



ΦΥΣΙΚΗ Γ.Π. Β' ΛΥΚΕΙΟΥ

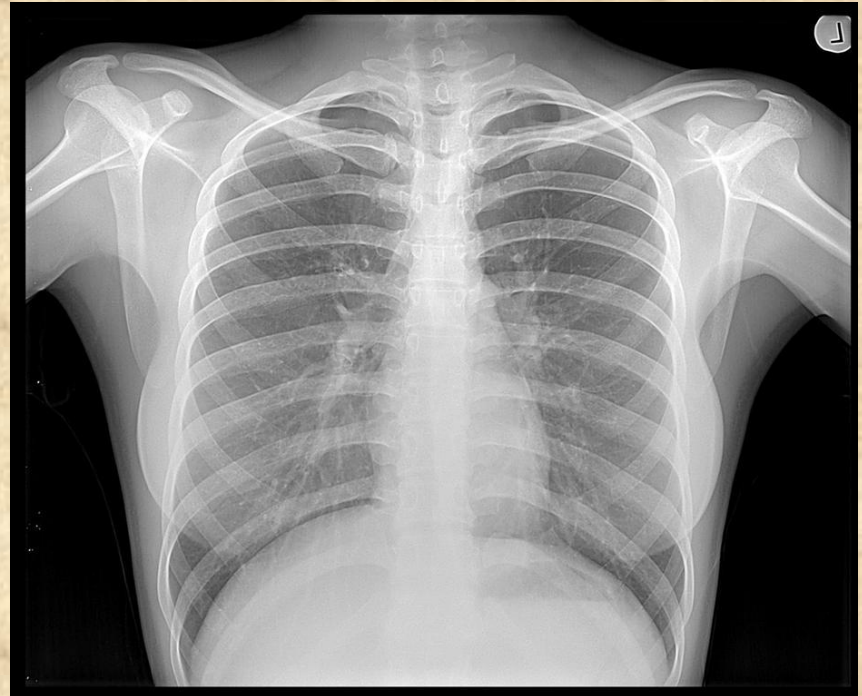
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 – ΑΤΟΜΙΚΑ ΦΑΙΝΟΜΕΝΑ

4.4 Ακτίνες Χ

4.4 Ακτίνες Χ

Εισαγωγή

- Αν παρατηρήσουμε προσεκτικά μια **ακτινογραφία**, θα δούμε ότι τα οστά του θώρακα εμφανίζονται ως **φωτεινές περιοχές**, ενώ οι **ιστοί** ως **σκοτεινές περιοχές**.
- Κατά τη λήψη της ακτινογραφίας μια **αόρατη ακτινοβολία διαπερνά το σώμα μας**.
- Όμως τι είναι αυτή η **ακτινοβολία** και πώς παράγεται;



4.4 Ακτίνες Χ

Εισαγωγή

- Προς το τέλος του 19ου αιώνα ο Γερμανός φυσικός **Roentgen** (Ρέντγκεν) μελετούσε τις ιδιότητες των **ηλεκτρονίων που επιταχύνονταν, μέσα σε σωλήνα χαμηλής πίεσης, από ηλεκτρικό πεδίο και έπεφταν σε μεταλλικό στόχο.**
- Ο Roentgen παρατήρησε ότι, όταν πλησίαζε στο σωλήνα μία **φθορίζουσα ουσία**, τότε η ουσία, ακτινοβολούσε φως, ενώ, όταν πλησίαζε ένα **φωτογραφικό φιλμ**, τότε αυτό μαύριζε.
- Υποστήριξε ότι τα φαινόμενα αυτά οφείλονταν σε ένα νέο άγνωστο και μυστηριώδη τύπο ακτινών, τις οποίες ονόμασε **ακτίνες Χ**. Οι ακτίνες Χ ονομάζονται και **ακτίνες Roentgen**.

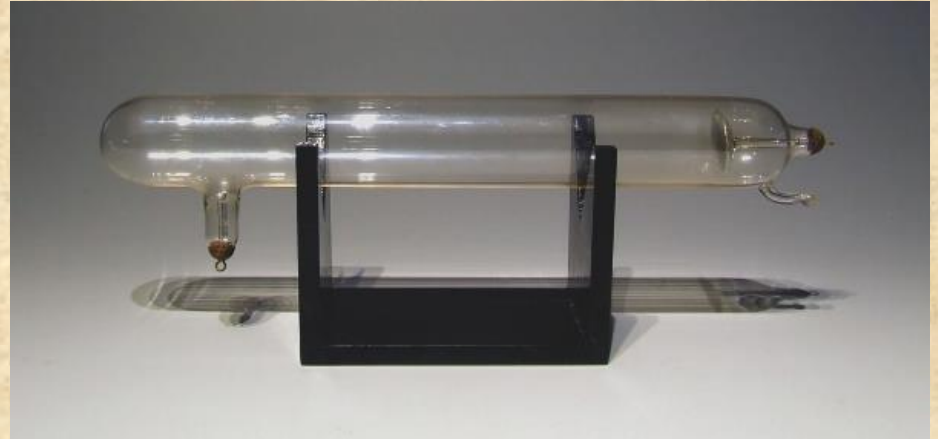


1895: Η πρώτη «ακτινογραφία»

4.4 Ακτίνες Χ

Παραγωγή ακτίνων Χ

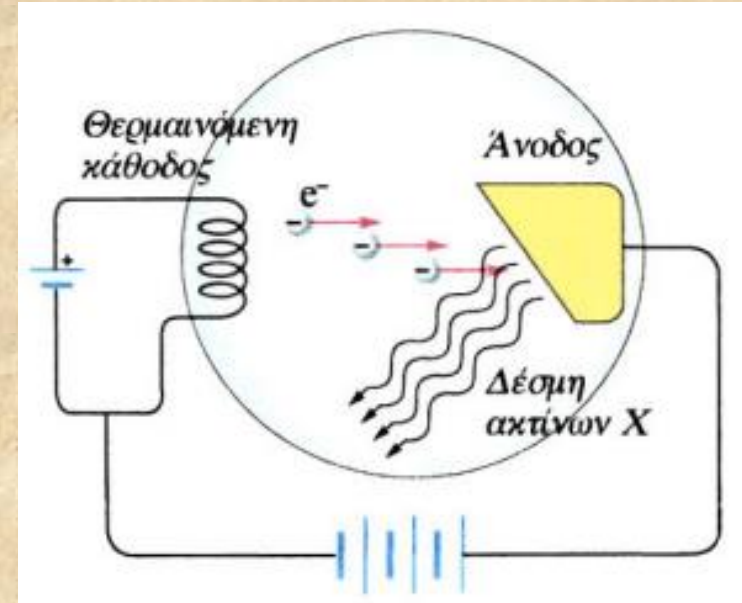
- Η συσκευή που χρησιμοποιήθηκε από το Roentgen αποτελείται από ένα **γυάλινο σωλήνα** που είναι εφοδιασμένος με **δύο ηλεκτρόδια**, την **άνοδο** και την **κάθοδο**.
- Η κάθοδος **θερμαίνεται** και **εκπέμπει ηλεκτρόνια**.
- Όσο **μεγαλύτερη** είναι η **θερμοκρασία της καθόδου** τόσο **μεγαλύτερος** είναι ο **αριθμός των ηλεκτρονίων** που **εκπέμπονται** στη **μονάδα του χρόνου**.



4.4 Ακτίνες X

Παραγωγή ακτίνων X

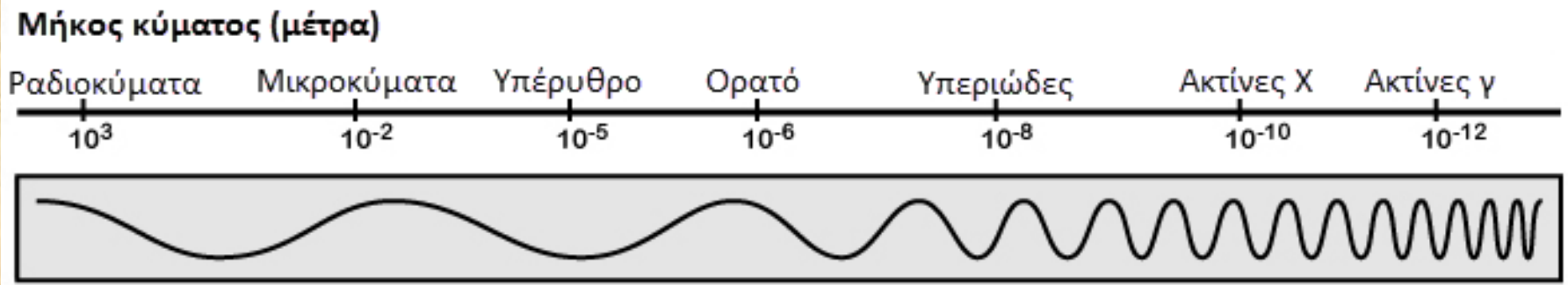
- Μεταξύ της ανόδου και της καθόδου εφαρμόζεται **υψηλή τάση, η οποία επιταχύνει τα ηλεκτρόνια**.
 - Ο σωλήνας περιέχει αέριο σε πολύ **χαμηλή πίεση** (της τάξης των $10^{-7} atm$), ώστε να περιορίζονται οι συγκρούσεις των ηλεκτρονίων με τα μόρια του αερίου.
 - Τα **ηλεκτρόνια προσπίπτουν στην άνοδο με μεγάλη ταχύτητα**. Η άνοδος εκπέμπει μια πολύ διεισδυτική ακτινοβολία, που ονομάζεται **ακτίνες X**. Λόγω της υψηλής θερμοκρασίας στην άνοδο, το υλικό της ανόδου είναι **δύστηκτο μέταλλο** και ψύχεται για να μη λιώνει.
- Οι ακτίνες X παράγονται, όταν **ηλεκτρόνια μεγάλης ταχύτητας, που έχουν επιταχυνθεί από υψηλή τάση, προσπίπτουν σε μεταλλικό στόχο**.



4.4 Ακτίνες Χ

Φύση των ακτίνων Χ

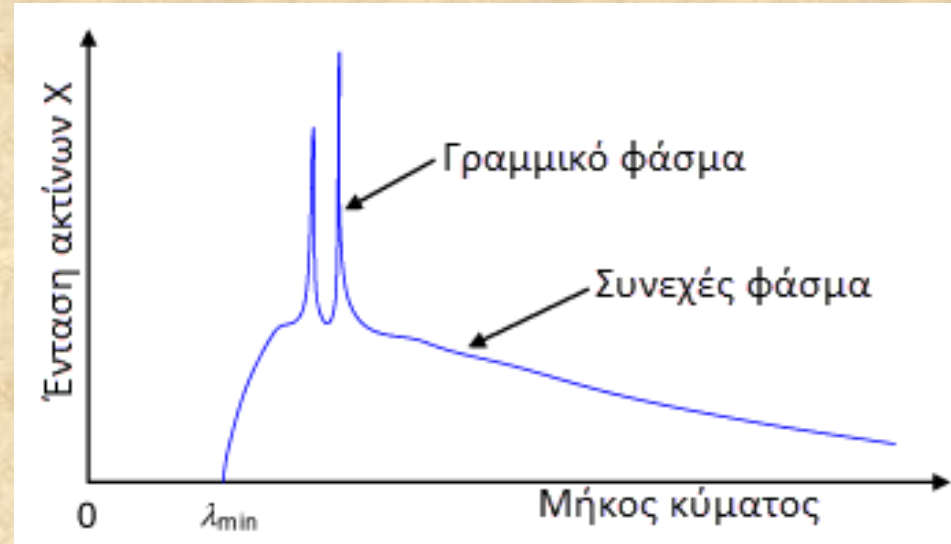
- Τα πειράματα έχουν δείξει ότι οι ακτίνες Χ είναι **ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία (φωτόνια)**, που έχει **πολύ μικρό μήκος κύματος**.
- Το μήκος κύματος είναι **10.000 φορές μικρότερο** από το μήκος κύματος του **ορατού φωτός** και είναι **συγκρίσιμο με το μέγεθος του ατόμου**.
- Οι ακτίνες Χ είναι **αόρατη ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία**, που έχει μήκη κύματος πολύ μικρότερα από τα μήκη κύματος των ορατών ακτινοβολιών.



4.4 Ακτίνες Χ

Φάσμα των ακτίνων Χ

- Το φάσμα της ακτινοβολίας Χ είναι **σύνθετο**.
- Αποτελείται από ένα **συνεχές φάσμα** πάνω στο οποίο εμφανίζονται **μερικές γραμμές (γραμμικό φάσμα)**.

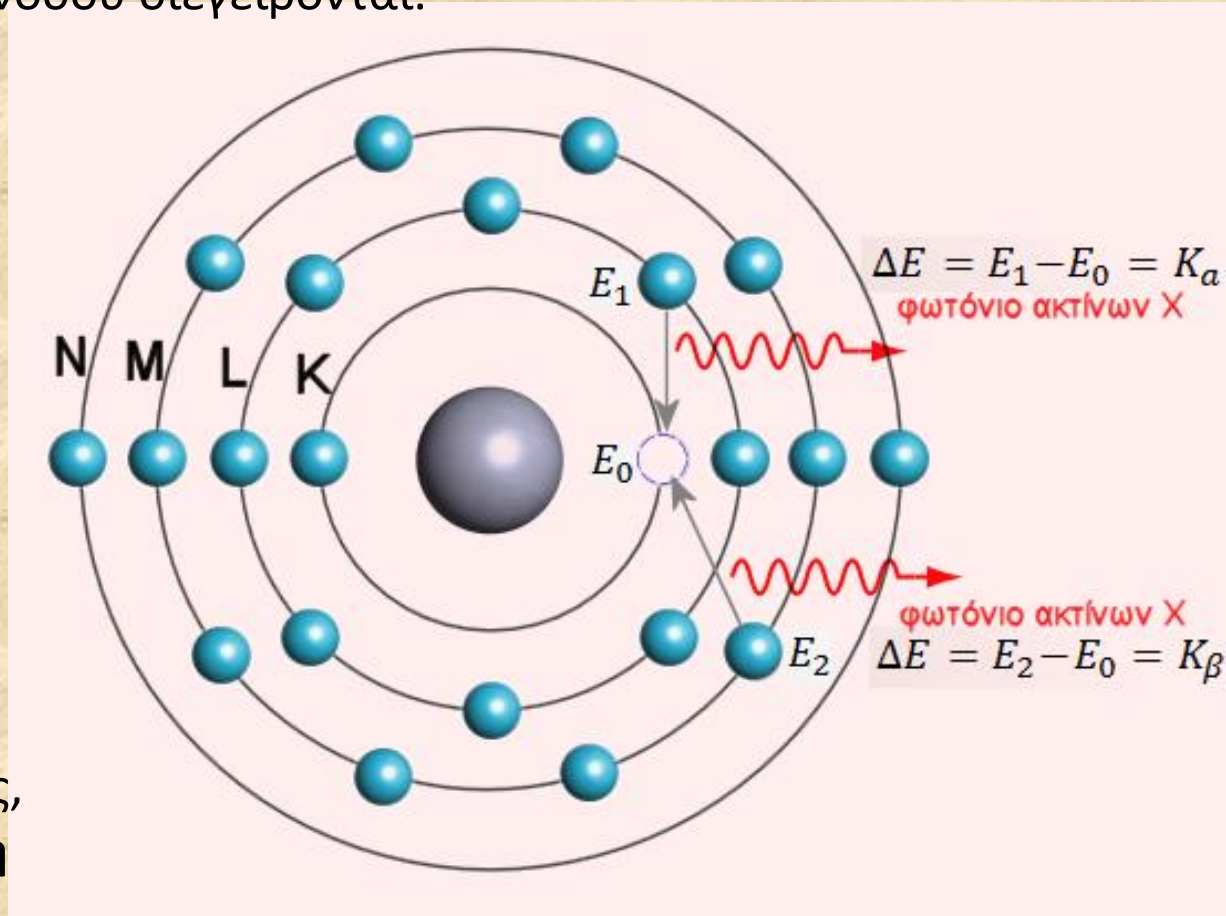


- Τα δύο είδη φάσματος οφείλονται σε δύο διαφορετικές διεργασίες παραγωγής και εκπομπής των ακτίνων Χ.

4.4 Ακτίνες Χ

Γραμμικό φάσμα ακτίνων Χ

- Τα **κινούμενα ηλεκτρόνια** συγκρούονται με τα άτομα του υλικού της ανόδου. Τα άτομα της ανόδου διεγείρονται.
- Ένα ηλεκτρόνιο των εσωτερικών στιβάδων του ατόμου **μεταπηδά** σε άλλη επιτρεπόμενη τροχιά μεγαλύτερης ενέργειας.
- Η **κενή θέση** του ηλεκτρονίου **μπορεί να συμπληρωθεί** από ένα ηλεκτρόνιο του ατόμου που βρίσκεται στις εξωτερικές στιβάδες, με **ταυτόχρονη εκπομπή ενός φωτονίου**.



4.4 Ακτίνες Χ

Συνεχές φάσμα ακτίνων Χ

- Ένα ηλεκτρόνιο μπορεί να επιβραδυνθεί εξαιτίας της αλληλεπίδρασής του με τα άτομα του στόχου και ως γνωστό ένα επιταχυνόμενο (ή επιβραδυνόμενο) φορτίο εκπέμπει ακτινοβολία. Η **απώλεια της κινητικής ενέργειας** ($K_a - K_\tau$) του ηλεκτρονίου θα είναι ίση με την **ενέργεια του φωτονίου** $h \cdot f$ που εκπέμπεται:

$$h \cdot f = K_a - K_\tau$$

- Το ηλεκτρόνιο μπορεί να χάσει **όλη ή οποιοδήποτε μέρος της ενέργειάς του** σε μία κρούση, δηλαδή μπορεί να ακινητοποιηθεί μετά από **μία ή περισσότερες κρούσεις**. Επειδή κατά τις κρούσεις των ηλεκτρονίων με τα άτομα του στόχου **τα ηλεκτρόνια μπορεί να χάσουν οποιοδήποτε μέρος της ενέργειάς τους**, συμπεραίνουμε ότι **τα φωτόνια που εκπέμπονται θα έχουν οποιαδήποτε τιμή ενέργειας**, που θα είναι **μικρότερη ή ίση της αρχικής ενέργειας του ηλεκτρονίου**. Επομένως το **φάσμα** της ακτινοβολίας αυτής θα είναι **συνεχές**.

4.4 Ακτίνες Χ

Το μικρότερο μήκος κύματος

- Το **μικρότερο μήκος κύματος** λ_{min} της ακτινοβολίας εκπέμπεται, όταν η **ενέργεια ενός ηλεκτρονίου μετατρέπεται σε ενέργεια ενός φωτονίου σε μία μόνο κρούση.**
- Αντικαθιστώντας $K_\tau = 0$ στην στη σχέση $h \cdot f = K_a - K_\tau$ έχουμε:

$$h \cdot f = K_a$$
- Η κινητική ενέργεια K_a του ηλεκτρονίου είναι ίση με την **ενέργεια eV** που αποκτά μέσω **της τάσης V που το επιταχύνει.** Αντικαθιστώντας $K_a = eV$ στην παραπάνω σχέση, παίρνουμε:

$$h \cdot f = e \cdot V \text{ και } f = \frac{c}{\lambda_{min}} \Rightarrow h \cdot \frac{c}{\lambda_{min}} = e \cdot V \Rightarrow$$

$$\lambda_{min} = \frac{c \cdot h}{e \cdot V}$$

- Παρατηρούμε ότι το **ελάχιστο μήκος κύματος εξαρτάται μόνο από την τάση V** που εφαρμόζεται μεταξύ της ανόδου και της καθόδου.

4.4 Ακτίνες Χ

Απορρόφηση των ακτινών Χ

- Όταν οι ακτίνες Χ διαπερνούν **οποιοδήποτε υλικό**, τότε ένα μέρος της ακτινοβολίας **απορροφάται από το υλικό**. Η **απορρόφηση** της ακτινοβολίας **εξαρτάται** από:
 - τη **φύση** του υλικού,
 - το **μήκος κύματος** της ακτινοβολίας και
 - το **πάχος** του υλικού.

(α) Όσο **μεγαλύτερος** είναι ο **ατομικός αριθμός** **Z** των ατόμων του υλικού που απορροφά την ακτινοβολία **τόσο μεγαλύτερη** είναι η **απορρόφηση** της ακτινοβολίας.

Το γεγονός αυτό εξηγεί γιατί στις **ακτινογραφίες του ανθρώπινου σώματος** τα **οστά**, τα οποία αποτελούνται από άτομα μεγαλύτερου ατομικού αριθμού, απορροφούν περισσότερη ακτινοβολία, ενώ οι **ιστοί** απορροφούν πολύ λιγότερη.

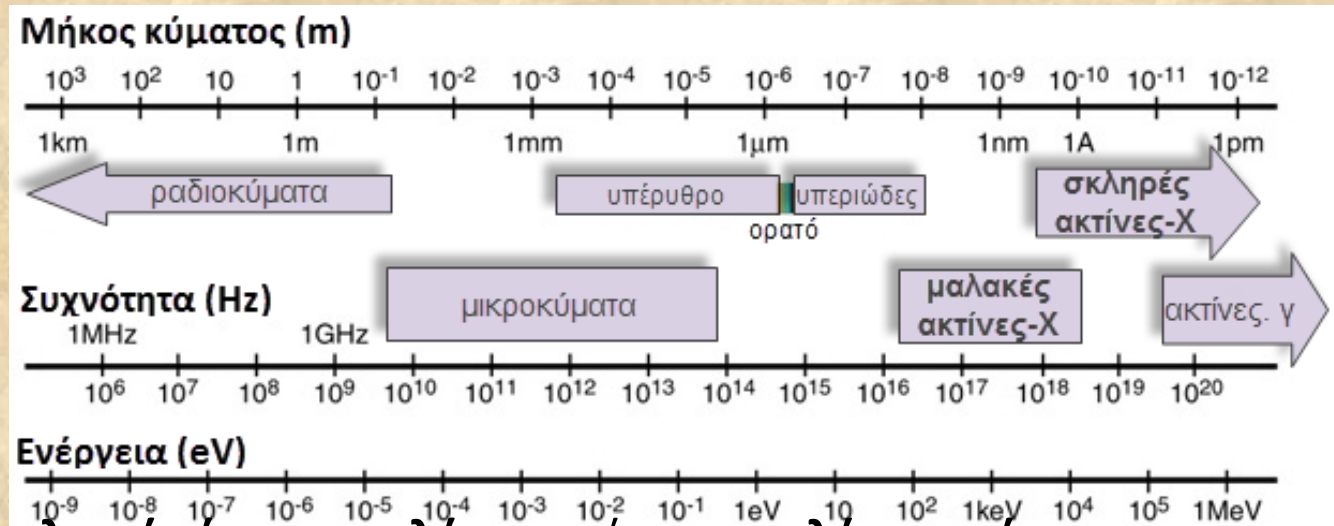


4.4 Ακτίνες Χ

Απορρόφηση των ακτινών Χ

(β) Όταν οι ακτίνες Χ διαπερνούν μια πλάκα, που έχει ορισμένο πάχος, τότε η απορρόφηση των ακτινών αυξάνεται όσο αυξάνεται το μήκος κύματος της ακτινοβολίας.

Οι ακτίνες Χ που έχουν μικρά μήκη κύματος είναι περισσότερο διεισδυτικές και ονομάζονται **σκληρές ακτίνες**, ενώ οι ακτίνες που έχουν μεγάλα μήκη κύματος είναι λιγότερο διεισδυτικές και λέγονται **μαλακές ακτίνες**.



(γ) Όσο το πάχος του υλικού είναι μεγαλύτερο τόσο μεγαλύτερη είναι και η απορρόφηση της ακτινοβολίας μέσα στο υλικό αυτό.

4.4 Ακτίνες Χ

Χρήσεις των ακτινών Χ στην Ιατρική

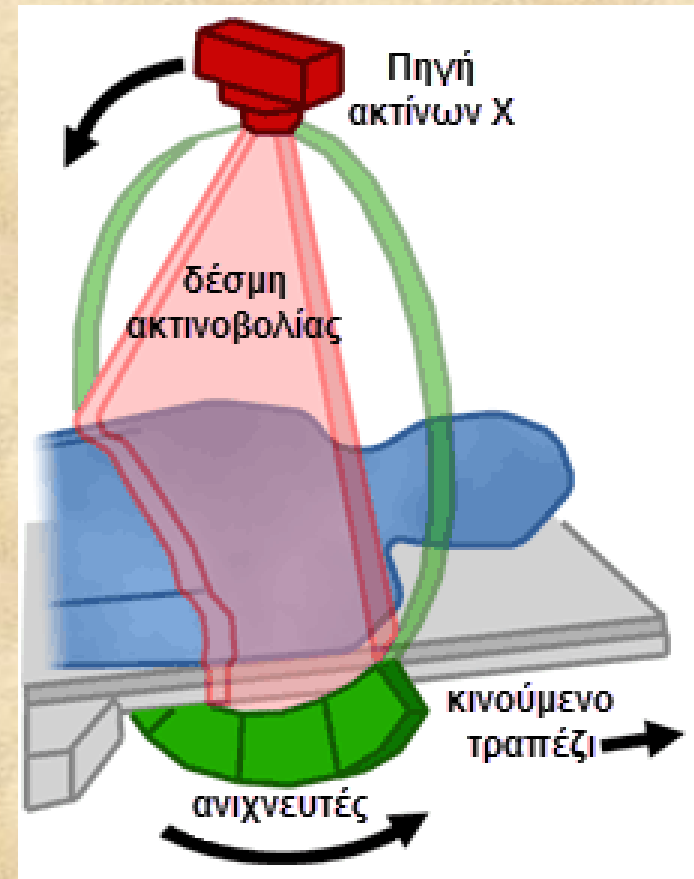
- Τα **βαριά χημικά στοιχεία** έχουν **μεγάλο ατομικό αριθμό** και **απορροφούν περισσότερο την ακτινοβολία** από ότι τα ελαφρά στοιχεία, τα οποία έχουν μικρό ατομικό αριθμό.
- Τα **οστά** περιέχουν στοιχεία μεγάλου ατομικού αριθμού (**ασβέστιο, φώσφορος**) και **απορροφούν περισσότερο τις ακτίνες** από ότι οι **ιστοί**, οι οποίοι αποτελούνται από ελαφρότερα στοιχεία (**άνθρακας, οξυγόνο, υδρογόνο, άζωτο** και άλλα).
- Αν λοιπόν μεταξύ της πηγής των ακτινών Χ και μιας **φθορίζουσας οθόνης** τοποθετηθεί ο προς εξέταση ασθενής, τότε στην οθόνη θα φανούν οι σκιές των διάφορων οργάνων (**ακτινοσκόπηση**). Αν στη θέση της φθορίζουσας οθόνης τοποθετηθεί μια **φωτογραφική πλάκα**, τότε θα πάρουμε πάνω στην πλάκα την ανάλογη φωτογραφία (**ακτινογραφία**)



4.4 Ακτίνες Χ

Χρήσεις των ακτίνων Χ στην Ιατρική

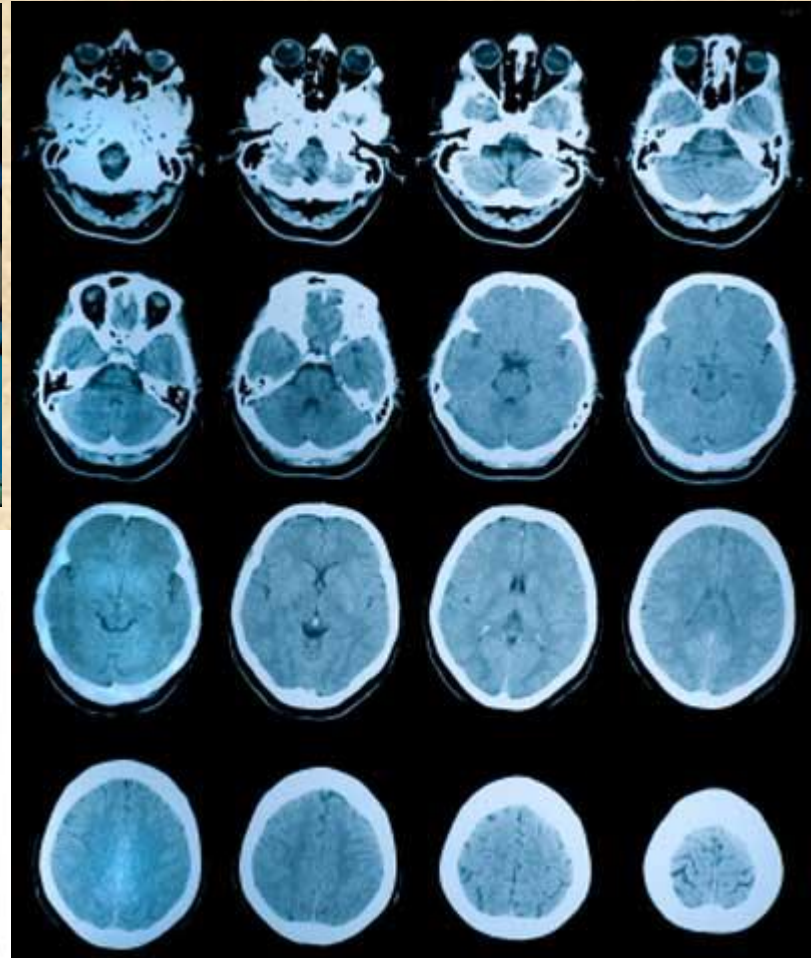
- Η **αυτοματοποιημένη αξονική τομογραφία** χρησιμοποιείται πολύ στην ιατρική τελευταία.
- Η πηγή των ακτίνων Χ παράγει μια **αποκλίνουσα δέσμη**, που έχει μορφή **βεντάλιας**.
- Οι ακτίνες της δέσμης διαπερνούν το ανθρώπινο σώμα και, όταν εξέρχονται από την άλλη πλευρά του σώματος, ανιχνεύονται με **διάταξη ανιχνευτών**.
- Κάθε ανιχνευτής μετράει την **απορρόφηση μιας λεπτής δέσμης**, που διαπερνά το σώμα.
- Η συσκευή **περιστρέφεται** γύρω από το ανθρώπινο σώμα και ένας **υπολογιστής** επεξεργάζεται τις πληροφορίες.



4.4 Ακτίνες Χ

Χρήσεις των ακτινών Χ στην Ιατρική

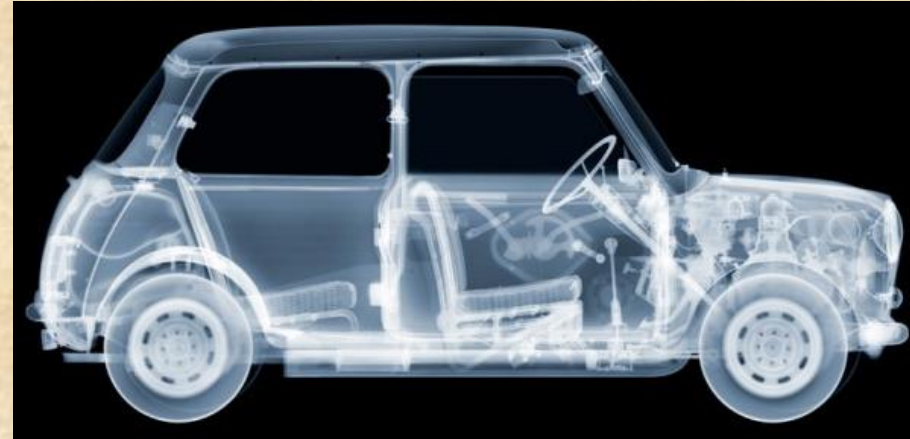
Με αυτό τον τρόπο μπορούν να ανιχνευτούν όγκοι ή άλλες ανωμαλίες που είναι πολύ μικροί και **δεν μπορούν να γίνουν αντιληπτοί με την απλή ακτινογραφία.**



4.4 Ακτίνες Χ

Χρήσεις των ακτίνων Χ στην Βιομηχανία

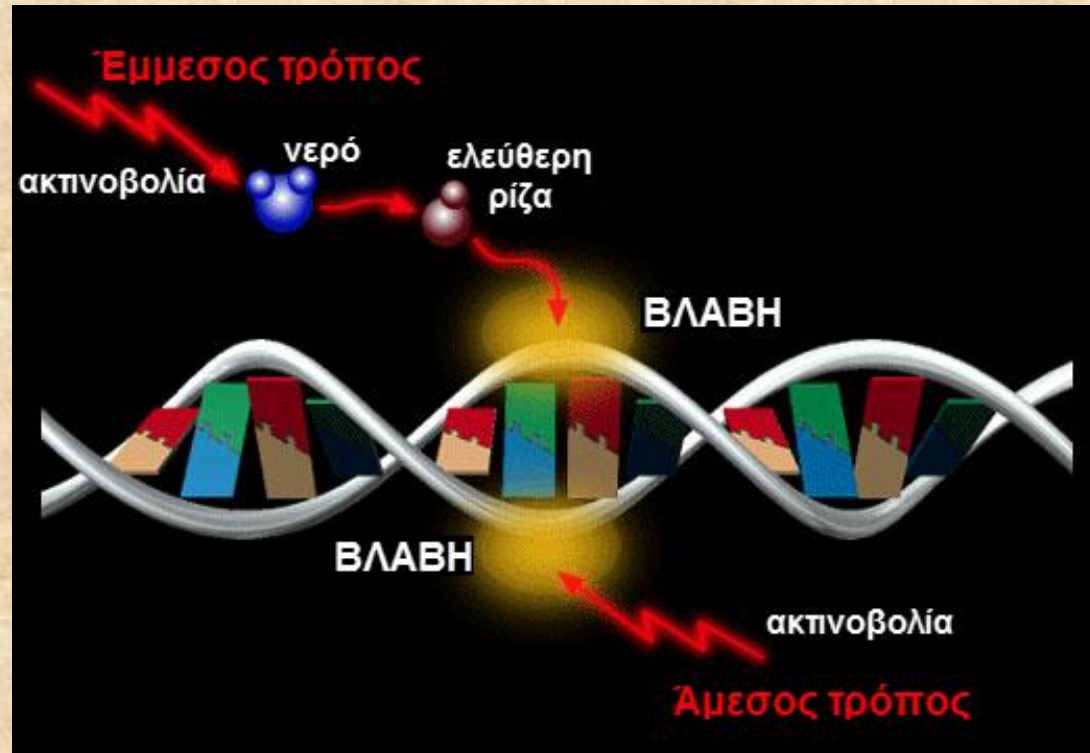
- Οι ακτίνες Χ χρησιμοποιούνται στη **βιομηχανία**, για να διαπιστωθεί η ύπαρξη **κοιλοτήτων, ραγισμάτων ή άλλων ελαττωμάτων** στο εσωτερικό των **μεταλλικών αντικειμένων**.
- Η διαδικασία που ακολουθείται είναι **αντίστοιχη με τη διαδικασία της ακτινοδιαγνωστικής**.
- Τα **ελαττωματικά σημεία** εντοπίζονται από το γεγονός ότι προκαλούν **μικρότερη απορρόφηση**.



4.4 Ακτίνες Χ

Βιολογικές βλάβες που προκαλούν οι ακτίνες Χ

- Οι ακτίνες Χ προκαλούν **βλάβες στους οργανισμούς**.
- Όταν απορροφηθούν από τους **ιστούς**, διασπούν τους μοριακούς δεσμούς και δημιουργούν **ενεργές ελεύθερες ρίζες**.
- Οι ελεύθερες ρίζες με τη σειρά τους μπορεί να **διαταράξουν τη μοριακή δομή των πρωτεϊνών** και ειδικά του **γενετικού υλικού (DNA)**.



4.4 Ακτίνες Χ

Βιολογικές βλάβες που προκαλούν οι ακτίνες Χ

- Αν το κύτταρο που έχει υποστεί βλάβη από την ακτινοβολία επιβιώσει, τότε μπορεί να δώσει πολλές **γενεές μεταλλαγμένων κυττάρων**.
- Αν οι αλλαγές στο DNA αφορούν **γονίδια** που ελέγχουν το **ρυθμό πολλαπλασιασμού των κυττάρων**, οι ακτίνες Χ μπορεί να προκαλέσουν **καρκίνο**.
- Η υπερβολική έκθεση ενός οργανισμού σε ακτινοβολία μπορεί να προκαλέσει **μεταβολές στα γενετικά κύτταρα**. Σ' αυτή την περίπτωση, ενώ ο ίδιος οργανισμός δε θα εμφανίσει κάποια βλάβη, **θα επηρεαστούν οι απόγονοί του**.
- Η χρήση των ακτινών Χ για **διαγνωστικούς και θεραπευτικούς σκοπούς πρέπει να γίνεται με προσοχή**, εκτιμώντας τόσο τα οφέλη όσο και τους κινδύνους που προέρχονται από την έκθεση του οργανισμού σε ακτινοβολία για μεγάλο χρονικό διάστημα.

4.4 Ακτίνες Χ

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 2 - 5

Τα ηλεκτρόνια σε ένα σωλήνα ακτίνων Χ επιταχύνονται με διαφορά δυναμικού 50kV. Αν ένα ηλεκτρόνιο παράγει ένα φωτόνιο κατά την πρόσκρουσή του στο στόχο, να υπολογιστεί το ελάχιστο μήκος κύματος των ακτίνων Χ που παράγονται.

ΛΥΣΗ Το ελάχιστο μήκος κύματος αντιστοιχεί στη μέγιστη ενέργεια του εκπεμπόμενου φωτονίου $hf_{\max}$. Αυτό συμβαίνει, όταν όλη η κινητική ενέργεια του ηλεκτρονίου eV χρησιμοποιείται για την παραγωγή ενός φωτονίου.

Έχουμε λοιπόν:

$$eV = hf_{\max} \text{ και επειδή } c = \lambda_{\min} f_{\max} \text{ ή } f_{\max} = \frac{c}{\lambda_{\min}}$$

$$\text{βρίσκουμε } eV = h \frac{c}{\lambda_{\min}} \text{ ή}$$

$$\lambda_{\min} = \frac{hc}{eV} = \frac{(6,63 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s})(3 \cdot 10^8 \text{ m/s})}{(1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C})(50 \cdot 10^3 \text{ V})} = 2,5 \cdot 10^{-11} \text{ m}$$

4.4 Ακτίνες Χ

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 2 - 6

Σε μια ακτινογραφία απαιτούνται ακτίνες Χ με μήκος κύματος $\lambda = 1,5 \cdot 10^{-11} \text{ m}$. Η ένταση του ρεύματος της δέσμης των ηλεκτρονίων είναι $I=40\text{mA}$ και ο χρόνος λήψης της ακτινογραφίας είναι $t=0,1\text{s}$.

Να υπολογιστούν:

- Η τάση που πρέπει να εφαρμοστεί μεταξύ της ανόδου και της καθόδου.
- Η ισχύς και η ενέργεια που μεταφέρει η δέσμη των ηλεκτρονίων.
- Ο αριθμός των ηλεκτρονίων που προσπίπτουν στην άνοδο. (Θεωρούμε ότι όλη η ενέργεια κάθε ηλεκτρονίου μετατρέπεται σε ενέργεια ενός φωτονίου.)

ΛΥΣΗ α. Κάθε φωτόνιο της ακτινοβολίας έχει ενέργεια hf ή hc/λ . Η ενέργεια του φωτονίου είναι ίση με την κινητική ενέργεια που απέκτησε το ηλεκτρόνιο εξαιτίας της επιτάχυνσής του μέσω της τάσης V . Άρα:

$$eV = h \frac{c}{\lambda} \quad \text{ή} \quad V = \frac{hc}{\lambda e}$$

$$V = \frac{(6,6 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s})(3 \cdot 10^8 \text{ m/s})}{(1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C})(1,5 \cdot 10^{-11} \text{ m})} \quad \text{ή} \quad V = 82500 \text{ V}$$

- Η ισχύς που μεταφέρει η δέσμη των ηλεκτρονίων είναι:

$$P = V \cdot I = 82500 \cdot 40 \cdot 10^{-3} \text{ W} = 3300 \text{ W}$$

Η ενέργεια που μεταφέρει η δέσμη είναι:

$$W = P \cdot t = 3300 \cdot 0,1 \text{ J} = 330 \text{ J}$$

- Το φορτίο q που προσπίπτει στην άνοδο σε χρόνο t είναι:

$$q = I \cdot t = 40 \cdot 10^{-3} \cdot 0,1 \text{ C} = 4 \cdot 10^{-3} \text{ C}$$

και ο αριθμός των ηλεκτρονίων που προσπίπτουν στην άνοδο είναι:

$$N = \frac{q}{e} = \frac{4 \cdot 10^{-3} \text{ C}}{1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}} = 2,5 \cdot 10^{16} \text{ ηλεκτρόνια}$$

4.4 Ακτίνες Χ

Ασκήσεις

7. Σε σωλήνα παραγωγής ακτίνων Χ τα ηλεκτρόνια επιταχύνονται από τάση 10kV. Να υπολογιστεί η μέγιστη συχνότητα και το ελάχιστο μήκος κύματος των ακτίνων Χ που παράγονται.

$$\lambda_{min} = \frac{c \cdot h}{e \cdot V} \quad \lambda_{min} = \frac{3 \cdot 10^8 \cdot 6,63 \cdot 10^{-34}}{1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 10^4} = 1,243 \cdot 10^{-10} m$$

$$c = f_{max} \cdot \lambda_{min} \Rightarrow f_{max} = \frac{c}{\lambda_{min}} \Rightarrow f_{max} = \frac{3 \cdot 10^8}{1,243 \cdot 10^{-10}} = 2,41 \cdot 10^{18} Hz$$

4.4 Ακτίνες Χ

Ασκήσεις

8. Σε σωλήνα παραγωγής ακτίνων Χ εφαρμόζεται τάση (α) $V_1=10\text{kV}$, (β) $V_2=40\text{kV}$. Τα αντίστοιχα ελάχιστα μήκη κύματος των ακτίνων Χ είναι λ_1 και λ_2 . Να υπολογιστεί ο λόγος λ_1/λ_2 .

$$\lambda_{min} = \frac{c \cdot h}{e \cdot V} \Rightarrow \lambda_1 = \frac{c \cdot h}{e \cdot V_1} \quad \text{και} \quad \lambda_2 = \frac{c \cdot h}{e \cdot V_2}$$

$$\frac{\lambda_1}{\lambda_2} = \frac{\frac{c \cdot h}{e \cdot V_1}}{\frac{c \cdot h}{e \cdot V_2}} = \frac{V_2}{V_1} = \frac{40}{10} \Rightarrow \frac{\lambda_1}{\lambda_2} = 4$$

4.4 Ακτίνες Χ

Ασκήσεις

9. Σε μια ακτινογραφία απαιτούνται ακτίνες Χ μήκους κύματος $\lambda = 10^{-10} \text{ m}$. Η ένταση του ρεύματος της δέσμης των ηλεκτρονίων είναι 40mA και ο χρόνος λήψης της ακτινογραφίας είναι 0,1s. Θεωρούμε ότι όλη η κινητική ενέργεια κάθε ηλεκτρονίου μετατρέπεται σε ενέργεια ενός φωτονίου:

α. Ποια τάση εφαρμόζεται στο σωλήνα παραγωγής ακτίνων Χ;

β. Πόση ισχύ και πόση ενέργεια μεταφέρει η ηλεκτρονική δέση;

γ. Ποια είναι η ταχύτητα των ηλεκτρονίων τη στιγμή που προσπίπτουν στην άνοδο;

δ. Πόσα ηλεκτρόνια ανά δευτερόλεπτο προσπίπτουν στην άνοδο;

ε. Η ισχύς της ακτινοβολίας Χ αν η απόδοση της συσκευής σε ακτίνες Χ είναι 2%.

στ. Η ενέργεια που μεταφέρεται από την ακτινοβολία σε χρονικό διάστημα $\Delta t = 0,1 \text{ s}$.

ζ. Η μεταβολή επί τοις % στην τιμή της ⁺άνοδικής τάσης, αν θέλουμε το ελάχιστο μήκος κύματος του συνεχούς φάσματος να ελαττωθεί κατά 20%. (Θεωρούμε ότι όλη η ενέργεια κάθε ηλεκτρονίου μετατρέπεται σε ενέργεια ενός φωτονίου.)

$$(a) \quad e \cdot V = h \cdot f \Rightarrow V = \frac{h \cdot c}{e \cdot \lambda} = \frac{6,63 \cdot 10^{-34} \cdot 3 \cdot 10^8}{1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 10^{-10}} = 12.431 \text{ V}$$

$$(\beta) \quad P = V \cdot I = 12.431 \cdot 40 \cdot 10^{-3} = 497 \text{ W} \quad \text{και} \quad E = P \cdot t = 497 \cdot 0,1 = 49,7 \text{ J}$$

$$(\gamma) \quad \frac{1}{2} \cdot m_e \cdot v^2 = e \cdot V \Rightarrow v = \sqrt{\frac{2 \cdot e \cdot V}{m_e}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 12.431}{9,1 \cdot 10^{-31}}} = 2,09 \cdot 10^9 \text{ m/s}$$

$$(\delta) \quad N = \frac{q}{e} = \frac{I \cdot t}{e} = \frac{40 \cdot 10^{-3} \cdot 1}{1,6 \cdot 10^{-19}} = 2,5 \cdot 10^{17} \text{ ηλ/s}$$

4.4 Ακτίνες Χ

Ασκήσεις

ε. Η ισχύς της ακτινοβολίας Χ αν η απόδοση της συσκευής σε ακτίνες Χ είναι 2%.

στ. Η ενέργεια που μεταφέρεται από την ακτινοβολία σε χρονικό διάστημα $\Delta t = 0,1s$.

ζ. Η μεταβολή επί τοις % στην τιμή της ⁺ανοδικής τάσης, αν θέλουμε το ελάχιστο μήκος κύματος του συνεχούς φάσματος να ελαττωθεί κατά 20%. (Θεωρούμε ότι όλη η ενέργεια κάθε ηλεκτρονίου μετατρέπεται σε ενέργεια ενός φωτονίου.)

$$(\epsilon) \ n = \frac{P_x}{P} \Rightarrow P_x = n \cdot P = 0,02 \cdot 497 = 9,94W$$

$$(\sigma\tau) \ E_x = P_x \cdot \Delta t = 9,94 \cdot 0,1 = 0,994J$$

$$(\zeta) \ V = \frac{h \cdot c}{e \cdot \lambda} \text{ και } V_1 = \frac{h \cdot c}{e \cdot 0,8 \cdot \lambda} \Rightarrow \frac{V_1 - V}{V} = \frac{\frac{h \cdot c}{e \cdot 0,8 \cdot \lambda} - \frac{h \cdot c}{e \cdot \lambda}}{\frac{h \cdot c}{e \cdot \lambda}} = \frac{\frac{1}{0,8} - 1}{1} = 0,25 \text{ (25\%)}$$

4.4 Ακτίνες Χ

Ασκήσεις

12. Προκειμένου να διαπιστωθεί η ύπαρξη κοιλότητας στο εσωτερικό ενός μεταλλικού αντικειμένου, χρησιμοποιούνται ακτίνες Χ. Στη διάταξη παραγωγής των ακτίνων Χ, η τάση που εφαρμόζεται μεταξύ της ανόδου και της καθόδου είναι 16.575V. Τα ηλεκτρόνια ξεκινούν από την κάθοδο με μηδενική ταχύτητα, επιταχύνονται και προσπίπτουν στη άνοδο. Θεωρούμε ότι η θερμοκρασία της καθόδου είναι σταθερή και ότι η κινητική ενέργεια κάθε ηλεκτρονίου μετατρέπεται εξ ολοκλήρου σε ενέργεια ενός φωτονίου σε μία μόνο κρούση. Να υπολογίσετε:

α. την κινητική ενέργεια που έχει κάθε ηλεκτρόνιο όταν φθάνει στην άνοδο.

β. το ελάχιστο μήκος κύματος της ακτινοβολίας που εκπέμπεται από το υλικό της ανόδου.

Στην παραπάνω διάταξη παραγωγής ακτίνων Χ, μεταβάλλοντας την τάση της ανόδου και καθόδου, η αρχική ισχύς P_1 της δέσμης των ηλεκτρονίων τετραπλασιάζεται και παίρνει την τιμή $P_2=4P_1$, ενώ η θερμοκρασία της καθόδου διατηρείται σταθερή και η ένταση του ρεύματος των ηλεκτρονίων παραμένει η ίδια. Να υπολογίσετε:

γ. το λόγο των ταχυτήτων v_1/v_2 , όπου v_1 και v_2 οι ταχύτητες με τις οποίες τα ηλεκτρόνια προσπίπτουν στην άνοδο πριν και μετά τον τετραπλασιασμό της ισχύος, αντίστοιχα.

δ. το ελάχιστο μήκος κύματος της παραγόμενης ακτινοβολίας, μετά τον τετραπλασιασμό της ισχύος και να δικαιολογήσετε ποια από τις δύο ακτινοβολίες είναι περισσότερο διεισδυτική.

$$(a) E_k = e \cdot V = 1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 16.575 = 2,652 \cdot 10^{-15} J$$

$$(\beta) \lambda_{min} = \frac{c \cdot h}{e \cdot V} = \frac{3 \cdot 10^8 \cdot 6,63 \cdot 10^{-34}}{1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 16.575} = 7,5 \cdot 10^{-11} m$$

4.4 Ακτίνες Χ

Ασκήσεις

Στην παραπάνω διάταξη παραγωγής ακτίνων Χ, μεταβάλλοντας την τάση της ανόδου και καθόδου, η αρχική ισχύς P_1 της δέσμης των ηλεκτρονίων τετραπλασιάζεται και παίρνει την τιμή $P_2=4P_1$, ενώ η θερμοκρασία της καθόδου διατηρείται σταθερή και η ένταση του ρεύματος των ηλεκτρονίων παραμένει η ίδια. Να υπολογίσετε:

γ. το λόγο των ταχυτήτων v_1/v_2 , όπου v_1 και v_2 οι ταχύτητες με τις οποίες τα ηλεκτρόνια προσπίπτουν στην άνοδο πριν και μετά τον τετραπλασιασμό της ισχύος, αντίστοιχα.

δ. το ελάχιστο μήκος κύματος της παραγόμενης ακτινοβολίας, μετά τον τετραπλασιασμό της ισχύος και να δικαιολογήσετε ποια από τις δύο ακτινοβολίες είναι περισσότερο διεισδυτική.

$$(γ) \quad \frac{1}{2} \cdot m_e \cdot v_1^2 = e \cdot V_1 \Rightarrow v_1 = \sqrt{\frac{2 \cdot e \cdot V_1}{m_e}}$$

$$\frac{1}{2} \cdot m_e \cdot v_2^2 = e \cdot V_2 \Rightarrow v_2 = \sqrt{\frac{2 \cdot e \cdot V_2}{m_e}}$$

Διαιρούμε κατά μέλη:

$$\frac{v_1}{v_2} = \frac{\sqrt{\frac{2 \cdot e \cdot V_1}{m_e}}}{\sqrt{\frac{2 \cdot e \cdot V_2}{m_e}}} \Rightarrow \frac{v_1}{v_2} = \sqrt{\frac{V_1}{V_2}}$$

$$P_1 = V_1 \cdot I \Rightarrow V_1 = \frac{P_1}{I}$$

$$P_2 = V_2 \cdot I \Rightarrow V_2 = \frac{P_2}{I} = \frac{4 \cdot P_1}{I}$$

$$\frac{v_1}{v_2} = \sqrt{\frac{\frac{P_1}{I}}{\frac{4 \cdot P_1}{I}}} = \sqrt{\frac{1}{4}} = \frac{1}{2}$$

4.4 Ακτίνες Χ

Ασκήσεις

Στην παραπάνω διάταξη παραγωγής ακτίνων Χ, μεταβάλλοντας την τάση της ανόδου και καθόδου, η αρχική ισχύς P_1 της δέσμης των ηλεκτρονίων τετραπλασιάζεται και παίρνει την τιμή $P_2=4P_1$, ενώ η θερμοκρασία της καθόδου διατηρείται σταθερή και η ένταση του ρεύματος των ηλεκτρονίων παραμένει η ίδια. Να υπολογίσετε:

γ. το λόγο των ταχυτήτων v_1/v_2 , όπου v_1 και v_2 οι ταχύτητες με τις οποίες τα ηλεκτρόνια προσπίπτουν στην άνοδο πριν και μετά τον τετραπλασιασμό της ισχύος, αντίστοιχα.

δ. το ελάχιστο μήκος κύματος της παραγόμενης ακτινοβολίας, μετά τον τετραπλασιασμό της ισχύος και να δικαιολογήσετε ποια από τις δύο ακτινοβολίες είναι περισσότερο διεισδυτική.

$$f_{max} = \frac{c}{\lambda_{min}} = \frac{3 \cdot 10^8}{7,5 \cdot 10^{-11}} = 0,4 \cdot 10^{19} Hz$$

$$f'_{max} = \frac{c}{\lambda'_{min}} = \frac{3 \cdot 10^8}{1,875 \cdot 10^{-11}} = 1,6 \cdot 10^{19} Hz$$

$$(\delta) \quad P_1 = V_1 \cdot I \Rightarrow V_1 = \frac{P_1}{I}$$

$$P_2 = V_2 \cdot I \Rightarrow V_2 = \frac{P_2}{I} = \frac{4 \cdot P_1}{I} \Rightarrow$$

$$V_2 = 4 \cdot V_1 \Rightarrow$$

$$V_2 = 4 \cdot 16.575 = 66.300V$$

$$\lambda'_{min} = \frac{c \cdot h}{e \cdot V_2} = \frac{3 \cdot 10^8 \cdot 6,63 \cdot 10^{-34}}{1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 66.300} \Rightarrow$$

$$\lambda'_{min} = 1,875 \cdot 10^{-11} m$$

Εφόσον είναι $f'_{max} > f_{max}$ η ακτινοβολία μετά τον τετραπλασιασμό της ισχύος θα είναι πιο διεισδυτική γιατί μεταφέρει τετραπλάσια ενέργεια.