοταία X . Οι σωλήνες Crookes δεν ήταν κατασκευασμένοι αλλά παρουσίαζαν ασταθή λειτουργία και χρησιμοποιούνται σήμερα μόνο για επιδείξεις.

Σωλήνες Coolidge: Είναι ένα είδος δίοδου ημετρονιικής λυχνίας. Η πίεση είναι πολύ χαμηλή 10^{-6} mm Hg και υπάρχει ένα νήμα από βορφόριο στη κάθοδο που θερμαίνεται με ιδιαίτερο σύστημα και παρέχει ημετρόνια με θερμική εμπορική. Τα επιβληθέντα ημετρόνια επιταχύνονται και προσπίπτουν στο στόχο που αποτελείται από δύσθετο μέταλλο, συνήθως βορφόριο, και παράγεται αυτοβοταία X . Οι σωλήνες Coolidge έχουν σταθερότητα στη λειτουργία τους και η ένταση της αυτοβοταίας ρυθμίζεται με τη θέρμανση του νήματος, ανεξάρτητα από τηλέβση ενέργειας της που ρυθμίζεται από την εφαρμοσμένη διαφορά δυναμικού.

Ηλεκτρονικό μέρος των λυσιών παραγωγής αυτών X: Δύο σύγχρονες συσκευές παραγωγής αυτών X μπορούν να περιγραφούν τα ετήσια χιμικά υμώματα:

α/ Το ύψος ύψους β/ Το ύψος του μήκους και γ/ Το ύψος της υψηλής τάσης.

Απόδοση λυσιών Παραγωγής αυτών X: Συντελεστής απόδοσης των συσκευών παραγωγής αυτών X, ορίζεται το πηλίκο της ενέργειας των παραχθέντων αυτών X προς την ενέργεια των ηλεκτρονίων που προσπίπτουν στην άνοδο. Είναι πολύ χαμηλός, συνήθως μικρότερος από 0.01 (δηλαδή το 99% της μηχανικής ενέργειας των ταχέων e^- μετατρέπεται σε θερμότητα). Ο Συντελεστής απόδοσης είναι ανάλογος της υψηλής τάσης και του ατομικού αριθμού του υμίου του στόχου. Δύο διαγνωστικές συσκευές η χρονική διάρκεια της αυτοβοήθειας πρέπει να είναι πολύ μικρή (για να μην κινείται ο εξεταζόμενος) γι' αυτό και η αυτοβοήθεια X παρέχεται με μεγάλη ισχύ. Δύο θεραπευτικές συσκευές, η ισχύς είναι μικρότερη, αλλά η διάρκεια λειτουργίας της συσκευής μεγαλύτερη.

Τα ταχεία ηλεκτρόνια εστιάζονται σε μία πολύ μικρή περιοχή, ώστε η εστία παραγωγής των αυτών X να είναι 6 η μ ε ι α υ ή και να μην διακυβεύεται παρασιτικά. Για την αντιμετώπιση μετατροπής του στόχου λόγω υπερθέρμανσης έχουν κατασκευαστεί ειδικά συστήματα με τα οποία φύχεται η άνοδος με τη χρήση ειδικών γυαλινών ελαίων. Η χρήση ελαίου είναι απαραίτητη επειδή είναι μονωτικό υμίο (η άνοδος έχει υψηλό δυναμικό). Φίλτροι (Filters): Η προσθήκη διαφόρων πόρων, που συνήθως αποτελούνται από ημίμεταλλους διαφόρων μεγάλων (Cu, Al), προμαλεί ελάττωση της συνολικής έντασης της αυτοβοήθειας με ελαφάνιση των φωτονίων πολύ χαμηλής ενέργειας και τροποποίηση της μορφής του συνεχούς φάσματος ώστε η μέγιστη ένταση να παρουσιάζεται σε μεγαλύτερες ενέργειες. Δεν επηρεάζουν τη θέση των χαρακτηριστικών κορυφών.

Ειδικές κατασκευές: Η καλύτερη εφαρμογή των αυτών X, παρέχεται αναμφισβητούμενα την κατασκευή διαφόρων τύπων συσκευών. Ειδικές συσκευές που χρησιμοποιούνται

σε άλλες αρχές λειτουργίας παράγουν αυτές X πολύ μεγάλης ενέργειας.

Οι διαγνωστικές βολιές είναι υποβασμιασμένες κατά τρόπο ώστε να παρέχουν μεγάλη ένταση αυτοβολίας, από επιφανειακή εστία, ώστε να λαμβάνονται αυτογραφίες με βαθιά απεικόνιση των βυθογραφομένων οργάνων.

Στις θεραπευτικές βολιές, η εστία παραγωγής των ακτίνων X μπορεί να είναι κάπως μεγαλύτερη απ' όσα στις διαγνωστικές. Βασικά οι θεραπευτικές βολιές χωρίζονται σε: α/ Βολιές επιφανειακής θεραπείας, που λειτουργούν με τάση μέχρι 120 kV, β/ Βολιές θεραπείας βάθους που λειτουργούν με τάση 120 - 400 kV και γ/ Βολιές υπερδυναμικής αυτοβολίας που λειτουργούν με τάση πάνω από 400 kV.

Γενιώδης Κατανομή των Παραχόμενων Ακτίνων X: Οι ακτίνες X που παράγονται όταν προσπίπτουν μικρότερα χαμηλής ενέργειας σε λεπτό στόχο, έχουν διέυδυνση περίπου 1/3 της γεν ποσότητας των μικτρονίων.

Η μικρότερα πολύ μεγάλης ενέργειας που προσπίπτουν σε λεπτό στόχο, προωθούν παραγωγή ακτίνων X με διέυδυνση και φάρα που διαφέρει πολύ λίγο απ' την διέυδυνση και φάρα των μικτρονίων.

4.7 Βολιές Παραγωγής Ακτίνων X Υψηλής Ενέργειας

Για την παραγωγή αυτοβολίας X ενέργειας περίπου 250-750 keV χρησιμοποιούνται παλαιότερα γεννήτριες τύπου Cockcroft-Walton και για μεγαλύτερες ενέργειες βυθολογούμενοι μετασχηματιστές ή μικτροβολιόμετροι μηχανές τύπου van der Graaff ενώ σήμερα χρησιμοποιούνται κυρίως επιταχυντές μικτρονίων.

Συντονισμένοι Μετασχηματιστές: Το πριτσίνιο πηνίο του μετασχηματιστή παρέχει την τάση που πρέπει να μετασχηματιστεί. Η δε χωριτικότητα είναι τόσο ώστε το κύκλωμα υψηλής τάσεως να είναι βυθολογούμενο οπότε και ταλαντώνεται με τη συχνότητα που παρέχει η πηγή παραγωγής εναλλαζομένου ρεύματος. Λόγω του βυθολογικού αναπτύσσεται πολύ μεγάλη διαφορά δυναμικού μεταξύ ητήματος και στόχου που φτάνει μέχρι 1-2 MV. Τα μικτρονία δεν κινούνται συνεχώς προς τον στόχο αλλά μόνο όταν το δυναμικό επιταχύνσεως φτάσει την υψηλότερη τιμή του.

Λυβιεύη Van der Graaff: Χρησιμοποιούνται σε μελέτες Πυρηνικής Φυσικής και στην αυτοθεραπεία για επιτάχυνση μιονίων και παραγωγή ακτίνων Χ.

Αποτελείται: Βασικά αποτελείται από ένα κίβαντα (καύστρο του μιονιού) περιστρεφόμενο γύρω από δύο κυλίνδρους και ένα μεγάλο ημικυβερκτικό υπίλο μιονόδω, μιονιό κινούμενο.

Λειτουργία: Ο κίβαντας φορτίζεται στην περιοχή του κάτω κυλίνδρου με αρνητικά φορτία, και τα μεταφέρει συνεχώς προς τα πάνω όπου αποδίδονται στο υπίλο μιονόδω. Έτσι το δυναμικό του μιονόδου γίνεται πολύ μεγάλο, αρνητικό. Το υπίλο μιονόδω ενώνεται με τη γη με μία μεγάλη αντίσταση. Τα μιονία επιταχύνονται σε ωμίνα παράλληλα προς τον κίβαντα που φέρει νήμα για παροχή μιονίων, ένα μεγάλο αριθμό μιονίων επιταχύνεως και ένα στόχο για την πρόσπτωση των μιονίων. Το δυναμικό επιταχύνεως μεταβάλλεται κατά μήκος του ωμίνα επιταχύνεως από την τιμή του δυναμικού του υπίλου μιονόδου μέχρι την τιμή του δυναμικού κίβαν (στόχος).

Ευδύγραφοι Επιταχυντές: Οι πρώτοι ευδύγραφοι επιταχυντές χρησιμοποιήθηκαν για επιτάχυνση βαρέων φορτισμένων σωμάτιων. Σ' αυτούς υπήρχε μία σειρά ομοαξονικών κυλίνδρων αλληλομένου μήκους, συνδεδεμένων εναλλάξ με αντίθετο πόλο εντάλασθόκετης πηγής υψηλής τάσεως, και έτσι προαίρουν επιτάχυνση των σωμάτιων. Οι εύχρονοι ευδύγραφοι επιταχυντές χρησιμοποιούνται σε διαφορετική αρχή λειτουργίας (μετά το 1990). Τα μιονία παρέχονται από θερμαινόμενο νήμα και μεταφέρονται από ένα μιονομαγνητικό κίβαν πολύ μεγάλης ισχύος, μέσα σε αερόμενο σωμίνα, μέχρι να προσέσω στο στόχο. Το κύριο μέρος του επιταχυντή είναι ο αερόμενος σωμίνας-οδηγός, στον οποίο ταξιδεύουν τα μιονομαγνητικά κίβανα (wave guide) με συχνότητα ραδιοφωνικών κίβαντων. Τα μιονομαγνητικά κίβανα, στα οποία σφείζεται η επιτάχυνση των μιονίων, ενέπνουνται κατά παλμούς από μια ισχυρή πηγή. Οι παλμοί αυτοί διαρμούν 1-2 kee και τα μιονία παίρνουν την ισχύ που χρειάζονται από το μιονομαγνητικό κίβαν.

Τα μυετρόνια, επιβιβάζονται στην αρχή του βλήτρου με ενέργεια 40 KeV και μεταφέρονται προς το στόχο από το μυετρομαγνητικό κύμα το οποίο υατά τη διαδρομή του χάνει το μεγαλύτερο μέρος της ενέργειάς του, τα δε μυετρόνια αποκτούν ενέργεια τη τάξη αρκετών MeV. Για μεγαλύτερη ευστοχία η δέσμη των μυετρονίων πρω φθάσει στο στόχο υποβάλλεται στην επίδραση μαγνητικού πεδίου και υάλλεται κατά 90°. Τέλος γύρω από τον βλήτρου υπάρχουν ορισμένα πηνία που έχων σαν σκοπό να διατηρούν την δέσμη των μυετρονίων κατά το δυνατό πολύ λεπτή, ώστε η εστία παραγωγής ακτίνων X να είναι το δυνατό θηλειαιμή. Η παράμια των ακτίνων X που προέρχονται από επιταχυντές είναι πολύ κιμρότερη από ότι στη φυσική 60°C.

Βητατρόνιο (ή Βήτατρο): Κυμικός επιταχυντής που χρησιμοποιείται σαν ακτινοθεραπεία για επιτάχυνση μυετρονίων και παραγωγή ακτίνων X με ενέργεια 19-49 MeV.

Αποσελείται: Βασικά το βήτατρο αποτελείται από ένα αερόμενο δακτυλοειδή βλήτρου από παραβία. Αυτό βρίσκεται ανάμεσα στους πόλους ενός μυετρομαγνητικού εδμικού εκήματος που δημιουργεί εναλλασσόμενο μαγνητικό πεδίο.

Λειτουργία: Θερμαινόμενο νήμα παρέχει μυετρόνια κατά παλμούς, που εισέρχονται στο βλήτρου με ενέργεια περίπου 90 KeV, αυριβώς κατά τη στιγμή που αρχίζει μία περίοδος εναλλαγής του μαγνητικού πεδίου. Κατά το πρώτο τέταρτο της περιόδου του εναλλασσόμενου μαγνητικού πεδίου, η ένταση του μαγνητικού πεδίου αφάνει από την τιμή 0 μέχρι μία μέγιστη τιμή.

Ληγάδι το μεταβαλλόμενο μαγνητικό πεδίο: α/ Αναγκάζει τα μυετρόνια να υποβίται σε κυκλική τροχιά σταθερής ακτίνας και

β/ Επάχει ένα μυετρικό πεδίο με βαθμιαία αυξανόμενη ένταση, το οποίο επιταχύνει τα κυκλικά περιφερειακά μυετρόνια. Λίγο πριν το πρώτο τέταρτο της περιόδου, όταν τα μυετρόνια έχων αποτύχει την επιθυμητή κινητική ενέργεια, μία επιπρόθεση δύναμη

εφαρμόζονται στα ψευδώνυμα, τα εισέρχεται από την τροχιά τους και τα οδηγεί είτε σε βόχο (παράγωγο αυτών -x) είτε σε άμεση εφαρμογή (αυτοθεραπεία με ψευδώνυμα). Τα ψευδώνυμα παρέχονται κατά παλμούς και όχι συνεχώς αφού η μεταβολή του μαγνητικού πεδίου θα τα επιβραδύνει, θα τα σταματούσε και θα ανέστρεφε τη φορά τους. Κατά την κίνησή τους τα ψευδώνυμα αυτοπροβόδν ενέργεια.