

Εργαστηριακή Άσκηση 1:

Μέτρηση του χρόνου ζωής του μιονίου (μ on)

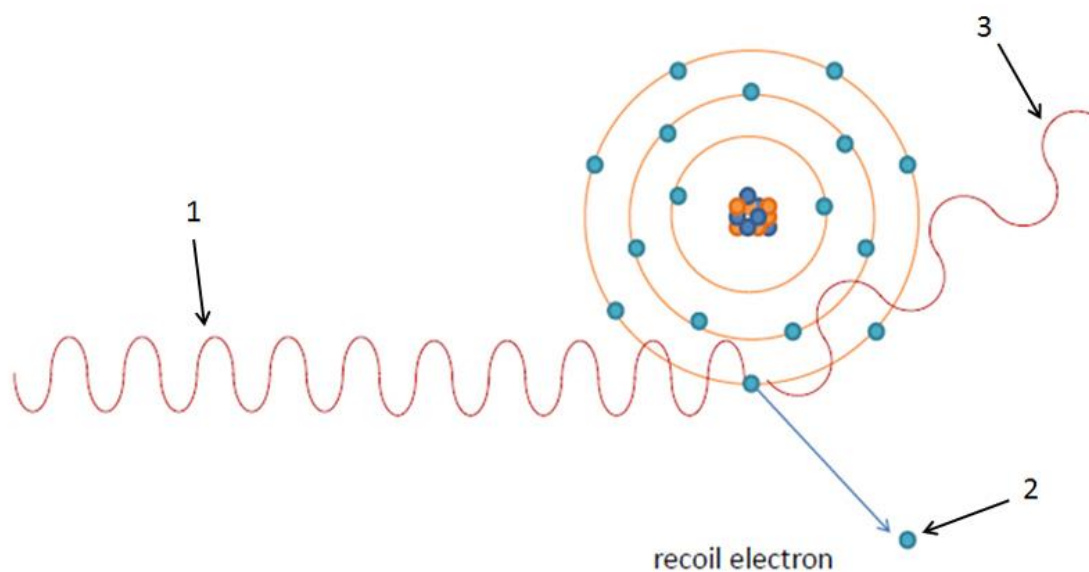
Ημερομηνία διεξαγωγή: 15-12-2015

Όνομα επιβλέποντα: Κωνσταντίνος Πρεκετές-Σιγάλας

Όνομα σπουδαστή: Αθανάσιος Λάμπας, α.μ.: 09107019

Συνεργάτες: Γεώργιος Κολλάρος, Νίκος Λιάτσος

Compton scattering

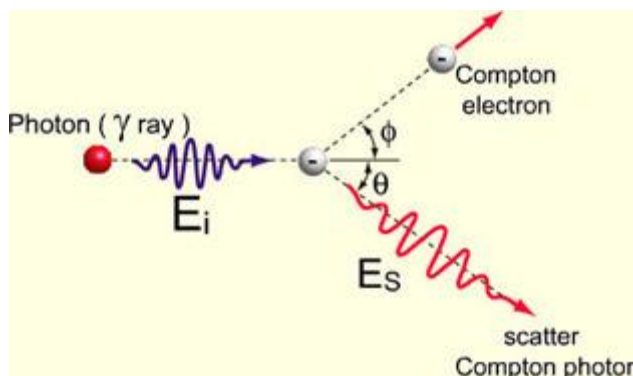


Εισαγωγικά

Στην άσκηση αυτή επιχειρούμε να μετρήσουμε την μάζα ηρεμίας του ηλεκτρονίου καθώς και την μεταβολή της κινητικής και ολικής σχετικιστικής του ενέργειας συναρτήσει της ταχύτητάς του. Αυτό το κάνουμε με τη βοήθεια του φαινομένου Compton, χρησιμοποιώντας τα φάσματα ακτίνων-γ από διάφορες ραδιενεργές πηγές (^{137}Cs -καίσιο, ^{137}Co -κοβάλτιο, ^{54}Mn -μαγγάνιο, ^{22}Na).

Η ακτινοβολία αλληλεπιδρά με την ύλη μέσω τριών φαινομένων, το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο, το φαινόμενο Compton και την δίδυμη γένεση. Στην παρούσα εργασία, όπως αναφέραμε ήδη, θα εκμεταλλευτούμε το φαινόμενο Compton, το οποίο είναι το μόνο που έχει κατώφλι. Στο φαινόμενο Compton τα φωτόνια της ακτινοβολίας (στην περίπτωση μας ακτινοβολία γ) σκεδάζονται σε ηλεκτρόνια ανελαστικά και μέρος της ενέργειας των φωτονίων μεταφέρεται στο ηλεκτρόνιο σαν κινητική ενέργεια. Υποβιβάζεται λοιπόν ενεργειακά το φωτόνιο ενώ το ηλεκτρόνιο σκεδάζεται σε γωνία ϕ σύμφωνα με την ακόλουθη σχέση:

$$\frac{1}{E'_\gamma} - \frac{1}{E_\gamma} = \frac{(1 - \cos\phi)}{mc^2}$$



Το φαινόμενο λαμβάνει χώρα στον πλαστικό σπινθηριστή NaI (μαζί με τα φαινόμενα της δίδυμης γένεσης και του φωτοηλεκτρικού φαινομένου) όπου τα ηλεκτρόνια που εκπέμπονται αλληλεπιδρούν με τα άτομα του κρυστάλλου και παράγουν με την αποδιέγερση τους φωτόνια που ανιχνεύονται απ τον φωτοπολλαπλασιαστή στον οποίον μετατρέπονται σε ρεύμα και έπειτα σε παλμό τάσης και με τις κατάλληλες διατάξεις μεταφέρονται στον υπολογιστή (χωρίζονται οι τάσεις στα 1024 κανάλια ενός πολυκαναλικού αναλυτή με την κατάλληλη βαθμονόμηση).

Μετρήσεις

| Πηγή | Centroid | FWHM | compton edge | σφάλμα | BackScatter | σφάλμα |
|-------------------|----------|------|-----------------|--------|-------------|--------|
| ²² Na | 1270 | 64,6 | 1056,3 | 3,3 | 103,7 | 4 |
| | 489,7 | 54,7 | 287,6 | 5 | | |
| ¹³⁷ Cs | 658,7 | 63 | 443,3 | 5 | 146,2 | 3,3 |
| ⁵⁴ Mn | 839,3 | 63 | 620,6 | 4 | 120,2 | 3 |
| ⁶⁰ Co | 1173,9 | 56,3 | 978,4 | 3 | 156,7 | 5 |
| | 1323,1 | 61,3 | | | | |

Έχουμε ότι το FWHM (Full Width Half Maximum) = $2,7\sigma$, απ το οποίο μπορούμε να υπολογίσουμε το σφάλμα για το E_γ (ενέργεια ακτίνας-στον πίνακα με τις μετρήσεις μας είναι η στήλη με τα Centroid).

Επεξεργασία των μετρήσεων – Απαντήσεις στα ερωτήματα του εργ. οδηγού

1)

Επιβεβαίωση της σχέσης $E_{\text{BackScatter}} + E_{\text{max}}^e = E_\gamma$

¹³⁷Cs : $146,2\text{keV} + 443,3\text{keV} = 589,5\text{keV}$ αρκετά κοντά στα $658,7\text{keV}$ που μετρήσαμε

⁶⁰Co : $156,7\text{keV} + 978,4\text{keV} = 1135,1\text{keV}$ αρκετά κοντά στα $1173,9\text{keV}$ που μετρήσαμε

⁵⁴Mn : $146,2\text{keV} + 620,6\text{keV} = 766,8\text{keV}$ αρκετά κοντά στα $839,3\text{keV}$ που μετρήσαμε

²²Na : $103,7\text{keV} + 1056,3\text{keV} = 1160,0\text{keV}$ αρκετά κοντά στα $1270,0\text{keV}$ που μετρήσαμε

Φαίνεται σε όλες στις μετρήσεις να είμαστε κατά έναν σταθερό περίπου παράγοντα πάνω απ την αναμενόμενη τιμή, κάτι που καταδεικνύει πιθανότατα κάποιο συστηματικό σφάλμα στις μετρήσεις μας, ίσως του backscatter.

2)

Ξεκινάμε από τον τύπο 1.1, αφού η μέγιστη κινητική ενέργεια που αποκτά το ηλεκτρόνιο προκύπτει από μετωπική σύγκρουση της ακτίνας γ με το ηλεκτρόνιο, έχουμε οπισθοσκέδαση της ακτίνας γ , οπότε $\theta = \pi$, οπότε:

$$\frac{1}{E_{\gamma'}} - \frac{1}{E_\gamma} = \frac{2}{m_e c^2} \Rightarrow \frac{E_\gamma - E_{\gamma'}}{E_\gamma E_{\gamma'}} = \frac{2}{m_e c^2} \Rightarrow E_\gamma - E_{\gamma'} = \frac{2 E_\gamma E_{\gamma'}}{m_e c^2}$$

Όμως:

$$\frac{1}{E_{\gamma'}} = \frac{2}{m_e c^2} + \frac{1}{E_{\gamma}} \Rightarrow \frac{1}{E_{\gamma'}} = \frac{2E_{\gamma} + m_e c^2}{m_e c^2 E_{\gamma}} \Rightarrow E_{\gamma'} = \frac{m_e c^2 E_{\gamma}}{2E_{\gamma} + m_e c^2}$$

Οπότε, αντικαθιστώντας στην πρώτη σχέση:

$$E_{\gamma} - E_{\gamma'} = \frac{2E_{\gamma} \frac{m_e c^2 E_{\gamma}}{2E_{\gamma} + m_e c^2}}{m_e c^2} = \frac{2m_e c^2 E_{\gamma}}{m_e c^2 (2E_{\gamma} + m_e c^2)} \Rightarrow E_{max}^e = E_{\gamma} - E_{\gamma'} = \frac{2E_{\gamma}^2}{2E_{\gamma} + m_e c^2}$$

Αποδείξαμε έτσι την ζητούμενη σχέση. Λύνουμε τώρα και ως προς τον παράγοντα μάζας:

$$E_{max}^e = \frac{2E_{\gamma}^2}{2E_{\gamma} + m_e c^2} \Rightarrow (2E_{\gamma} + m_e c^2) E_{max}^e = 2E_{\gamma}^2 \Rightarrow m_e c^2 E_{max}^e = 2E_{\gamma}^2 - 2E_{\gamma} E_{max}^e \Rightarrow m_e c^2 = \frac{2E_{\gamma}^2 - 2E_{\gamma} E_{max}^e}{E_{max}^e}$$

3)

Η αναμενόμενη τιμή μάζας του ηλεκτρονίου είναι $mc^2 = 511 \text{ KeV}$. Τώρα, απ τις τιμές που μετρήσαμε εμείς, υπολογίζουμε την μάζα ηρεμίας και το σφάλμα ως:

$$m_e c^2 = \frac{2E_{\gamma}^2 - 2E_{\gamma} E_{max}^e}{E_{max}^e} \quad \delta(m_e c^2) = \frac{\partial(m_e c^2)}{\partial E_{\gamma}} \delta E_{\gamma} + \frac{\partial(m_e c^2)}{\partial E_{max}^e} \delta E_{max}^e$$

$$= \sqrt{\left(\left(\frac{4E_{\gamma}}{E_{max}^e} - 2 \right) \delta E_{\gamma} \right)^2 + \left(-\frac{2E_{\gamma}^2}{E_{max}^e{}^2} \delta E_{max}^e \right)^2}$$

| | E_{γ} | $\delta E_{\gamma}(2\sigma)$ | E_{max} | δE_{max} | mc^2 | $\delta(mc^2)$ |
|-----------|--------------|------------------------------|-----------|------------------|--------|----------------|
| Na | 1270 | 47,9 | 1056,3 | 3,3 | 514 | 135 |
| | 489,7 | 40,5 | 287,6 | 5 | 688 | 197 |
| Cs | 658,7 | 46,7 | 443,3 | 5 | 640 | 185 |
| Mn | 839,3 | 46,7 | 620,6 | 4 | 592 | 160 |
| Co | 1173,9 | 41,7 | 978,4 | 3 | 469 | 117 |

Υπολογίζουμε τώρα την μέση τιμή της ενέργειας ηρεμίας στα 581 KeV με πολύ μεγάλο σφάλμα $\sigma = 803\ldots$ καταδεικνύεται λοιπόν κάποιο συστηματικό σφάλμα!

