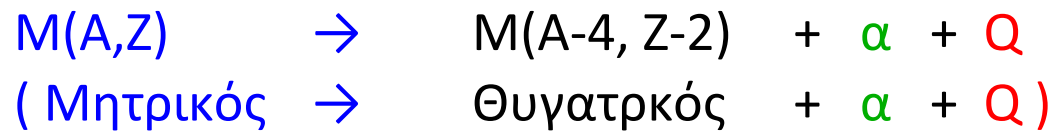


α - διάσπαση

Δήμος Σαμψωνίδης
(11-11-2014)

α - διάσπαση

- α -διάσπαση:



- Οπότε:

$$\begin{aligned} Z M_p + N M_n - B(A,Z) = \\ (Z-2) M_p + (N-2) M_n - B(A-4, Z-2) \\ + 2 M_p + 2 M_n - B(^4\text{He}) \\ + Q \end{aligned}$$

- Κι έτσι:

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

άσκηση

Άσκηση

- α) Υπολογίστε από τον ημιαμπειρικό τύπο μάζας την κινητική ενέργεια σωματιδίου α που εκπέμπεται από $^{210}_{84}\text{Po} \rightarrow ^{206}_{82}\text{Pb} + \alpha$
- β) Συγκρίνετε με την πειραματική τιμή και χρησιμοποιήστε την πειραματική τιμή εφ' εξής
- γ) Παραμετροποιήστε την κινητική ενέργεια των α, σαν συνάρτηση του Z των μητρικών πυρήνων.
- δ) Ποιά είναι η πλησιέστερη απόσταση που μπορεί να φτάσει ένα τέτοιο σωματίο α σε πυρήνες μολύβδου $^{206}_{82}\text{Pb}$?
- ε) Πόσο μεγάλο είναι το φράγμα Coulomb που συναντά το σωματίο α πλησιάζοντας τον πυρήνα μολύβδου?

Δίνονται: το βιβλίο σας

- Παρ. 4.4, 4.5, 4.6, 6.1, 6.2

- $m(n) = 939.57 \text{ MeV}$, $m(p) = 938.27 \text{ MeV}$

α) Υπολογίστε από τον ημιαμπειρικό τύπο μάζας την κινητική ενέργεια σωματιδίου α που εκπέμπεται από $^{210}_{84}\text{Po} \rightarrow ^{206}_{82}\text{Pb} + \alpha$

Υπολογισμός από ημιαμπειρικό τύπο:

Πειραματική τιμή (πίνακας 4.2)

- $B(^4_2\text{He}) = B(Z=2, N=2) = 20.95 \text{ MeV}$
- $B(^8_4\text{Be}) = B(Z=4, N=4) = 51.6 \text{ MeV}$
- $B(^{12}_6\text{O}) = B(Z=6, N=6) = 121.64 \text{ MeV}$
- $B(^{206}_{82}\text{Pb}) = B(Z=82, N=124) = 1611.874 \text{ MeV}$
- $B(^{210}_{84}\text{Po}) = B(Z=84, N=126) = 1636.054 \text{ MeV}$

(28.30 MeV)

(56.5 MeV)

(127.62 MeV)

Υπολογισμός από ημιαμπειρικό τύπο

ΠΡΟΣΟΧΗ: Η περιγραφή είναι γενικά καλή αλλά όχι τέλεια!

Δεν φτάνει μόνο ο ημιαμπειρικός τύπος.

Ο πυρήνας δέν είναι μια υγρή σταγόνα. Υπάρχουν κι άλλα πράγματα που πρέπει να λάβουμε υπ' όψιν μας (είδατε το μοντέλο των φλοιών και τους “μαγικούς αριθμούς”)

κινητική ενέργεια σωματιδίου α

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

- Από προηγούμενη σελίδα:

$$B({}^{206}_{82}\text{Pb}) = B(Z=82, N=124) = 1611.874 \text{ MeV}$$

$$B({}^{210}_{84}\text{Po}) = B(Z=84, N=126) = 1636.054 \text{ MeV}$$

- $Q = 1611.874 + 28.3 - 1636.054 = 4.12 \text{ MeV}$

(πειραματικά είναι 5.41 MeV)

Table 6.1. The α -decay series from ${}^{238}_{92}\text{U}$

	Q (MeV)	r_s (fm)	r_c (fm)	$\mathcal{G}$	τ_{exp} (s)	τ_{theory} (s)
${}^{238}_{92}\text{U} \rightarrow {}^{234}_{90}\text{Th}$	4.27	8.52	60.7	0.53	2.0×10^{17}	3.3×10^{17}
$({}^{234}_{90}\text{Th} \rightarrow {}^{234}_{91}\text{Pa} \rightarrow {}^{234}_{92}\text{U})$						
${}^{234}_{92}\text{U} \rightarrow {}^{230}_{90}\text{Th}$	4.86	8.49	53.3	0.51	1.1×10^{13}	1.1×10^{13}
${}^{230}_{90}\text{Th} \rightarrow {}^{226}_{88}\text{Ra}$	4.77	8.45	53.1	0.51	3.5×10^{12}	3.9×10^{12}
${}^{226}_{88}\text{Ra} \rightarrow {}^{222}_{86}\text{Rn}$	4.87	8.41	50.9	0.50	7.3×10^{10}	7.4×10^{10}
${}^{222}_{86}\text{Rn} \rightarrow {}^{218}_{84}\text{Po}$	5.59	8.37	43.3	0.46	4.8×10^5	4.2×10^5
${}^{218}_{84}\text{Po} \rightarrow {}^{214}_{82}\text{Pb}$	6.11	8.33	38.7	0.43	2.6×10^2	1.6×10^2
$({}^{214}_{82}\text{Pb} \rightarrow {}^{214}_{83}\text{Bi} \rightarrow {}^{214}_{84}\text{Po})$						
${}^{214}_{84}\text{Po} \rightarrow {}^{210}_{82}\text{Pb}$	7.84	8.28	30.1	0.36	2.3×10^{-4}	1.1×10^{-4}
$({}^{210}_{82}\text{Pb} \rightarrow {}^{210}_{83}\text{Bi} \rightarrow {}^{210}_{84}\text{Po})$						
${}^{210}_{84}\text{Po} \rightarrow {}^{206}_{82}\text{Pb}$	5.41	8.24	43.7	0.47	1.7×10^7	5.8×10^5

The values of Q are from experiment. The intervening β -decays, which reduce the neutron-to-proton ratio as the nuclei become lighter, are given in parentheses.

γ) Παραμετροποιήστε την κινητική ενέργεια των α, σαν συνάρτηση του Z των μητρικών πυρήνων.

- Ενέργεια σύνδεσης πυρήνα:

$$B(Z,N) = a A - b A^{2/3} - s (N-Z)^2 / A - d Z^2 / A^{1/3} - \delta / A^{1/2}$$

Αντικαθιστώντας $N=A-Z$, έχουμε $B(A,Z)$ αντί για $B(Z,N)$:

$$B(A,Z) = a A - b A^{2/3} - s (A-2Z)^2 / A - d Z^2 / A^{1/3} - \delta / A^{1/2}$$

$$\rightarrow B(A,Z) = c_1 + c_2 * Z + c_3 * Z^2 = \text{παραβολή (για } A=\text{σταθ.)}$$

α-διάσπαση: παραμετροποίηση των Q-values

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

$$B(Z, N) = a A - b A^{2/3} - s (A-2Z)^2 / A - d Z^2 / A^{1/3} - \delta / A^{1/2}$$

- Για πυρήνες στην κοιλάδα β-σταθερότητας:

$$Z = \frac{A}{1.983 + 0.0153 A^{2/3}}$$

$$Q = f(A)$$

δηλ. συνάρτηση μόνο του A

(ή μόνο του Z, αφού τα A και Z
συνδέονται)

Αγνοώντας τον όρο
ζευγαρώματος,
παίρνουμε τη
συνάρτηση που
παραμετροποιεί τις Q-
values σαν συνάρτηση
του A ή του Z των
μητρικών πυρήνων που
βρίσκονται στην κοιλάδα
β-σταθερότητας

α-διάσπαση: παραμετροποίηση των Q-values

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

$$B(Z, N) = a A - b A^{2/3} - s (A-2Z)^2 / A - d Z^2 / A^{1/3} - \delta / A^{1/2}$$

- Για πυρήνες στην κοιλάδα β-σταθερότητας:

$$Z = \frac{A}{1.983 + 0.0153 A^{2/3}}$$

Σύμφωνα με την προσέγγιση που κάναμε: στοιχεία με $Z < 66$ ($A < 151$) δίνουν $Q < 0$ και δεν κάνουν α-διάσπαση

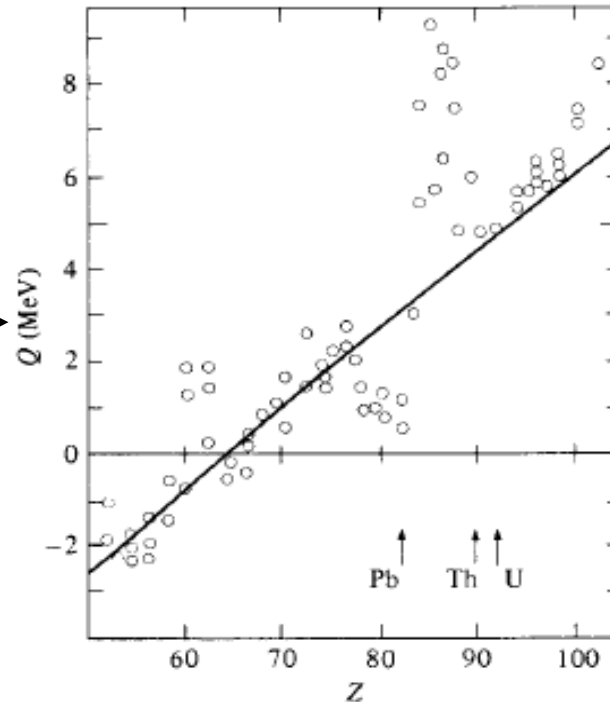
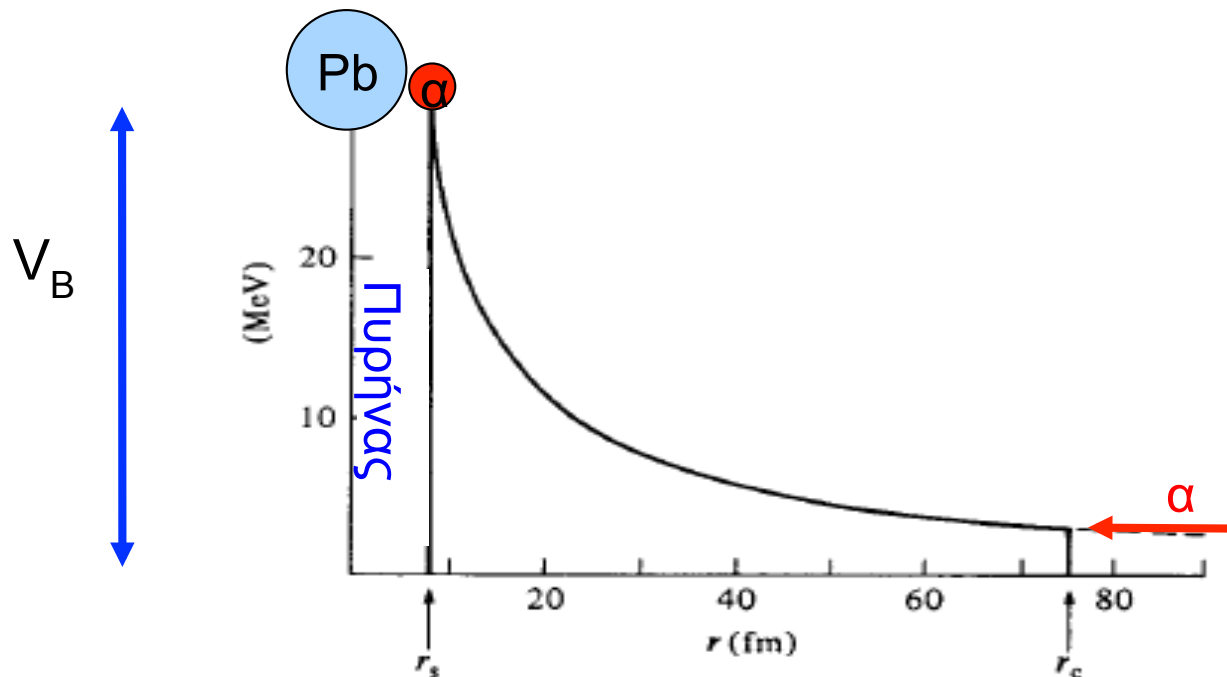


Fig. 6.1 Experimental and theoretical α -decay energies $Q = B(A-4, Z-2) + 28.3 \text{ MeV} - B(A, Z)$, as a function of the atomic number Z of the parent nucleus. The experimental points are from cases where both parent nucleus and daughter nuclei are β -stable. The theoretical curve is from equation (4.5) (neglecting the pairing energies) together with equation (4.14).

Αγνοώντας τον όρο ζευγαρώματος, παίρνουμε τη συνάρτηση που παραμετροποιεί τις Q-values σαν συνάρτηση του A ή του Z των μητρικών πυρήνων που βρίσκονται στην κοιλάδα β-σταθερότητας

Δυναμικό που βλέπει το α καθώς πλησιάζει το Pb

- Το α έρχεται από δεξιά με κινητική ενέργεια $T \sim Q$, συναντά την ηλεκρομαγνητική άπωση του πυρήνα και σταματά σε απόσταση r_c μη μπορώντας να “σκαρφαλώσει” το “φράγμα Coulomb”
- Η δυναμική ενέργεια Coulomb γίνεται μέγιστη, με τιμή V_B , όταν οι δύο πυρήνες (Pb και α) “εφάπτονται” σε απόσταση r_s : από εκεί και μετά η ισχυρή αλληλεπίδραση γίνεται σημαντική και αν το α περνούσε θα βρισκόταν στο πηγάδι δυναμικού του πυρήνα



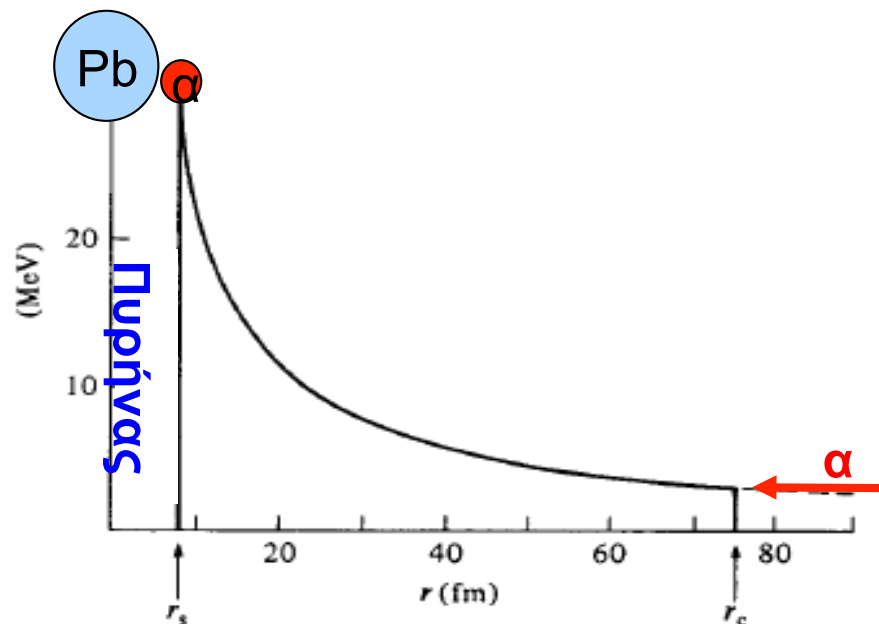
απόσταση εγγύτερης προσέγγισης στο Pb

- Το α προχωράει μέχρι που όλη η κινητική του ενέργεια ($T \sim Q$) να γίνει δυναμική ενέργεια Coulomb

$$\alpha = 1/137$$

$$Q = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{(2e)(Ze)}{r_C} \rightarrow Q = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{e^2}{\hbar c} \frac{2Z\hbar c}{r_C} = \alpha \frac{2Z\hbar c}{r_C}$$

$$\rightarrow Q = \alpha \frac{2Z\hbar c}{r_C} \rightarrow r_C = \alpha \frac{2Z\hbar c}{Q} = \frac{1}{137} \frac{2 * 82 * 197 \text{ MeVfm}}{5.41 \text{ MeV}} \rightarrow r_C = 43.6 \text{ fm}$$



Το σωματίο α προσεγγίζει πολύ πιο κοντά από την ακτίνα του ατόμου ($R=10000$ fm), αλλά δεν "ακουμπάει" τον πυρήνα ($R=6.5$ fm)

Φράγμα Coulomb Pb και α

- Πόσο μεγάλο είναι το φράγμα (V_B) σε ενέργεια? Μπορεί το α να το “σκαρφαλώσει” και να περάσει μέσα στον πυρήνα?
- Το δυναμικό Coulomb είναι μέγιστο (“φράγμα” V_B) όταν το α “εφάπτεται” στον πυρήνα. Δηλαδή όταν η απόσταση από το κέντρο του α μέχρι το κέντρο του πυρήνα είναι $R_a + R_{Pb}$, όπου R_a και R_{Pb} είναι οι ακτίνες των πυρήνων α και Pb, αντίστοιχα.

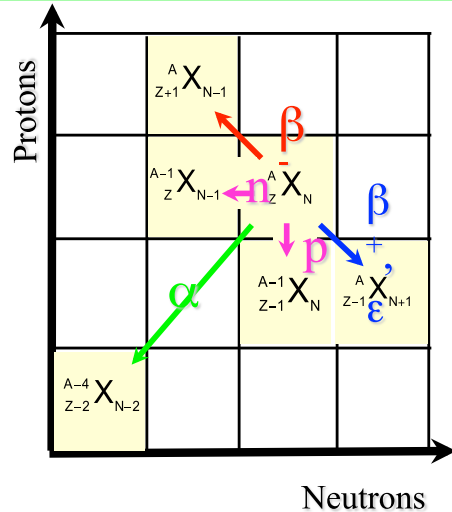
$$R = 1.1 * A^{1/3} fm \quad \left\{ \begin{array}{l} R_{Pb} = 1.1 * 206^{1/3} fm = 6.5 fm \\ R_a = 1.1 * 4^{1/3} fm = 1.7 fm \end{array} \right. \quad \rightarrow \quad r_s = R_a + R_{Pb} = 8.2 fm$$

$$V_B = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{(2e)(Ze)}{r_s} = a \frac{2Z\hbar c}{r_s} = \frac{1}{137} \frac{2 * 82 * 197 MeV fm}{8.2 fm} = 28.8 MeV$$

Κλασσικά:

όταν ένα σωματίδιο α έχει κινητική ενέργεια $T < V_B \rightarrow T < 28.8 MeV$, τότε δεν μπορεί να μπει στον πυρήνα (ή να βγεί από αυτόν, αν είναι ήδη μέσα)

α - διάσπαση



α-decay:

- Εκπομπή πυρήνων ηλίου
- $Z \rightarrow Z-2$
- $N \rightarrow N-2$
- $A \rightarrow A-4$

$$M_P c^2 = M_D c^2 + T_D + M_\alpha c^2 + T_\alpha,$$

Κινητική Ενέργεια που απελευθερώνεται

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

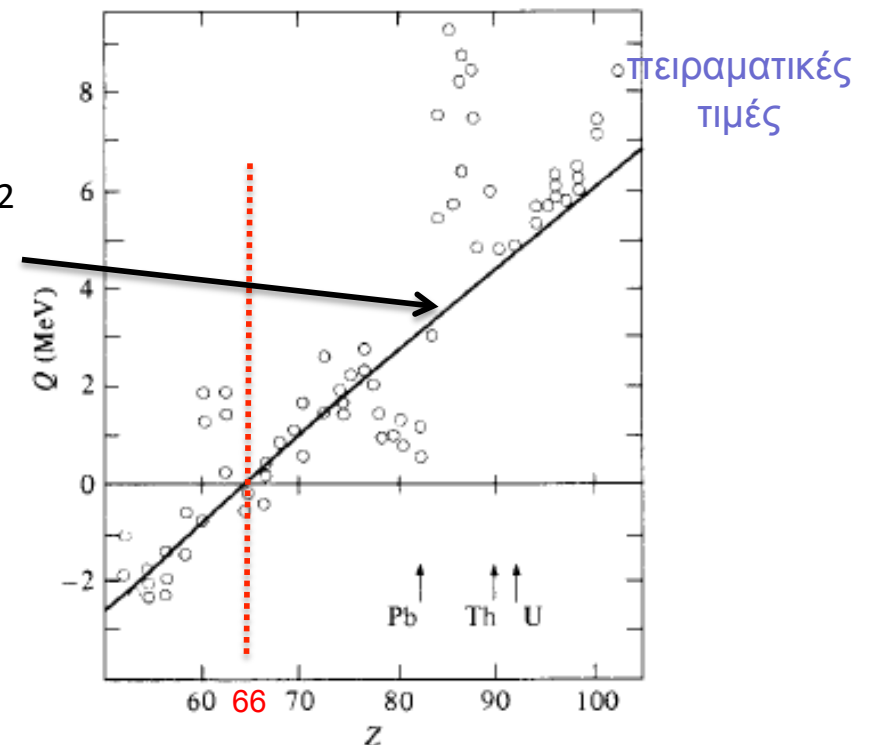
Χρησιμοποιώντας τον ημ εμπειρικό τύπο

$$B(Z, N) = aA - bA^{2/3} - s(N-Z)^2/A - dZ^2/A^{1/3} - \delta/A^{1/2}$$

Θεωρητική $Q(Z)$

$Q < 0$: σταθερός ως προς α-διάσπαση

$Z > 66$: ασταθείς (ως προς α-διάσπαση)



α – διάσπαση (διασπαση 2 σωμάτων)

Η ενέργεια μοιράζεται στα προϊόντα της διάσπασης (D, α)

$$T_D + T_\alpha = (M(A,Z) - M(A-4,Z-2) - M(4,2))c^2 \equiv Q$$

(θεωρώντας μή σχετικιστικές ενέργειες)

διατήρηση ενέργειας -

$$T_D = \frac{1}{2} M_D v_D^2 \quad T_\alpha = \frac{1}{2} M_\alpha v_\alpha^2$$

διατήρηση ορμής

$$M_D v_D = M_\alpha v_\alpha \Rightarrow v_D = \frac{M_\alpha}{M_D} v_\alpha$$

$$\begin{aligned} T_D + T_\alpha &= \frac{1}{2} M_D v_D^2 + \frac{1}{2} M_\alpha v_\alpha^2 \\ &= \frac{1}{2} M_D \left(\frac{M_\alpha}{M_D} v_\alpha \right)^2 + \frac{1}{2} M_\alpha v_\alpha^2 \\ &= \frac{1}{2} M_\alpha v_\alpha^2 \left(\frac{M_\alpha}{M_D} + 1 \right), \end{aligned}$$

$$\text{or } T_D + T_\alpha = T_\alpha \frac{M_\alpha + M_D}{M_D}.$$

$$T_\alpha = \frac{M_D}{M_\alpha + M_D} Q = \frac{1}{1 + \frac{M_\alpha}{M_D}} Q.$$

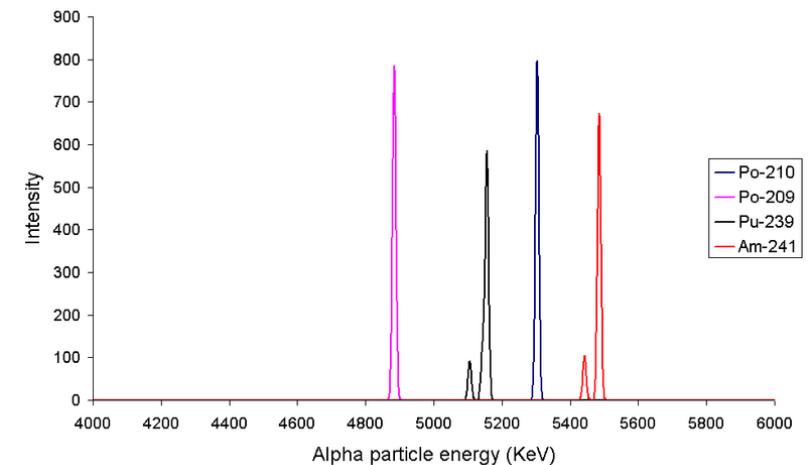
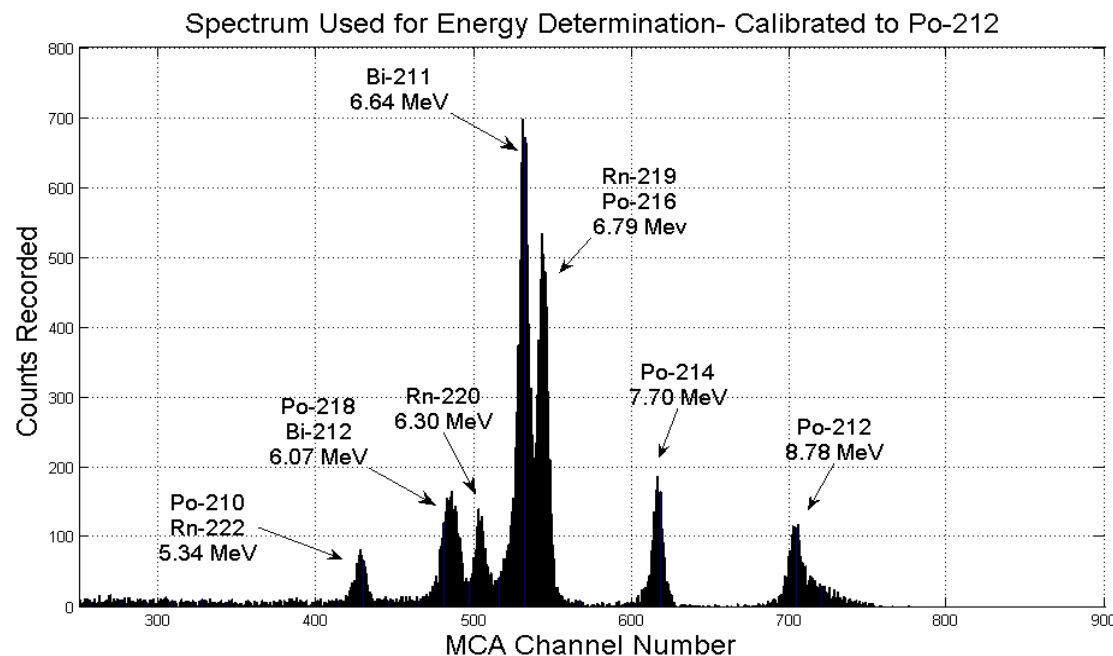
$$T_\alpha \approx \frac{A-4}{A} Q$$

$$T_D \approx \frac{4}{A} Q$$

$$T_\alpha \gg T_D$$

α-διάσπαση: γραμμικό φάσμα

- $M(A,Z) \rightarrow M(A-4, Z-2) + \alpha + Q$
- “Φάσμα α = γραμμικό” (σε αντίθεση με “συνεχές”) → τιμές του Q = συγκεκριμένες
*Μονοενεργειακές, αν οι πυρήνες ήταν πάντα στη βασική κατάσταση:
αλλά δεν είναι πάντα έτσι*



α-διάσπαση: γραμμικό φάσμα-λεπτή υφή

μπορείς να έχεις μια ομάδα σωματίων α με διακριτές τιμές ενεργειών:

Αν το α εκπέμπεται από διεγερμένη κατάσταση του μητρικού (ή προς διεγερμένη κατάσταση του θυγατρικού), τότε το Q είναι λίγο μεγαλύτερο (ή μικρότερο), κατά συγκεκριμένη ποσότητα όμως

→ Αναλογία με τα φωτόνια που εκπέμπονται από τις κβαντισμένες ενεργειακές στάθμες των ατόμων, κι έτσι έχουν συγκεκριμένες ενέργειες.

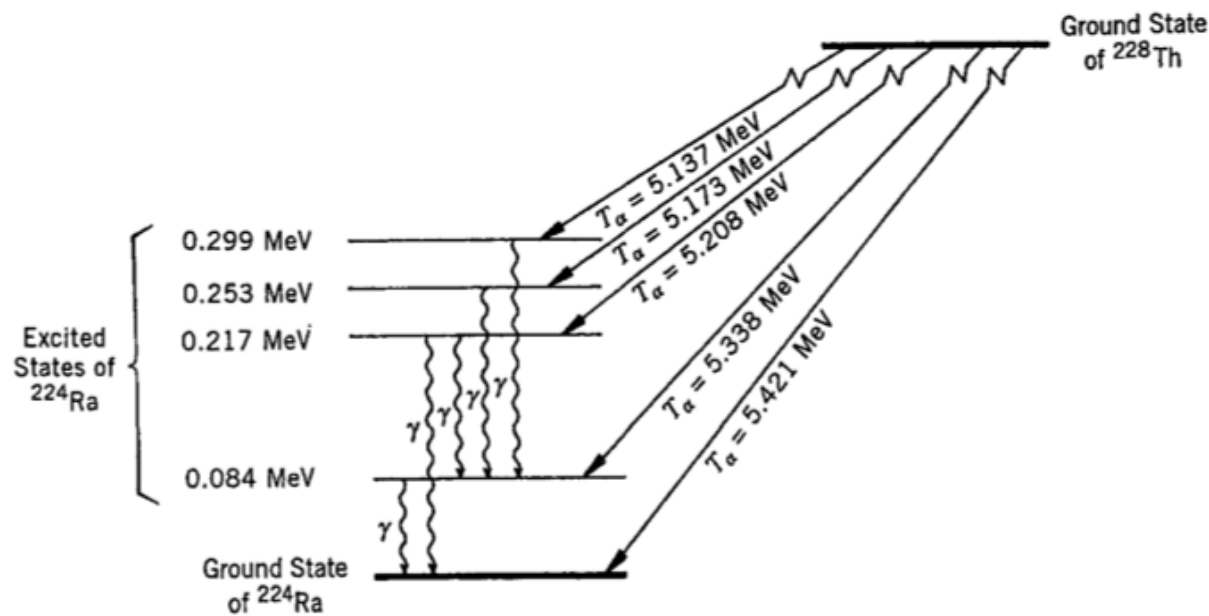


Fig. 4.1 α -particle transitions observed in the decay of ^{228}Th .

α – διάσπαση

ΕΡΩΤΗΜΑΤΑ

- Πως μπορεί ένα α-σωματίδιο ενέργειας $\sim 4\text{MeV}$ να διαφεύγει από τον πυρήνα ενώ ένα εισερχόμενο α-σωματίδιο ενέργειας $\sim 10\text{ MeV}$ σκεδάζεται;
- Η περιοχή ενεργειών των α είναι $\sim 4 - 9\text{ MeV}$, ενώ οι χρόνοι ημιζωής μεταβάλλονται 24 τάξεις μεγέθους.

1911: Οι Geiger&Nuttall παρατήρησαν ότι μεγάλα $Q \leftrightarrow$ μικροί $t_{1/2}$ (εμπειρική σχέση)

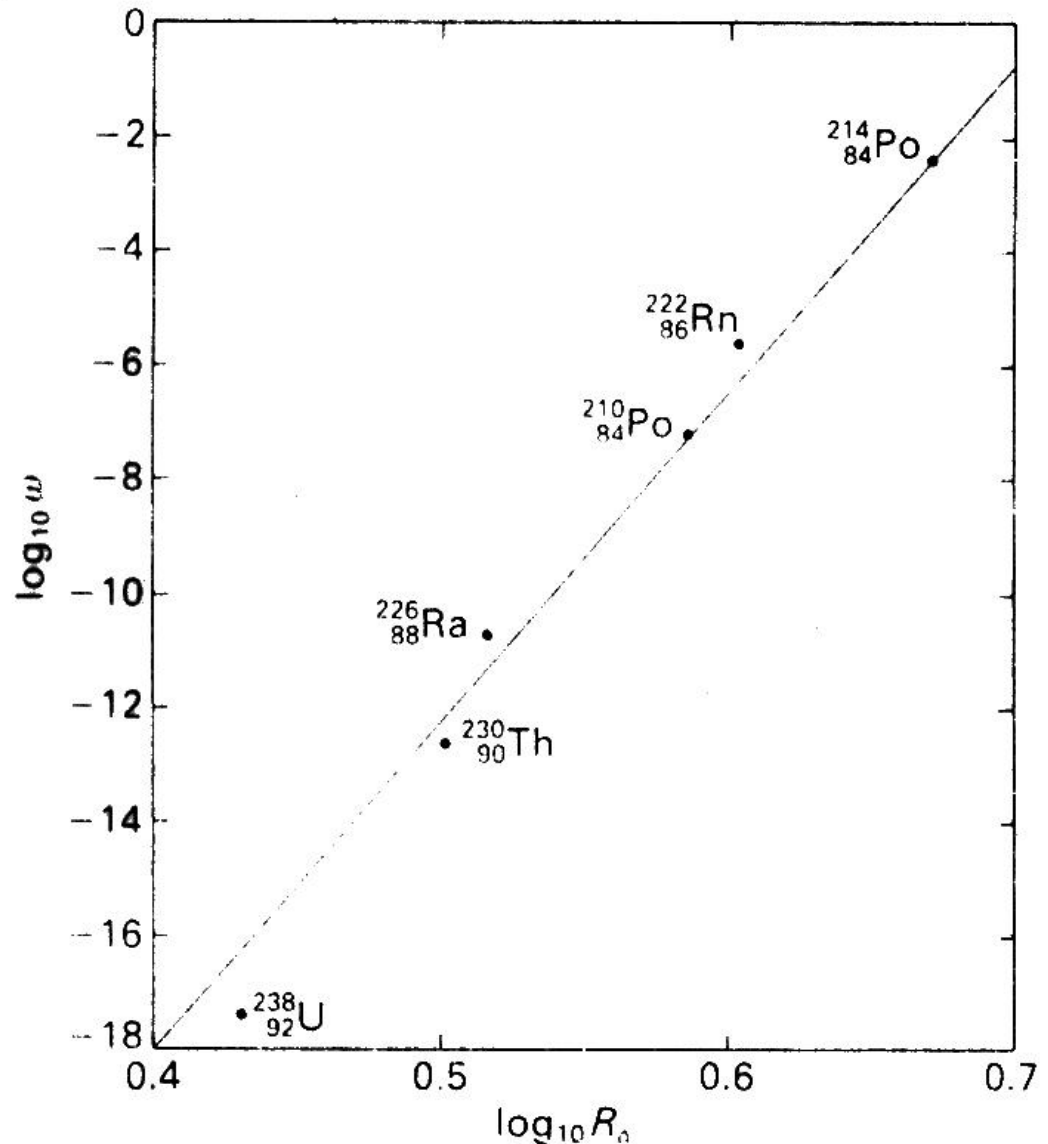
1928: Gamow, Gurney, Condon et al. Πρότειναν το κβαντομηχανικό φαινόμενο σύραγγος για τη διέλευση του α δια του πυρηνικού δυναμικού.

Ο νόμος Geiger-Nuttal

Ηδη από το 1907, ο Rutherford και οι συνεργάτες του ανακάλυψαν ότι οι α-σωματίδια που εκπέμπονται από βραχύβια ισότοπα ήταν πιο διεισδυτικά (δηλαδή είχαν περισσότερη ενέργεια).

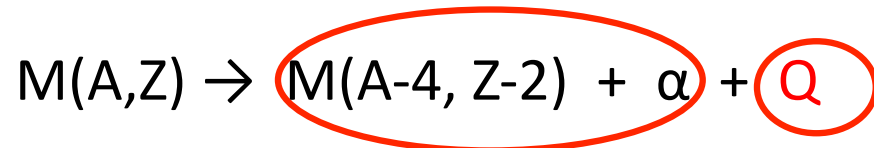
Μέχρι το 1912 οι συνεργάτες του Geiger και Nuttal πρότειναν τη σχέση ανάμεσα στην εμβέλεια των σωματιδίων R_α και το χρόνο ημίσειας ζωής του θυγατρικού. Ήταν της μορφής:

$$\log_{10} t_{1/2} = -57.5 \log_{10} R_\alpha + C$$



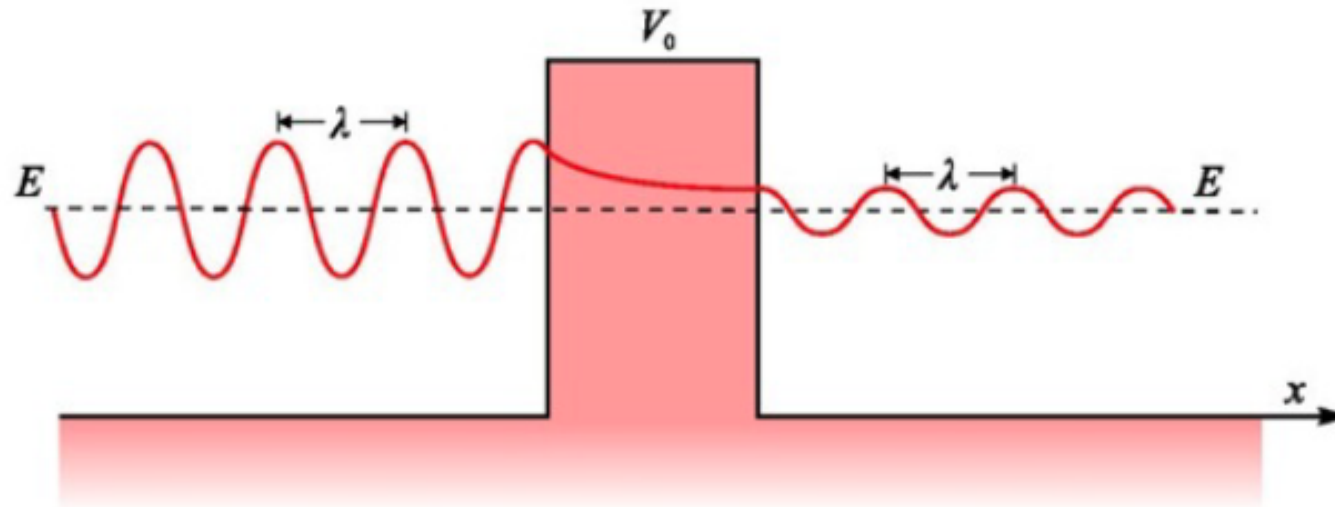
α-διάσπαση: σχηματισμός και εκπομπή

- Δύο νετρόνια και δύο πρωτόνια “συσωματώνονται” σε ένα α
 - Τα νετρόνια φεύγουν από το δικό τους πηγάδι δυναμικού και τα πρωτόνια από το δικό τους
- Σχηματισμός του α: ενεργειακά προτιμότεος σχηματισμός
- Έτσι μπορούμε να σκεφτούμε τον αρχικό πυρήνα (A,Z) να έχει γίνει δύο αντικείμενα:



- Το α όμως έχει λίγη ενέργεια ($Q \sim 5\text{MeV}$) σε σχέση με το φράγμα Coulomb ($V_B \sim 30\text{MeV}$).
 - Αρα, μόνο με το κβανομηχανικό φαινόμενο σύραγγας μπορεί να βγεί, και από την απόσταση r_s να βρεθεί ελεύθερο στην επιτρεπτή περιοχή $r > r_c$

Φαινόμενο σύραγγος (Tunneling)



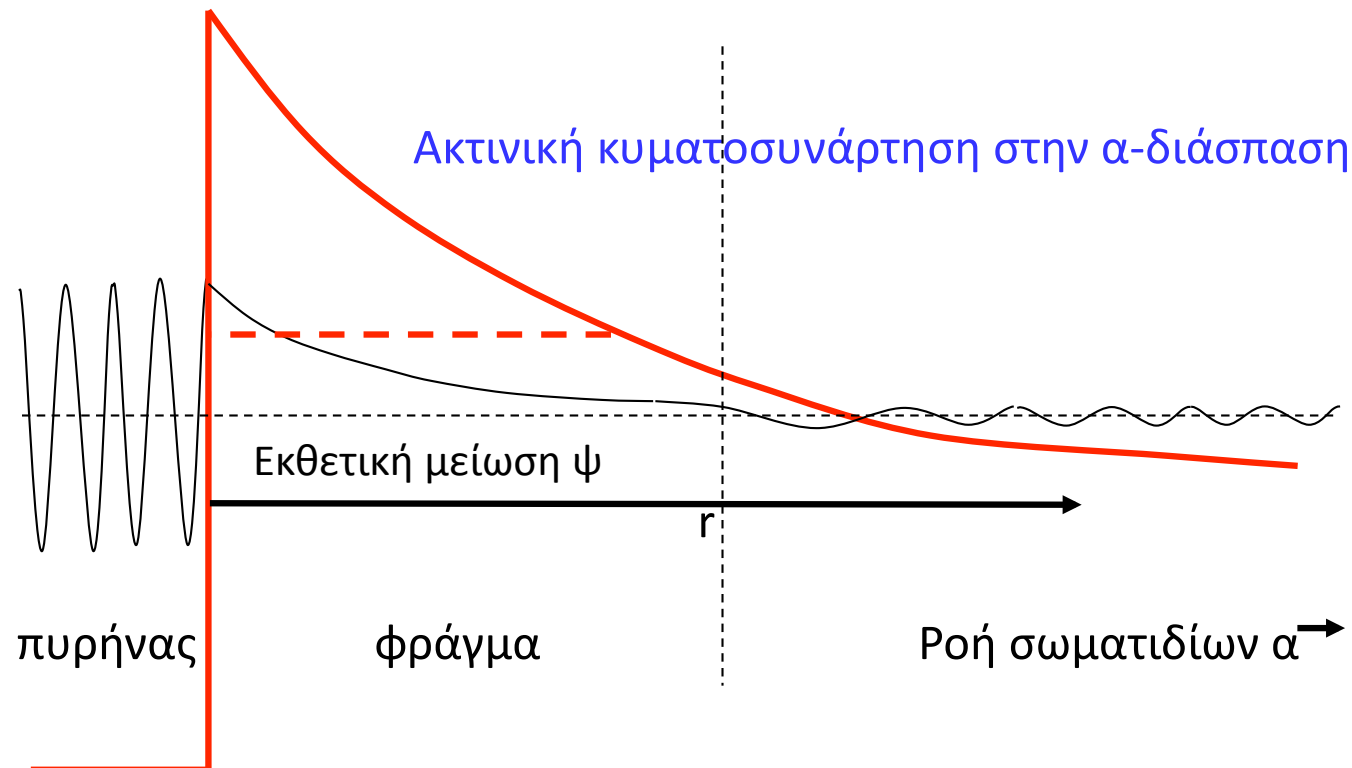
ΣΧΗΜΑ 6.6: Η γενική μορφή της κυματοσυνάρτησης ενός σωματιδίου που διασχίζει μια κλασικά απαγορευμένη περιοχή. Στην περιοχή του φράγματος η κυματοσυνάρτηση υφίσταται μια εκθετική μείωση του πλάτους της που αφήνει όμως μια μικρή πιθανότητα στο σωματίδιο να φτάσει ως την άλλη πλευρά και να συνεχίσει την κίνησή του ως ένα κύμα με αισθητά μειωμένο πλάτος.

Κβαντομηχανική εξήγηση

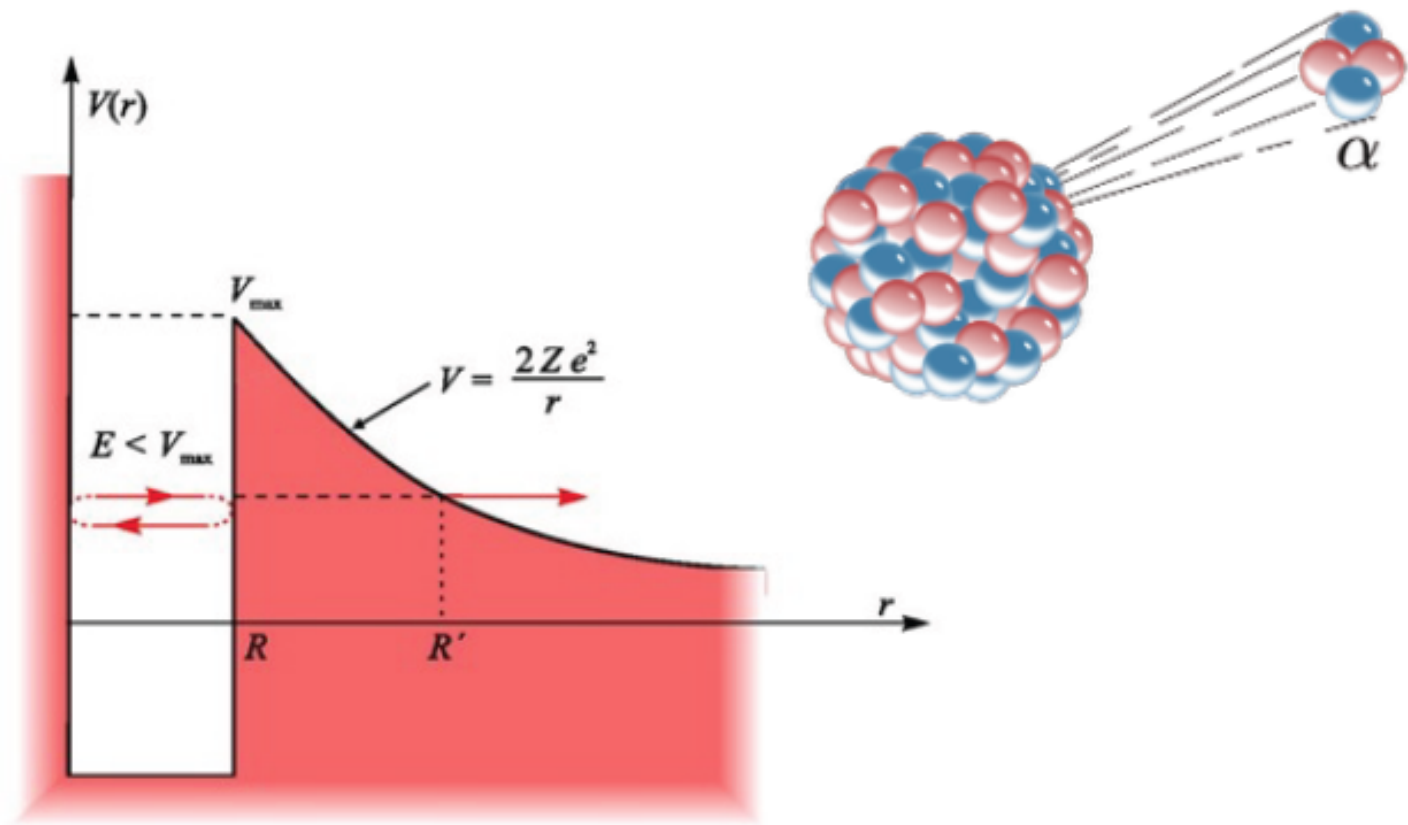
Κβαντομηχανική
(Τραχανά) 271

Συντελεστής διέλευσης του φράγματος
(πιθανότητα διέλευσης)

$$T(Z,A,\varepsilon) \cong \exp\left(-1,63 \int_{A^{1/3}+4^{1/3}}^{Z/\varepsilon} \sqrt{\frac{Z}{r} - \varepsilon} dr\right) \ll 1$$

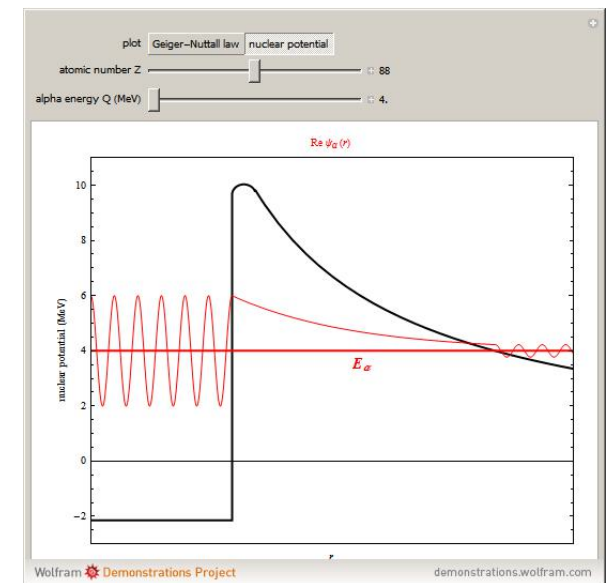
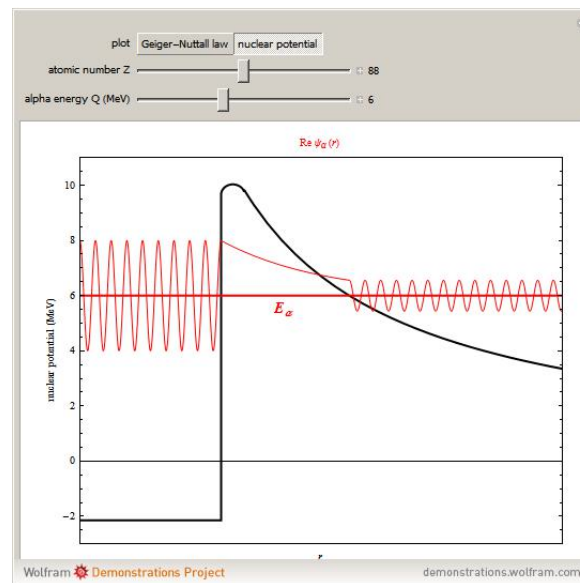
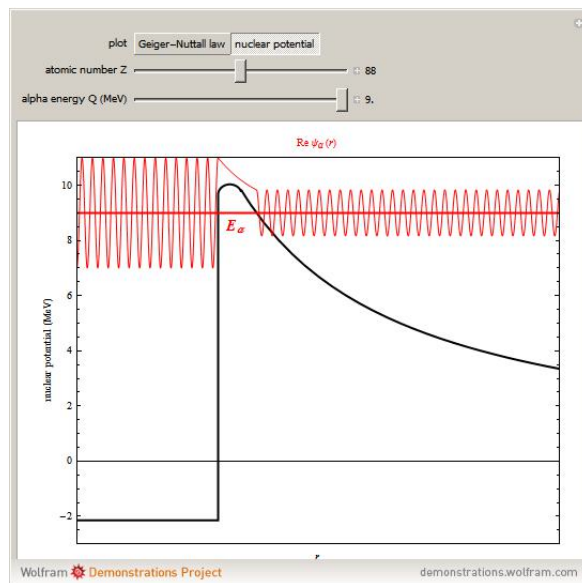


Φαινόμενο σύραγγος (Tunneling)



ΣΧΗΜΑ 6.7: Το δυναμικό στο οποίο υπόκειται το σωματίδιο άλφα ενός ραδιενεργού πυρήνα. Λόγω των ισχυρών πυρηνικών δυνάμεων, το δυναμικό έχει τη μορφή ενός ελκτικού πηγαδιού στην περιοχή του πυρήνα ($r < R$) και τη μορφή ενός απωστικού δυναμικού Coulomb έξω από αυτόν, αφού εκεί δρα μόνο η ηλεκτρική άπωση μεταξύ του σωματιδίου άλφα και του υπόλοιπου πυρήνα. Για να παραμένει το σωματίδιο άλφα επί μεγάλα χρονικά διαστήματα μέσα στον πυρήνα σημαίνει ότι $E < V_{\max}$ οπότε ο μόνος τρόπος να διαφύγει από το εσωτερικό του είναι με το φαινόμενο της σήραγγας.

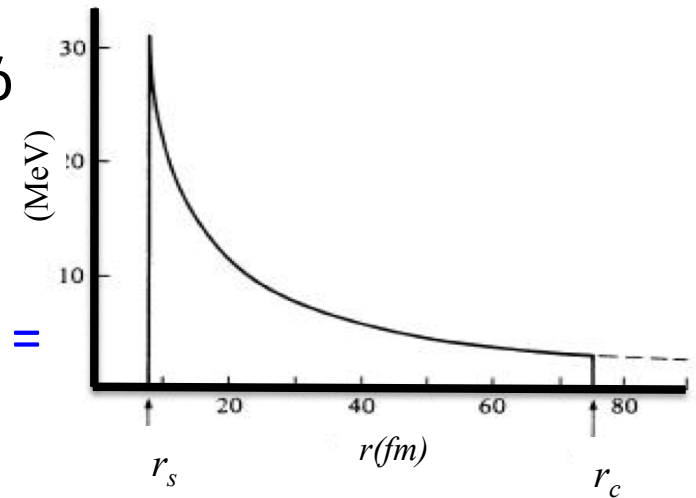
Φαινόμενο σύραγγος (Tunneling)



Το πυρηνικό δυναμικό και η κυματοσυνάρτηση του α για τρεις τιμές ενέργειας.

Κβαντομηχανική εξήγηση

- Το α μπορεί να ελευθερωθεί μόνο με το κβαντομηχανικό φαινόμενο σύραγγας, και από την απόσταση r_s να βρεθεί ελεύθερο στην επιτρεπτή περιοχή $r > r_c$
- Πιθανότητα να περάσει το φράγμα δυναμικού = (πιθανότητα να βρεθεί σε r_c) / (πιθανότητα να βρεθεί σε r_s) =



$$\left| \frac{f(r_c)}{f(r_s)} \right|^2 = e^{-G} \quad f(r) = \text{πλάτος κυματοσυνάρτησης στη θέση } r_c$$

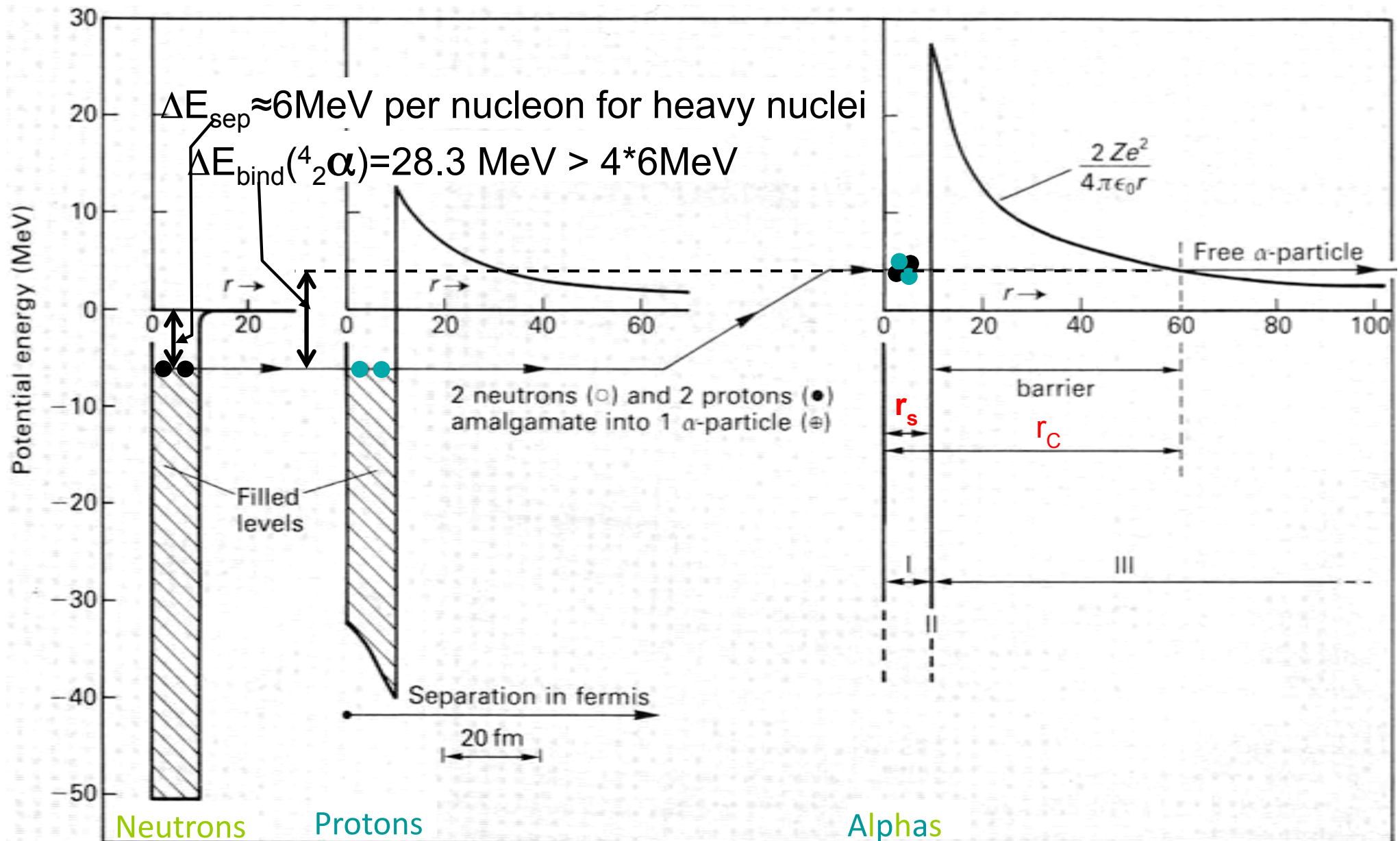
$$G = \frac{\pi}{\hbar c} \left(\frac{2Z_d e^2}{4\pi\epsilon_0} \right) \sqrt{\frac{2mc^2}{Q}} \mathcal{G}(r_s/r_c),$$

$$\mathcal{G}(r_s/r_c) = \frac{2}{\pi} \left[\cos^{-1} \left[\sqrt{\frac{r_s}{r_c}} \right] - \sqrt{\left[\frac{r_s}{r_c} \left(1 - \frac{r_s}{r_c} \right) \right]} \right]$$

Το G εξαρτάται από

- ενέργεια Q του α
- το φορτίο Z_d
- την ανηγμένη μάζα
- τη συνάρτηση $\mathcal{G}$

α-διάσπαση



χρονος ζωής (α-ραδιενεργού)

Εστω συντελεστής διέλευσης $T \approx 10^{-30}$,
Θα περάσει το φράγμα μετά από $\approx 10^{30}$ προσπάθειες
(διαδοχικές προσκρούσεις στο φράγμα) .

Αν τ ο χρόνος μεταξύ διαδοχικών προσκρούσεων,
ο χρόνος μέχρι να διαφύγει είναι $t = 10^{30} \tau$.

$$t = N\tau = N/T$$

τ ο χρόνος για να διασχίσει τον πυρήνα
για $A \approx 220$,
για ενέργειες 4-9 MeV

$$\tau = 2R/v$$

$$R = 1.2A^{1/3} \approx 7 \text{ fm}$$

$$\frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2}mc^2\left(\frac{v}{c}\right)^2 = E \Rightarrow \left(\frac{v}{c}\right) = \sqrt{\frac{2E}{mc^2}}$$

Μια τυπική τιμή

$$v \approx 10^9 \text{ cm/s}$$

$$\tau \approx 10^{-21} \text{ s}$$

Οπότε

$$t = 10^{-21} / T(Z, A, \epsilon)$$

α-διάσπαση: μεσος χρόνος ζωής

Πιθανότητα α-διασπασης ανά μονάδα χρόνου ($1/\tau$) =

Πιθανότητα σχηματισμού του σωματιδίου α ανά μονάδα χρόνου ($1/\tau_0$)

* πιθανότητα διέλευσης από φράγμα Coulomb με φαινόμενο σύραγγας (e^{-G})

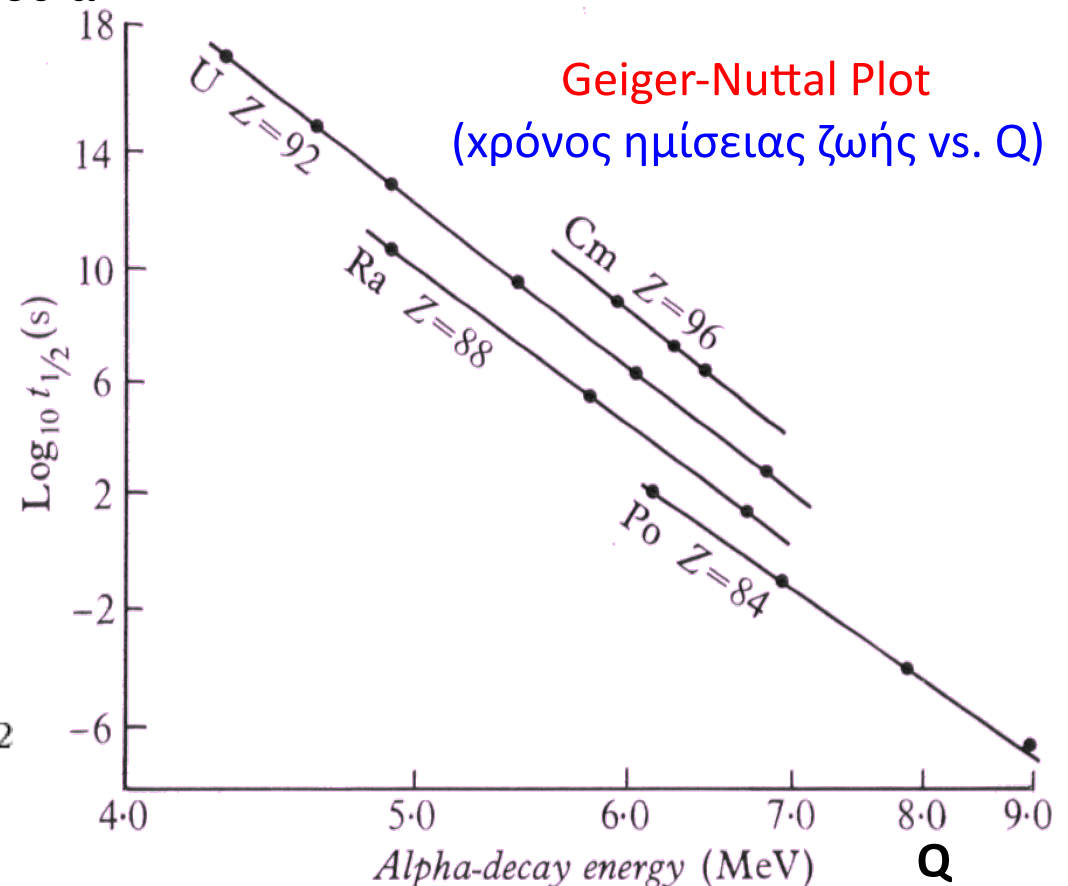
Μεγάλη εξάρτηση από ενέργεια (Q) του α

$$\frac{1}{\tau} = \frac{1}{\tau_0} * e^{-G} \rightarrow \tau = \tau_0 * e^G$$

Μέσος χρόνος ζωής (παρ. 2.3)
μητρικού πυρήνα

Πειραματικά, από προσαρμογή στις
μετρήσεις: $\tau_0 = 7 * 10^{-23} \text{ s}$

$$\text{Geiger-Nuttal : } \ln \lambda = -a_1 \frac{Z}{\sqrt{E}} + a_2$$



α-διάσπαση: χρόνοι ζωής μητρικών

Πίνακας 6.1 στο βιβλίο σας

Μετρήσεις Θεωρία $\tau = \tau_0 * e^G$

↓ ↓

Table 6.1. The α -decay series from $^{238}_{92}\text{U}$

	Q (MeV)	r_s (fm)	r_c (fm)	$\mathcal{G}$	τ_{exp} (s)	τ_{theory} (s)
$^{238}_{92}\text{U} \rightarrow ^{234}_{90}\text{Th}$	4.27	8.52	60.7	0.53	2.0×10^{17}	3.3×10^{17}
$(^{234}_{90}\text{Th} \rightarrow ^{234}_{91}\text{Pa} \rightarrow ^{234}_{92}\text{U})$						
$^{234}_{92}\text{U} \rightarrow ^{230}_{90}\text{Th}$	4.86	8.49	53.3	0.51	1.1×10^{13}	1.1×10^{13}
$^{230}_{90}\text{Th} \rightarrow ^{226}_{88}\text{Ra}$	4.77	8.45	53.1	0.51	3.5×10^{12}	3.9×10^{12}
$^{226}_{88}\text{Ra} \rightarrow ^{222}_{86}\text{Rn}$	4.87	8.41	50.9	0.50	7.3×10^{10}	7.4×10^{10}
$^{222}_{86}\text{Rn} \rightarrow ^{218}_{84}\text{Po}$	5.59	8.37	43.3	0.46	4.8×10^5	4.2×10^5
$^{218}_{84}\text{Po} \rightarrow ^{214}_{82}\text{Pb}$	6.11	8.33	38.7	0.43	2.6×10^2	1.6×10^2
$(^{214}_{82}\text{Pb} \rightarrow ^{214}_{83}\text{Bi} \rightarrow ^{214}_{84}\text{Po})$						
$^{214}_{84}\text{Po} \rightarrow ^{210}_{82}\text{Pb}$	7.84	8.28	30.1	0.36	2.3×10^{-4}	1.1×10^{-4}
$(^{210}_{82}\text{Pb} \rightarrow ^{210}_{83}\text{Bi} \rightarrow ^{210}_{84}\text{Po})$						
$^{210}_{84}\text{Po} \rightarrow ^{206}_{82}\text{Pb}$	5.41	8.24	43.7	0.47	1.7×10^7	5.8×10^5

The values of Q are from experiment. The intervening β -decays, which reduce the neutron-to-proton ratio as the nuclei become lighter, are given in parentheses.

Σημείωση: γενικά πολύ καλή περιγραφή, αλλά συνεισφορές από φαινόμενα σχετικά με τους φλοιούς $O(1 \text{ MeV})$ μπορούν να αλλάξουν αρκετά τα Q -values ή τη σταθερότητα ώστε οι χρόνοι ζωής να είναι πολύ διαφορετικοί από την πρόβλεψη

Νόμος Geiger-Nuttall

$$\log t_{1/2} = A \log E_{\alpha} + B$$

