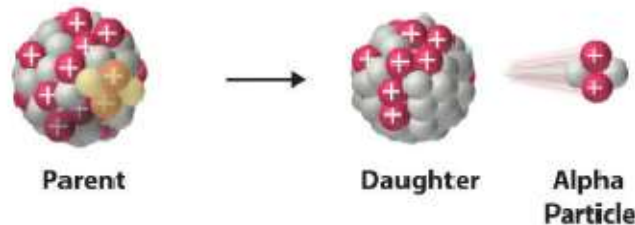
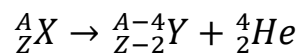


ΑΠΟΔΙΕΓΕΡΣΗ (ΔΙΑΣΠΑΣΗ) α

Η αποδιέγερση (διάσπαση) α, κατά την οποία έχουμε μεταστοιχείωση (αλλαγή ατομικού αριθμού $Z \rightarrow Z - 2$ και μαζικού αριθμού $A \rightarrow A - 4$) με ταυτόχρονη εκπομπή σωματίου α (πυρήνα ηλίου ${}^4_2\text{He}$) είναι γνωστή από την ανακάλυψη των φυσικών ραδιενεργών ισοτόπων.

Οι περισσότεροι βαρείς πυρήνες ${}^A_Z\text{X}$ με $A > 150$ είναι ασταθείς και εκπέμπουν αυθόρμητα ένα σωματίο α (${}^4_2\text{He}$) σύμφωνα με τη διάσπαση α:



Για να πραγματοποιηθεί η αντίδραση αυτή πρέπει η εκλυόμενη ενέργεια Q_α να είναι θετική, $Q_\alpha > 0$. Η ενέργεια αυτή συναρτήσει των ελλειμμάτων μάζας είναι:

$$Q_\alpha = \Delta({}^A_Z\text{X}) - \Delta({}^{A-4}_{Z-2}\text{Y}) - \Delta({}^4_2\text{He}) \quad (1)$$

Επειδή το έλλειμμα μάζας συνδέεται με την ενέργεια σύνδεσης απ' τη γνωστή σχέση:

$$B(A, Z) = Z\Delta_H + (A - Z)\Delta_n - \Delta(A, Z) \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \Delta(A, Z) = Z\Delta_H + (A - Z)\Delta_n - B(A, Z)$$

η (1) δίνει:

$$Q_\alpha = Z\Delta_H + (A - Z)\Delta_n - B(A, Z) - (Z - 2)\Delta_H + (A - 4 - Z + 2)\Delta_n + B(A - 4, Z - 2) - 2\Delta_H + (4 - 2)\Delta_n + B(4, 2) \Rightarrow$$

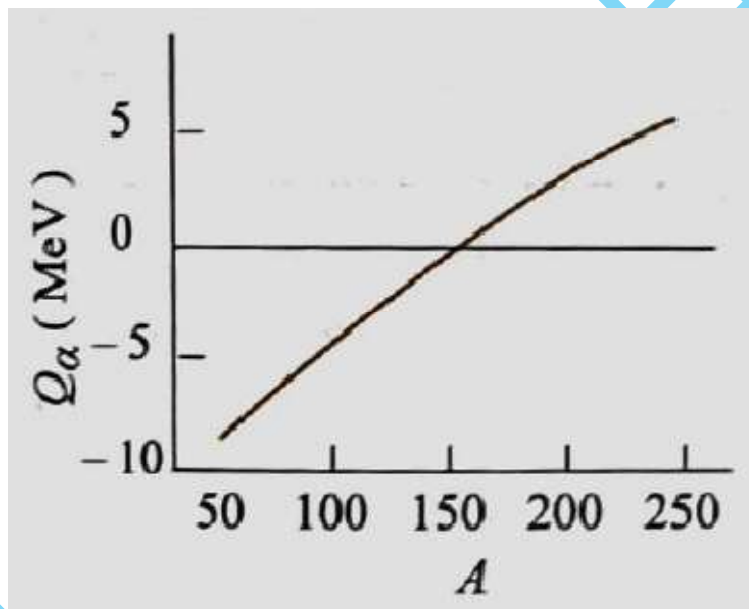
$$\Rightarrow Q_\alpha = B(4, 2) + B(A - 4, Z - 2) - B(A, Z) \quad (2)$$



Χρησιμοποιώντας τον ημιεμπειρικό τύπο της ενέργειας σύνδεσης του Weizsäcker, αγνοώντας τον όρο σύζευξης γιατί είναι μικρός για μεγάλα A και λαμβάνοντας την πειραματική ενέργεια σύζευξης του ${}^4_2\text{He}$ $B(4,2) = 28,3 \text{ MeV}$ η σχέση **(2)** δίνει:

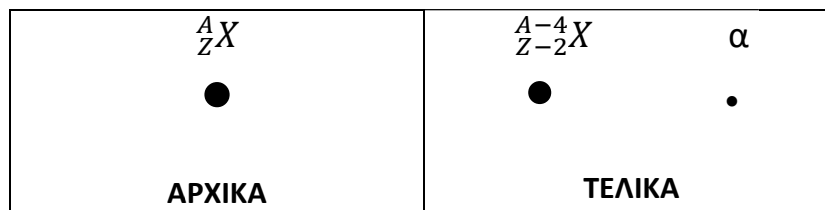
$$Q_\alpha = 28,3 - 4a_v + a_s[A^{2/3} - (A-4)^{2/3}] + a_c \left[\frac{Z^2}{A^{1/3}} - \frac{(Z-2)^2}{(A-4)^{1/3}} \right] - 4a_a \frac{(A-2Z)^2}{A(A-4)} \quad (\text{σε MeV})$$

Στο ακόλουθο σχήμα παριστάνεται η εκλυόμενη ενέργεια της διάσπασης α συναρτήσει του μαζικού αριθμού A .



Παρατηρούμε ότι η εκλυόμενη ενέργεια γίνεται θετική για $A \geq 150$ κι επομένως με βάση τον ημιεμπειρικό τύπο της ενέργειας σύνδεσης μόνο οι βαρείς πυρήνες με $A \geq 150$ μπορούν να διασπαστούν εκπέμποντας ένα σωματίο α . Πειραματικά έχει βρεθεί ότι διάσπαση α υφίστανται πυρήνες με $A \geq 210$, καθώς οι υπόλοιποι με $150 \leq A \leq 210$ έχουν μικρή ενέργεια Q_α με αποτέλεσμα να μειώνεται η πιθανότητα αυθόρμητης εκπομπής και χαρακτηρίζονται από υψηλές τιμές χρόνου ημιζωής πυρήνων ($\sim 10^{16}$ years).

Κινητική ενέργεια σωματίου α και ανάκρουσης θυγατρικού πυρήνα



Θεωρώντας ότι ο μητρικός πυρήνας βρίσκεται σε ηρεμία, η αρχή διατήρησης της ορμής (μη σχετικιστικής γιατί έχουμε βαρείς πυρήνες) δίνει:

$$\vec{P}_{\alpha\rho\chi} = \vec{P}_{\tau\epsilon\lambda} \Rightarrow 0 = M_Y u_Y - m_a u_a \Rightarrow M_Y u_Y = m_a u_a \Rightarrow u_Y = \frac{m_a u_a}{M_Y} \quad (3)$$

Οπότε η κινητική ενέργεια του ανακρουόμενου θυγατρικού πυρήνα είναι:

$$\begin{aligned} T_Y &= \frac{1}{2} M_Y u_Y^2 = \frac{1}{2} M_Y \left(\frac{m_a}{M_Y} \right)^2 u_a^2 = \frac{1}{2} m_a u_a^2 \frac{m_a}{M_Y} \Rightarrow \\ &\Rightarrow T_Y = \frac{m_a}{M_Y} T_a \quad (4) \end{aligned}$$

Συνεπώς η εκλυόμενη ενέργεια της διάσπασης α θα είναι:

$$\begin{aligned} Q_a &= T_Y + T_a = \frac{m_a}{M_Y} T_a + T_a = \left(\frac{m_a}{M_Y} + 1 \right) T_a \Rightarrow \\ \Rightarrow Q_a &= \frac{M_Y + m_a}{M_Y} T_a \cong \frac{(A - 4 + 4)}{A - 4} T_a \Rightarrow \boxed{Q_a = \frac{A}{A - 4} T_a} \end{aligned}$$

Επειδή το $A > 210$ θα είναι $\frac{A}{A-4} \cong 1$, οπότε η εκλυόμενη ενέργεια Q_a είναι σχεδόν ίση με την κινητική ενέργεια του σωματίου α καθώς η κινητική ενέργεια ανάκρουσης του θυγατρικού πυρήνα Y είναι πολύ μικρή λόγω της μεγάλης μάζας του.



Ποιοτική περιγραφή του δυναμικού που διέπει την αποδιέγερση α

Θεωρούμε το σωματίο α ως αυτόνομη οντότητα και περιγράφουμε τη συμπεριφορά του θεωρώντας την αλληλεπίδρασή του με το δυναμικό που δημιουργούν τα υπόλοιπα νουκλεόνια του πυρήνα (αυτά που τελικά θα διαμορφώσουν το θυγατρικό πυρήνα).

Σε αποστάσεις μεγαλύτερες από την ακτίνα του πυρηνικού συστήματος το σωματίο α αντιλαμβάνεται ένα απωστικό δυναμικό, που δημιουργεί η αλληλεπίδραση Coulomb μεταξύ των πρωτονίων του σωματίου α και του θυγατρικού πυρήνα.

$$V_c = \frac{2(Z-2)e^2}{4\pi\epsilon_0 r} \quad (1)$$

όπου $2e$ το φορτίο του σωματίου α και $(Z-2)e$ το φορτίο του θυγατρικού πυρήνα.

Αν η σχετική κίνηση του σωματίου α ως προς το θυγατρικό πυρήνα δεν είναι κεντρική, αλλά πραγματοποιείται με στροφορμή L τότε το δυναμικό αυξάνεται καθώς προστίθεται το απωστικό κεντρομόλο δυναμικό:

$$\left. \begin{array}{l} V_{eff} = \frac{L^2}{2m_a r^2} \\ \text{αλλά: } L = \hbar\sqrt{l(l+1)} \end{array} \right\} \rightarrow V_{eff} = \frac{\hbar^2 l(l+1)}{2m_a r^2} \quad (2)$$

Άρα το δυναμικό που διέπει την κίνηση του σωματίου α ως προς το θυγατρικό πυρήνα για $r > R$ είναι:

$$V(r) = V_c + V_{eff} \rightarrow V(r) = \frac{2(Z-2)e^2}{4\pi\epsilon_0 r} + \frac{\hbar^2 l(l+1)}{2m_a r^2} \quad (3)$$

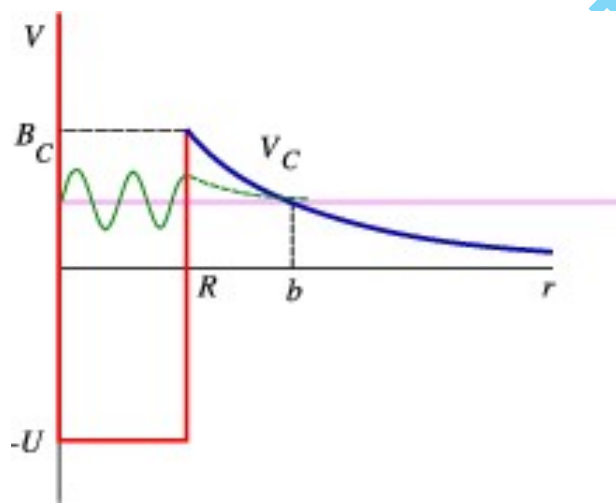
Ενώ σε αποστάσεις μικρότερες απ' την πυρηνική ακτίνα οι ισχυρές πυρηνικές δυνάμεις μεταξύ νουκλεονίων επισκιάζουν κάθε άλλη αλληλεπίδραση κι επομένως το δυναμικό θα είναι ελκτικό και σταθερό. Δηλαδή για $r < R$ είναι:

$$V(r) = -V_0 \quad (4)$$



Επομένως κατά την αποδιέγερση α το δυναμικό δίνεται απ' τις σχέσεις (3) και (4) και λόγω της μορφής του ονομάζεται **φράγμα δυναμικού** με $V(R)$ να είναι το μέγιστο ύψος του φράγματος δυναμικού, όπως φαίνεται και στο παρακάτω σχήμα.

Το γεγονός ότι η διάσπαση α είναι σχετικά σπάνιο φαινόμενο ως προς την αστάθεια των πυρήνων οφείλεται στο ότι οι διαδικασίες αυτές καθυστερούν έναντι των άλλων διασπάσεων λόγω του απωστικού φράγματος Coulomb που περιβάλλει τον πυρήνα. Η διέλευση του σωματίου α από το φράγμα δυναμικού του πυρήνα αποδείχθηκε κβαντομηχανικά από τον Gamow, σύμφωνα με τον οποίο η ενεργειακή αναπαράσταση του δυναμικού φαίνεται στο ακόλουθο σχήμα.



Σύμφωνα με αυτό μπορεί να λάβει χώρα το **φαινόμενο της σήραγγας** (tunneling effect) έτσι ώστε το σωματίο α να εξέλθει απ' το φρέαρ δυναμικού του πυρήνα. Ο συντελεστής διέλευσης του φράγματος, που εκφράζει την πιθανότητα ώστε το σωματίο α να διαπεράσει το φράγμα δυναμικού και να γίνει η αποδιέγερση δίνεται απ' τη σχέση:

$$T \cong e^{-G}$$

όπου $G = \frac{2}{\hbar} \int_R^b [2m_\alpha(V(r) - E_\alpha)]^{1/2} dr$ είναι ο **παράγοντας Gamow**.

Η σταθερά αποδιέγερσης λ_α , που εκφράζει την πιθανότητα εκπομπής ενός σωματίου α ανά μονάδα χρόνου είναι:



$$\lambda \cong fT = fe^{-G}$$

όπου $f \cong 10^{21} \text{ sec}^{-1}$ η συχνότητα με την οποία το σωματίο α προσπίπτει στα τοιχώματα.

Συγγραφή – Επιμέλεια: Παναγιώτης Φ. Μοίρας

