

Αλληλεπιδράσεις

Γ. Τσιπολίτης

Φορτισμένα Σωματίδια

- Σωματίδιο μάζας m_0 , ταχύτητας $u=\beta c$ "συγκρούεται" με ένα από τα ηλεκτρόνια. Η μέγιστη μεταφερόμενη ενέργεια είναι:

$$E_{\max}^{kin} = \frac{2m_e c^2 \beta^2 \gamma^2}{1 + 2\gamma \frac{m_e}{m_0} + \left(\frac{m_e}{m_0}\right)^2} = \frac{2m_e p^2}{m_0^2 + m_e^2 + 2m_e E / c^2}, \quad \text{όπου } E = m_0 \gamma c^2$$

για $m_0 \gg m_e$ και $2\gamma m_e / m_0 \ll 1 \Rightarrow E_{\max}^{kin} = 2m_e c^2 \beta^2 \gamma^2$

Για σχετικιστικό σωματίδιο ($E^{kin} \sim E \sim pc$):

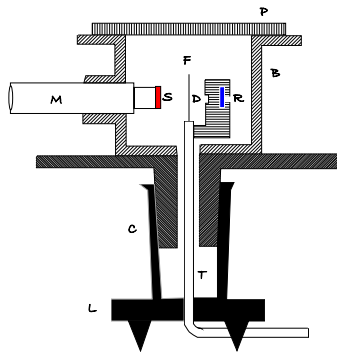
$$E_{\max}^{kin} = \frac{E^2}{E + \frac{m_0 c^2}{2m_e}}$$

- $\mu - e$: $E_{\max}^{kin} = \frac{E^2}{E + 11} \quad (E \text{ σε GeV})$

- $e - e$: $E_{\max}^{kin} = \frac{p^2}{E/c^2 + m_e} = \frac{E^2 - m_e^2 c^4}{E + m_e c^2} = E - m_e c^2$

Γ. Τσιπολίτης

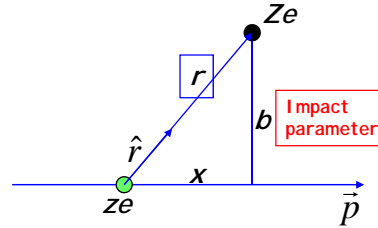
Σκέδαση Rutherford



- M microscope
- S scintillation screen
- F scattering foil
- D diaphragm
- R radioactive source
- B vacuum chamber body



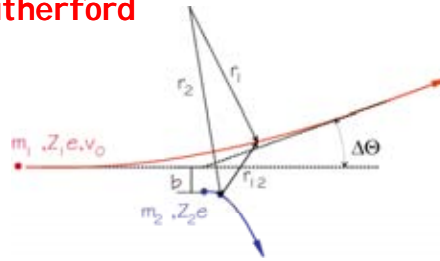
Γ. Τσιπολίτης



$$\vec{F} = \frac{zeZe}{r^2} \frac{\vec{r}}{r}$$

Σκέδαση Rutherford

- Μεταφερόμενη ορμή στο Z_2e



$$p_b = \int_{-\infty}^{+\infty} F_b dt = \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{z_1 Z_2 e^2}{r^2} \frac{b dx}{r \beta c}$$

$$p_b = \int_{-\infty}^{+\infty} F_b dt = \frac{z_1 Z_2 e^2}{\beta c} \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{b dx}{(\sqrt{x^2 + b^2})^3} = \frac{z_1 Z_2 e^2}{\beta c b} \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{d(x/b)}{(\sqrt{1 + (x/b)^2})^3}$$

$$p_b = \frac{2z_1 Z_2 e^2}{\beta c b} = \frac{2r_e m_e c}{\beta c b} z_1 Z_2$$

με $r_e = \frac{e^2}{m_e c^2}$

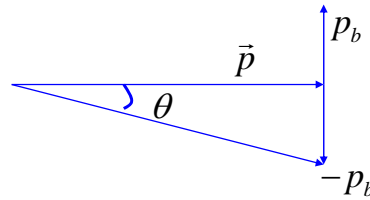
Κλασική ακτίνα e

Γ. Τσιπολίτης

Σκέδαση Rutherford

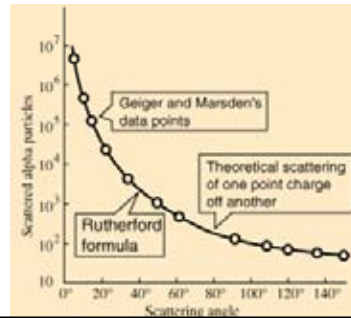
- Γωνία σκέδασης

$$\theta = \frac{p_b}{p} = \frac{2zZe^2}{bc\beta} \frac{1}{p}$$



$$\frac{dN}{d\Omega} = \frac{N_0}{256\pi^2 \epsilon_0^2} [nt] Z_1^2 Z_2^2 e^4 \frac{1}{\left(\frac{1}{2} m v_0^2\right)^2} \frac{1}{\sin^4 \frac{\theta_{CM}}{2}}$$

N_0 number of beam particles
 n target material in atoms/volume
 t target thickness
 and b is the impact parameter



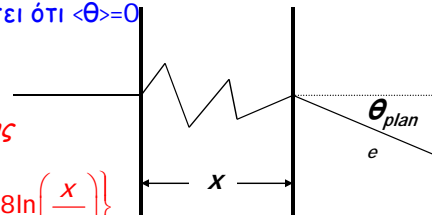
Γ. Τσιπολίτης

Πολλαπλές σκεδάσεις

- Από τη σχέση του Rutherford προκύπτει ότι $\langle \theta \rangle = 0$

- Χρησιμοποιούμε τη μέση γωνία σκέδασης

$$\theta_{plane} = \sqrt{\langle \theta^2 \rangle} = \frac{13.6 \text{ MeV}}{\beta c p} \frac{\sqrt{x}}{\sqrt{X_0}} \left\{ 1 + 0.038 \ln \left(\frac{x}{X_0} \right) \right\}$$



με p σε [MeV/c] και X_0 : radiation length (η απόσταση που διανύει ένα ηλεκτρόνιο στην ύλη όταν η ενέργειά του έχει μειωθεί κατά 1/e)

- Το μήκος ακτινοβολίας είναι σχεδόν ανεξάρτητο από το τύπο του υλικού όταν το πάχος του υλικού εκφράζεται σε X_0 .
- Μια πολύ χρήσιμη ποσότητα όταν σχεδιάζουμε θερμοδόμετρα

Γ. Τσιπολίτης

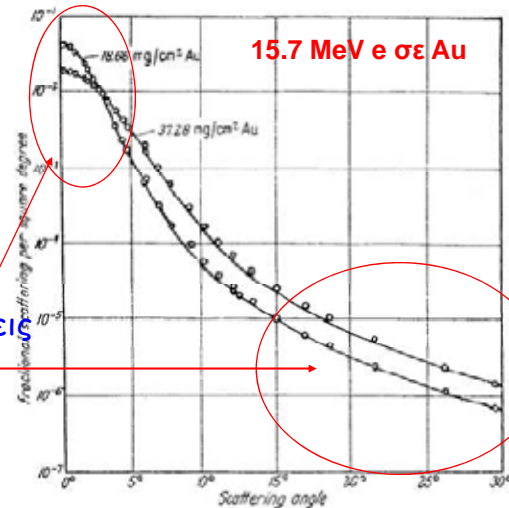
Πολλαπλές σκεδάσεις

$$\theta_{space} = \sqrt{2}\theta_{plane} = \sqrt{2}\theta_0$$

Η γωνιακή κατανομή στην περίπτωση των πολλαπλών σκεδάσεων είναι:

$$P(\theta)d\theta = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\theta_0} e^{-\frac{\theta^2}{2\theta_0^2}} d\theta$$

<5° κυρίως πολλαπλές σκεδάσεις
>5° κυρίως μια σκέδαση



Γ. Τσιπολίτης

Απώλεια ενέργειας φορτισμένων σωματιδίων

- Όταν ένα φορτισμένο σωματίδιο κινείται μέσα στην ύλη αλληλεπιδρά ΗΜ με τα αρνητικά e και τους θετικούς πυρήνες ανταλλάσσοντας φωτόνια. Το αποτέλεσμα αυτών των αλλ/σεων για το φορτισμένο σωματίδιο είναι:
 - Να χάσει ενέργεια,
 - Να αλλάξει κατεύθυνση η τροχιά του,
 - Τελικά να σταματήσει και να απορροφηθεί διανύοντας συνολικά μια απόσταση που ονομάζεται διάστημα εμβέλειας (range).
- Οι μηχανισμοί δια των οποίων χάνει ενέργεια το σωματίδιο είναι:
 - Αλλ/ση Coulomb με τα e και πυρήνες
 - Ατομικές διεγέρσεις
 - Ιονισμό ατόμων
 - ΗΜ ακτινοβολία πέδησης (ακτινοβολείται όταν το σωματίδιο επιβραδύνεται σ' ένα πεδίο Coulomb)
 - Πυρηνικές Αλλ/σεις
 - Ακτινοβολία Cherenkov (όταν ξεπεράσει ένα κατώφλι & αν τα υλικά είναι διαφανές)
 - ΗΜ ακτινοβολία μετάπτωσης (transition radiation) (ακτινοβολείται όταν το σωματίδιο κινείται σε υλικό με ασυνεχή διηλεκτρική σταθερά)

Γ. Τσιπολίτης

Απώλεια ενέργειας φορτισμένων σωματιδίων

- ακτίνα του πυρήνα είναι της τάξης $R_1=1$ fm, ενώ η ακτίνα του ατόμου είναι $R_2=1$ Å τότε

$$\frac{\# \text{ αλλ/σεων με } e^-}{\# \text{ αλλ/σεων με πυρήνες}} = \frac{R_2^2}{R_1^2} = 10^{10}$$

- αλλ/σεις με τα e είναι πιο πιθανές από τις αλλ/σεις με πυρήνες
- Διέγερση ατόμου: τα e των ατόμων του υλικού λαμβάνουν αρκετή ενέργεια για να μετακινηθούν σε μια μεγαλύτερη τροχιά και αλλάζει από E_1 στην E_2 ,
→ διεγερμένο άτομο. Το e πέφτει πίσω στην αρχική του τροχιά και εκπέμπει μια χαρακτηριστική ακτίνα $-X$ με ενέργεια E_2-E_1

- Ιονισμός ατόμου: Το e του ατόμου λαμβάνει αρκετή ενέργεια ώστε να αποδεσμευτεί από το άτομο και να αποκτήσει κινητική ενέργεια:

$$K = E(\text{λαμβάνει από το σωματίδιο}) - I(\text{ενέργεια Ιονισμού}).$$

τα ελεύθερα ηλεκτρόνια συμπεριφέρονται ως ανεξάρτητα σωματίδια τα οποία με τη σειρά τους αν αποκτήσουν αρκετή ενέργεια μπορούν να δημιουργήσουν ιονισμό, κλπ. Αυτά τα ηλεκτρόνια ονομάζονται ηλεκτρόνια $-δ$.