



ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΚΡΗΤΗΣ

Από τα Quarks μέχρι το Σύμπαν

Ε. Οικονόμου

Τμήμα Φυσικής

Μελέτη: Προσέξτε τη σχέση

$$E_{ολ} = Zm_p c^2 + Nm_n c^2 - B \quad (1)$$

όπου το $-B$ είναι η μείωση της ενέργειας ηρεμίας Z απομονωμένων πρωτονίων και N απομονωμένων νετρονίων λόγω του ότι σχημάτισαν πυρήνα ερχόμενα το κάθε ένα δίπλα στα άλλα (σε μια απόσταση μεταξύ των κέντρων διπλανών νουκλεονίων περίπου 2,1 fm). Το $-B$ ισούται με

$$-B = E_{\Delta I} + E_{\Delta C} + E_K \quad (2)$$

όπου το $E_{\Delta I}$ είναι η δυναμική ενέργεια λόγω της ισχυρής αλληλεπίδρασης (που είναι αρνητική, δηλαδή συνθλιπτική), το $E_{\Delta C}$ είναι η δυναμική ενέργεια λόγω της αλληλεπίδρασης Coulomb (που είναι θετική, δηλαδή απωστική) και το E_K είναι η μέση κβαντική κινητική ενέργεια (που φυσικά είναι θετική και από μόνη της τείνει να διαλύσει τον πυρήνα). Με άλλα λόγια η ισχυρή αλληλεπίδραση υπερνικά τη συνδυασμένη δράση των δύο άλλων όρων στο δεξιό σκέλος της (2) και εξασφαλίζει την ύπαρξη πυρήνων. Στον τύπο (8.3) υπολογίζεται το $E_{\Delta I}$ και στον τύπο (8.4) δίνεται μια αρκετά ρεαλιστική εκτίμηση της αριθμητικής του τιμής λαμβανοντας υπόψη τη σχέση (8.1'). Το $E_{\Delta C}$ υπολογίζεται στον τύπο (8.2) και τέλος- με βάση τη σχέση (8.4) που δεν πρέπει ποτέ να ξεχασθεί- δίνεται η κβαντική κινητική ενέργεια από το συνδυασμό των σχέσεων (8.4'), (8.4''). Σημειώστε ότι οι πυρήνες με Z, N άρτια εκμεταλλεύονται καλύτερα τις κβαντικές διακριτές ενεργειακές στάθμες από όσο αυτοί με Z, N άρτιο, περιττό. Οι τελευταίοι εκμεταλλεύονται καλύτερα τις κβαντικές διακριτές ενεργειακές στάθμες από όσο αυτοί με Z, N περιττό, περιττό. Αυτή η παρατήρηση ενσωματώνεται στην ολική ενέργεια με τον όρο δ (βλέπε (8.5) και (8.6)).

Αφού, όπως έχουμε δει, η ασθενής αλληλεπίδραση επιτρέπει υπό όρους την μετατροπή πρωτονίου σε νετρόνιο και αντίστροφα, συμπεραίνουμε ότι για ένα **δεδομένο** αριθμό νουκλεονίων, $A = Z + N$, θα αυξηθεί ή θα μειωθεί ο αριθμός πρωτονίων και αντίστοιχα ο αριθμός νετρονίων μέχρι να επιτευχθούν εκείνες οι τιμές που ελαχιστοποιούν την ολική ενέργεια. Αυτό επιτυγχάνεται όταν η μερική παράγωγος της $E_{ολ}$ ως προς Z (αφού αντικατασταθεί το $N = A - Z$) υπό $A = σταθ.$ τεθεί ίση με μηδέν. Από την τελευταία αυτή σχέση προκύπτει η (8.8) ή η (8.8') που έχει τη μορφή

$$Z \approx 1,01A / (2 + 0,015A^{2/3}) \quad (3)$$

Αντικαθιστώντας την (3) στην

$$-B = -15,5A + 16,8A^{2/3} + 0,72Z(Z-1) / A^{1/3} + 23(N-Z)^2 / A \text{ MeV} \quad (4)$$

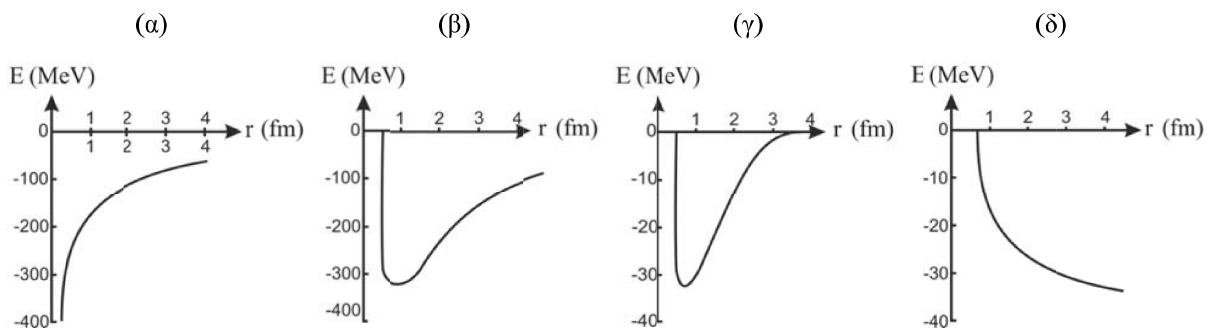
και διαιρώντας με A καταλήγουμε στη συνεχή γραμμή του Σχ. 8.3. Εάν λάβουμε υπόψη και τον όρο δ (που δεν έχει περιληφθεί στις σχέσεις (3) και (4)) προκύπτει μια σημαντική διόρθωση για το ήλιο-4 και πολύ μικρότερη για τον άνθρακα-12 και για το οξυγόνο-16. Για τους άλλους πυρήνες η διόρθωση είναι αμελητέα. Σημειώστε ότι για A μεγαλύτερο από περίπου 90 η σχέση $-B/A = f(A)$ μπορεί να προσεγγισθεί με επαρκή ακρίβεια με τον πολύ απλό τύπο:

$$-B/A \approx -9,45 + 0,008A \text{ MeV} \quad (5)$$

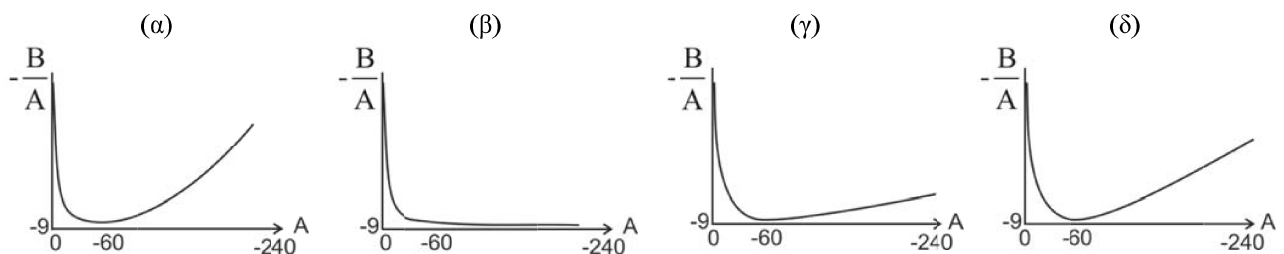
Ασκήσεις: Κεφ. 8, Παρ. 8.3, ερωτήσεις 1, 3, 4, 5, σελ. 120, 123-124)

Και οι ακόλουθες ερωτήσεις πολλαπλής επιλογής:

1. Ποιο από τα παρακάτω γραφήματα περιγράφει αποδεκτά την αλληλεπίδραση δύο νουκλεονίων;



2. Ο σχηματισμός του πυρήνα συνεπάγεται τη μείωση της ολικής ενέργειας του συστήματος. Η ποσότητα αυτή ανά νουκλεόνιο δίνεται προσεγγιστικά από το εξής γράφημα:



3. Η ενέργεια σύνδεσης ανά νουκλεόνιο για το σίδηρο 56 είναι περίπου:

(α) 7,1eV (β) 8,2keV (γ) 8,9MeV (δ) 10,5MeV

4. Η ενέργεια σύνδεσης ανά νουκλεόνιο για το ουράνιο 235 είναι περίπου:
 (α) 6,1eV (β) 7,6MeV (γ) 7,2keV (δ) 9,9MeV
5. Η ενέργεια σύνδεσης ανά νουκλεόνιο για το ήλιο 4 είναι περίπου:
 (α) 4,1eV (β) 6,5keV (γ) 9,6MeV (δ) 7,1 MeV
6. Γιατί οι πυρήνες με μικρό αριθμό νουκλεονίων έχουν μικρότερη ενέργεια σύνδεσης ανά νουκλεόνιο;
 (α) επειδή η κινητική ενέργεια ανά νουκλεόνιο είναι μικρότερη
 (β) επειδή η κινητική ενέργεια ανά νουκλεόνιο είναι μεγαλύτερη
 (γ) επειδή η άπωση Coulomb ανά νουκλεόνιο είναι μεγαλύτερη
 (δ) επειδή ο μέσος όρος γειτονικών νουκλεονίων για κάθε νουκλεόνιο είναι μικρότερος
7. Γιατί οι πυρήνες με πολύ μεγάλο αριθμό νουκλεονίων έχουν μικρότερη ενέργεια σύνδεσης ανά νουκλεόνιο;
 (α) επειδή ο μέσος όρος γειτονικών νουκλεονίων για κάθε νουκλεόνιο είναι μικρότερος
 (β) επειδή η άπωση Coulomb ανά νουκλεόνιο είναι σχετικά μεγαλύτερη
 (γ) επειδή η κινητική ενέργεια ανά νουκλεόνιο είναι σχετικά μεγαλύτερη
 (δ) επειδή η κινητική ενέργεια ανά νουκλεόνιο είναι σχετικά μικρότερη
8. Για ποιο λόγο το ουράνιο 235 είναι σχάσιμο και το ουράνιο 238 δεν είναι;
 (α) Επειδή το 235 έχει λιγότερα νουκλεόνια, η ενσωμάτωση ενός εξωτερικού νετρονίου επιτρέπει την υπέρβαση του φράγματος δυναμικού σε αντίθεση με το 238
 (β) Επειδή το 235 έχει λιγότερα νετρόνια η ενσωμάτωση ενός εξωτερικού νετρονίου επιτρέπει την υπέρβαση του φράγματος δυναμικού σε αντίθεση με το 238
 (γ) Επειδή η ενέργεια σύνδεσης ανά νουκλεόνιο είναι μικρότερη σε απολυτή τιμή στο 235 από ότι στο 238, η ενσωμάτωση ενός εξωτερικού νετρονίου επιτρέπει την υπέρβαση του φράγματος δυναμικού στο 235 σε αντίθεση με το 238
 (δ) Επειδή η ενέργεια $\epsilon_{\text{νετρονίου}} + E_{235} - E_{236}$ είναι μεγαλύτερη από την ενέργεια $\epsilon_{\text{νετρονίου}} + E_{238} - E_{239}$, επιτρέπεται η υπέρβαση του φράγματος δυναμικού στο 235 σε αντίθεση με το 238

Σημειώματα

Σημείωμα αναφοράς

Copyright Πανεπιστήμιο Κρήτης, Ε. Οικονόμου, 2014. «Από τα Quarks μέχρι το Σύμπαν». Έκδοση: 1.0. Ηράκλειο 2014. Διαθέσιμο από τη δικτυακή διεύθυνση: <https://opencourses.uoc.gr>.

Σημείωμα Αδειοδότησης

Το παρόν υλικό διατίθεται με τους όρους της άδειας χρήσης Creative Commons Αναφορά, Μη Εμπορική Χρήση, Όχι Παράγωγο Έργο 4.0 [1] ή μεταγενέστερη, Διεθνής Έκδοση. Εξαιρούνται τα αυτοτελή έργα τρίτων π.χ. φωτογραφίες, διαγράμματα κ.λ.π., τα οποία εμπεριέχονται σε αυτό και τα οποία αναφέρονται μαζί με τους όρους χρήσης τους στο «Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων».



[1] <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>

Ως **Μη Εμπορική** ορίζεται η χρήση:

- που δεν περιλαμβάνει άμεσο ή έμμεσο οικονομικό όφελος από την χρήση του έργου, για το διανομέα του έργου και αδειοδόχο
- που δεν περιλαμβάνει οικονομική συναλλαγή ως προϋπόθεση για τη χρήση ή πρόσβαση στο έργο
- που δεν προσπορίζει στο διανομέα του έργου και αδειοδόχο έμμεσο οικονομικό όφελος (π.χ. διαφημίσεις) από την προβολή του έργου σε διαδικτυακό τόπο

Ο δικαιούχος μπορεί να παρέχει στον αδειοδόχο ξεχωριστή άδεια να χρησιμοποιεί το έργο για εμπορική χρήση, εφόσον αυτό του ζητηθεί.

Διατήρηση Σημειωμάτων

Οποιαδήποτε αναπαραγωγή ή διασκευή του υλικού θα πρέπει να συμπεριλαμβάνει:

- το Σημείωμα Αναφοράς
- το Σημείωμα Αδειοδότησης
- τη δήλωση Διατήρησης Σημειωμάτων
- το Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων (εφόσον υπάρχει)

μαζί με τους συνοδευόμενους υπερσυνδέσμους.

Χρηματοδότηση

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό έχει αναπτυχθεί στα πλαίσια του εκπαιδευτικού έργου του διδάσκοντα.
- Το έργο «Ανοικτά Ακαδημαϊκά Μαθήματα στο Πανεπιστήμιο Κρήτης» έχει χρηματοδοτήσει μόνο τη αναδιαμόρφωση του εκπαιδευτικού υλικού.
- Το έργο υλοποιείται στο πλαίσιο του Επιχειρησιακού Προγράμματος «Εκπαίδευση και Δια Βίου Μάθηση» και συγχρηματοδοτείται από την Ευρωπαϊκή Ένωση (Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο) και από εθνικούς πόρους.



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ ΚΑΙ ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης

