Ατομική Φυσική (Φροντιστήριο)

Ευσταθία Πέτρου

Υποψήφια Διδάκτορας – Εργαστήριο Ιατρικής Φυσικής

Τμήμα Ιατρικής – Πανεπιστήμιο Πατρών

Περιεχόμενα

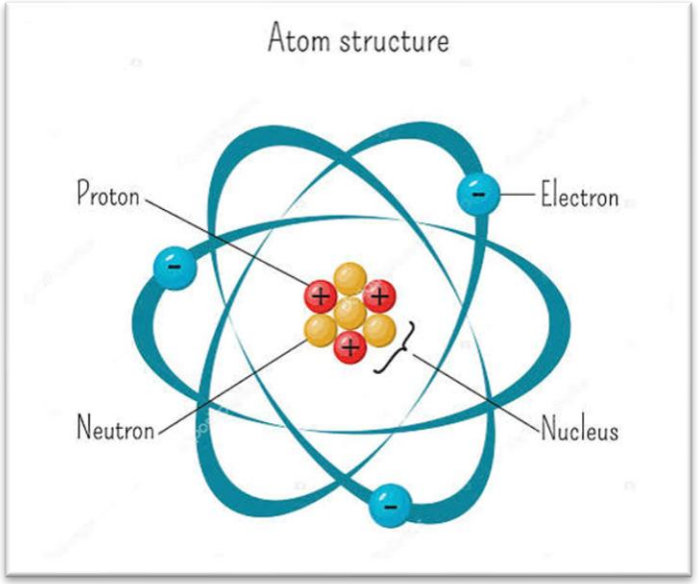
- Εισαγωγή και Στόχοι Φροντιστηρίου
- Δομή & Σύνθεση του Ατόμου
- Παραγωγή Ακτίνων - Χ
- Φωτοηλεκτρικό Φαινόμενο
- Ακτινογραφική Αντίθεση
- Κύματα de Broglie & Ηλεκτρονική Μικροσκοπία
- Υπολογιστικές Ασκήσεις & Εφαρμογές

Δομή & Σύνθεση του Ατόμου

- Η θεμελιώδης δομική μονάδα της ύλης που διατηρεί τις χημικές ιδιότητες του στοιχείου.
- **<u>Πυρήνας (Κέντρο):</u>**
  - Πρωτόνια (p+), με θετικό φορτίο
  - Νετρόνια (n), χωρίς φορτίο
  - Καταλαμβάνει το 99.9% της μάζας, αλλά είναι εξαιρετικά μικρός σε σχέση με το συνολικό άτομο
- **<u>Ηλεκτρονιακό Νέφος (Περιφέρεια):</u>**
  - Ηλεκτρόνια (e^-), με αρνητικό φορτίο
  - Περιφέρονται σε συγκεκριμένες περιοχές, τις στοιβάδες (K,L,M,..)
  - Ενέργεια Στοιβάδας (για το Άτομο του Υδρογόνου – Πρότυπο Bohr):

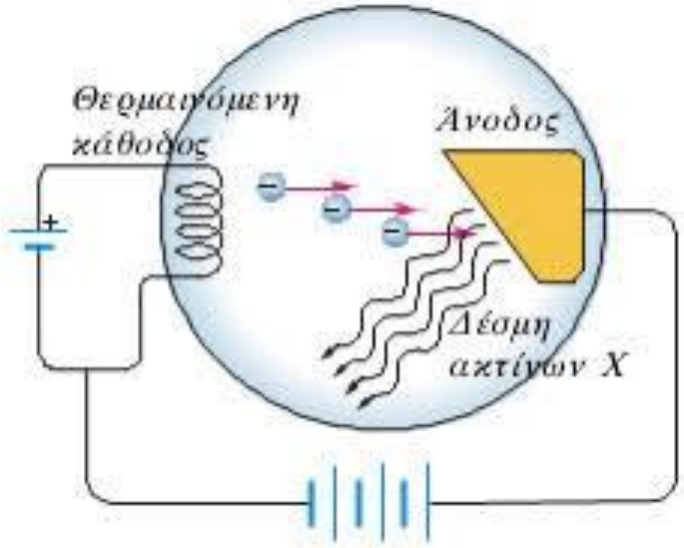
$$E_n = -13.6 \text{ eV} \cdot \frac{1}{n^2}$$

- **<u>Βασικοί Αριθμοί:</u>**
  - Ατομικός Αριθμός (Z): Αριθμός πρωτονίων →καθορίζει το χημικό στοιχείο
  - Μαζικός Αριθμός (A): Αριθμός νουκλεονίων (A = Z + N)



Παραγωγή Ακτίνων-Χ

- **Εκπομπή:** Ένα θερμαινόμενο νήμα (κάθοδος) απελευθερώνει ηλεκτρόνια.
- **Επιτάχυνση:** Μια πολύ υψηλή τάση εφαρμόζεται, αναγκάζοντας τα ηλεκτρόνια να αναπτύξουν τεράστια ταχύτητα.
- **Κρούση:** Ένα ταχύ ηλεκτρόνιο από τη λυχνία προσπίπτει στο άτομο του στόχου (π.χ. Βολφράμιο) και διώχνει ένα ηλεκτρόνιο της εσωτερικής στοιβάδας K.
- **Μετάπτωση:** Δημιουργείται κενό. Ένα ηλεκτρόνιο από μια εξωτερική στοιβάδα (π.χ. L) «πέφτει» αμέσως για να καλύψει την κενή θέση.
- **Εκπομπή:** Η περίσσεια ενέργειας εκπέμπεται υπό μορφή φωτονίου Χαρακτηριστικής Ακτινοβολίας-Χ



- **Βασικός Τύπος:** $E_{\text{photon}} = E_L - E_K$

Φωτοηλεκτρικό Φαινόμενο

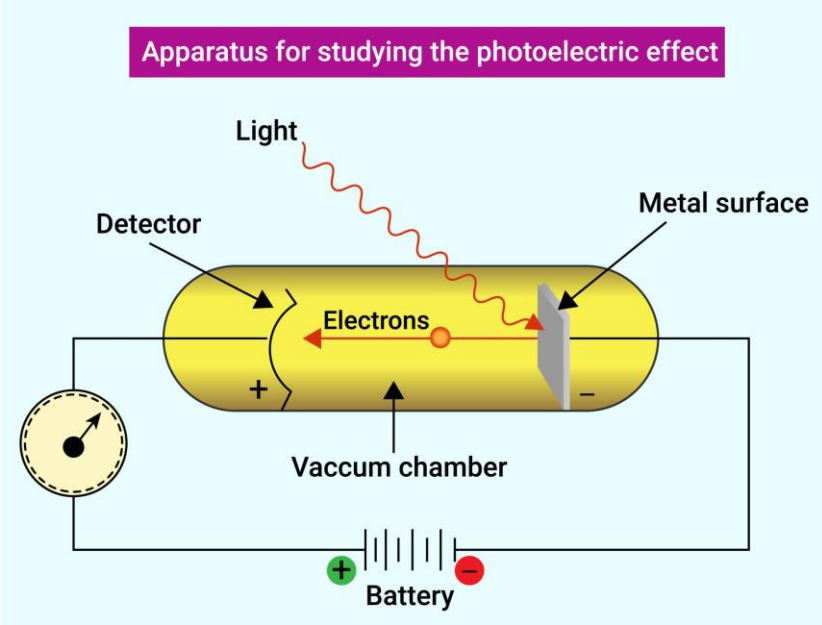
- Η εκπομπή ηλεκτρονίων από την επιφάνεια ενός μετάλλου όταν πέσει πάνω του φως (ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία)

- Κάθε φωτόνιο αλληλεπιδρά με **ένα** μόνο ηλεκτρόνιο του μετάλλου. Ή θα του δώσει όλη του την ενέργεια ή καθόλου
- Το ηλεκτρόνιο εκτινάσσεται έξω από το άτομο ως **φωτοηλεκτρόνιο** με κινητική ενέργεια:

$$K_{\max} = E_{\text{photon}} - E_{\text{binding}}$$

- Στην ιατρική είναι η βασική αρχή λειτουργίας της ιατρικής απεικόνισης (ακτινογραφίες, αξονικοί τομογράφοι)

- Πρωτεύων μηχανισμός απορρόφησης χαμηλής ενέργειας ακτινών-Χ από τους ιστούς

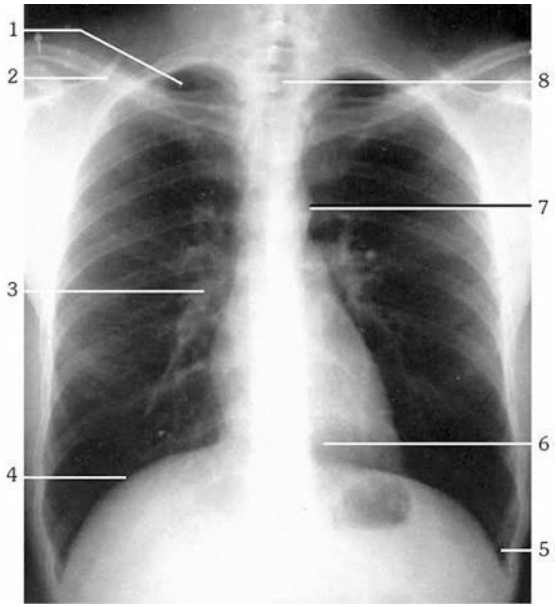


Ακτινογραφική Αντίθεση

- <u>Χρυσός Κανόνας της Απορρόφησης:</u> Η πιθανότητα να απορροφηθεί ένα φωτόνιο Ακτίνων-Χ από έναν ιστό λόγω του Φωτοηλεκτρικού Φαινομένου εξαρτάται άμεσα από τον Ατομικό Αριθμό (Z) του ιστού:

$$\text{Πιθανότητα Απορρόφησης} \propto Z^3$$

- Οστά:
  - Υψηλό Z ⟶ Τεράστια απορρόφηση των Ακτίνων-Χ
  - Σχεδόν κανένα φωτόνιο δεν καταφέρνει να διαπεράσει το οστό για να φτάσει στον ανιχνευτή/φιλμ
  - Εμφανίζεται **λευκό** στην ακτινογραφία
- Μαλακοί Ιστοί & Μύες:
  - Χαμηλό Z ⟶ Μικρή απορρόφηση
  - Τα περισσότερα φωτόνια διαπερνούν εύκολα τον ιστό και χτυπούν τον ανιχνευτή
  - Εμφανίζεται **Γκρι / Σκούρο χρώμα**
- Αέρας (Πνεύμονες):
  - Ελάχιστη πυκνότητα ⟶ Σχεδόν μηδενική απορρόφηση
  - Εμφανίζεται **μαύρο**



Κύματα de Broglie & Ηλεκτρονική Μικροσκοπία

- Υπόθεση de Broglie: Κάθε κινούμενο σωματίδιο (όπως το ηλεκτρόνιο) συμπεριφέρεται και ως κύμα με μήκος κύματος:

$$\lambda = \frac{h}{p} = \frac{h}{m \cdot v}$$

- Όσο πιο γρήγορα κινούνται τα ηλεκτρόνια, τόσο μικρότερο είναι το μήκος κύματός τους ($\lambda < 0{,}1\text{mm}$)

- Ιατρική Εφαρμογή: Στο Ηλεκτρονικό Μικροσκόπιο, το εξαιρετικά μικρό λ προσφέρει τεράστια διακριτική ικανότητα, επιτρέποντας στους γιατρούς να παρατηρούν δομές ιών, κυτταρικών οργανιδίων και πρωτεϊνών (πράγμα αδύνατο για τα οπτικά μικροσκόπια λόγω του μεγάλου λ του φωτός).

Υπολογιστικές Ασκήσεις και Εφαρμογές

- Σε λυχνία Ακτίνων-Χ με στόχο Βολφραμίου (W), η ενέργεια σύνδεσης της στοιβάδας K είναι $E_K = -69.5$ keV και της στοιβάδας L είναι $E_L = -11.3$ keV.

Ερωτήματα:

a. Υπολογίστε την ενέργεια ΔE του εκπεμπόμενου φωτονίου K_α

b. b. Υπολογίστε το μήκος κύματος λ του φωτονίου

- Ένα άτομο υδρογόνου (Z=1) βρίσκεται στη θεμελιώδη του κατάσταση (n=1)

Ερωτήματα:

a. Ποια είναι η ελάχιστη ενέργεια φωτονίου που πρέπει να απορροφήσει το άτομο ώστε το ηλεκτρόνιο να διεγερθεί στη στάσιμη κατάσταση n=3;

b. Υπολογίστε το μήκος κύματος λ_{abs} του απορροφώμενου φωτονίου σε nanometers (nm)

c. Σε ποια περιοχή του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος ανήκει αυτή η ακτινοβολία;

(Δίδονται: E_0 =13.6 eV, $h \cdot c \approx 1240$ eV·nm)

Υπολογιστικές Ασκήσεις και Εφαρμογές

- Μετά τη διέγερση της προηγούμενης άσκησης, το ηλεκτρόνιο βρίσκεται στη στάθμη n=3. Κατά την αποδιέγερσή του προς τη θεμελιώδη κατάσταση (n=1), μπορεί να ακολουθήσει δύο διαφορετικούς δρόμους (μεταπτώσεις):

Δρόμος Α: Άμεση μετάπτωση n=3→n=1 (εκπομπή 1 φωτονίου)

Δρόμος Β: Διαδοχική μετάπτωση n=3→n=2 και στη συνέχεια n=2→n=1 (εκπομπή 2 φωτονίων)

Ερωτήματα:

a. Υπολογίστε την ενέργεια E_2 της στάθμης n=2

b. Υπολογίστε τα μήκη κύματος εκπομπής $\lambda_{(3\to2)}$ και $\lambda_{(2\to1)}$ για τις μεταπτώσεις του Δρόμου Β

(Δίδεται: h·c ≈ 1240eV·nm)