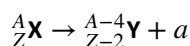


Ραδιενέργεια και ρυθμός διάσπασης

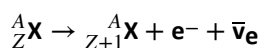
Σητεία, 14/11/2022

0. Η γενική μορφή που μπορεί να έχει η διάσπαση α ενός πυρήνα ${}^A_Z\mathbf{X}$ μπορεί να περιγραφεί από την ακόλουθη εξίσωση (αντίδραση),

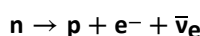


όπου το σωματίδιο α είναι ένας πυρήνας ${}^4_2\mathbf{He}$. Σε βαριούς ασταθείς πυρήνες, οι οποίοι υφίστανται αυθόρμητα διάσπαση α , εκλύεται ποσό ενέργειας Q το οποίο μοιράζεται ως κινητική ενέργεια μεταξύ των θυγατρικών πυρήνων. Από το ποσό αυτό το μεγαλύτερο μέρος παίρνει το σωματίδιο α το οποίο έχει την μικρότερη μάζα.

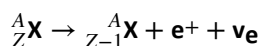
Η γενική μορφή που έχει η β^- διάσπαση ενός πυρήνα ${}^A_Z\mathbf{X}$ μπορεί να περιγραφεί από την ακόλουθη εξίσωση,



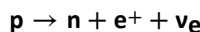
όπου το σωματίδιο β^- είναι το ηλεκτρόνιο e^- (συμβολίζεται και με ${}^0_{-1}e$). Το σωματίδιο $\bar{\nu}_e$ ονομάζεται αντινεutrino του ηλεκτρονίου και είναι ένα στοιχειώδες σωματίο με πολύ μικρή μάζα το οποίο ανακαλύφθηκε το 1956 από τους Reines, Cowan. Στην ουσία πρόκειται για την μετατροπή ενός νετρονίου σε πρωτόνιο και σε επίπεδο στοιχειωδών σωματιδίων περιγράφεται από την εξίσωση,



Η γενική μορφή που έχει η β^+ διάσπαση ενός πυρήνα ${}^A_Z\mathbf{X}$ μπορεί να περιγραφεί από την ακόλουθη εξίσωση,

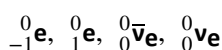


όπου το σωματίδιο β^+ είναι το ποζιτρόνιο e^+ (συμβολίζεται και με 0_1e), που είναι το αντισωματίο του ηλεκτρονίου και το σωματίδιο ν_e ονομάζεται νεutrino του ηλεκτρονίου. Εδώ έχουμε την μετατροπή ενός πρωτονίου σε νεutrino και σε επίπεδο στοιχειωδών σωματιδίων έχουμε την εξίσωση

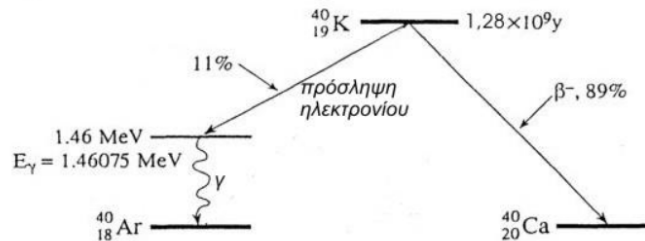


Σε κάθε β διάσπαση ενός ασταθούς πυρήνα εκλύεται ποσό ενέργειας Q που είναι κινητική ενέργεια του θυγατρικού πυρήνα, του σωματιδίου β και του αντινεutrino $\bar{\nu}_e$ ή νεutrino ν_e του ηλεκτρονίου.

(*) Στις παραπάνω εξισώσεις ο πάνω αριστερά δείκτης είναι ο αριθμός των νουκλεονίων του πυρήνα και ο κάτω αριστερά ο ατομικός αριθμός. Τα πρωτόνια έχουν θετικό ηλεκτρικό φορτίο και συνεπώς ο ατομικός αριθμός εκφράζει και το ηλεκτρικό φορτίο. Για τον λόγο αυτό μπορούμε να επεκτείνουμε τον συμβολισμό αυτό και στα στοιχειώδη σωματίδια e^- , e^+ , $\bar{\nu}_e$, ν_e ως εξής:



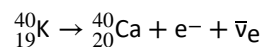
1.(Η διάσπαση β στο ισότοπο ^{40}K). Όπως είδαμε στην θεωρία του μαθήματος το ισότοπο ^{40}K είναι ραδιενεργό και διασπάται με δύο τρόπους. Ο πιο συνηθής, ο οποίος παρατηρείται στο 89% των περιπτώσεων, είναι με διάσπαση β^- προς ^{40}Ca . Στις υπόλοιπες των περιπτώσεων πραγματοποιείται σύλληψη ενός ηλεκτρονίου (Electron Capture) εσωτερικής στιβάδας (K ή L) και ένα πρωτόνιο του πυρήνα μετατρέπεται σε νετρόνιο με ταυτόχρονη εκπομπή ενός νετρίνου του ηλεκτρονίου.



Επειδή ο θυγατρικός πυρήνας του ^{40}Ar μετά την σύλληψη του ηλεκτρονίου βρίσκεται σε διεγερμένη κατάσταση που συμβολίζεται με $^{40}\text{Ar}^*$, αποδιεγείρεται προς την θεμελιώδη στάθμη με εκπομπή ακτινοβολίας γ .

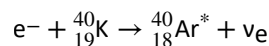
Να γραφούν οι εξισώσεις που περιγράφουν τις δύο παραπάνω διασπάσεις του πυρήνα του ισότοπου ^{40}K .

Απάντηση. Ο πυρήνας ^{40}K υφίσταται β^- διάσπαση σύμφωνα με την εξίσωση,

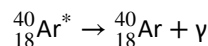


και εκλύεται ποσό θερμότητας Q .

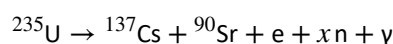
Επίσης στο 11% των περιπτώσεων πραγματοποιείται σύλληψη ηλεκτρονίου εσωτερικής στιβάδας σύμφωνα με την εξίσωση,



και στην συνέχεια ο διεγερμένος πυρήνας αποδιεγείρεται προς την θεμελιώδη στάθμη εκπέμποντας ακτινοβολία γ ,



2.(Αυθόρμητη σχάση του ισότοπου ^{235}U). Δεδομένου της διατήρησης του ηλεκτρικού φορτίου και του αριθμού των νουκλεονίων, να βρεθεί ο αριθμός των νετρονίων x που παράγονται κατά σχάση του πυρήνα η οποία περιγράφεται από την ακόλουθη εξίσωση,



Απάντηση. Από την διατήρηση του αριθμού των νουκλεονίων παίρνουμε την εξίσωση,

$$235 = 137 + 90 + x$$

από την οποία τελικά βρίσκουμε ότι

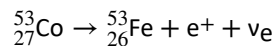
$$x = 235 - 137 - 90 = 8$$

Επίσης μπορούμε να επαληθεύσουμε ότι το ηλεκτρικό φορτίο διατηρείται μετρώντας τα πρωτόνια και τα ηλεκτρόνια πριν και μετά.

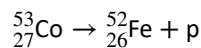
3.(Διάσπαση του πυρήνα του ισότοπου ^{53}Co). Το ισότοπο είναι ραδιενεργό και διασπάται με δύο τρόπους. Στον πιο συνήθη, που παρατηρείται στο 98,5% των περιπτώσεων, υφίσταται διάσπαση β^+ προς ^{53}Fe . Επίσης στο 1,5% των περιπτώσεων διασπάται προς ^{52}Fe με αποβολή πρωτονίου.

Να γραφούν οι εξισώσεις που περιγράφουν τις δύο παραπάνω διασπάσεις του ισότοπου .

Απάντηση. Στην πρώτη περίπτωση έχουμε διάσπαση β^+ ,



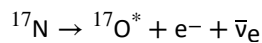
ενώ στην δεύτερη έχουμε αποβολή πρωτονίου,



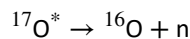
4.(Εκπομπή καθυστερημένων σωματιδίων). Κατά την β^- διάσπαση του ραδιενεργού ισότοπου ^{17}N παράγονται διεγερμένοι πυρήνες ^{17}O οι οποίοι περαιτέρω διασπώνται παράγοντας πυρήνες ^{16}O και καθυστερημένα νετρόνια.

Να γραφούν οι εξισώσεις που περιγράφουν τις δύο παραπάνω διασπάσεις.

Απάντηση. Ο πυρήνας του υφίσταται β^- διάσπαση σύμφωνα με την εξίσωση,

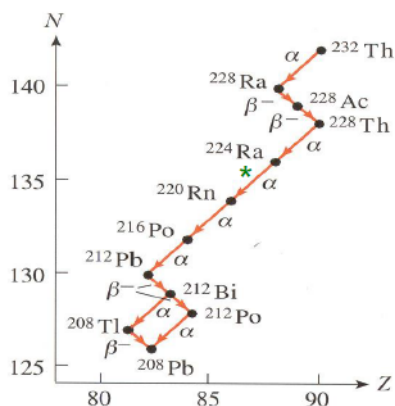


και συμβολίζουμε με τον διεγερμένο πυρήνα του ισότοπου . Στην συνέχεια έχουμε,



και τα νετρόνια αυτά ονομάζονται καθυστερημένα γιατί παράγονται σε δεύτερο χρόνο.

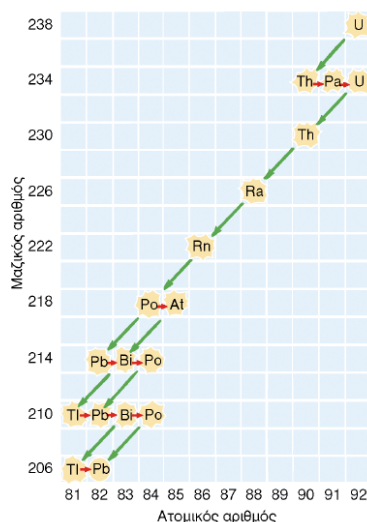
5.(Η ραδιενεργή σειρά του ^{232}Th). Στο παρακάτω διάγραμμα βλέπουμε την σειρά του φυσικού ραδιενεργού ισότοπου ,



Να γραφούν οι τρεις πρώτες εξισώσεις της σειράς.

Απάντηση. Αφήνεται στον φοιτητή.

6.(Η ραδιενεργή σειρά του ^{238}U). Στο παρακάτω διάγραμμα φαίνεται η ραδιενεργή σειρά του ^{238}U ,



Με πράσινα βέλη παριστάνονται διασπάσεις α και με κόκκινα διασπάσεις β . Να γραφούν οι τρεις πρώτες αντιδράσεις της σειράς.

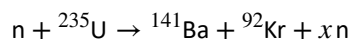
Απάντηση. Αφήνεται στον φοιτητή.

7.(Μη φυσικά ραδιονουκλίδια). Η ύπαρξη των ραδιονουκλιδίων ^{14}C και ^3H οφείλεται στην δράση της κοσμικής ακτινοβολίας και υφίστανται β^- διάσπαση. Να γραφούν οι αντίστοιχες εξισώσεις.

Απάντηση. Αφήνεται στον φοιτητή.

8.(Πυρηνική σχάση). Όταν ο πυρήνας του ^{235}U βομβαρδιστεί με νετρόνια «δεσμεύει» ένα από αυτά και διασπάται σε δύο ελαφρότερους πυρήνες παράγοντας θραύσματα νετρονίων και εκλύοντας ενέργεια Q . Ένας πιθανός συνδυασμός θυγατρικών πυρήνων είναι οι πυρήνες ^{141}Ba και ^{92}Kr . Να γραφεί η εξίσωση που περιγράφει την σχάση αυτή του ^{235}U , δεδομένου ότι ο αριθμός των νουκλεονίων διατηρείται.

Απάντηση. Η εξίσωση θα έχει την ακόλουθη μορφή,

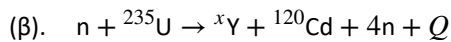
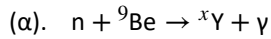


και ο αριθμός x των νετρονίων θα ικανοποιεί την εξίσωση,

$$1 + 235 = 141 + 92 + x$$

από όπου παίρνουμε ότι $x = 3$.

9. Βρείτε τους αγνώστους x και Y (στοιχείο) στις παρακάτω πυρηνικές αντιδράσεις. Χρησιμοποιήστε τον Περιοδικό Πίνακα.



Απάντηση. Χρησιμοποιείτε την διατήρηση του ηλεκτρικού φορτίου και του αριθμού των νουκλεονίων.

10. Το ραδιενεργό ισότοπο του ιωδίου ${}^{131}\text{I}$ χρησιμοποιείται ως ιχνηθέτης για τη διάγνωση όγκου στο θυρεοειδή. Μετά τη χορήγησή του στον ασθενή, το ${}^{131}\text{I}$ αντικαθιστά κατά ένα μέρος το κύριο ισότοπο ${}^{127}\text{I}$ και ακολουθεί η διάγνωση μέσω της ανίχνευσης της β^- και ακολούθως της γ ακτινοβολίας που εκπέμπει το ${}^{131}\text{I}$. Η σταθερά διάσπασης του ${}^{131}\text{I}$ είναι $1,0004 \times 10^{-6}\text{s}^{-1}$. Με βάση τα παραπάνω, υπολογίστε έπειτα από πόσες ημέρες η ποσότητα του ραδιενεργού ${}^{131}\text{I}$ στο σώμα του ασθενούς θα έχει μειωθεί στο $1/6$ της αρχικής ποσότητας.

Απάντηση. Αν N_0 είναι το αρχικό πλήθος των ραδιενεργών πυρήνων, τότε μετά από χρόνο t το πλήθος τους $N(t)$ θα είναι,

$$N(t) = N_0 \cdot e^{-\lambda t}$$

όπου λ είναι η σταθερά διάσπασης. Συνεπώς θα λύσουμε την εξίσωση,

$$\frac{N_0}{6} = N_0 \cdot e^{-\lambda t}$$

η οποία ισοδύναμα γράφεται

$$\begin{aligned} \frac{1}{6} &= e^{-\lambda t} \Leftrightarrow \\ \ln \frac{1}{6} &= \ln(e^{-\lambda t}) \Leftrightarrow \\ -\ln 6 &= -\lambda t \ln e \Leftrightarrow \\ t &= \frac{\ln 6}{\lambda} \\ &= \frac{\ln 6}{1,0004 \cdot 10^{-6}} \\ &= \frac{1,791759}{1,0004} \cdot 10^6 \\ &= 1,79104 \cdot 10^6\text{s} \end{aligned}$$

Τώρα για να βρούμε το αποτέλεσμα σε μέρες απλά διαιρούμε με $24 \cdot 60 \cdot 60$ και παίρνουμε

$$\begin{aligned} t &= \frac{1,79104 \cdot 10^6}{24 \cdot 60 \cdot 60} \\ &= 20,73 \text{ days} \end{aligned}$$

11. Ο χρόνος ημιζωής του ${}^{131}\text{I}$ είναι 8,02days. Να υπολογιστεί μετά από πόσο χρόνο η ποσότητα που χορηγήθηκε σε έναν ασθενή θα μειωθεί στο $1/100$ της αρχικής.

Απάντηση. Κάντε τις πράξεις!