

Μέγεθος πυρήνων

Πυρηνική ακτίνα (κατανομή φορτίου, ήτοι πρωτονίων)

$$\rho(r) = \frac{\rho(0)}{1 + e^{\frac{r-a}{b}}}$$

Όπου $a = 1.07 A^{1/3}$ Fermi

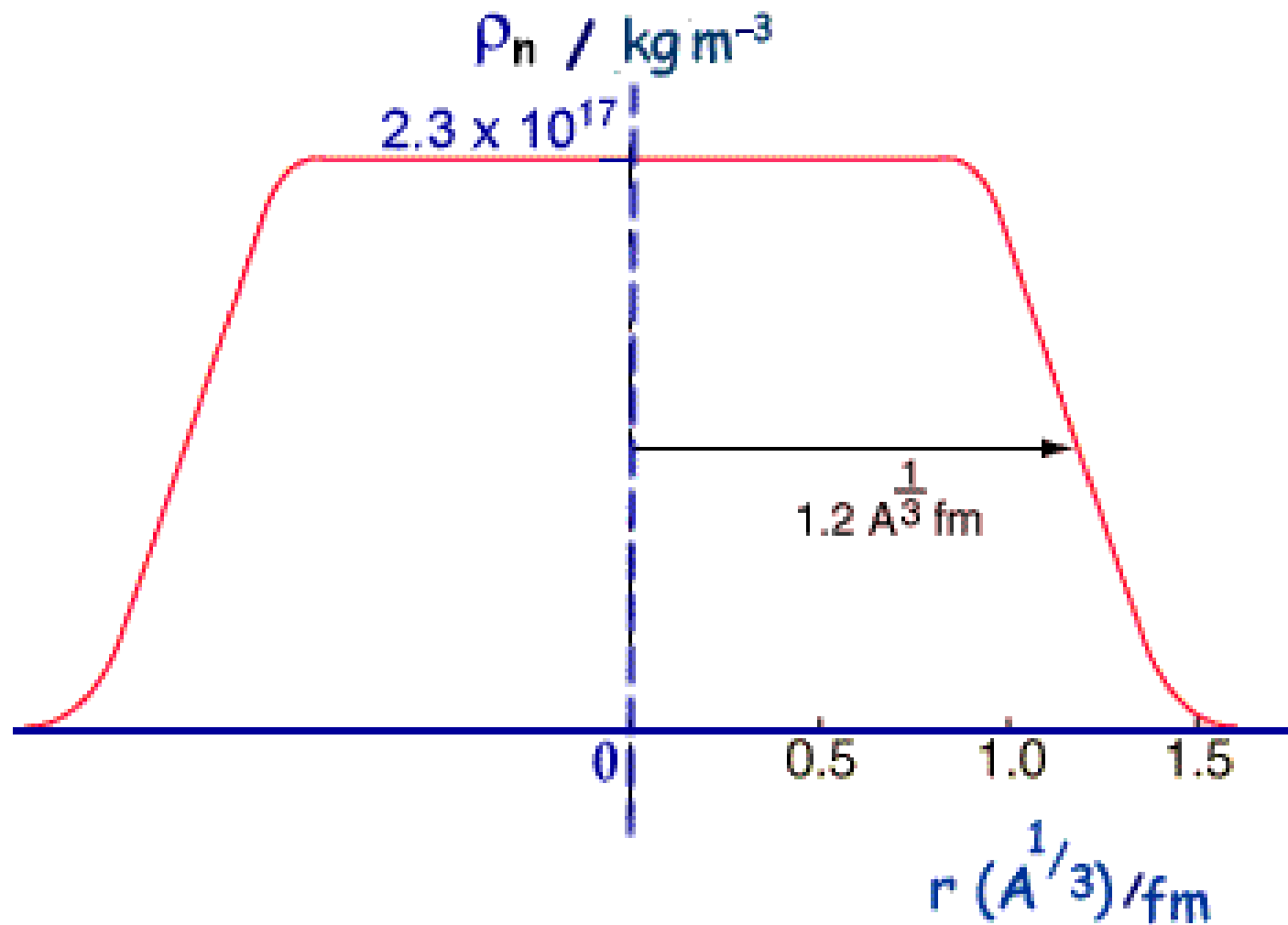
Και $b = 0.55$ Fermi

Ας δούμε λίγο προσεκτικά τη σχέση αυτή!

Μέγεθος πυρήνων

1. Η πυκνότητα φορτίου του πυρήνα (ουσιαστικά η κατανομή πρωτονίων στον πυρήνα) είναι σταθερή στο εσωτερικό του και πέφτει γρήγορα στο μηδέν σε μια περιοχή που θεωρούμε ως επιφάνεια του πυρήνα
2. Η ακτίνα στην οποία η πυκνότητα παίρνει την τιμή ημίσεος σε σχέση με την πυκνότητα στην εσωτερική περιοχή, αυξάνεται αργά με την αύξηση του A (είναι ανάλογη του $A^{2/3}$)

Πυρηνική ακτίνα



Μέγεθος πυρήνων

3. Το πάχος της πυρηνικής επιφάνειας δίνεται προσεγγιστικά από την ποσότητα $2b$
4. Η τιμή $\rho(0)$ μειώνεται ελαφρά με την αύξηση του A (γιατί;)
5. Ιδού: Διότι όταν μεγαλώνει το A , τα πρωτόνια μειώνονται ως ποσοστό μέσα στον πυρήνα. Οπότε λογικό να μειώνεται και η πυκνότητα φορτίου με το A .

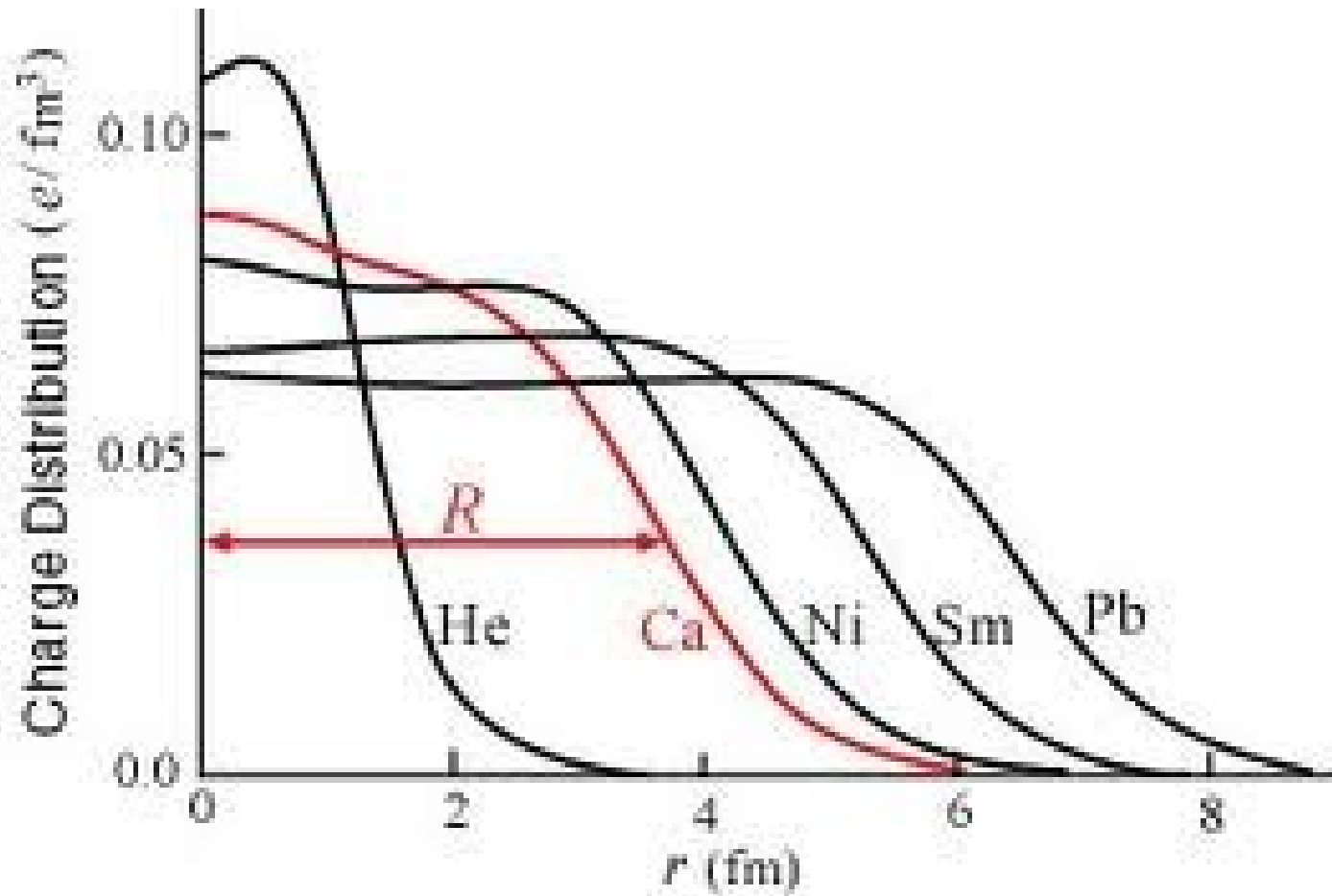
Υποθέτοντας ότι η κατανομή των πρωτονίων είναι περίπου ίδια με αυτή των νετρονίων, θα ισχύει ότι

$$\rho(r) \sim Z/A * \rho_m(r)$$

Προκύπτει δηλαδή ότι η πυκνότητα μάζας είναι περίπου σταθερή για όλους τους πυρήνες!

Η πυρηνική ακτίνα μεγαλώνει με τον μαζικό αριθμό

Η πυρηνική πυκνότητα (εννοείται φορτίου – άρα πρωτονίων) μειώνεται με τον μαζικό αριθμό!



Πυρηνική πυκνότητα φορτίου

Μετρήσεις αναφοράς του Hofstadter (1957)

Η ακτίνα μεγαλώνει με το A

Η πυρηνική πυκνότητα μειώνεται με το A

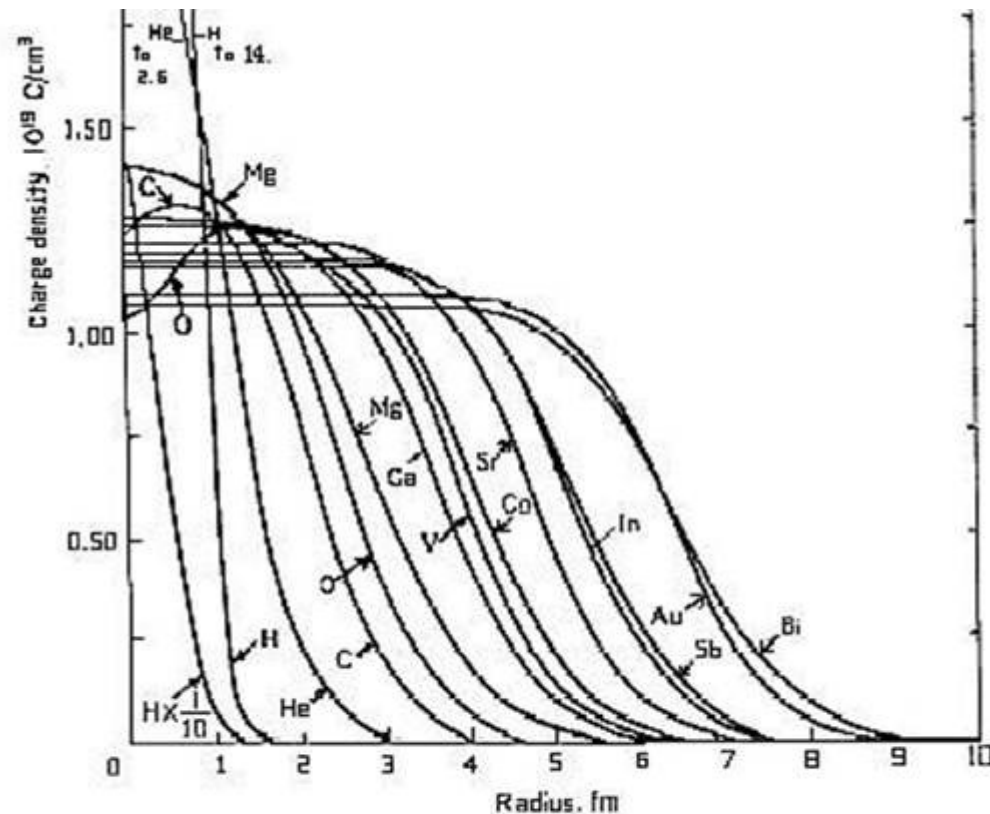
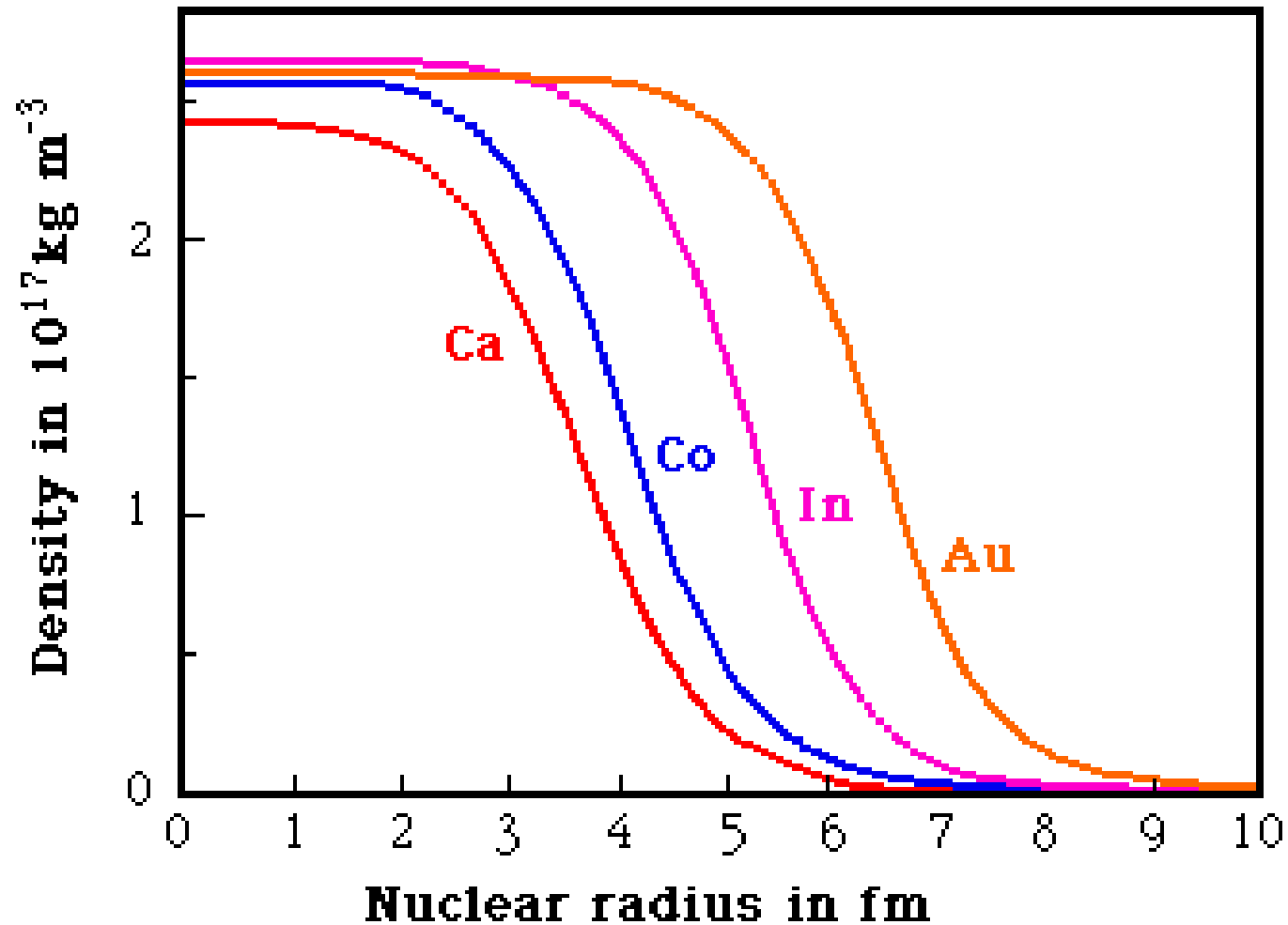


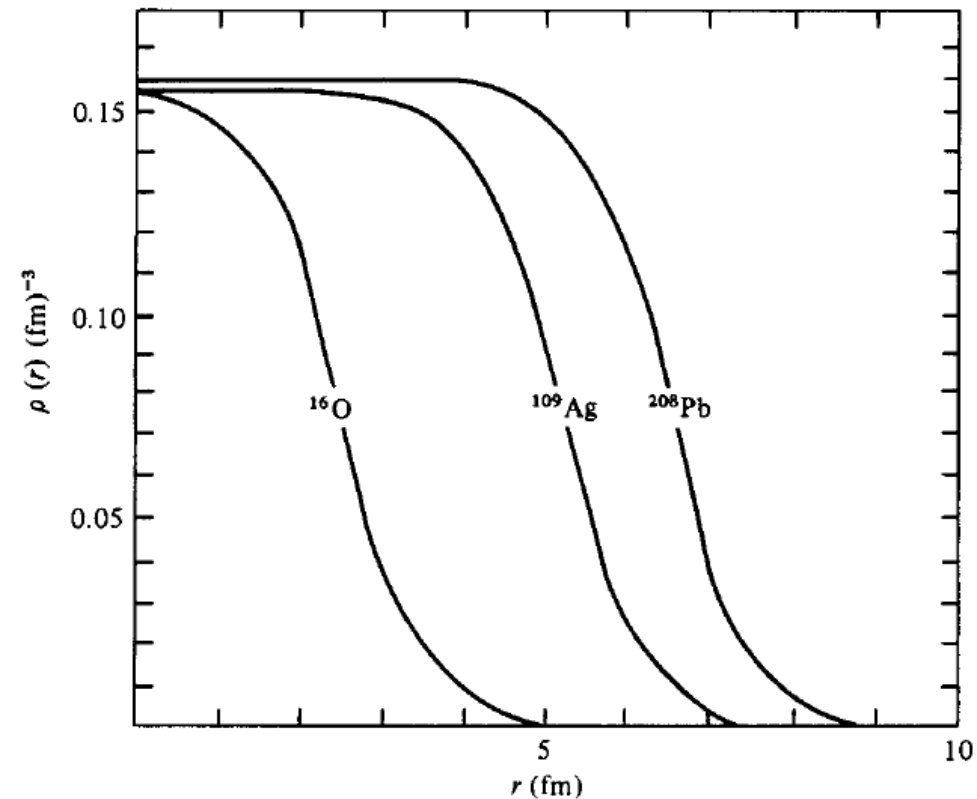
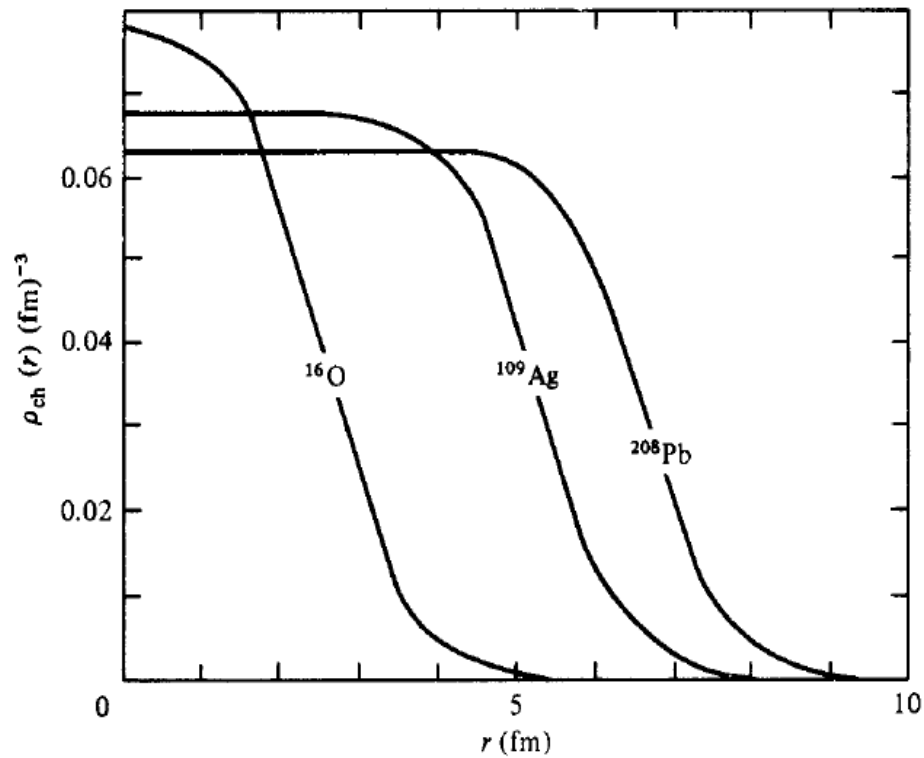
Figure 3- Charge distributions for various nuclei as determined from electron-scattering experiments. [From R. Hofstadter, *Ann. Rev. Nucl. Sci.* **7**, 231 (1957).]

Πυρηνική πυκνότητα ΜΑΖΑΣ

Είναι περίπου σταθερή, ως προς τον μαζικό αριθμό!



Πυρηνική πυκνότητα φορτίου (δηλαδή πρωτονίων)
και πυρηνική πυκνότητα μάζας (δηλαδή πρωτονίων και νετρονίων...)
Σημειώστε τις κλίμακες στον άξονα των τεταγμένων.
Προσέξτε ξεχωριστά το οξυγόνο, τον άργυρο και το μόλυβδο.
Επιβεβαιώνεται η εικόνα της πυκνότητας φορτίου που μειώνεται με το A , ενώ η
πυκνότητα μάζας μένει σταθερή!



Ακτίνα πυρήνα από μιονικά άτομα

Τα μίονια είναι στοιχειώδη σωματίδια, είναι λεπτόνια, είναι φερμιόνια.

Τελικά είναι σαν βαρειά ηλεκτρόνια

Αν συλληφθεί μίονιο σε ατομική τροχιά, τότε αυτή θα είναι πολύ μικρότερη από την αντίστοιχη ενός ηλεκτρονίου!

$$r = \frac{\hbar^2}{m Z e^2} n^2$$

$$r = \frac{\hbar c}{a Z m c^2} n^2$$

Αντικαθιστώντας προκύπτει για $Z=50$ ότι $r \sim 5\text{fm}$... Άρα η πρώτη τροχιά είναι σχεδόν στα όρια του πυρήνα!

Αν το μίονιο ήταν σχετικά μακριά από τον πυρήνα, θα μπορούσαμε να πούμε ότι τον “βλέπει” σαν σημειακό φορτίο.

Είναι όμως πολύ κοντά στον πυρήνα...

Άρα το μίονιο επηρεάζεται ισχυρά από την εσωτερική κατανομή φορτίου στον πυρήνα!

Τι σημαίνει αυτό; Μα απλά ότι οι ενεργειακές του στάθμες διαταράσσονται από την κατανομή φορτίου του πυρήνα.

Και πράγματι: οι ακτίνες X από μιονικά άτομα ΔΕΙΧΝΟΥΝ ότι έχουν διαταραχθεί από εσωτερική κατανομή φορτίου.

Τα πειραματικά δεδομένα επιβεβαιώνουν την μορφή της κατανομής φορτίου, όπως έχει δειχθεί στα προηγούμενα!

Ακτίνα πυρήνα με πυρηνικές δυνάμεις

Χρησιμοποιώντας νετρόνια ανιχνεύουμε τις διαστάσεις του πυρήνα ως προς τις πυρηνικές δυνάμεις.

Προκύπτει και πάλι η γνωστή σχέση

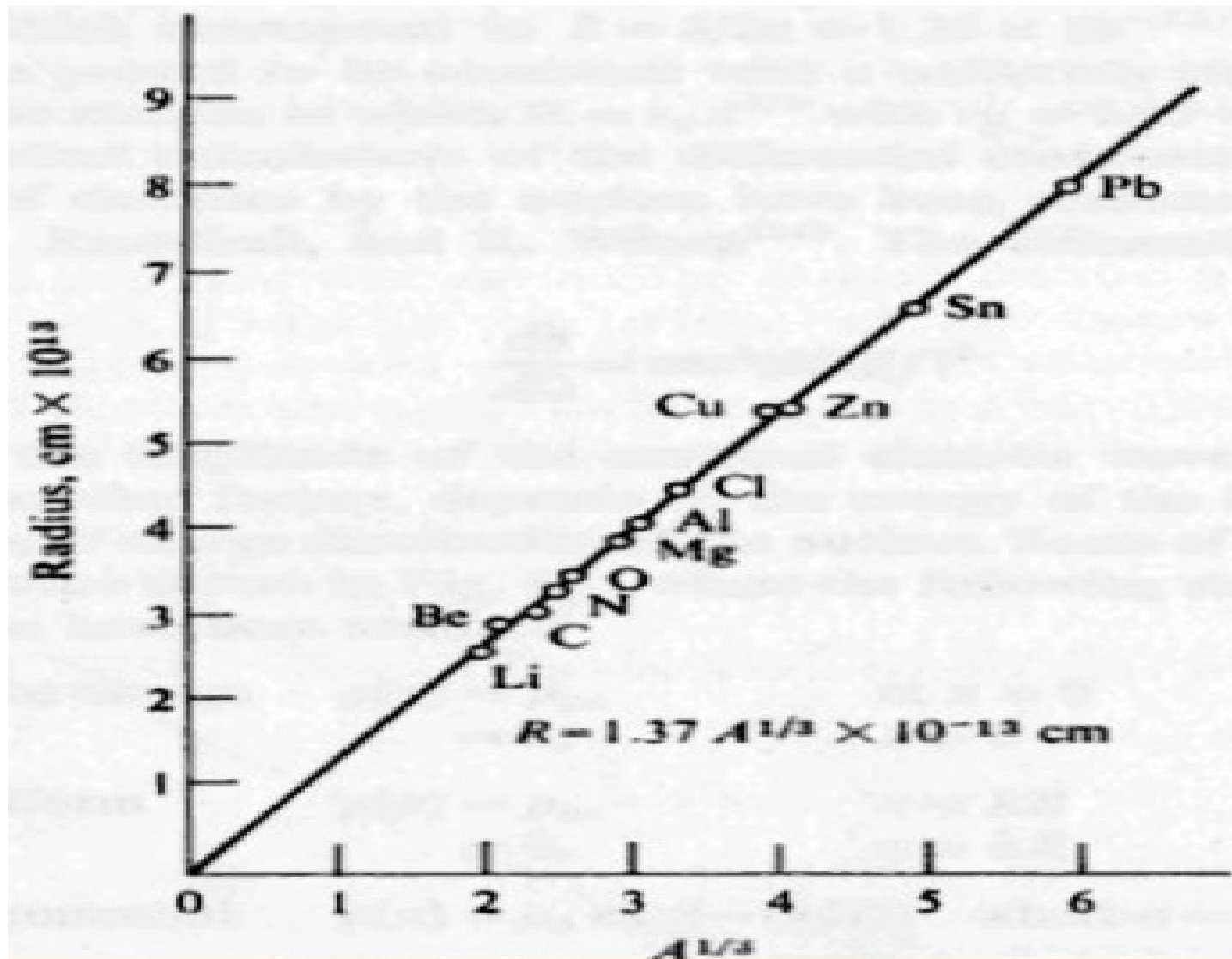
$$R = R_0 A^{1/3}$$

Το R_0 για ηλεκτρομαγνητική μέθοδο (σκέδαση ηλεκτρονίων, μιονικά άτομα) παίρνει τιμές περί το 1.2fm.

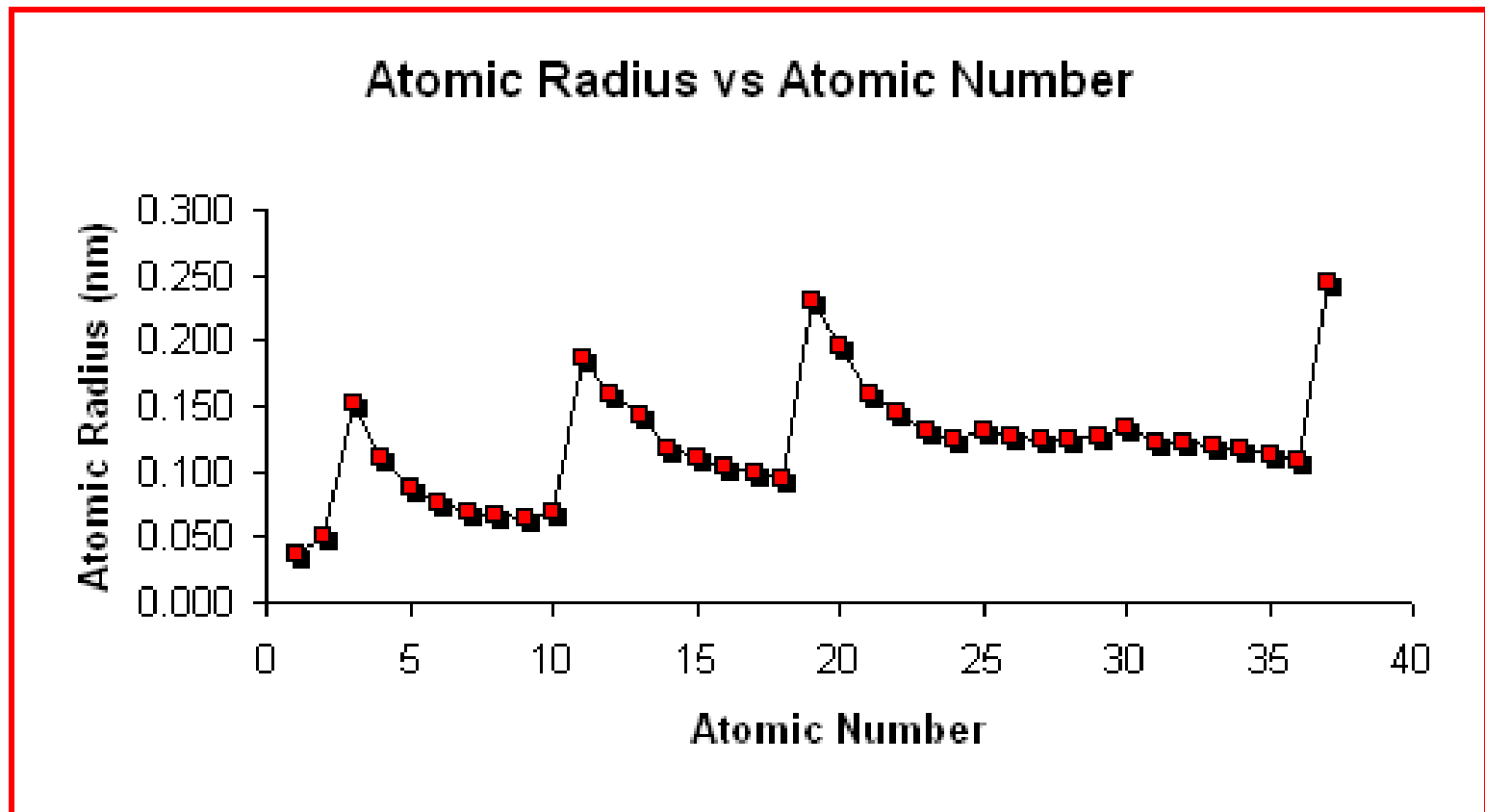
Για πυρηνική μέθοδο προκύπτει ίσο με 1.4fm σχεδόν.

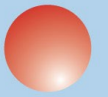
Η αυξημένη τιμή του R_0 για πυρηνική μέθοδο, ερμηνεύεται με την υπόθεση ότι τα νετρόνια πλεονάζουν στην επιφάνεια του πυρήνα.

Εξάρτηση πυρηνικής ακτίνας από τον μαζικό αριθμό

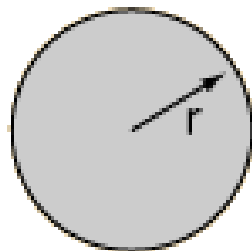


Ατομικές ακτίνες ως συνάρτηση του ατομικού αριθμού



	1A							8A
1	 H	2A	3A	4A	5A	6A	7A	 He
2	 Li	 Be	 B	 C	 N	 O	 F	 Ne
3	 Na	 Mg	 Al	 Si	 P	 S	 Cl	 Ar
4	 K	 Ca	 Ga	 Ge	 As	 Se	 Br	 Kr
5	 Rb	 Sr	 In	 Sn	 Sb	 Te	 I	 Xe
6	 Cs	 Ba	 Tl	 Pb	 Bi	 Po	 At	 Rn

Ενεργός διατομή πυρήνα χρυσού



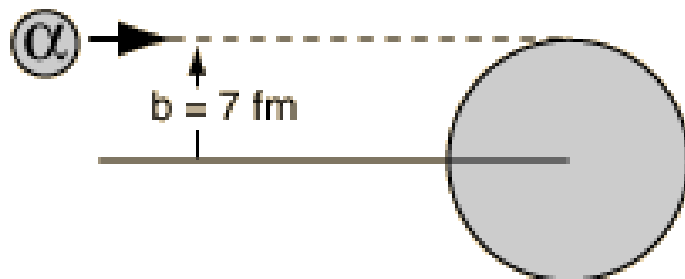
Gold nucleus
 $Z=79$, $A=197$

$$r = 7 \text{ fermi} = 7 \times 10^{-15} \text{ m}$$

$$A = \pi r^2 = 154 \text{ fermi} = 1.54 \times 10^{-28} \text{ m}^2$$

$$A = 1.54 \text{ barns}$$

$$1 \text{ barn} = 10^{-28} \text{ m}^2 = 100 \text{ fm}^2$$



A 6 MeV alpha particle approaching a gold nucleus with an impact parameter equal to the gold nuclear radius of 7 fm would be scattered through an angle of almost 140° . We would say that the cross section for scattering at or greater than 140° is 1.54 barns.

Μονάδες

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

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

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

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

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

$$\alpha = \frac{e^2}{4 \pi \epsilon_0 \hbar c} [mks] = \frac{e^2}{\hbar c} [cgs] = \frac{1}{137}$$

$$\alpha = \text{η σταθερά λεπτής υφής} = 1/137$$

Θα χρησιμοποιούμε παντού:

eV για ενέργεια (ή MeV στην πυρηνική),
 $1/4\pi\epsilon_0 = 1$ σε όλους τους τύπους,
και θα βάζουμε:

$$e^2 = \alpha \hbar c, \text{ όπου } \alpha = 1/137$$

$$\hbar c = 197 \text{ MeV fm}$$

Μετράμε:

Μάζα: MeV/c² (αφού $E = mc^2$)

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

Χρόνος σε: 1/MeV (αφού η μονάδα δράσης = Ενέργεια * Χρόνος = 1)

Μήκος σε: μονάδες χρόνου = 1/MeV (αφού η μονάδα ταχύτητας=1)

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

$$\text{Μάζα ηλεκτρονίου} = 0.511 \text{ MeV}/c^2$$

$$\text{Μάζα πρωτονίου} = 938.3 \text{ MeV}/c^2, \text{ Μάζα νετρονίου} = 939.6 \text{ MeV}/c^2$$

Μερικές απλές ασκήσεις

Πόση ενέργεια πρέπει να έχει ένα ηλεκτρόνιο για να έχει ισοδύναμο μήκος κύματος 1fm;

Πόση ενέργεια πρέπει να έχει ένα νετρόνιο για να έχει ισοδύναμο μήκος κύματος 1fm;

Πόση ενέργεια πρέπει να έχει ένα σωματίο άλφα για να έχει ισοδύναμο μήκος κύματος 1fm;

Ποια η ελάχιστη απόσταση προσέγγισης σε πυρήνα χρυσού ($Z=79$) ενός σωματίου άλφα με ενέργεια 5 MeV;