

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 : ΠΥΡΗΝΙΚΕΣ ΔΙΑΣΠΑΣΕΙΣ

Πυρηνικοί Μετασχηματισμοί

Οι δυνατοί πυρηνικοί μετασχηματισμοί είναι :

Εκπομπή σωματιδίων-α : ${}^4_2\text{He}$

Εκπομπή σωματιδίων-β : $e^- \bar{\nu}_e, e^+ \nu_e$

Εκπομπή ακτίνων-γ : φωτόνιο

Σχάση : διάσπαση πυρήνα

Πιθανότητα εκπομπής ή διάσπασης

Σε ένα δείγμα ίδιων ραδιενεργών πυρήνων η πιθανότητα διάσπασης για κάποιο συγκεκριμένο πυρήνα είναι τυχαία.

Κάθε ραδιενεργός πυρήνας ανταποκρίνεται σε καθορισμένη πιθανότητα εκπομπής ανά μονάδα χρόνου :

$$P_o = \frac{1}{\tau} \quad (6.1)$$

Αν σε χρόνο t ένας πυρήνας δεν έχει διασπαστεί, η πιθανότητα ότι θα διασπαστεί το επόμενο χρονικό διάστημα Δt είναι :

$$P_o \Delta t = \frac{\Delta t}{\tau} \quad (6.2)$$

Αν $n(t)$ ο αριθμός των ΜΗ διασπασθέντων πυρήνων σε χρόνο t . Ο αριθμός των αναμενόμενων πυρήνων να διασπαστούν στο διάστημα Δt είναι :

$$\Delta n = -n \frac{\Delta t}{\tau} \Rightarrow \frac{\Delta n}{\Delta t} = -\frac{n}{\tau} \quad (6.3)$$

Για το όριο $\Delta t \rightarrow 0$, τότε η 6.3 γίνεται :

$$\frac{dn}{dt} = -\frac{n}{\tau} \quad (6.4)$$

Με λύση της 6.4 την συνάρτηση :

$$n(t) = n_0 e^{-\frac{t}{\tau}} \quad (6.5)$$

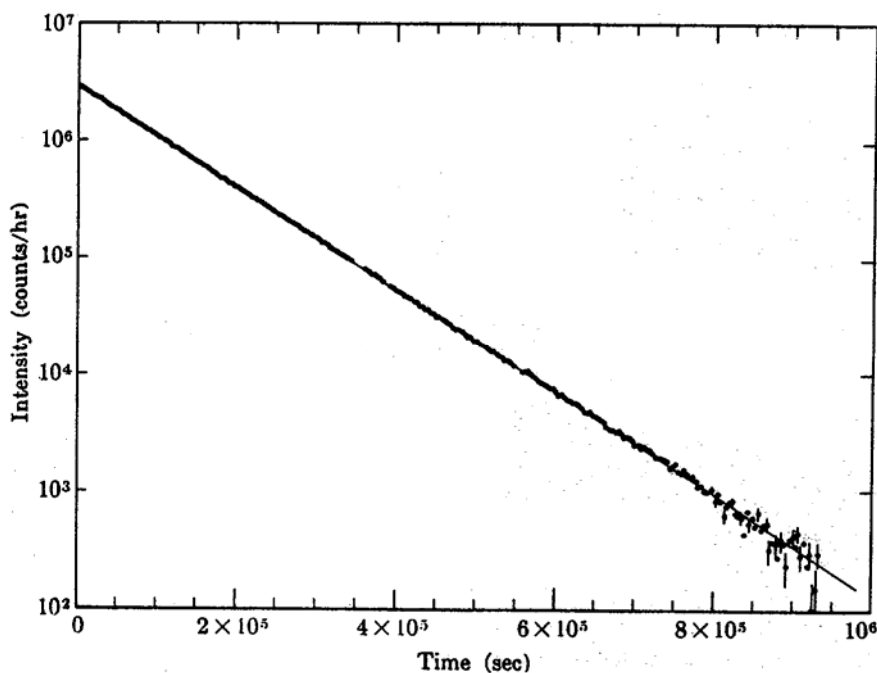
Πειραματικά, όμως, το μετρούμενο μέγεθος δεν είναι οι μή διασπασθέντες πυρήνες αλλά ο αριθμός διασπάσεων των πυρήνων ανά μονάδα χρόνου.

Αν I είναι ο ρυθμός διασπάσεων και τ ο μέσος χρόνος ζωής του πυρήνα, τότε :

$$I = -\frac{dn(t)}{dt} = I_0 e^{-\frac{t}{\tau}} \quad (6.6)$$

$$I_0 = \frac{n_0}{\tau}$$

Στο σχήμα 40 παρίσταται η σχέση 6.6 όπως βρέθηκε πειραματικά για το ισότοπο ^{194}Ir , του οποίου ο μέσος χρόνος ζωής $\tau = 0.995 \times 10^5$ sec. Αυτό σημαίνει ότι για χρόνο πάνω από 9.3×10^5 sec (10.8 ημέρες), που αντιστοιχεί σε 9.3 μέσους χρόνους ζωής ή 13.5 χρόνους ημι-ζωής η ένταση των διασπάσεων ελαττώνεται περίπου κατά παράγοντα 10 000.



Σχήμα 40 : Πειραματική μέτρηση του χρόνου ημιζωής του ^{194}Ir

Η πιθανότητα ενός πυρήνα να διασπάται σε χρόνο t είναι $p(t)$ και βρίσκεται :

$$\left. \begin{aligned} p(t) &= P(t)P_o \\ P(t) &= \frac{n(t)}{n_o} = e^{-\frac{t}{\tau}} \end{aligned} \right\} \Rightarrow p(t) = \frac{1}{\tau} e^{-\frac{t}{\tau}} \quad (6.7)$$

Η πιθανότητα ενός πυρήνα να εκπέμψει στο ελάχιστο διάστημα $t, t+\Delta t$, είναι $p(t)\Delta t$,
 Η πιθανότητα ενός πυρήνα να εκπέμψει στο καθορισμένο διάστημα t_1, t_2 είναι $\int_{t_1}^{t_2} p(t)dt$, και η πιθανότητα ενός πυρήνα να εκπέμψει σε οποιοδήποτε διάστημα είναι $\int_0^{\infty} p(t)dt = 1$

Ο μέσος χρόνος ζωής τ ενός πυρήνα ορίζεται από (*)

$$\bar{t} = \int_0^{\infty} t p(t) dt = \frac{1}{\tau} \int_0^{\infty} t e^{-\frac{t}{\tau}} dt \quad (6.8)$$

Αντικαθιστούμε με $u = t/\tau$, οπότε η 6.8 γίνεται :

$$\bar{t} = \tau \int_0^{\infty} u e^{-u} du \Rightarrow \bar{t} = \tau \quad (6.9)$$

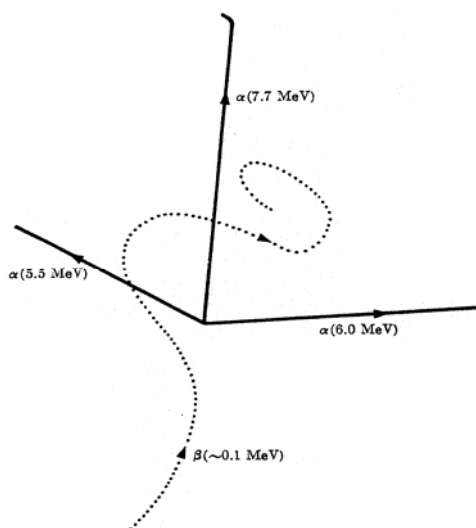
Αντίστοιχα ο χρόνος ημι-ζωής είναι :

$$t_{1/2} = 0.693\tau = \tau \ln 2 \quad (6.10)$$

(*) Η πλήρης σχέση λαμβάνοντας υπόψη τις σχετικές πιθανότητες είναι : $\bar{t} = \frac{\int_0^{\infty} t p(t) dt}{\int_0^{\infty} p(t) dt}$, όπου ο παρονομαστής

είναι μονάδα

Εκπομπή Σωματιδίων-α



Σχήμα 41 : Φωτογραφικό γαλάκτωμα απεικόνισης έντονων τροχιών σωματιδίων-α λόγω μεγάλης απώλειας ενέργειας στην ύλη σε σχέση με την λεπτή διακεκομμένη τροχιά ηλεκτρονίου.

Τα σωματίδια-α είναι πυρήνες Ηλίου και έχουν χρησιμεύσει για την μελέτη του ατόμου από τον Rutherford. Η εκπομπή των σωματιδίων-α έχει εξηγηθεί κβαντομηχανικά από τον Gamow και τους Condon και Guney. Στο σχήμα 41 παρουσιάζεται ένα φωτογραφικό γαλάκτωμα με τις τροχιές τριών σωματιδίων-α, αρκετά έντονες λόγω μεγάλης απώλειας ενέργειας ανά μονάδα διαδρομής στην ύλη (σχέση των Bethe-Bloch) καθώς και η ευέλικτη τροχιά ενός ηλεκτρονίου

Σύμφωνα με το σχήμα 20 (κεφάλαιο 3), όπου έχουμε την ενέργεια σύνδεσης ανά νουκλεόνιο B/A ως προς τον μαζικό αριθμό A , παρατηρείται ένα μέγιστο στην περιοχή του σιδήρου ($Fe, Z=26$), μέχρι το οποίο υπάρχει σταθερότητα-β των πυρήνων και εν συνεχεία θεωρούμε ότι τα βαρύτερα στοιχεία μπορεί να είναι ασταθή και να διασπώνται αυθόρμητα.

Η τιμή- $Q(A, Z)$ (κινητική ενέργεια) που απελευθερώνεται κατά τη διάσπαση του πυρήνα (A, Z) δίδεται σαν συνάρτηση των ενεργειών σύνδεσης του μητρικού και θυγατρικού πυρήνα από τη σχέση :

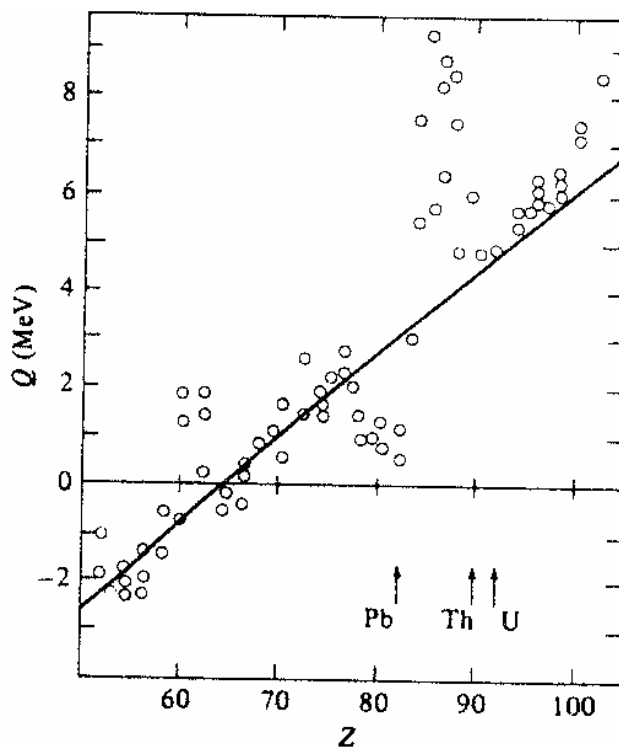
$$Q(A, Z) = B(A - 4, Z - 2) + 28.3 \text{ MeV} - B(A, Z) \quad (6.11)$$

Όπου 28.3 MeV είναι η πειραματική ενέργεια σύνδεσης του σωματιδίου-α. Έχοντας υπόψη ότι για πυρήνες που βρίσκονται πάνω στην καμπύλη β-σταθερότητας, χρησιμοποιώντας την ημι-εμπειρική σχέση μάζας (3.1), μπορούμε να υπολογίσουμε το Q σαν συνάρτηση του Z (ή του A).

Στο σχήμα 42, παρουσιάζεται η θεωρητική μεταβολή (σχέση 6.11) του $Q(Z)$ για $Z > 50$. Αρνητική τιμή του Q σημαίνει απόλυτη σταθερότητα ως προς α-διάσπαση.

Τα πειραματικά σημεία του σχήματος 42 προέρχονται από περιπτώσεις όπου ο μητρικός και θυγατρικός πυρήνας είναι β-σταθεροί. Το σημείο γύρω από τον πυρήνα $^{204}_{82}Pb$, έχει πιο σταθερούς πυρήνες λόγω των διπλά συμπληρωμένων

φλοιών. Σε μεγαλύτερα Z , στην περιοχή του $^{238}_{92}\text{U}$ υπάρχει μια άλλη μικρή περιοχή σχετικής σταθερότητας.



Σχήμα 42 : Μεταβολή του $Q(Z)$ για $Z > 50$

Οι β-σταθεροί πυρήνες με $Z > 66$ είναι ασταθείς ως προς α-διάσπαση. Μέχρι το Bi($Z=83$) οι χρόνοι ζωής των β-σταθερών πυρήνων είναι πολλές τάξεις μεγέθους μεγαλύτερος από την ηλικία της γής.

Η ΣΥΝΕΧΕΙΑ ΟΠΩΣ ΣΤΟ ΔΙΔΑΚΤΙΚΟ ΒΙΒΛΙΟ ΠΟΥ ΔΙΑΝΕΜΕΤΑΙ