

Σοιχεία Πυρηνικής Φυσικής και Στοιχειωδών Σωματιδίων (5ου εξαμήνου, χειμερινό 2012-13)

Τμήμα G3: Κ. Κορδάς & Χ. Πετρίδου

Μάθημα 3

α) Ασκήσεις #1 στην τάξη

β) Μέγεθος πυρήνα από “μιονικά” άτομα

γ) Μοντέλο σταγόνας: Ημιεμπειρικός τύπος Weizacker.
Κοιλάδα β-σταθερότητας

Λέκτορας Κώστας Κορδάς
Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Πυρηνική & Στοιχειώδη Ι, Αριστοτέλειο Παν. Θ/νίκης, 15 Οκτωβρίου 2012

Σήμερα

- **Μέγεθος πυρήνα - εκτίμηση από “μιονικά άτομα”**
 - Βιβλίο C&G, Κεφ. 4, παρ. 4.2
 - Σημειώσεις Πυρηνικής, Κεφ. 3, παρ 3.2, 3.3
- **Ημιεμπειρικός τύπος μάζας πυρήνων και κοιλάδα β-σταθερότητας**
 - Βιβλίο C&G, Κεφ. 4, παρ. 4.5-4.7.
 - Σημειώσεις Πυρηνικής, Κεφ. 3, παρ 3.2, 3.3
- **Ενέργεια σύνδεσης πυρήνων και “Q-values” από α-διάσπαση και σχάση**
 - Υπολογισμός από ημιεμπειρικό τύπο
 - Σύγκριση με πειραματικές τιμές για α-διάσπαση
 - Βιβλίο C&G, Κεφ. 4, παρ. 4.8 & Κεφ. 6, παρ. 6.1
- **Ιστοσελίδα:** <http://www.physics.auth.gr/course/show/125>

Μέγεθος πυρήνα

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

- Ίδια πυκνότητα για όλους τους πυρήνες

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

(“πυρηνική πυκνότητα”)

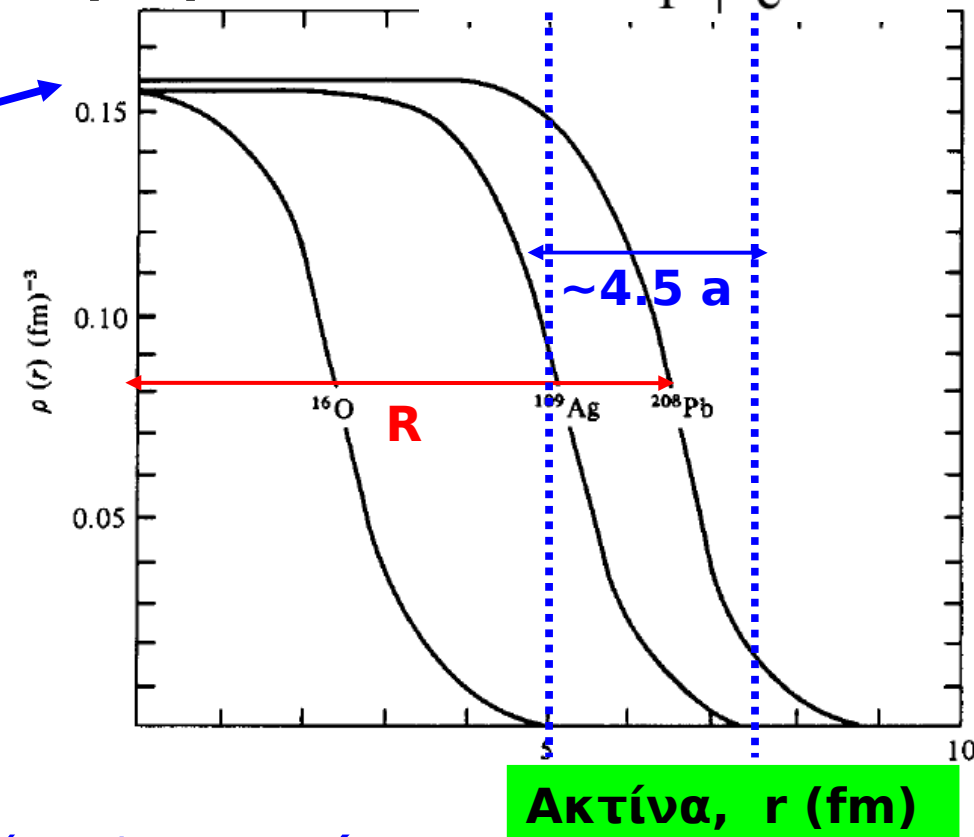
- Αφού η πυκνότητα είναι σταθερή ($\rho = A/V = \text{constant}$) σημαίνει ότι όσον αφορά στο μέγεθος, ο πυρήνας

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

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

$$\rightarrow R = R_0 * A^{1/3} \rightarrow$$

$$R = 1.1 \text{ fm} * A^{1/3}$$

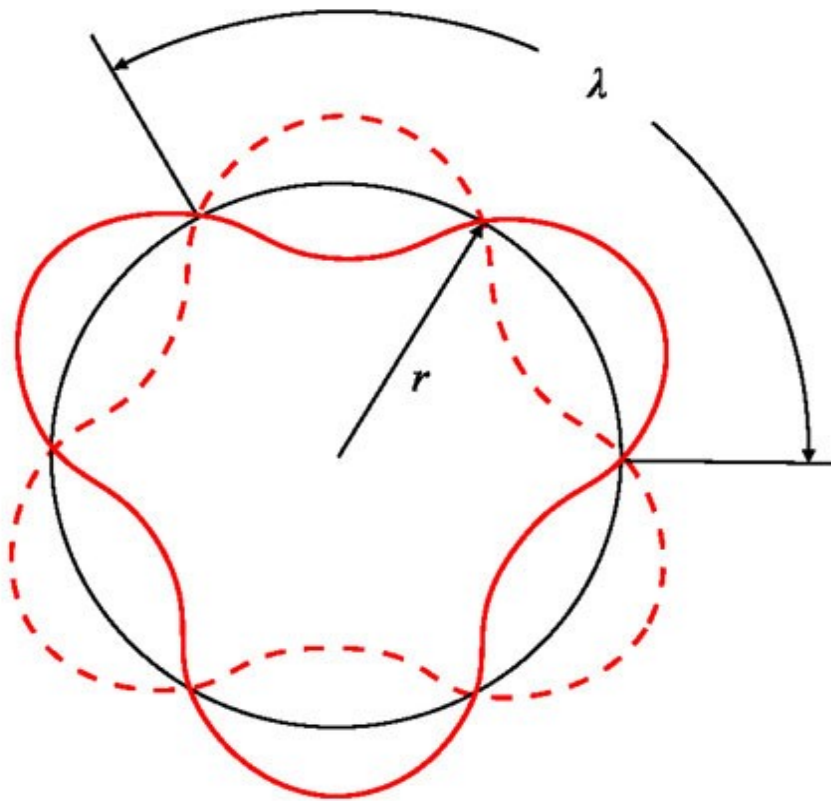


Μιονικά (“μεσονικά”, “εξωτικά”) άτομα και μέγεθος πυρήνα

- Αν αντί για κάποιο ηλεκτρόνιο, έχουμε ένα μιονίο σε κάποια “ατομική τροχιά”, τότε
 - το μιονίο είναι πολύ κοντά (σημαντικό χρόνο “μέσα”) στον πυρήνα, και αισθάνεται τις λεπτομέρειες της κατανομής φορτίου του πυρήνα
 - οι ενεργειακές του στάθμες επηρεάζονται από την κατανομή φορτίου του πυρήνα
 - οι ακτίνες X που ακτινοβολούνται από αποδιεγέρσεις ατομικών μιονίων συμφωνούν με κατανομή φορτίου σαν της προηγούμενης σελίδας
- Σημείωση: Το μιονίο (μ) αρχικά είχε ονομαστεί “μ μεσόνιο”, ενώ αργότερα έγινε αντιληπτό ότι δεν έχει καμία σχέση με μεσόνιο, όπως θα δείτε στα Στοιχειώδη Σωματίδια

Μιονικά άτομα και μέγεθος πυρήνα

- Αν αντί για κάποιο ηλεκτρόνιο, έχουμε ένα μίονιο σε κάποια “ατομική τροχιά”, τότε



$$2\pi r = n\lambda = n\frac{h}{p}$$

$$\Rightarrow rp = n\frac{h}{2\pi} = n\hbar$$

$$\Rightarrow \ell = n\hbar$$

ΣΧΗΜΑ 2.8: Η συνθήκη κβάντωσης του *Bohr* ως συνέπεια της κυματικής φύσης των ηλεκτρονίων. Η (νοητή) περιφέρεια κατά μήκος της οποίας σχηματίζεται το ηλεκτρονιακό στάσιμο κύμα πρέπει να είναι ακέραιο πολλαπλάσιο του μήκους κύματος de Broglie.

“Μιονικά” άτομα – ακτίνα Bohr μιονίου

$$\text{Στροφορμή} = \{ \vec{r} \times \{ \vec{p} \} = m u r = n \hbar \}$$

$$F = m \frac{u^2}{r} = \frac{Z e^2}{r^2}$$

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

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

$$\text{Σταθερά λεπτής συφής } a = \frac{e^2}{\hbar / m c} = \frac{1}{137} \rightarrow e^2 = a * \hbar c$$

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

$$m c^2 = 105 \text{ MeV}$$

$$r = \frac{257 \text{ fm}}{Z} n^2$$

$$r \approx 5 \text{ fm (for } Z=50) \\ \sim \text{μέσα στον πυρήνα!}$$

Ενεργειακές στάθμες αν ο πυρήνας ήταν σημειακός, και το σωματίο m μόνο του:

$$E = \frac{1}{2} m u^2 - \frac{Z e^2}{r} = -\frac{1}{2} \frac{Z e^2}{r} = -Z^2 \left(\frac{1}{2} a^2 m c^2 \right) \frac{1}{n^2}$$

Ενέργειες μεταπτώσεων δεκάδων MeV

For n=1, m=0.511 MeV:

$$E = -13.6 \text{ eV for } Z=1$$

$$E = -34 \text{ keV for } Z=50$$

For n=1, m=105 MeV:

$$E = 2.8 \text{ keV for } Z=1$$

$$E = 7 \text{ MeV for } Z=50$$

Σχετικιστική κινηματική

Σχετικιστική κινηματική:

$E = mc^2$ = η ενέργεια που έχω επειδή απλά και μόνο έχω μάζα m
 c = ταχύτητα του φωτός

ενέργεια μάζα

Η μάζα είναι μια μορφή ενέργειας



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

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

$$p = \gamma mv = \gamma \beta mc, \text{ όπου } p = \text{ορμή}$$

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

Σημείωση: με $c = 1$, γράφουμε: $E^2 = p^2 + m^2$, 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 ($= 10^6 \text{ eV}$)

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

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

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

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

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/c^2 (αφού $E = mc^2$)

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

Χρόνος σε: $1/\text{MeV}$ (αφού η μονάδα δράσης = Ενέργεια * Χρόνος = 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 ηλεκτρονίου = $0.511 \text{ MeV}/c^2$

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