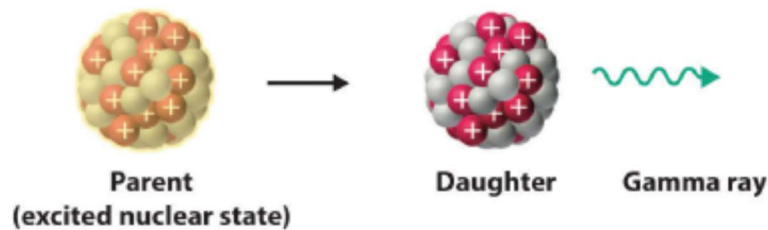
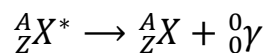


ΑΠΟΔΙΕΓΕΡΣΗ (ΔΙΑΣΠΑΣΗ) γ

Η αποδιέγερση γ συμβαίνει όταν δεν υπάρχει αρκετή διαθέσιμη ενέργεια για να εκπεμφθεί ένα σωματίο (νουκλεόνιο) με ισχυρή αλληλεπίδραση, αλλά ο ασταθής πυρήνας μεταπίπτει από μία διεγερμένη κατάσταση σε μια χαμηλότερη ενεργειακά κατάσταση με ταυτόχρονη εκπομπή ενός φωτονίου.



Συνήθως ο διεγερμένος ασταθής πυρήνας ${}^A_ZX^*$ αποτελεί προϊόν άλλης διάσπασης (α ή β).

Η αποδιέγερση γ ενός πυρηνικού συστήματος προς μια χαμηλότερη στάθμη του ίδιου συστήματος είναι μια ηλεκτρομαγνητική αλληλεπίδραση και η ενέργεια που απελευθερώνεται κατά την εκπομπή του φωτονίου είναι:

$$\Delta E = E_i - E_f = E_\gamma$$

Η ακτινοβολία γ είναι μια μορφή ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας, που αποτελείται από ένα παλλόμενο ηλεκτρικό και παλλόμενο μαγνητικό πεδίο διαδιδόμενα στο κενό με την ταχύτητα του φωτός c .

Στη διάσπαση γ τα παλλόμενα αυτά πεδία δημιουργούνται από την κίνηση των πρωτονίων του ίδιου του διεγερμένου πυρήνα, που δημιουργούν ταλαντούμενα ηλεκτρικά φορτία και ηλεκτρικά ρεύματα.

Εφόσον η ακτινοβολία γ προκύπτει από ηλεκτρομαγνητικές διαδικασίες, μπορεί να θεωρηθεί ως μεταβολή κατανομής φορτίου (E) ή μεταβολή κατανομής ρεύματος (M) οπότε η εκπομπή φωτονίου κατά τη διάσπαση γ μπορεί



να θεωρηθεί ως διαδικασία εκπομπής ηλεκτρικής (E) ακτινοβολίας_πολυπόλου ή μαγνητικής (M) ακτινοβολίας πολυπόλου.

Κάθε διάσπαση γ χαρακτηρίζεται και απ' τη στροφορμή $L = l\hbar$ ($l = 1, 2, \dots$) που αποκομίζει το εκπεμπόμενο φωτόνιο.

Η ονοματολογία που έχει καθιερωθεί για την ακτινοβολία πολυπόλων αναφέρεται ως ηλεκτρική E ή μαγνητική M και ανάλογα με την τιμή της παραμέτρου l χαρακτηρίζεται επιπλέον ως 2^l - πολική. ($l = 1$: διπολική, $l = 2$: τετραπολική, $l = 3$: οκταπολική κ.ο.κ.)

Οπότε η E1 λέγεται ηλεκτρική διπολική και η M3 μαγνητική οκταπολική.

Ο υπολογισμός της πολικότητας, δηλαδή ο καθορισμός των ηλεκτρομαγνητικών πολυπόλων που συνεισφέρουν σε μια συγκεκριμένη μετάπτωση γ ακολουθεί τους κανόνες επιλογής που υπαγορεύουν οι αρχές διατήρησης της στροφορμής και της parity.

Συγκεκριμένα κατά τη μετάπτωση μιας πυρηνικής κατάστασης με κβαντικούς αριθμούς $J_i^{\pi_i}$ προς μια κατάσταση $J_f^{\pi_f}$ με ταυτόχρονη εκπομπή φωτονίου, η διατήρηση της στροφορμής προβλέπει ότι:

$$\Delta J = |J_i - J_f| = l \quad \text{ή} \quad |J_i - J_f| \leq l \leq J_i + J_f$$

ενώ η διατήρηση της parity υπαγορεύει ότι:

$$\Delta \pi = \pi_i \cdot \pi_f$$

και αν $\Delta \pi = +1$ τότε οι δυνατές εκπομπές είναι: M1, E2, M3, E4, ... δηλαδή έχουμε άρτια ηλεκτρικά και περιττά μαγνητικά πολύπολα

ενώ αν $\Delta \pi = -1$ τότε οι δυνατές εκπομπές είναι: E1, M2, E3, M4, ... δηλαδή έχουμε περιττά ηλεκτρικά και άρτια μαγνητικά πολύπολα.

Στον ακόλουθο πίνακα παραθέτονται τα ισχυρότερα ηλεκτρικά και μαγνητικά πολύπολα που μπορούν να προκαλέσουν αποδιεγέρσεις γ σύμφωνα με τους κανόνες επιλογής. Τα πολύπολα μέσα στα άγκιστρα δεν συνεισφέρουν αν η αρχική ή τελική κατάσταση έχει στροφορμή $J = 0$.



ΔJ	$\Delta \pi$	Ακτινοβολία (El, Ml)
$0 \rightarrow 0$		απαγορευμένη
0	+1	$M1, E2$
0	-1	$E1, M2$
1	+1	$M1, \{E2\}$
1	-1	$E1, \{M2\}$
2	+1	$E2, \{M3\}$
2	-1	$M2, \{E3\}$
3	+1	$M3, \{E4\}$
3	-1	$E3, \{M4\}$

Ο χρόνος ημιζωής της αποδιέγερσης γ είναι:

$$t_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda f_i(E_l)}$$

όπου η σταθερά αποδιέγερσης $\lambda f_i(E_l)$ σύμφωνα με την εκτίμηση Weisskopf δίνεται απ' τη σχέση:

$$\lambda f_i(E_l) = \frac{2(l+1)}{\hbar l [(2l+1)!!]^2} \left(\frac{E_\gamma}{\hbar c} \right)^{2l+1} \frac{9e^2}{4\pi\epsilon_0} \frac{R^{2l}}{(l+3)^2} \quad (\sigma \epsilon \text{ sec}^{-1})$$

όπου το διπλό παραγοντικό $n!!$, αν n είναι άρτιος είναι το γινόμενο των άρτιων αριθμών μέχρι και αυτόν, ενώ αν ο n είναι περιττός είναι το γινόμενο των περιττών αριθμών μέχρι και αυτόν (δηλ. $8!! = 2 \cdot 4 \cdot 6 \cdot 8$ και $9!! = 1 \cdot 3 \cdot 5 \cdot 7 \cdot 9$)

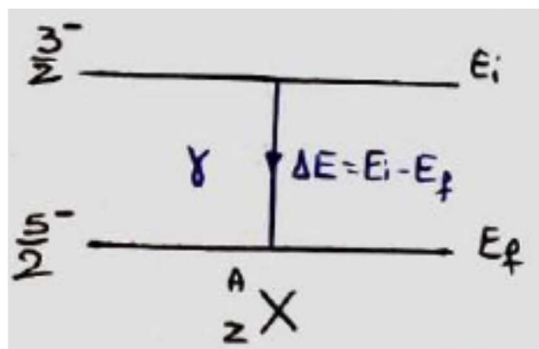
και $R = R_0 A^{1/3} = 1,2 A^{1/3} \text{ fm}$ είναι η πυρηνική ακτίνα.

Από τη συνθήκη εκπομπής φωτονίου $|J_i - J_f| \leq l \leq J_i + J_f$ παρατηρούμε ότι αν τα πυρηνικά spin J_i, J_f διαφέρουν πολύ τότε στην αποδιέγερση γ θα συμβάλουν μόνο φωτόνια με μεγάλο l και θα έχουμε μεγαλύτερους χρόνους ημιζωής. Για αποδιεγέρσεις γ με $l < 2$ ο μέσος χρόνος ημιζωής είναι $\tau = \frac{1}{\lambda f_i} = 10^{-16} \text{ sec} - 10^{-8} \text{ sec}$, ενώ για περιπτώσεις με $l > 3$ είναι $\tau > 10^{-1} \text{ sec}$ και τέτοιες καταστάσεις λέγονται **ισομερείς** και το φαινόμενο αυτό **πυρηνικός ισομερισμός**.



Εφαρμογή:

Έστω η αποδιέγερση γ του ασταθούς πυρήνα ${}^A_Z X$ απ' τη διεγερμένη κατάσταση ενέργειας E_i και $J_i^\pi = \frac{3}{2}^-$ στη χαμηλότερη ενεργειακή κατάσταση E_f και $J_f^\pi = \frac{5}{2}^-$.



Κατά την αποδιέγερση αυτή είναι $J_i = \frac{3}{2}$, $\pi_i = -1$ και $J_f = \frac{5}{2}$, $\pi_f = -1$ οπότε:

$$|J_i - J_f| \leq l \leq J_i + J_f \Rightarrow \left| \frac{3}{2} - \frac{5}{2} \right| \leq l \leq \frac{3}{2} + \frac{5}{2} \Rightarrow 1 \leq l \leq 4$$

Δηλαδή $l = 1, 2, 3, 4$ με $\Delta J = |J_i - J_f| = 1$

και $\Delta\pi = \pi_i \pi_f = (-1)(-1) \Rightarrow \Delta\pi = +1$ οπότε θα έχουμε άρτια ηλεκτρικά και περιττά μαγνητικά πολύπολα.

Συνεπώς τα πιθανά πολύπολα είναι: $E2, E4, M1, M3$ και σύμφωνα με τον πίνακα το ισχυρότερο πολύπολο είναι το μαγνητικό δίπολο $M1$.

Εσωτερική μετατροπή

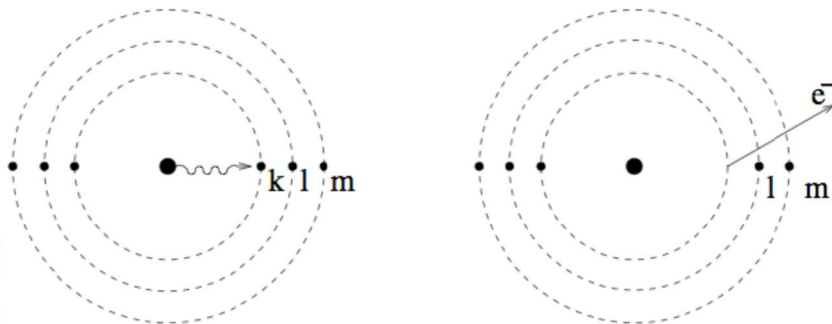
Η κατανομή του φορτίου του πυρήνα επηρεάζει τις τροχιές των ατομικών ηλεκτρονίων. Συνεπώς αν συμβεί μια χρονική μεταβολή στην κατανομή φορτίου στον πυρήνα, αυτό θα γίνει άμεσα αισθητό από τα ατομικά ηλεκτρόνια. Δηλαδή θα παρατηρηθεί μια άμεση ηλεκτρομαγνητική αλληλεπίδραση, χωρίς τη μεσολάβηση εκπομπής ή απορρόφησης φωτονίων, κατά την οποία ένα ατομικό ηλεκτρόνιο μπορεί να αποκτήσει αρκετή ενέργεια ώστε να εκπεμφθεί από το άτομο. Το φαινόμενο αυτό λέγεται **εσωτερική μετατροπή** και αποτελεί το μηχανισμό αποδιέγερσης γ με εκπομπή ηλεκτρονίων εσωτερικής μετατροπής.

Αποτέλεσμα της αλληλεπίδρασης του πυρήνα με ένα ατομικό ηλεκτρόνιο είναι η εκπομπή του ηλεκτρονίου με κινητική ενέργεια:

$$E_e = E_\gamma - E_X$$

όπου E_γ η ενέργεια της μετάπτωσης γ και E_X η ενέργεια σύνδεσης του ηλεκτρονίου στην ατομική τροχιά X .

Ο μηχανισμός της εσωτερικής μετατροπής παίζει καθοριστικό ρόλο σε μεταπτώσεις με $J = 0$ και πραγματοποιείται αποκλειστικά στη μετάπτωση $0 \rightarrow 0$ (απαγορευμένη με εκπομπή φωτονίου) αν $\Delta\pi = \pi_i \pi_f = +1$.



Τα ηλεκτρόνια εσωτερικής μετατροπής προσομοιάζουν με την ακτινοβολία β με τη διαφορά τους να συνίσταται στον τρόπο προέλευσης, καθώς η ακτινοβολία β εκπέμπεται από τον πυρήνα, ενώ τα ηλεκτρόνια μετατροπής από τις ηλεκτρονιακές στοιβάδες K, L, M, \dots του ατόμου.

Συγγραφή – Επιμέλεια: Παναγιώτης Φ. Μοίρας

