

Στοιχεία Πυρηνικής Φυσικής και Στοιχειωδών Σωματιδίων (5ου εξαμήνου, χειμερινό)

Τμήμα Τ2: Κ. Κορδάς & Δ. Σαμψωνίδης

Ασκήσεις #4

Κώστας Κορδάς

Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Άσκηση 4.1 – μέγεθος και μάζα

- α) Περιγράψτε μια μέθοδο μελέτης της κατανομής ηλεκτρικού φορτίου σ' έναν πυρήνα.
- β) Να υπολογιστεί η κινητική ενέργεια των σωματιδίων άλφα που εκπέμπονται από το ραδιενεργό ισότοπο ^{210}Po . Να διερευνηθεί αν τα σωματίδια άλφα αυτά έχουν την κατάλληλη ενέργεια για να χρησιμοποιηθούν στη μελέτη των διαστάσεων των πυρήνων;
- γ) Πώς εξαρτάται ο όγκος (V) και η ακτίνα (R) ενός πυρήνα από τον αριθμό (A) των νουκλεονίων του; Ποιός είναι ο λόγος των ακτίνων των πυρήνων ^8_4Be και $^{27}_{14}\text{Si}$;
- δ) Ξέροντας ότι $1 \text{ amu} = 931,5 \text{ MeV}/c^2$, πόση είναι η μάζα του ουδέτερου ατόμου του $^{12}_6\text{C}$ και πόση περίπου είναι η μάζα του ουδέτερου ατόμου του ^8_4Be ;

Άσκηση 4.2 – ενέργεια σύνδεσης

α) Σχεδιάστε ποιοτικά τη μέση ενέργεια σύνδεσης ανά νουκλεόνιο στους πυρήνες σαν συνάρτηση του μαζικού αριθμού για την περιοχή για $1 < A < 240$. Δείξτε στο διάγραμμα τις αντίστοιχες θέσεις των α και β , καθώς και την περιοχή που μπορεί να πραγματοποιηθεί σχάση και αυτή όπου μπορεί να πραγματοποιηθεί σύντηξη, αιτιολογώντας το.

β) Τι περιγράφουν οι όροι όγκου, επιφάνειας και Coulomb στον ημιεμπειρικό τύπο μάζας (Weiszacher); Με βάση μόνο αυτούς τους όρους, εξηγήστε τη μορφή της καμπύλης στο προηγούμενο ερώτημα. Ποιοί από τους παραπάνω όρους είναι ίσοι και ποιοί διαφορετικοί για δύο πυρήνες που είναι “κατοπτρικοί”, δηλαδή έχουν το ίδιο άθροισμα πρωτονίων και νετρονίων, αλλά ο αριθμός πρωτονίων του ενός είναι όσα τα νετρόνια του άλλου;

γ) Ένας πυρήνας έχει ενέργεια σύνδεσης ανά νουκλεόνιο $7,5 \text{ MeV}$ και σχάζεται σε α και β , οι οποίοι έχουν ενέργειες σύνδεσης $8,5 \text{ MeV}$ ανά νουκλεόνιο. Γράψτε την αντίδραση συμπληρώνοντας τα προϊόντα της σχάσης, καθώς και υπολογίστε την ενέργεια που ελευθερώνεται κατά τη σχάση.

Άσκηση 4.3 – ενέργεια σύνδεσης και μέγεθος

α) Πώς εξαρτάται η ακτίνα (R) ενός πυρήνα από τον αριθμό των νουκλεονίων του (A) ; Πόση είναι η ακτίνα ενός πυρήνα με $A=27$;

β) Πώς εξαρτάται η μάζα ενός πυρήνα από την ενέργεια σύνδεσής του; Πόση περίπου είναι η ενέργεια σύνδεσης ανά νουκλεόνιο; Περιγράψτε τους βασικούς όρους στον ημειμπιρικό τύπο μάζας.

γ) Οι ενέργειες σύνδεσης των “κατοπτρικών πυρήνων” $^{11}_5\text{B}$ και $^{11}_6\text{C}$ είναι 76.2 MeV και 73.4 MeV αντίστοιχα. Ένας παλιός τρόπος υπολογισμού της ακτίνας τους (R_C) ήταν να υποθέτουμε ότι οι πυρήνες είναι σφαιρικοί με ομοιόμορφα κατανεμημένο το φορτίο στον όγκο τους και ότι η διαφορά στις ενέργειες σύνδεσης οφείλεται όλη σε φαινόμενα Coulomb. Σας φαίνεται λογική αυτή η υπόθεση; Υπολογίσετε μ' αυτό τον τρόπο την ακτίνα και συγκρίνετε το αποτέλεσμα με την τιμή που βρήκατε στο ερώτημα α).

Δίνονται:

Σταθερές: $R_0 = 1.1\text{fm}$, $1 \text{ amu} = 931.5 \text{ MeV}/c^2$, $e^2/\hbar c = 1/137$, $\hbar c = 197 \text{ MeV}\cdot\text{fm}$

Ομοιόμορφα φορτισμένη σφαίρα με φορτίο Ze και ακτίνα R έχει ενέργεια Coulomb $0.87 \cdot Z^2/R \text{ MeV}\cdot\text{fm}$.

Άσκηση 4.4 – ενεργότητα και ηλικία

Ένας Φυσικός βρίσκει στο εργαστήριο ένα ραδιενεργό δείγμα χωρίς καμμία ένδειξη. Το μετράει στον ανιχνευτή και καταγράφει ενεργότητα 1350 counts per minute (cpm). Κατόπιν τοποθετεί στον ανιχνευτή ένα παρόμοιο δείγμα (ίδιο υλικό, ίδια μάζα) που μόλις παρασκευάστηκε και μετράει 10800 cpm.

- α) Γνωρίζοντας ότι το ραδιενεργό αυτό υλικό έχει χρόνο ημιζωής 6 μέρες, πόσες μέρες έχουν περάσει από την παρασκευή του πρώτου δείγματος;
- β) Πόση ενεργότητα θα έχει ένα νεοφτιαγμένο δείγμα από το ίδιο υλικό, αλλά με διπλάσια μάζα από τα παραπάνω;
- γ) Ο χρόνος ημίσειας ζωής του νέου μεγαλύτερου δείγματος θα ήταν πάλι 6 μέρες, περισσότερο ή λιγότερο;

Άσκηση 4.5 - χρονολόγηση

α) Ένα ξύλινο αντικείμενο μάζας 6 g ανακαλύφθηκε στις ανασκαφές και βρέθηκε να έχει ενεργότητα 0.2 Bq (αυτή προέρχεται από διασπάσεις του ^{14}C που έχει σταθερά διάσπασης $\lambda = 1.2 \times 10^{-4} \text{ y}^{-1}$). Ποιός ο μέσος χρόνος ζωής και ο $T_{1/2}$ του ^{14}C ; Υποθέτοντας ότι στη ζώσα ύλη ο λόγος των πυρήνων $^{14}\text{C} / \text{allC}$ είναι 10^{-12} και ότι το αντικείμενο είναι εξ' ολοκλήρου από άνθρακα, ποιά είναι η ηλικία του αντικειμένου; (Δίνονται: $\ln(2) = 0.69$, $\ln(6) = 1.8$, 1 έτος = $1 \text{ y} = 3 \cdot 10^7 \text{ sec}$, αριθμός Avogadro = $6 \cdot 10^{23}$ άτομα/mol).

β) Η ηλικία των πετρωμάτων της γης μπορεί να εκτιμηθεί με την παρατήρηση της σχετικής αφθονίας των ισοτόπων στις διάφορες φυσικές ραδιενεργές σειρές. Μία από αυτές έχει σαν “μητέρα” το $^{238}_{92}\text{U}$ και με διαδοχικές μεταστοιχειώσεις καταλήγει στο σταθερό $^{206}_{82}\text{Pb}$. Αν θεωρήσουμε ότι οι ενδιάμεσοι πυρήνες έχουν αμελητέους χρόνους ζωής σε σχέση με την ηλικία της γής και ότι η ποσότητα $^{206}_{82}\text{Pb}$ που περιέχεται στα πετρώματα προέρχεται αποκλειστικά από την αποδιέγερση πυρήνων $^{238}_{92}\text{U}$, υπολογίστε την ηλικία ενός πετρώματος στο οποίο βρέθηκε ότι η σχετική αφθονία $^{206}_{82}\text{Pb}$ προς $^{238}_{92}\text{U}$ είναι 15% προς 85% (15:85). Σας φαίνεται λογική η ηλικία της γής που βρίσκετε; Δίνεται ο μέσος χρόνος ζωής του $^{238}_{92}\text{U}$ (6.51 δισεκατομύρια έτη = $6.51 \cdot 10^9$ έτη).

Άσκηση 4.6 – άλφα διάσπαση

α) Γράψτε τις αντιδράσεις άλφα διάσπασης του $^{234}_{92}\text{U}$ και του $^{238}_{92}\text{U}$.

β) Κατά την α-διάσπαση του $^{214}_{84}\text{Po}$, κατά την οποία προκύπτει μόλυβδος, η εκλυόμενη ενέργεια είναι 7.8 MeV. Με βάση τις αρχές διατηρήσεως, να αποδείξετε τις σχέσεις που δίνουν την ενέργεια των προϊόντων και να βρείτε τις ενέργειες αυτές.

γ) Αν η εκλυόμενη ενέργεια στην α-διάσπαση του $^{238}_{92}\text{U}$ είναι 4,27 MeV, ενώ στη διάσπαση του $^{234}_{92}\text{U}$ είναι 4,86 MeV, γράψτε και αιτιολογήστε ποιός χρόνος ζωής περιμένετε να είναι πιο μεγάλος (του $^{234}_{92}\text{U}$ ή του $^{238}_{92}\text{U}$).

δ) Αν η εκλυόμενη ενέργεια στην α-διάσπαση του $^{234}_{92}\text{U}$ είναι 4,86 MeV, και στη διάσπαση του $^{226}_{88}\text{Ra}$ η εκλυόμενη ενέργεια είναι ακριβώς ίδια, γράψτε και αιτιολογήστε ποιός χρόνος ζωής περιμένετε να είναι πιο μεγάλος (του $^{234}_{92}\text{U}$ ή του $^{226}_{88}\text{Ra}$).

Δίνονται: αριθμός πρωτονίων των βαρέων πυρήνων: Pb=82, Po=84, Rn=86, Ra=88, Th=90, U=92.