

Πυρηνική Φυσική και Φυσική Στοιχειωδών Σωματιδίων (5ου εξαμήνου, χειμερινό)

Τμήμα Τ2: Κ. Κορδάς & Δ. Σαμψωνίδης

Ασκήσεις #2

Μέγεθος και Μάζα πυρήνα.

Ενέργεια σύνδεσης και το Q μίας αντίδρασης.

Κοιλάδα σταθερότητας.

Κώστας Κορδάς

Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Άσκηση 2.1: Μέγεθος πυρήνων

α) Πόση είναι η ακτίνα του πυρήνα $^{222}_{84}\text{Po}$ (πολώνιο);

β) Πόση είναι η ταχύτητα ενός σωματιδίου α (άλφα) με κινητική ενέργεια 5.41 MeV; Το θεωρείτε σχετικιστικό ή όχι;

γ) Πόσο χρόνο χρειάζεται ένα σωματίδιο α (άλφα) με κινητική ενέργεια 5.41 MeV ώστε να διασχίσει έναν πυρήνα $^{222}_{84}\text{Po}$ (πολωνίου);

Άσκηση 2.2 : ενέργεια σύνδεσης και πυρηνικές αντιδράσεις α και γ διάσπασης

Πρόβλημα 4.5 του βιβλίου σας

- α) Δείξτε ότι το ^8Be μπορεί να διασπαστεί σε δύο α -σωμάτια.
- β) Δείξτε ότι το ^{12}C δεν μπορεί να διασπαστεί σε τρία α -σωμάτια.
- γ) Γίνεται (χωρίς βοήθεια) η αντίδραση $^2\text{H} + ^4\text{He} \rightarrow ^6\text{Li} + \gamma$?

Δίνονται:

$$1 \text{ amu} = 931.49 \text{ MeV}/c^2 \quad \text{και} \quad 1 \text{ eV} = 1.6 \times 10^{-19} \text{ J}$$

$$m(n) = 939.57 \text{ MeV}, \quad m(p) = 938.27 \text{ MeV}$$

$$m(e) = 0.511 \text{ MeV}, \quad m(\gamma)=0, \quad m(\nu) = 0$$

Πίνακας 4.2 του βιβλίου σας

Σημείωση:

Ό,τι δεν το χρειάζεστε γι αυτή την άσκηση, θεωρήστε το δεδομένο για τις επόμενες ασκήσεις.

Άσκηση 2.3 : ενέργεια σύνδεσης και πυρηνικές αντιδράσεις σχάσης

Αν ένα νετρόνιο (n), έστω με αμελητέα κινητική ενέργεια, προσκρούσει σε έναν πυρήνα ^{235}U μπορεί να τον διασπάσει σε δύο ελαφρύτερους πυρήνες με ταυτόχρονη έκλυση δύο ή περισσότερων νετρονίων.

Αν έχουμε την πυρηνική αντίδραση “σχάσης ουρανίου”



α) Υπολογίστε τη ενέργεια που εκλύεται κατά τη διάσπαση ενός πυρήνα ^{235}U σύμφωνα με την παραπάνω αντίδραση.

β) Αν διασπαστεί ένα γραμμάριο ^{235}U σύμφωνα με την αντίδραση αυτή, πόση ενέργεια θα παραχθεί;

γ) Συγρίνετε την ενέργεια που βρήκατε στο ερώτημα β) με την ενέργεια που παράγεται κατά την καύση ενός γραμμαρίου λιγνίτη (άνθρακα, που δίνει περίπου 33kJ/g).

Δίνονται οι μάζες:

$$M({}^{235}\text{U}) = 235.044 \text{ amu}, \quad M({}^{137}\text{Cs}) = 136.907, \quad M({}^{94}\text{Rb}) = 93.926 \text{ amu}$$

Άσκηση 2.4 : ενέργεια σύνδεσης και Q-value αντίδρασης

Γίνονται αυθόρμητα οι παρακάτω αντιδράσεις;

a) ${}^4\text{He} + n \rightarrow {}^5\text{He}$, b) ${}^5\text{He} \rightarrow {}^4\text{He} + n$;

μάζα νετρονίου $939.6 \text{ MeV}/c^2$

μάζα πρωτονίου $938.3 \text{ MeV}/c^2$

Table 4.2. *Energies of some light nuclei*

Nucleus	Binding energy (MeV)	Binding energy of last nucleon (MeV)	Binding energy per nucleon (MeV)
${}^2_1\text{H}$	2.22	2.2	1.1
${}^3_1\text{H}$	8.48	6.3	2.8
${}^4_2\text{He}$	28.30	19.8	7.1
${}^5_2\text{He}$	27.34	-1.0	5.5
${}^6_3\text{Li}$	31.99	4.7	5.3
${}^7_3\text{Li}$	39.25	7.3	5.6
${}^8_4\text{Be}$	56.50	17.3	7.1
${}^9_4\text{Be}$	58.16	1.7	6.5
${}^{10}_5\text{B}$	64.75	6.6	6.5
${}^{11}_5\text{B}$	76.21	11.5	6.9
${}^{12}_6\text{C}$	92.16	16.0	7.7
${}^{13}_6\text{C}$	97.11	5.0	7.5
${}^{14}_7\text{N}$	104.66	7.6	7.5
${}^{15}_7\text{N}$	115.49	10.8	7.7
${}^{16}_8\text{O}$	127.62	12.1	8.0
${}^{17}_8\text{O}$	131.76	4.1	7.8

${}^2_1\text{H} : 2.22 \text{ MeV}$
 ${}^3_1\text{H} : 8.48 \text{ MeV}$
 ${}^3_2\text{He} : 7.72 \text{ MeV}$

Άσκηση 2.5: Σύντηξη υδρογόνου για παραγωγή ηλίου στον Ήλιο

Πόση ενέργεια θα ελευθερόνονταν αν το δευτέριο (^2H) μπορούσε να παράγει ήλιο (^4He) με την ακόλουθη αντίδραση σύντηξης?



Δίνονται - ΝΑ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΘΕΙ ΜΟΝΟ Ο,ΤΙ ΔΙΝΕΤΑΙ ΕΔΩ:

- Ενέργειες Σύνδεσης (B):

$$B(^4\text{He}) = 28.30 \text{ MeV}, B(^2\text{H}) = 2.2 \text{ MeV}, B(^3\text{H}) = 8.48 \text{ MeV}$$

Άσκηση 2.6 : ενέργεια σύνδεσης – το σταθερότερο A από όλα

(Πρόβλημα 4.6 του βιβλίου των Cottingham&Greenwood):

Θεωρήστε τους πυρήνες με μικρό μαζικό αριθμό A και $Z=N=A/2$.

α) Αγνοώντας τον όρο της ενέργειας ζευγαρώματος, δείξτε ότι ο ημιεμπειρικός τύπος μάζας (του Weizacker) δίνει για την ενέργεια σύνδεσης ανά νουκλεόνιο:

$$B/A = a - b A^{-1/3} - (d/4) A^{-2/3}$$

β) Δείξτε ότι η έκφραση αυτή έχει μέγιστη τιμή για $Z = A/2 = 26$ (σίδηρος)

Άσκηση 2.7 : κοιλάδα σταθερότητας – το σταθερότερο Z σε συγκεκριμένο A

Θεωρήστε τους πυρήνες με μικρό μαζικό αριθμό $A=14$. Λαμβάνοντας υπ' όψιν όλους τους όρους στον ημιεμπειρικό τύπο μάζας του Weizsäcker

α) Γράψτε την μαθηματική έκφραση για τη μάζα των πυρήνων με $A=14$, σαν συνάρτηση του Z των πυρήνων.

β) Σχεδιάστε τη μάζα των πυρήνων με $A=14$, σαν συνάρτηση του Z των πυρήνων, από $Z=5.5$ έως 8.5 (δηλαδή να κάνετε την καμπύλη για κάθε τιμή του Z , όχι μόνο για ακέραιες τιμές)

γ) Δείξτε ότι ο όρος της ενέργειας ζευγαρώματος προκαλεί την χάραξη δύο καμπυλών. Σε ποιά από τις δύο καμπύλες θα περιμένατε να βρίσκεται ο πιο σταθερός πυρήνας με $A=14$; Στην καμπύλη “άρτιο-άρτιο”, ή στην καμπύλη “περιττό-περιττό”;

δ) Υπολογίστε τις μάζες των πυρήνων $^{14}_6\text{C}$, $^{14}_7\text{N}$ και $^{14}_8\text{O}$. Ποιός πυρήνας είναι πιο σταθερός από τους τρεις τους; Σε ποιά από τις δύο καμπύλες που σχεδιάσατε παραπάνω ανήκει αυτός ο σταθερός πυρήνας;

Άσκηση 2.8: Πόσα β-σταθερά για κάθε A , και άρα πόσα β-σταθερά μέχρι $A \sim 200$;

Πρόβλημα 4.9 του βιβλίου των Cottingham&Greenwood):

Με βάση τις διαφορετικές ιδιότητες των πυρήνων με άρτιο A και με περιττό A , εξηγήστε γιατί υπάρχουν περίπου 300 β-σταθεροί πυρήνες με μάζες μέχρι αυτή του $^{209}_{83}\text{Bi}$. Ποιός είναι λοιπόν ο μέσος αριθμός ισοτόπων ανά στοιχείο;