

Σοιχεία Πυρηνικής Φυσικής και Στοιχειωδών Σωματιδίων (5ου εξαμήνου, χειμερινό 2011-12)

Τμήμα G3: Κ. Κορδάς & Χ. Πετρίδου

Μάθημα 2

α) QUIZ στην τάξη. Ενεργός διατομή

β) Μέγεθος του πυρήνα

γ) Μάζα πυρήνα, ενέργεια σύνδεσης, έλλειμα μάζας

Λέκτορας Κώστας Κορδάς

Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Πυρηνική & Στοιχειώδη Ι, Αριστοτέλειο Παν. Θ/νίκης, 14 Οκτωβρίου 2011

Σήμερα

- **Ενεργός διατομή - για σκεδάσεις**

- Βιβλίο Cottingham & Greenwood (C&G): Παράρτημα A.1-A.3

- **Μέγεθος των πυρήνων.**

- Βιβλίο C&G : Κεφ. 4, έως και παρ. 4.3
- Σημειώσεις Πυρηνικής: Κεφ. 2

<http://www.physics.auth.gr/course/show/125>

- **Μάζα των πυρήνων, ενέργεια σύνδεσης και έλλειμα μάζας.**

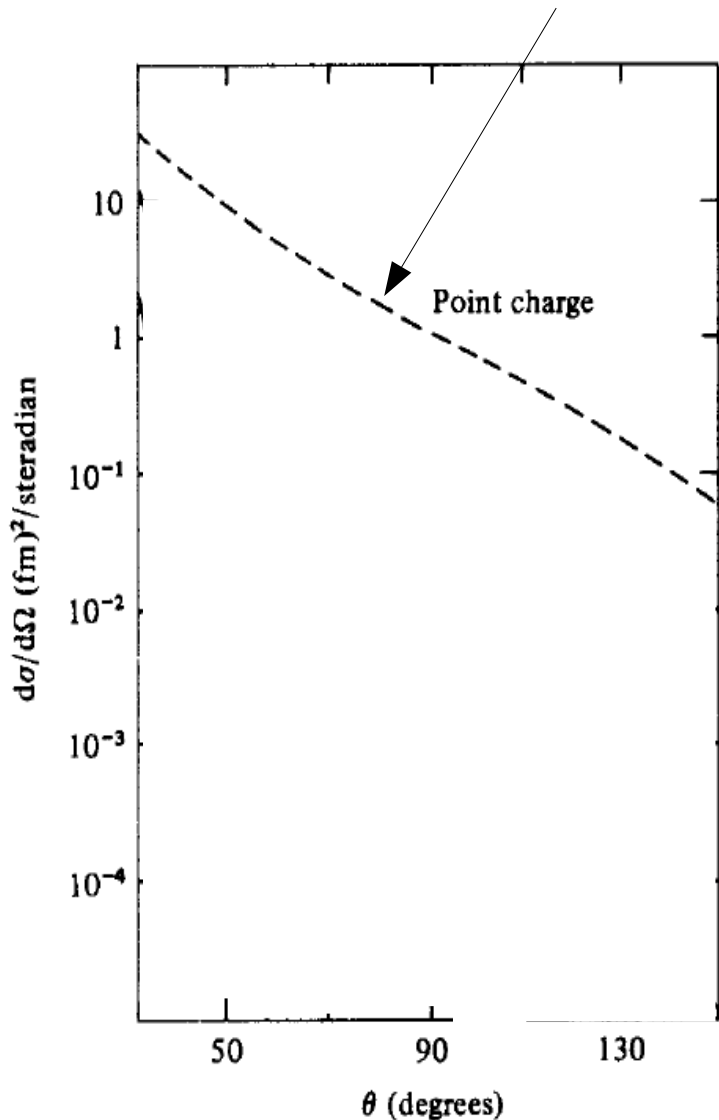
- Βιβλίο C&G : Κεφ. 4, παρ. 4.4 και 4.5
- Σημειώσεις Πυρηνικής: Κεφ. 3, έως παρ.3.2

Κατανομή φορτίου στον πυρήνα (1)

Ο πυρήνας Au ως σημειακό φορτίο
(για ηλεκτρόνιο με $E = 126 \text{ MeV}$)

- Σκέδαση ηλεκτρονίων $\rightarrow$ ευαίσθητα στην κατανομή των πρωτονίων

- Υπολογισμός: Πόση ενέργεια πρέπει να έχει ένα ηλεκτρόνιο ώστε να έχει μήκος κύματος $\lambda = 5 \text{ fm}$? Πόση για $\lambda = 1 \text{ fm}$?



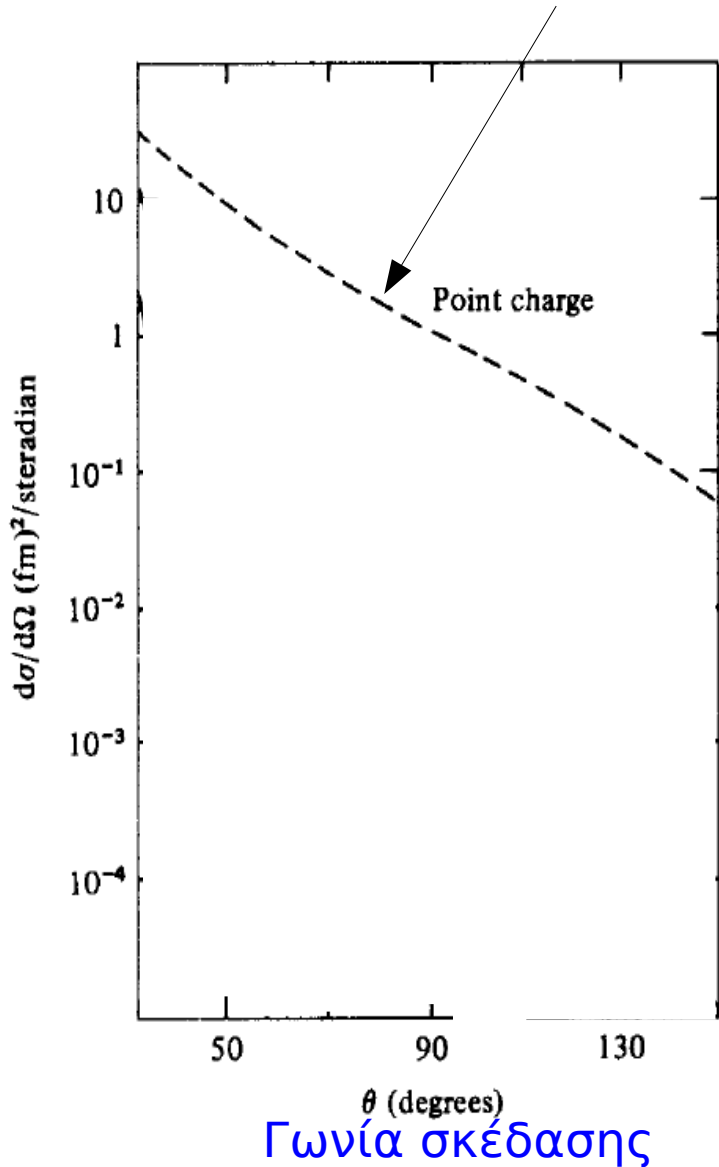
Ενεργός διατομή ανά μονάδα στερεάς γωνίας

Γωνία σκέδασης

Κατανομή φορτίου στον πυρήνα (2)

Ο πυρήνας Au ως σημειακό φορτίο
(για ηλεκτρόνιο με $E = 126 \text{ MeV}$)

Ενεργός διατομή ανά μονάδα στερεάς γωνίας



- Ενεργός διατομή σκέδασης ηλεκτρονίων από σημειακό πυρήνα (a la Rutherford):

$$\frac{d\sigma}{d\Omega} = \frac{(Z_1 * Z_2 * e^2)^2}{4 E} * \frac{1}{\sin^4(\theta / 2)}$$

- $Z_1 e$ = φορτίο βλήματος (για ηλεκτρόνια, $e : Z_1 = 1$)
 - E = ενέργεια βλήματος
 - $Z_2 e$ = φορτίο στόχου (πυρήνα). (για χρυσό, Au : $Z_2 = 79$)
 - θ = γωνία σκέδασης του βλήματος
- Υπολογισμός: Πόση είναι η ενεργός διατομή ανά μονάδα στερεάς γωνίας ($d\sigma/d\Omega$) για σκέδαση σε $\theta=90^\circ$, ενός ηλεκτρονίου σε χρυσό, με ενέργεια ηλεκτρονίου 126 MeV?

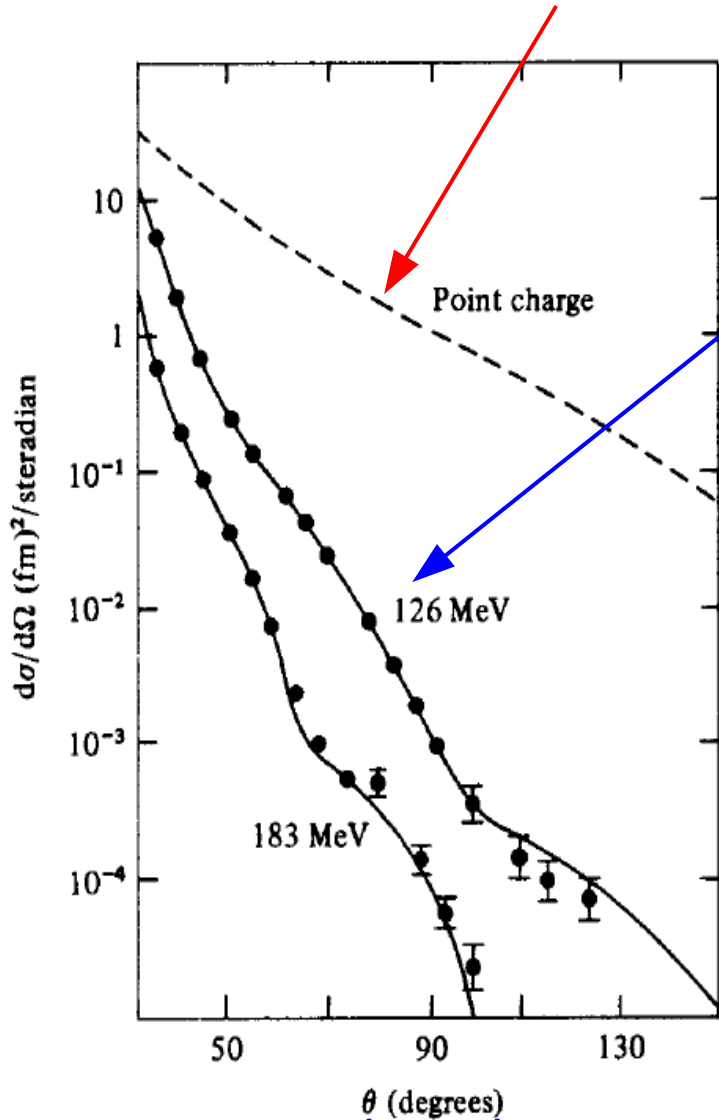
Κατανομή φορτίου στον πυρήνα (3)

Ο πυρήνας Au ως σημειακό φορτίο
(για ηλεκτρόνιο με $E = 126 \text{ MeV}$)

- Το πείραμα δείχνει απόκλιση από το μοντέλο του σημειακού πυρήνα

→ και μάλιστα, όσο μεγαλύτερη η ενέργεια των ηλεκτρονίων τόσο μεγαλύτερη η απόκλιση (δηλ, τόσο λιγότερο σημειακός δείχνει ο πυρήνας) πρωτονίων, Z

- Απλό μοντέλο της πυκνότητας των πρωτονίων περιγράφει τα δεδομένα →



Ενεργός διατομή ανά μονάδα στερεάς γωνίας

Γωνία σκέδασης

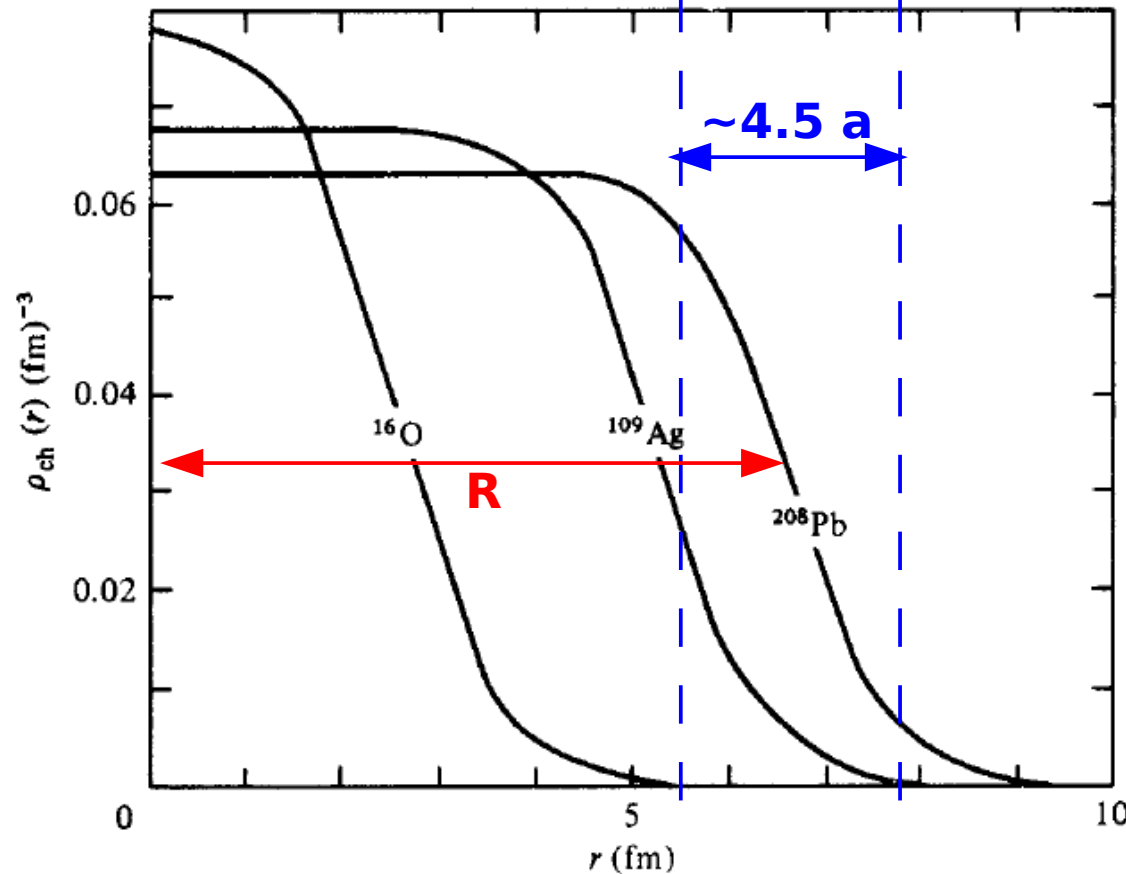
Κατανομή φορτίου στον πυρήνα (4)

- Απλό μοντέλο της πυκνότητας των πρωτονίων περιγράφει τα δεδομένα

$$\rho_{\text{ch}}(r) = \frac{\rho_{\text{ch}}^0}{1 + e^{(r-R)/a}}$$

- Συνθήκη “κανονικοποίησης” (εφαρμογή κοινής λογικής στο μέτρημα):
το ολοκλήρωμα της πυκνότητας ρ_{ch} πρέπει να δίνει τον αριθμό των πρωτονίων, Z

$$\int \rho_{\text{ch}}(r) d^3\mathbf{r} = Z$$



Πυκνότητα πρωτονίων (αριθμός ανά fm³)

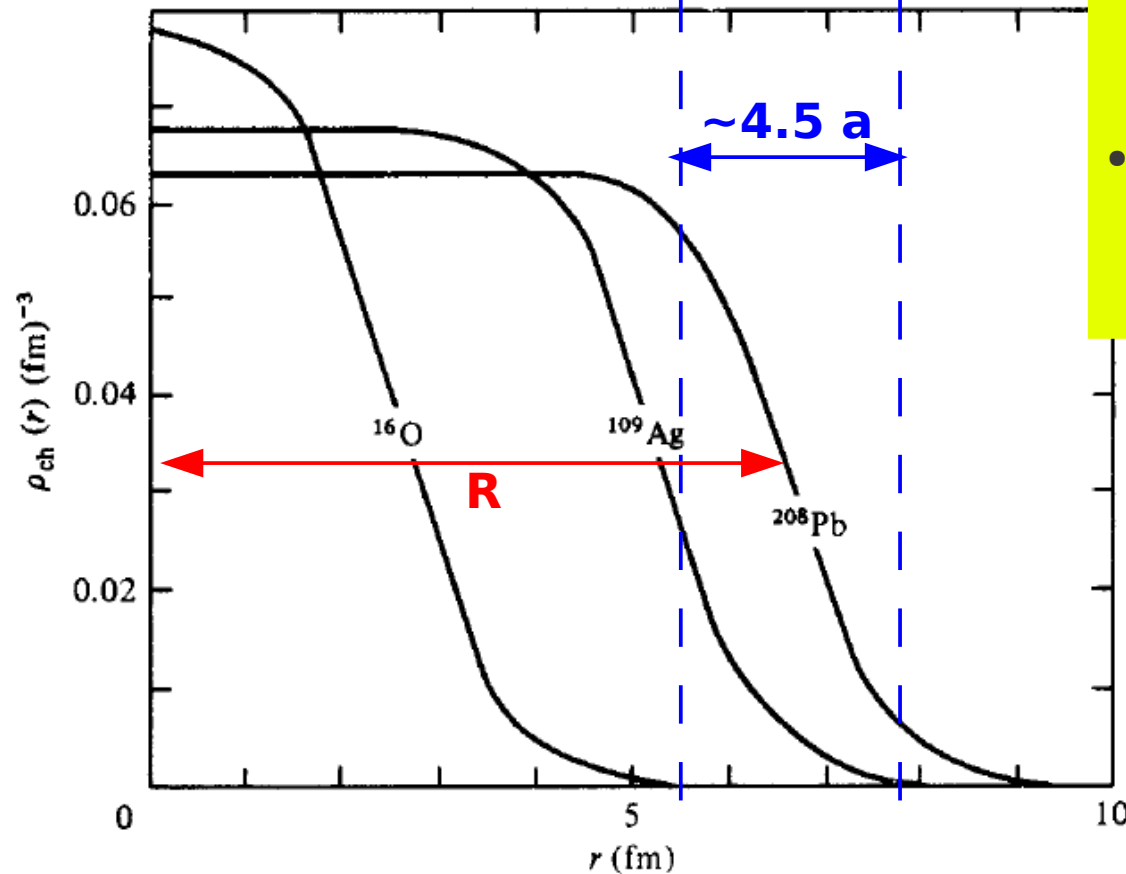
Ακτίνα, r (fm)

Κατανομή φορτίου στον πυρήνα (4)

- Απλό μοντέλο της πυκνότητας των πρωτονίων περιγράφει τα δεδομένα

$$\rho_{\text{ch}}(r) = \frac{\rho_{\text{ch}}^0}{1 + e^{(r-R)/a}}$$

- Πυκνότητα φορτίου $\sim$ σταθερή μέχρι ακτίνα R .
- Φλοιός με το ίδιο πάχος για κάθε στοιχείο ($\sim 4.5 a$, με $a=0.5\text{fm}$)



Ακτίνα, r (fm)

Πυκνότητα πρωτονίων (αριθμός ανά fm^3)

Κατανομή πρωτονίων και νετρονίων (1)

- Με σκέδαση νετρονίων αλληλεπιδρούμε με την ισχυρή δύναμη, το ίδιο με όλα τα νουκλεόνια (πρωτόνια ή νετρόνια), κι έτσι αισθανόμαστε τα νουκλεόνια σε όλο τον όγκο του πυρήνα.
- Γεωμετρικά, με R =ακτίνα πυρήνα,

r_n = ακτίνα νετρονίου:

$$\sigma \sim \pi(R + r_n)^2$$

- Σωστά, από το οπτικό θεώρημα, με λ μήκος κύματος νετρονίου:

$$\sigma = 2\pi(R + \lambda)^2$$

$$R = \text{σταθ} * A^{1/3}$$

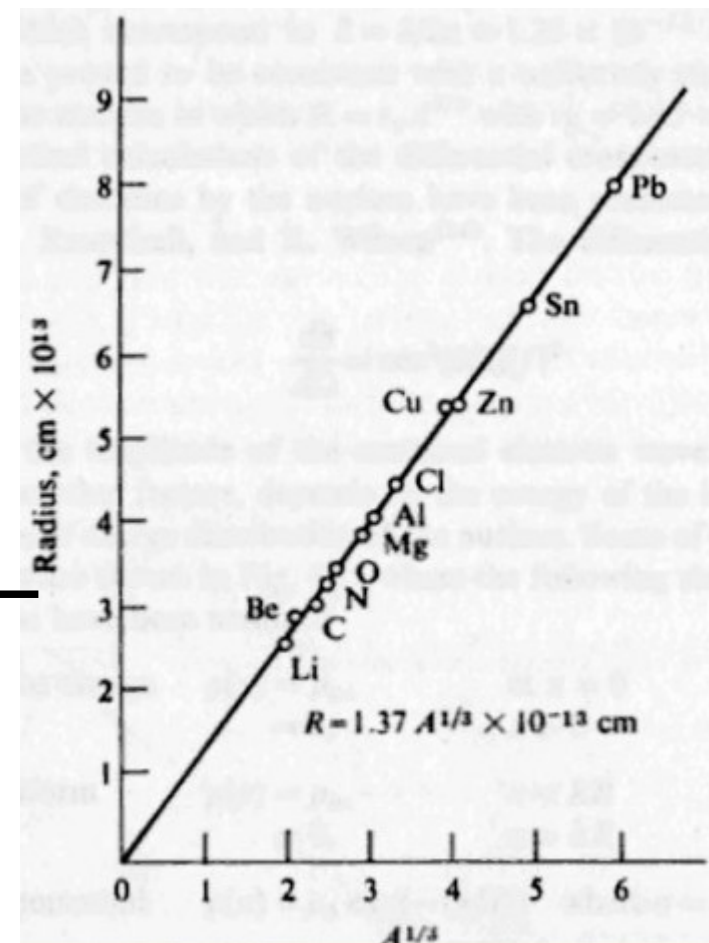
$$\rightarrow R^3 = \text{σταθ.} * A$$

$$\rightarrow \frac{4}{3} * \pi * R^3 = \text{σταθ.} * A$$

$$\rightarrow V = \text{σταθ.} * A$$

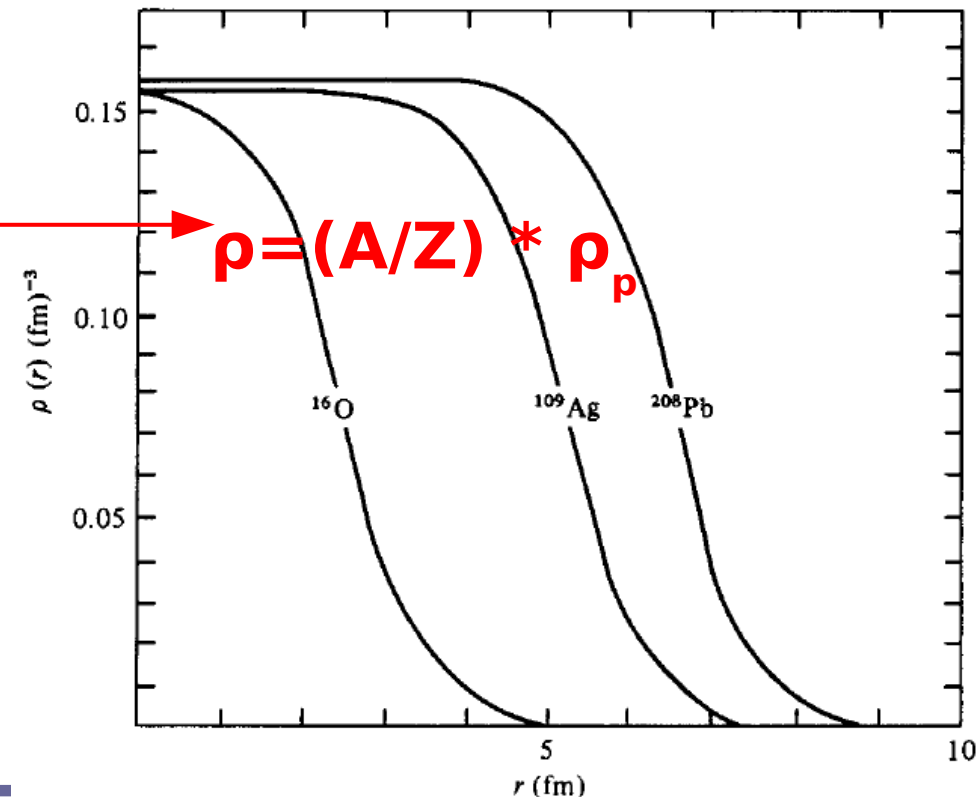
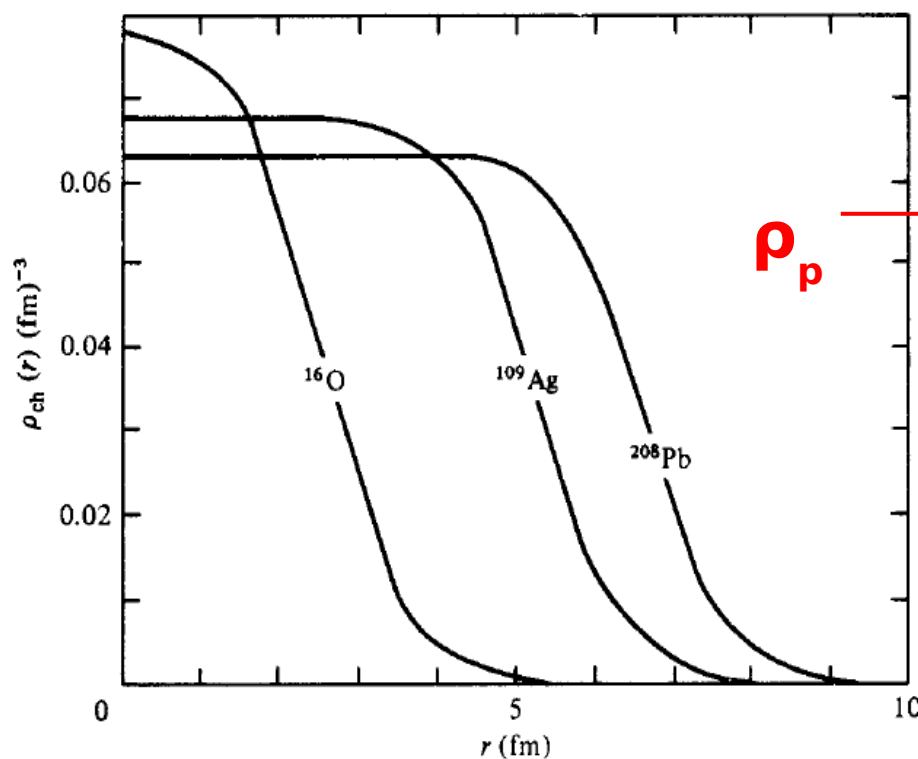
$\rightarrow$ πυκνότητα νουκλεονίων

$$\rho = A/V = \text{σταθ.}$$



Κατανομή πρωτονίων και νετρονίων (2)

- Ο όγκος του πυρήνα μεγαλώνει ανάλογα με το A
→ Ισχυρές δυνάμεις ανεξάρτητες φορτίου → τα νουκλεόνια μοιράζονται σε όλον τον πυρήνα
- $\rho_n = N/V$, $\rho_p = Z/V \rightarrow \rho_n / \rho_p = N/Z$
- Ολική πυκνότητα $\rho = \rho_p + \rho_n \rightarrow \rho = (A/Z) * \rho_p$



Μέγεθος πυρήνα

- Ίδια πυκνότητα για όλους τους πυρήνες

$$\rho_0 = 0.17 \text{ νουκλεόνια / fm}^3$$

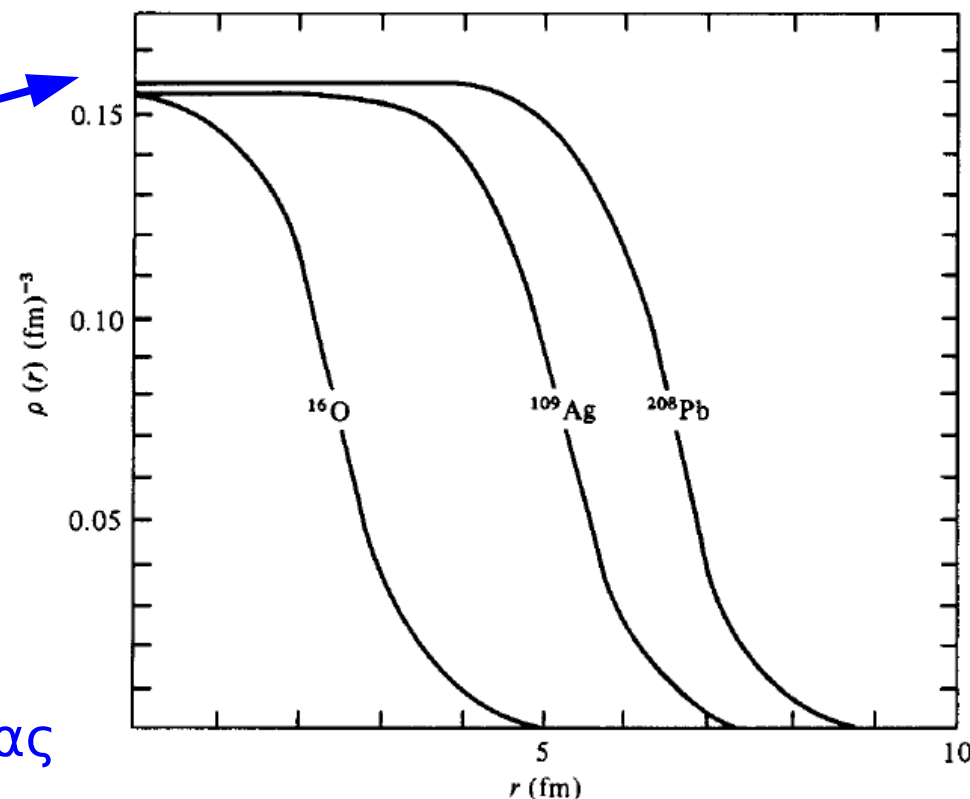
(“πυρηνική πυκνότητα”)

- Αφού η πυκνότητα είναι σταθερή ($\rho = A/V = \text{constant}$) σημαίνει ότι όσον αφορά στο μέγεθος, ο πυρήνας

είναι σαν ένα σακουλάκι (“υγρή σταγόνα”) που **ο όγκος του (V) είναι ανάλογος του αριθμού νουκλεονίων (A) που περιέχει:**

$$\mathbf{V = const * A} \rightarrow \frac{4}{3}\pi R^3 = \text{const} \times A \rightarrow R^3 \propto A \rightarrow R \propto A^{\frac{1}{3}}$$

$$\rightarrow R = R_0 * A^{1/3} \rightarrow R = 1.1 \text{ fm} \times A^{\frac{1}{3}}$$



Μέγεθος πυρήνα Au

- Ποιό είναι το μέγεθος ενός πυρήνα χρυσού (Au), με $A=197$ σαν κι αυτούς που χρησιμοποιήθηκαν στη σκέδαση Rutherford ?
- Γιατί λοιπόν δούλεψε το πείραμα και είδαμε σκεδάσεις σωματιδίων α από τους πυρήνες χρυσού?

Σχετικιστική κινηματική

Σχετικιστική κινηματική:

$$E = mc^2$$

ενέργεια

μάζα

c = ταχύτητα του φωτός



Η μάζα είναι μια μορφή ενέργειας

γενικά, με κινητική ενέργεια T , έχουμε : $E = T + mc^2$

$E = m \gamma c^2$, όπου $\gamma = \frac{1}{\sqrt{1-\beta^2}}$, και $\beta = v/c$, με v = ταχύτητα σωματιδίου

$p = m \gamma v = m \gamma \beta c$, όπου p = ορμή

$$E^2 = (pc)^2 + (mc^2)^2 \quad \rightarrow \quad E [\text{MeV}], p [\text{MeV}/c], m [\text{MeV}/c^2]$$

Σημείωση: με $c = 1$, έχουμε : $E^2 = p^2 + m^2$, κλπ.

Μονάδες

$$c = 3 \times 10^8 \text{ m/s} \equiv \text{μονάδα ταχύτητας} \equiv 1$$

$$\text{μονάδα ενέργειας} \equiv eV = 1.6 \times 10^{-19} \text{ Cb} * V = 1.6 \times 10^{-19} \text{ Joule}$$

Συνήθως χρησιμοποιούμε το MeV ($= 10^9 \text{ eV}$)

$$\text{Σταθερά του Plank} = \mathbf{h} = 6.626 \times 10^{-34} \text{ J s}$$

$$\hbar c = 197 \text{ MeV fm}, \text{ όπου } \hbar = \frac{h}{2\pi} \equiv \text{μονάδα δράσης (ενέργειας} \times \text{χρόνου)} \equiv 1$$

$$\alpha = \frac{e^2}{4 \pi \epsilon_0 \hbar c} [SI] = \frac{e^2}{\hbar c} [GKS] = \frac{1}{137} \quad (\text{σταθερά λεπτής υφής})$$

Μετράμε:

Μάζα: MeV/c^2 (αφού $E = mc^2$)

Ορμή: MeV/c (αφού $p = m\gamma\beta c$)

Χρόνο σε: $1/\text{MeV}$ (αφού η μονάδα Ενέργειας * Χρόνου = 1)

Μήκος σε: μονάδες χρόνου = $1/\text{MeV}$ (αφού η μονάδα ταχύτητας=1)

1 amu = 1/12 μάζας ουδέτρου ατόμου $^{12}\text{C} = 931.5 \text{ MeV}/c^2$

Μάζα πρωτονίου $\sim 938 \text{ MeV}$, Μάζα ηλεκτρονίου = 0.511 MeV .