

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

Τμήμα G3: Κ. Κορδάς & Χ. Πετρίδου

Μάθημα 3

- α) QUIZ στην τάξη. Μέγεθος πυρήνα από “μιονικά” άτομα
- β) Μοντέλο σταγόνας: Ημιεμπειρικός τύπος Weitzacker
- γ) Κοιλάδα β-σταθερότητας

Λέκτορας Κώστας Κορδάς
Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

QUIZ - G3:21/10/2011

- Γίνονται αυθόρμητα οι παρακάτω αντιδράσεις;



μάζα νετρονίου $939.6 \text{ MeV}/c^2$

μάζα πρωτονίου $938.3 \text{ MeV}/c^2$

Table 4.2. *Energies of some light nuclei*

Nucleus	Binding energy (MeV)	Binding energy of last nucleon (MeV)	Binding energy of nucleon (MeV)
${}^2_1\text{H}$	2.22	2.2	1.1
${}^3_2\text{H}$	8.48	6.3	2.8
${}^4_2\text{He}$	28.30	19.8	7.1
${}^5_2\text{He}$	27.34	-1.0	5.5
${}^6_3\text{Li}$	31.99	4.7	5.3
${}^7_3\text{Li}$	39.25	7.3	5.6
${}^8_4\text{Be}$	56.50	17.3	7.1
${}^9_4\text{Be}$	58.16	1.7	6.5
${}^{10}_5\text{B}$	64.75	6.6	6.5
${}^{11}_5\text{B}$	76.21	11.5	6.9
${}^{12}_6\text{C}$	92.16	16.0	7.7
${}^{13}_6\text{C}$	97.11	5.0	7.5
${}^{14}_7\text{N}$	104.66	7.6	7.5
${}^{15}_7\text{N}$	115.49	10.8	7.7
${}^{16}_8\text{O}$	127.62	12.1	8.0
${}^{17}_8\text{O}$	131.76	4.1	7.8

QUIZ – G3:21/10/2011 - Λύση

- Γίνονται αυθόρμητα οι παρακάτω αντιδράσεις;



- **Ενέργεια πριν = Ενέργεια μετά**

- Η ενέργεια πριν είναι όση η μάζα των αρχικών πυρήνων.
- Αυτή η ενέργεια χρησιμοποιείται για να φτιαχτούν τα προϊόντα, και η υπόλοιπη ελευθερώνεται ως κινητική ενέργεια (Q) που τη μοιράζονται τα προϊόντα

$$\Sigma M(\text{αρχικά}) = \Sigma M(\text{τελικά}) + Q$$

- αν $Q > 0$ (εξωθερμική), η διάσπαση γίνεται μόνη της και δίνει και ενέργεια
- Αν $Q < 0$ (ενδοθερμική), η διάσπαση ΔΕΝ γίνεται μόνη της, αλλά χρειάζεται να της προσφέρουμε ενέργεια για να γίνει

- **Μπυρήνα = Σm (ελεύθερα νουκλεόνια) - $B(N,Z)$**

$$\left. \begin{aligned} M({}^4\text{He}) + n &= [2 m_p + 2 m_n - BE({}^4\text{He})] + m_n \\ M({}^5\text{He}) &= 2 m_p + 3 m_n - BE({}^5\text{He}) \end{aligned} \right\}$$

$$\left. \begin{aligned} \text{a) } Q &= -1 \text{ MeV} \\ \text{b) } Q &= +1 \text{ MeV} \end{aligned} \right\}$$

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

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

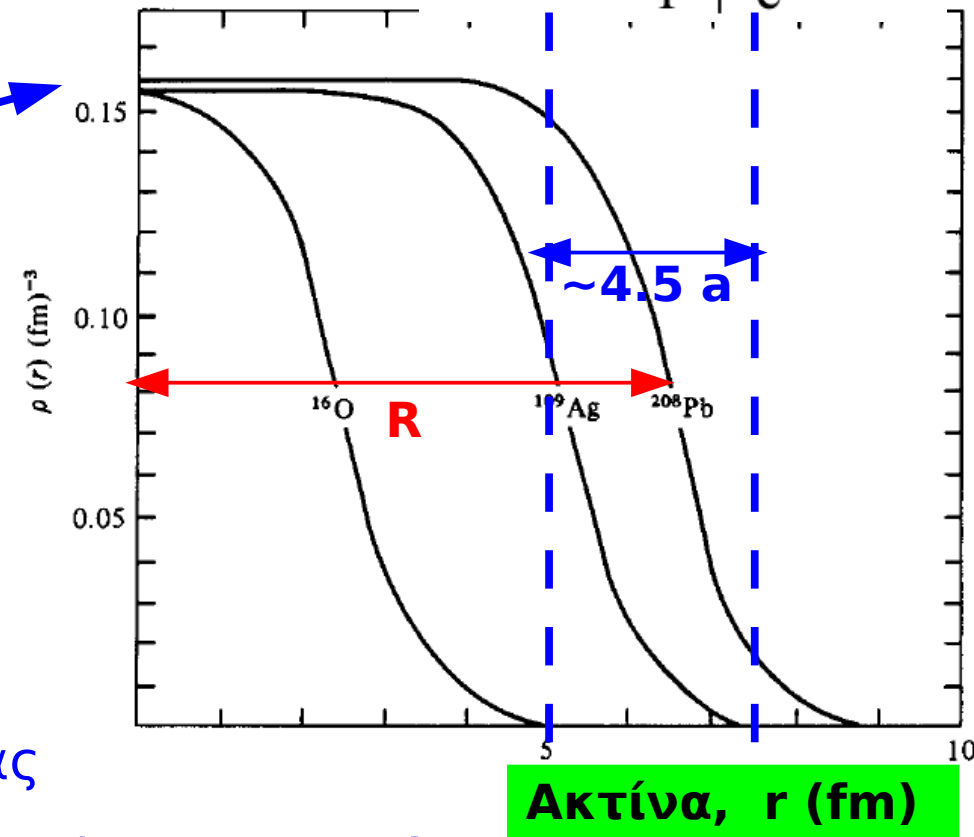
(“πυρηνική πυκνότητα”)

- 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:

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

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

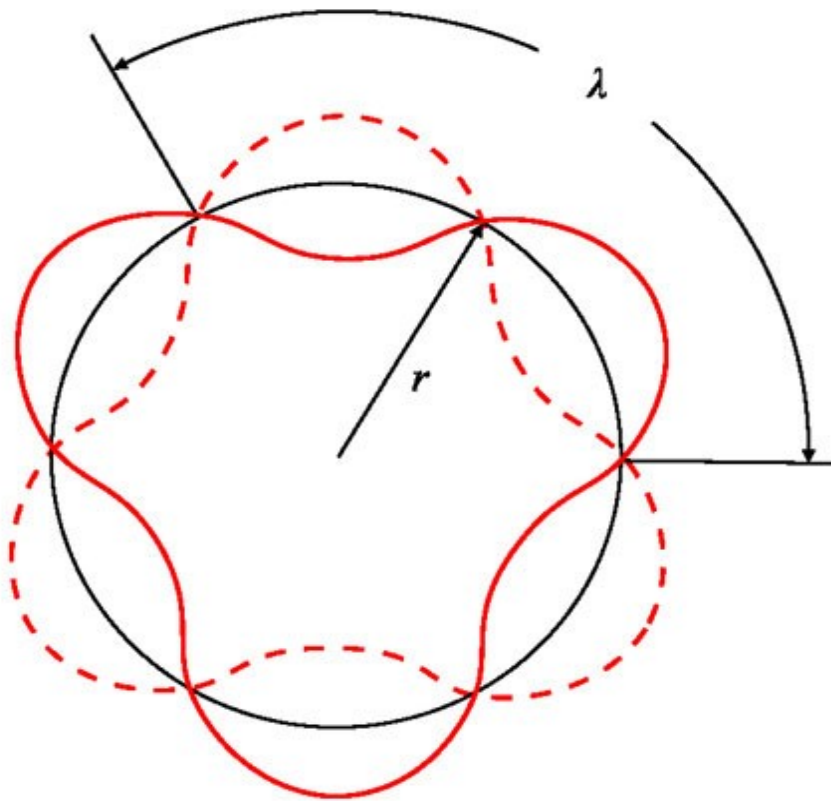


Μιονικά (“μεσονικά”) άτομα και μέγεθος πυρήνα

- 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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

For $n=1$, $m=0.511 \text{ MeV}$:

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

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

For $n=1$, $m=105 \text{ MeV}$:

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

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

Ενέργειες μεταπτώσεων δεκάδων MeV →

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 $\epsilon = 1$, έχουμε $\epsilon: E^2 = p^2 + m^2$, 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 ($= 10^6 \text{ eV}$)

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

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

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

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 .