

**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  $\delta$  (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  $A = \text{σταθ.}$  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

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

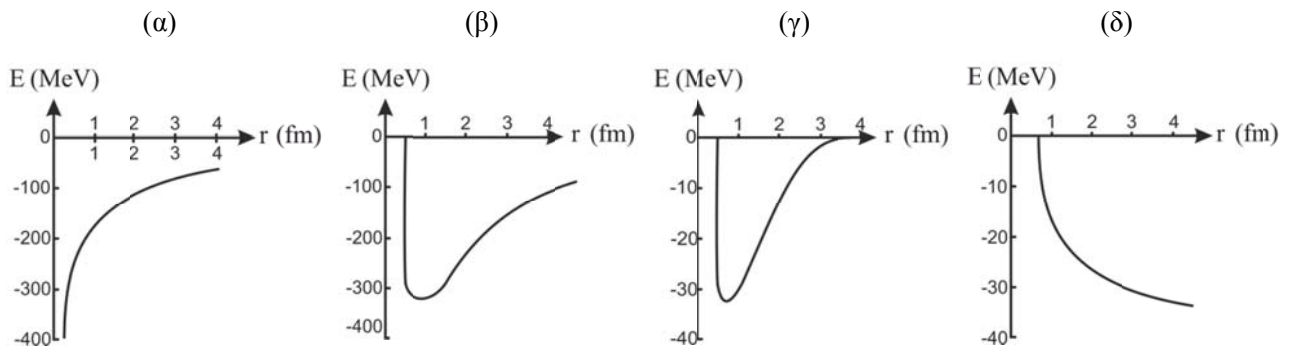
και διαιρώντας με  $A$  καταλήγουμε στη συνεχή γραμμή του Σχ. 8.3. Εάν λάβουμε υπόψη και τον όρο  $\delta$  (που δεν έχει περιληφθεί στις σχέσεις (3) και (4)) προκύπτει μια σημαντική διόρθωση για το ήλιο-4 και πολύ μικρότερη για τον άνθρακα-12 και για το οξυγόνο-16. Για τους άλλους πυρήνες η διόρθωση 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:

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

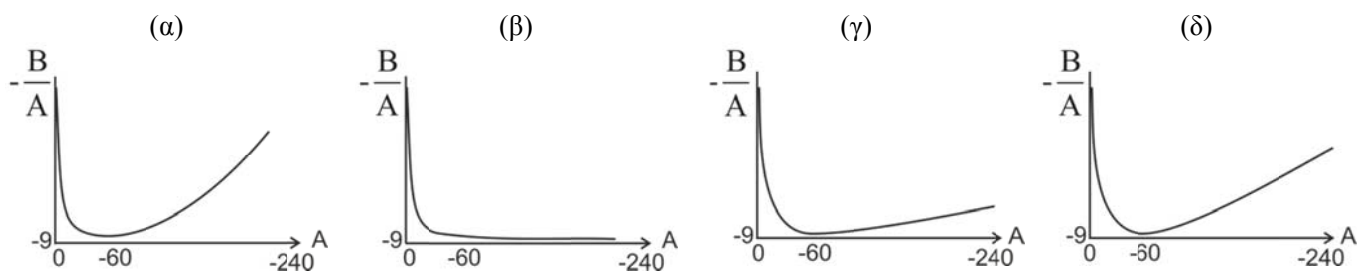
**Ασκήσεις:** Κεφ. 8, Παρ. 8.3, ερωτήσεις 1, 3, 4, 5, σελ. 120, 123-124)

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