

# ΣΧΟΛΗ ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΩΝ ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΩΝ

## ΚΑΙ ΦΥΣΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ

### ΜΑΘΗΜΑ: ΠΥΡΗΝΙΚΗ ΦΥΣΙΚΗ & ΣΤΟΙΧΕΙΩΔΗ ΣΩΜΑΤΙΔΙΑ

7<sup>ο</sup> Εξάμηνο

4<sup>ο</sup> Σύνολο Ασκήσεων Πυρηνικής Φυσικής Κ.ΠΑΠΑΔΟΠΟΥΛΟΣ

#### A. ΛΥΜΕΝΕΣ ΑΣΚΗΣΕΙΣ

1. Να αναβείγεται τον ωκο 7.2 για βιβλίου τους

ΛΥΣΗ

Συνθετικός:

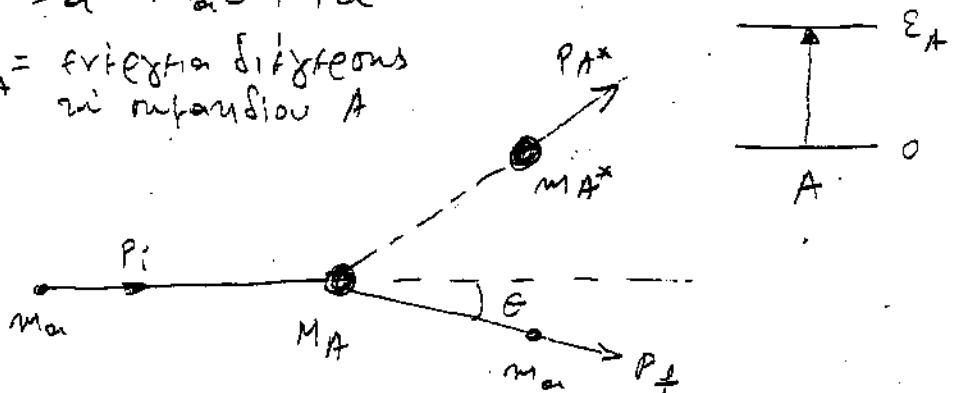
$E_A = \text{οδική ενέργεια συμπαραδίου}$  &

$T_A = \text{εινησική ενέργεια} \Rightarrow \alpha$

$m_{\alpha} = \text{μέρισμα} \Rightarrow$

$$E_A = m_{\alpha} c^2 + T_A$$

$E_A = \text{ενέργεια διάγραμμας}$   
της συμπαραδίου A



2) Διατίπυρη φρέργεια:

$$E_{\alpha i} + E_A = E_{\alpha f} + E_A^*$$

$$(m_{\alpha} c^2 + T_{\alpha i}) + m_A c^2 = (m_{\alpha} c^2 + T_{\alpha f}) + (m_A^* c^2 + T_A^*)$$

$$\text{απότι} \quad m_A^* c^2 = m_A c^2 + E_A$$

Άρα  $\boxed{E_A = T_{\alpha i} - T_{\alpha f} - T_A^*}$

Παρ.  $T_{\alpha i} \ll m_{\alpha} c^2 \quad T_{\alpha i} = P_{\alpha i}^2 / 2m_{\alpha}$

$$E_A = \frac{P_{\alpha i}^2}{2m_{\alpha}} - \frac{P_{\alpha f}^2}{2m_{\alpha}} - \frac{P_A^2}{2m_A^*}$$

b) Διδιμονούσιο σύστημα

$$\vec{P}_{\text{ai}} = \vec{P}_{\alpha f} + \vec{P}_{A^*} \Rightarrow \vec{P}_{A^*} = \vec{P}_{\text{ai}} - \vec{P}_{\alpha f}$$

$$P_{A^*}^2 = P_{\text{ai}}^2 + P_{\alpha f}^2 - 2 P_{\text{ai}} P_{\alpha f} \cos \vartheta$$

Εποφένωση

$$\boxed{\varepsilon_A = \frac{P_{\text{ai}}^2}{2M_\alpha} - \frac{P_{\alpha f}^2}{2M_{\alpha^*}} - \frac{(P_{\text{ai}}^2 + P_{\alpha f}^2 - 2P_{\text{ai}} P_{\alpha f} \cos \vartheta)}{2M_{A^*}}}$$

Έγινων 7.1 ως λιβάδιον σας

$$\varepsilon_A = \frac{P_{\text{ai}}^2}{2M_\alpha} \left(1 - \frac{m_\alpha}{m_{A^*}}\right) - \frac{P_{\alpha f}^2}{2M_{\alpha^*}} \left(1 + \frac{m_\alpha}{M_{A^*}}\right) + \frac{P_{\text{ai}} P_{\alpha f}}{m_{A^*}} \cos \vartheta$$

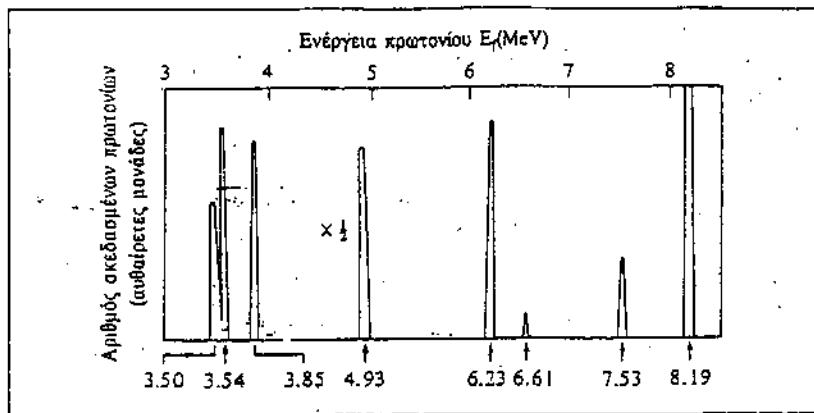
$$\text{ΔΙΚΤΥΩΣΗ: } \frac{P_{\text{ai}}}{2M_\alpha} = T_\alpha \text{ και } P_{\alpha f} = \sqrt{2M_{\alpha^*} T_\alpha}$$

$$\boxed{\varepsilon_A = T_\alpha \left(1 - \frac{m_\alpha}{M_{A^*}}\right) - T_{\alpha f} \left(1 + \frac{m_\alpha}{M_{A^*}}\right) + \frac{2M_\alpha}{m_{A^*}} \sqrt{T_\alpha T_{\alpha f}} \cos \vartheta}$$

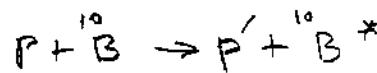
Έγινων 7.2 ως λιβάδιον σας

2.

- 7.1 Από τα δεδομένα που δίνονται στο Σχ. 7.2 κατασκευάστε ένα διάγραμμα ενεργειακών σταθμών για τον πυρήνα  ${}^{10}\text{B}$ .

ΛΥΣΗ

Σχήμα 7.2



$$E_p = 10.02 \text{ MeV}$$

$$\theta = 90^\circ$$

Από την Ε. 7.2  $\theta = 0$  ούτε

$$\epsilon_A^{(k)} = T_{pi} \left( 1 - \frac{m_p}{m_A^*} \right) - T_{p'f}^{(k)} \left( 1 + \frac{m_p}{m_A^*} \right)$$

Ούτε  $\epsilon_A^{(k)} = \delta$  για φυσικό υαλοπάγτη  $A$ ,  $A = {}^{10}\text{B}$

$$T_{pi} = 10.02 \text{ MeV}$$

$$m_p c^2 = 1.007825 \text{ u} \quad u = 931.49 \text{ MeV}$$

$$m_{Ac}^2 = 10.012937 \text{ u} = 9326.95 \text{ MeV}$$

$$m_{A^*c}^2 = m_{Ac}^2 + \epsilon_A$$

$$\epsilon_A \sim 5 \text{ MeV} \ll m_{Ac}^2 = 9327 \text{ MeV} \Rightarrow m_{A^*c}^2 = m_{Ac}^2$$

$$1 - \frac{m_p c^2}{m_{A^*c}^2} \approx 1 - \frac{1.007825 \text{ u}}{10.012937 \text{ u}} = 0.8997$$

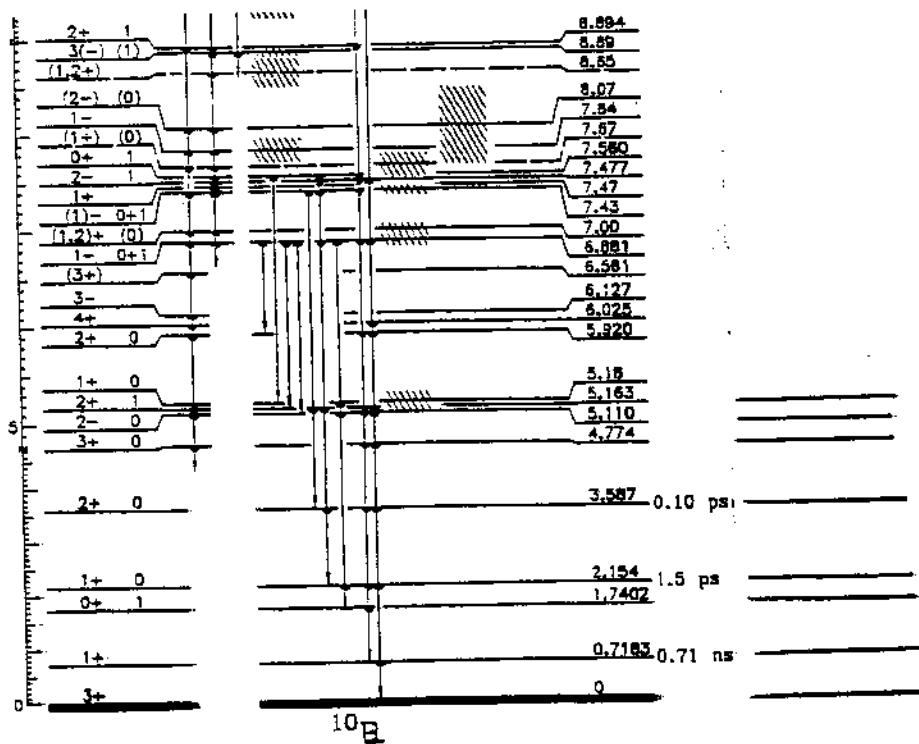
$$1 + \frac{m_p c^2}{m_{A^*c}^2} \approx 1 + \frac{1.007825 \text{ u}}{10.012937 \text{ u}} = 1.1003$$

$$\epsilon_A^{(1a)} = 10.02 \text{ MeV} \times 0.8997 - 1.1003 \cdot T_{p'f}^{(k)} \text{ (MeV)}$$

$$\boxed{\epsilon_A^{(k)} = (9.0150 - 1.1003 \cdot T_{p'f}^{(k)}) \text{ (MeV)}}$$

$$\begin{aligned}\epsilon_A^{(0)} &= 9.0150 - 1.1003 \times 8.19 = 9.0150 - 9.011 = 0.00 \text{ (0.00)} \\ \epsilon_A^{(1)} &= \text{--} - \text{--} \times 7.53 = 9.015 - 8.285 = 0.73 \text{ (0.72)} \\ \epsilon_A^{(2)} &= \text{--} - \text{--} \times 6.61 = 9.015 - 7.273 = 1.74 \text{ (1.74)} \\ \epsilon_A^{(3)} &= \text{--} - \text{--} \times 6.23 = 9.015 - 6.855 = 2.16 \text{ (2.15)} \\ \epsilon_A^{(4)} &= \text{--} - \text{--} \times 4.93 = 9.015 - 5.424 = 3.59 \text{ (3.59)} \\ \epsilon_A^{(5)} &= \text{--} - \text{--} \times 3.85 = 9.015 - 4.236 = 4.78 \text{ (4.77)} \\ \epsilon_A^{(6)} &= \text{--} - \text{--} \times 3.54 = 9.015 - 3.895 = 5.12 \text{ (5.11)} \\ \epsilon_A^{(7)} &= \text{--} - \text{--} \times 3.50 = 9.015 - 3.85 = 5.16 \text{ (5.16)}\end{aligned}$$

Oi της την διεγέρηση κατατάθηκε την Β ημέρα  
στη Μεν οι αποτελέσματα στην ωραία περίοδο είναι οι  
ακόλουθες ωφελημένες της από βιβλιογραφία



3.

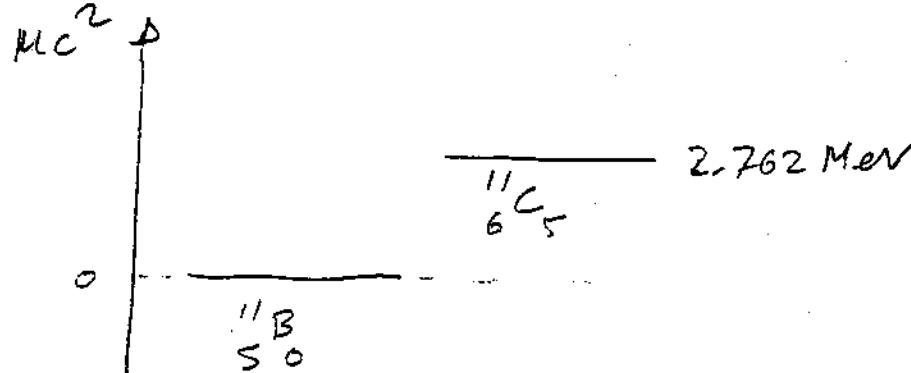
7.4 Οι ενέργειες σύνδεσης των κατοπτρικών πυρήνων  $^{11}_5 B$  και  $^{11}_6 C$  είναι

76.205 MeV και 73.443 MeV αντίστοιχα. Θεωρώντας ότι η διαφορά οφείλεται ολόκληρη σε φαινόμενα Coulomb και ότι το φορτίο του πρωτονίου είναι ομοιόμορφα κατανεμημένο σε μια σφαίρα ακτίνας  $R_C$  και στους δύο πυρήνες, βρείτε το  $R_C$ . Αυτός ήταν ένας παλαιός τρόπος εκτίμησης του μεγέθους του πυρήνα. Συγχρίνετε το  $R_C$  με την τιμή  $R=1.1 A^{1/3}$  fm και σχολιάστε.

ΛΥΣΗ

Ο πυρήνας  $^{11}_5 B$  είναι τοίχος της ωρίνας  $^{11}_6 C$  κατά

$$\Delta B = (76.205 - 73.443) \text{ MeV} = 2.762 \text{ MeV}$$



Εσω στη διαφορά αυτή οφείλεται διά περισσότερων ωρινών πον fύση δια τε

$$\begin{aligned}
 & \stackrel{(1.6)}{\Delta B} = \Delta V_C = \frac{3}{5} \frac{(2e)^2}{4\pi\epsilon_0 R_C} - \frac{3}{5} \frac{(2-1)^2 e^2}{4\pi\epsilon_0 R_C} = \frac{3}{5} \left( \frac{e^2}{4\pi\epsilon_0} \right) \frac{2^2 - (2-1)^2}{R_C} = \\
 & = \frac{3}{5} \left( \frac{e^2}{4\pi\epsilon_0} \right) \frac{(2Z-1)}{R_C} \Rightarrow \boxed{R_C = \frac{3}{5} \left( \frac{e^2}{4\pi\epsilon_0} \right) \frac{(2Z-1)}{\Delta B}}
 \end{aligned}$$

$$R_C = \frac{3 \times 1.44 \text{ MeV fm} \times 11}{5 \times 2.762 \text{ MeV}} = 3.44 \text{ fm}$$

$$R_C = V_C A^{1/3} \Rightarrow V_C = R_C / A^{1/3} = 3.44 \text{ fm} / 11^{1/3} = \frac{3.44}{7.22} = 1.5 \text{ fm}$$

$$\text{Αφού } R_C = 1.5 A^{1/3} \text{ με } R = 1.1 A^{1/3}$$

Η προσέγγιση ομοιότητας κατανοήσις γραπτώς σινεταρκής  
του αξιού ότι η σφαιρική πυρήνες.

4.

- 7.5 Η διεγερμένη κατάσταση  $^{17}\text{O}^*$  στα 4.56 MeV (Σχ.7.3) έχει μέσο χρόνο ζωής μόνο  $1.6 \times 10^{-20}$  s. Πώς μπορεί να είναι τόσο μικρός; Εκτιμήστε το πλάτος Γ της κατάστασης.

### ΛΥΣΗ

- d) Γιατί τη διεγέρηση κατάστασης της  $^{17}\text{O}^*$  στα 4.56 MeV τη "κανονική" της γερανιού είναι "ένοικη"



Εποκίνωνται κατάσταση αυτή οι διεγέρηση ή κύρια μέσω της 10χρονης ωμηνικής αγγιγνωσκής μη ικανή γερανιού και όχι μέσω H-M αγγιγνωσκής.  
(ως ναι αυτή παρείπεται) ωρός διεγέρησης κατάστασης μικρότερος από για τη  $^{12}\text{O}$ .

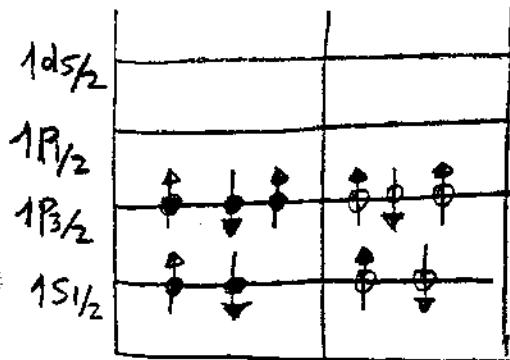
$$\text{Άρα } \Gamma = \Gamma_\gamma + \Gamma_n \approx \Gamma_n \quad \text{και } \Gamma = \frac{\hbar}{T}$$

$$6) \quad \Gamma = \frac{\hbar}{T} = \frac{\hbar C}{T C} = \frac{197.32 \text{ MeV fm}}{1.6 \cdot 10^{-20} \text{ s} \times 3 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}} \times 10^{15} \frac{\text{fm}}{\text{m}}} = \\ = \frac{197.32}{1.6 \times 3 \times 10^3} \text{ MeV} = 41.1 \cdot 10^{-3} \text{ MeV} = 41 \text{ keV}$$

5.

- 7.7 Θεωρείστε τις ενεργειακές στάθμες του  $^{10}_5 B$  (Πρόβλημα 7.1). Η θεμελιώδης κατάσταση έχει σπιν και ομοτιμία  $3^+$ , ενώ οι διεγερμένες κατάστασης σε αύξουσα τάξη ενέργειας διέγερσης έχουν  $1^+, 0^+, 1^-, 2^+, 3^-, 2^-, 2^+, \dots$ . Υπάρχει κάποια εξήγηση στα πλαίσια του προτύπου φλοιών γιατί οι χαμηλότερες καταστάσεις έχουν διλεξθεί θετική ομοτιμία; Η πρώτη διεγερμένη ενεργειακή στάθμη είναι στα  $0.72 \text{ MeV}$  και η δεύτερη στα  $1.74 \text{ MeV}$ . Δεδομένου ότι έχουμε ένα μεγάλο αριθμό πυρήνων στη δεύτερη διεγερμένη κατάσταση, τι ενέργειες έχουν οι  $\gamma$ -ακτίνες που προκαλούνται; Εκτιμήστε τον σχετικό πληθυσμό αυτών των  $\gamma$ -ακτίνων.

### ΛΥΣΗ



a) Το ανύγειντο  $p$  στη κατάσταση  $1P_{3/2} \rightarrow j_p = 3/2^-$   
 $\gg n \gg \rightarrow j_n = 3/2^-$   
 $j = j_p + j_n \quad |3/2 - 3/2| \leq j \leq |3/2 + 3/2|$   
 $0 \leq j \leq 3$

$P_{10}^{10} B_{55} \quad n \quad \text{Αφού } j = 0, 1, 2, 3$

Ομοιαρία  $(-1)^l (-1)^e = (-1)^1 (-1)^1 = +1$

Θετικότητας κατάστασης  $\frac{3}{2} \uparrow \frac{3}{2} \downarrow \leftrightarrow 3^+$

- Οι διεγερμένες καταστάσεις θα αντιστοιχεύν

1. Σε αρχικούς φρεσκαναζόμενούς των γιαν τούς ανυγεινείται  $p$  ή  $n$

2.  $\gg \gg \gg$  των απογυγμένων  $\gg$

3. Σε διεγερση νουντερνίων στο φύοιο  $1P_{1/2}$

Σε όλες τις περιπτώσεις η ομοιαρία θα είναι

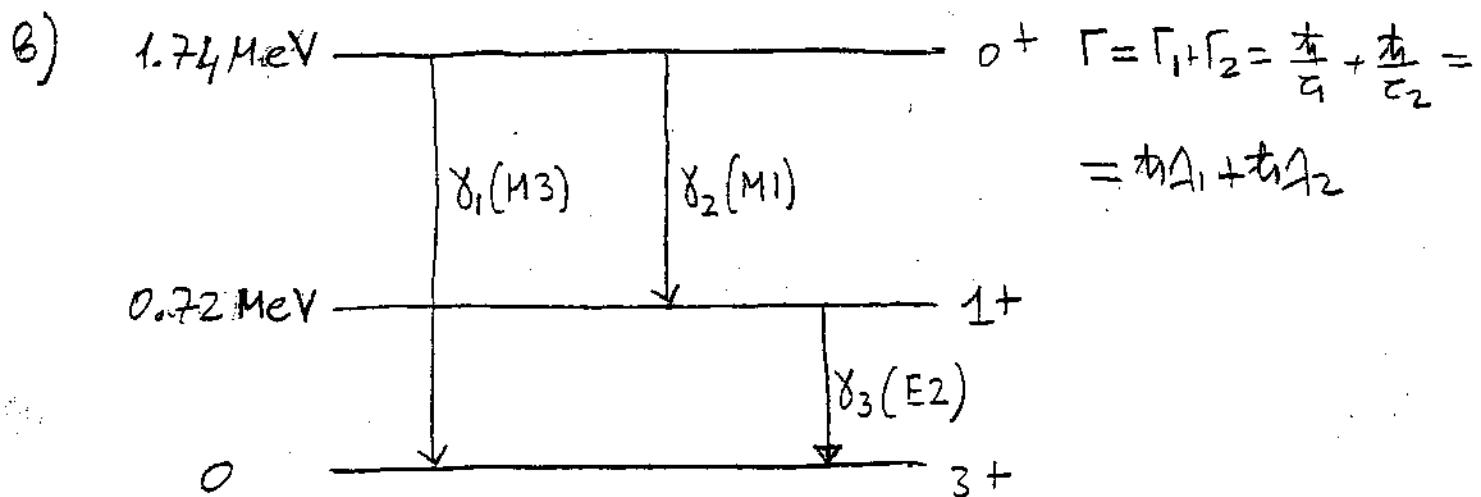
$$\prod = \prod_{i=1}^6 (-1)^{l_i} = (-1)^{\sum_{i=1}^6 l_i} = (-1)^{\sum_{i=1}^6 1} = (-1)^6 = +1 \quad (\text{Θετική})$$

(Η τροχιά  $P \rightarrow e = \pm 1$ )

- Εποκένως οι χαμηλότερες ενέργειατές καταστάσεις μωρούν να θεωρηθούν οι ωρούρχονται σιδήρους των τούς ανόνυμοις καταστάσεων από τις συμβατικίων

- Καταστάσεις με αρνητική ομοιότητα Θα είχαμε ήδη αυτές τις  
 νουντσούντες από τόν ρητό  $P_{3/2}$  θρησκευτικές στις προχιλίες  
 $1 \otimes p/2$  ( $d \rightarrow l=2$ ) οποτε η ομοιότητα θα ήταν  
 $\pi = (-1)^2 (-1)^5 = (+1)(-1) = -1$

$$\Gamma = t_1/c = t_2/c$$



Η στάθμη  $1.74 \text{ MeV}$  διασφαλίζει:

$$1. E_{\gamma_1} = (1.74 - 0) \text{ MeV} = 1.74 \text{ MeV}$$

Επιτρεπτές τιμές στρεγμούς  $j$  φωτονίου

$$|0-3| \leq j \leq |0+3| \rightarrow j = 3$$

Διατίθεται η ίδια ομοιότητα  $\pi_1 \times \pi(\text{φωτονίου}) = \pi_2$

$$j=3 \rightarrow E_3 \rightarrow (+1)(-1)^3 = (-) \neq (+) \text{ οχι αποδεκτού}$$

$$\rightarrow M3 \rightarrow (+1)(-1)^{3+1} = (+) = (+) \text{ αποδεκτού}$$

Αρχικά η αντίδραση  $\gamma_1$  έχει ενέργεια  $E = 1.74 \text{ MeV}$  και

χαρακτηρίζεται  $M3$  (Μαγνητική οκταπολική)  $\rightarrow 2^j$

$$2. E_{\gamma_2} = (1.74 - 0.72) \text{ MeV} = 1.02 \text{ MeV}$$

$$|0-1| \leq j \leq |0+1| \rightarrow j = 1 \xrightarrow{\text{M1}} (+1)(-1)^{1+1} = (+) = (+) \text{ Αποδεκτού}$$

Αρχικά η αντίδραση  $\gamma_2$  έχει ενέργεια  $E = 1.02 \text{ MeV}$  και

το χαρακτηριστικό  $M1$  (Μαγνητική διωδική)

$$\Gamma = \Gamma_1 + \Gamma_2 = \frac{\tau_1}{\tau_1} / \tau_1 + \frac{\tau_2}{\tau_2} / \tau_2 = \frac{1}{\tau_1} \gamma_1 + \frac{1}{\tau_2} \gamma_2$$

N: Αριθμός διεγέρθεννων αριθμών στη κατάσταση με  $E=1.74 \text{ MeV}$  το εκπόνησε.

$N_1: \rightarrow$  αυτήν την  $\gamma_1 (E_\gamma = 1.02 \text{ MeV})$  ως την πιο εκπληκτική  $\rightarrow$

$N_2: \rightarrow \rightarrow \gamma_2 (E_\gamma = 1.74 \text{ MeV}) \rightarrow \rightarrow$

$$\left. \begin{aligned} \frac{dN_1}{dt} &= \gamma_1 N \\ \frac{dN_2}{dt} &= \gamma_2 N \end{aligned} \right\} \Rightarrow \frac{N_1}{N_2} = \frac{\gamma_1}{\gamma_2} = \frac{\tau_2}{\tau_1} = \frac{\text{TE1}(E_\gamma = 1.02 \text{ MeV})}{\text{TE3}(E_\gamma = 1.74 \text{ MeV})}$$

$$\text{Άριθμός } \text{TMj} \sim 20 A^{2/3} \times \left( \frac{100}{A} \right)^{2/3} \text{ TEj} \quad \left( \begin{array}{l} \text{κύταρε σχίψη 7.6 του} \\ \text{βιβλίου του} \end{array} \right)$$

$$\begin{aligned} \frac{N_1}{N_2} &= \frac{\text{TE1}(E_\gamma = 1.02)}{\text{TE3}(E_\gamma = 1.74)} = \frac{20 A^{2/3} \left( \frac{100}{A} \right)^{2/3}}{20 A^{2/3} \left( \frac{100}{A} \right)^{2/3}} \frac{\text{TE1}(E_\gamma = 1.02)}{\text{TE3}(E_\gamma = 1.74)} = \\ &= \frac{1}{\left( \frac{100}{A} \right)^{4/3}} \cdot \frac{\text{TE1}(E_\gamma = 1.02)}{\text{TE3}(E_\gamma = 1.74)} = 4.6 \cdot 10^{-2} \frac{\text{TE1}(E_\gamma = 1.02)}{\text{TE3}(E_\gamma = 1.74)} \quad (A = 10) \end{aligned}$$

Άπο Σχίψη 7.6 λεπτούρησε σε

$$\begin{aligned} \text{TE1}(E_\gamma = 1.02) &\sim 5 \cdot 10^{-16} \text{ s} & \text{και } \text{TE3}(E_\gamma = 1.74) &\sim 5 \cdot 10^{-8} \text{ s} \\ [\text{TM1}(E_\gamma = 1.02)] &\sim 2 \cdot 10^{-13} \text{ s} & [\text{TM3}(E_\gamma = 1.74)] &\sim 5 \cdot 10^{-4} \text{ s} \end{aligned}$$

$$\text{και } \frac{N_1}{N_2} \sim 4.6 \cdot 10^{-2} \frac{5 \cdot 10^{-16} \text{ s}}{5 \cdot 10^{-8} \text{ s}} = 4.6 \cdot 10^{-10} \quad \text{Άπο } \boxed{\frac{N_1}{N_2} \sim 5 \cdot 10^{-10}}$$

Η σταθμην 0.72 MeV διαστάση με

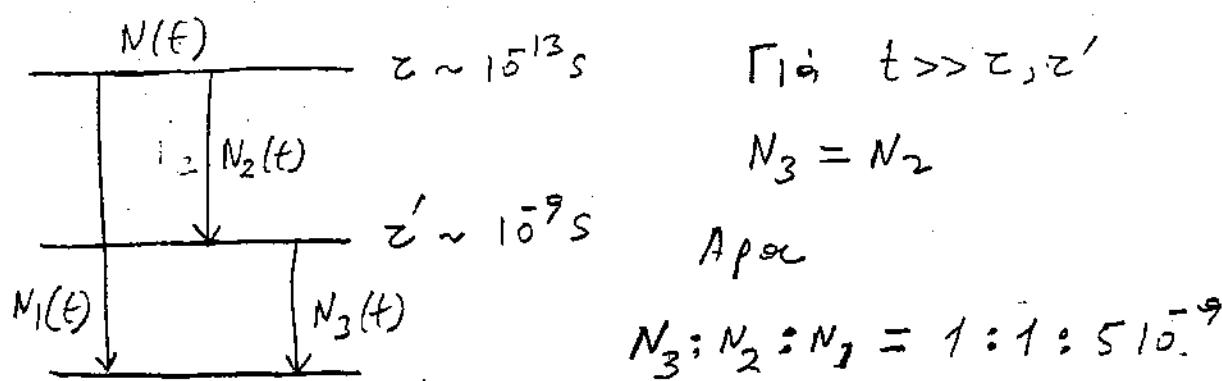
$$E_{\gamma_3} = (0.72 - \sigma) \text{ MeV} = 0.72 \text{ MeV}$$

$$|1-3| \leq j \leq |1+3| \rightarrow j = 2, 3, 4$$

Για  $E_2 \rightarrow (+1)(-1)^2 = (+1) = (+1)$  Αποδεκτή σιδερική

Άπο επιτρεπτή πολύπολη  $E_2, M_3, E_4$  με κυριαρχία  $E_2$ .

$$\text{TE2}(E_\gamma = 0.72) \sim 2 \cdot 10^{-9} \text{ s}$$



### Παραγράφος

$$1. \quad T(M3) \sim 5 \cdot 10^{-4} \text{ s} \quad \left\{ \begin{array}{l} \Rightarrow T(M3) \gg T(M1) \text{ if } \Delta(M3) \ll \Delta(M1) \\ T(M1) \sim 2 \cdot 10^{-13} \text{ s} \end{array} \right.$$

Σημείωση: Η ανοδική γένηση των M3 μολύβδου αρχίζει από την M1 και δικυρρείνει τα ρυθμοί διάταξης Δ(M3) πολύ πιο μεγάλος από Δ(M1)

Τέλος η διάταξη των γηράτων είναι πλήρως καταπολεμηθείσης.

Γενικώς οι ρυθμοί μετάστασης βελτιώνονται ουσιαστικά και σημαντικά με την άνταξη των γηράτων.

$$2. \quad -\frac{dN}{dt} = \frac{dN_1}{dt} + \frac{dN_2}{dt} = \Delta_1 N + \Delta_2 N = (\Delta_1 + \Delta_2) N = \Delta N \Rightarrow N = N_0 e^{-\Delta t}$$

$$\frac{dN_1}{dt} = \Delta_1 N = \Delta_1 N_0 e^{-\Delta t} \Rightarrow N_1(t) = N_0 \Delta_1 / \Delta (1 - e^{-\Delta t})$$

$$\frac{dN_2}{dt} = \Delta_2 N = \Delta_2 N_0 e^{-\Delta t} \Rightarrow N_2(t) = N_0 \Delta_2 / \Delta (1 - e^{-\Delta t}) \quad \left\{ \frac{N_1}{N_2} = \frac{\Delta_1}{\Delta_2} = \frac{\tau_1}{\tau_2} \right.$$

- Μετρώντας τον ρυθμό μεριμνής των ακτίνων  $\gamma$ ,  $dN_1/dt$  ή  $dN_2/dt$ .

Θα μετρήσουμε το αναλογικό χρόνο  $\tau = 1/\Delta$

της στάθμης ή και οχι των αντίστροφών χρόνων  $\tau_1$  ή  $\tau_2$

- Οι επικέρδους χρόνοι  $\tau_1$  ή  $\tau_2$  (ή καλλιτέρα οι επικέρδους ρυθμοί διάταξης  $\Delta_1$  ή  $\Delta_2$  της στάθμης) μετρούνται υπολογισθείσαν μετρώντας τον αριθμό των γεγονότων  $N_1$  ή  $N_2$  η οποία διατίθεται σε ένα χρονικό διάστημα  $t$ , δηλαδή από την αντίστροφή των ακτίνων  $\gamma_1$  ή  $\gamma_2$  ( $N_1/N_2 = \Delta_1/\Delta_2$ )

Tετραί: Ο ρυθμός δικτύωσης μέσα στάθμης να θοριγγίζεται  
αλλά ως οδικός  $\lambda = 1/2$ , διοτι η στάθμη δένεται καθώς  
να "εμποδισθεί" να δικτύωσεται πχ με αυτά για  
να φέρει του εγγειού μορφή να μη ταίνια οργανωτής.  
Αυτό φέρεται ότι στους εοικέποντες ρυθμούς  
δικτύωσης τας δέσμης και ανοικέντων οδοικήσιμων  
αυτά για "μετατόπιση" θέλεται να τον χριστούν  
ταύτις τας στάθμης.

B) Να λυθούν οι Αριθμοί 7.2, 7.3 και 7.6 των  
βιβλίων σας