

Πυρηνική Φυσική και Φυσική Στοιχειωδών Σωματιδίων (5ου εξαμήνου, χειμερινό 2015-16)

Τμήμα Τ3: Κ. Κορδάς & Χ. Πετρίδου

Μάθημα 8 α-διάσπαση, σχάση, σύντηξη.

Κώστας Κορδάς

Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Πυρηνική & Στοιχειώδη Ι, Αριστοτέλειο Παν. Θ/νίκης, 21 Οκτωβρίου 2016

Άσκησης 4.1, 4.2: Διάσπαση α Κβαντομηχανικό φαινόμενο σύραγγας και χρόνοι ζωής

→ **Άσκηση 4.1 = άσκηση 6.1**, βιβλίου Cottingham & Greenwood:

Το ${}^8_4\text{Be}$ διασπάται σε δυο α-σωμάτια απελευθερώνοντας κινητική ενέργεια 0.094 MeV. Εκτιμήστε το μέσο χρόνο ζωής του χρησιμοποιώντας τη σχέση (6.17) και συγκρίνετε την εκτίμησή σας με τον παρατηρούμενο μέσο χρόνο ζωής των 2.6×10^{-17} s.

→ **Σημείωση:**

Πιθανότητα διέλευσης από το φράγμα, εξ. 6.14, που μεταφράζεται σε χρόνους ζωής εξ. 6.17, με συνετλεστή G από την εξ. 6.15 (και εξ. 6.16 που έχει όρους το r_s και r_c) παράγραφο 6.2.

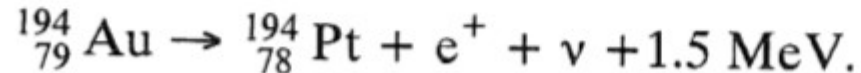
→ Επίσης διαφάνειες μάθημα α-διάσπαση

Άσκησης 4.1, 4.2: Διάσπαση α Κβαντομηχανικό φαινόμενο σύραγγας και χρόνοι ζωής

→ **Άσκηση 4.2** = **άσκηση 6.2**, βιβλίου Cottingham & Greenwood:

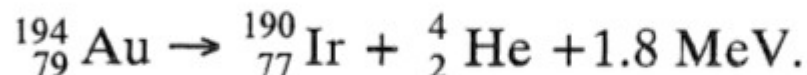
Το ισότοπο $^{194}_{79}\text{Au}$ υφίσταται β-διάσπαση και έχει μέσο χρόνο ζωής 56 ώρες.

(α) Ένας τρόπος διάσπασης είναι



Το ποζιτρόνιο στη διάσπαση αυτή δημιουργείται μέσα στον πυρήνα και πρέπει να αποδράσει με σήραγγα μέσα από ένα φράγμα Coulomb. Δείξτε ότι ο συντελεστής φράγματος G , καταστέλλει το ρυθμό διάσπασης σε ένα ποζιτρόνιο με ενέργεια $\sim 1 \text{ MeV}$ μόνο κατά ένα παράγοντα περίπου τέσσερα.

(β) Μια άλλη ενεργειακά πιθανή διάσπαση, η οποία δεν παρατηρείται, είναι



Εκτιμήστε το μέσο χρόνο ζωής για αυτό τον τρόπο διάσπασης.

→ Κοιτάξτε τη σημείωση στην προηγούμενη άσκηση

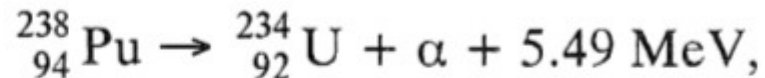
Άσκησης 4.3, 4.4, 4.5, 4.6:

Διάσπαση α, σχάση, σύντηξη

Απελευθερούμενη ενέργεια και ενεργός διατομή

→ **Άσκηση 4.3 = άσκηση 6.3**, βιβλίου Cottingham & Greenwood:

Το $^{238}_{94}\text{Pu}$ διασπάται με εκπομπή α-σωματίου:



με ένα μέσο χρόνο ζωής 128 χρόνια. Ο μέσος χρόνος ζωής του ^{234}U είναι πολύ μεγαλύτερος, 2.5×10^5 χρόνια. Διαστημικά οχήματα χρησιμοποιούν ^{238}Pu σαν πηγή ισχύος για τον εξοπλισμό τους. Εκτιμήστε τη μάζα του ^{238}Pu που χρειαζόμαστε για να εξασφαλίσουμε το ελάχιστο 1kW θερμότητας για 50 χρόνια.

Στην άσκηση αυτή, υπολογίστε επίσης την ενέργεια του εκπεμπόμενου σωματιδίου άλφα

→ Σημείωση:

Δείτε σελ. 17 μάθημα α-διάσπαση για τη μοιρασιά ενέργειας στα θραύσματα μιας διάσπασης με δύο προϊόντα και ειδικά για τη μοιρασιά της ενέργειας στα σωματίδια άλφα και τον θυγατρικό πυρήνα

Άσκησης 4.3, 4.4, 4.5, 4.6:

Διάσπαση α, σχάση, σύντηξη

Απελευθερούμενη ενέργεια και ενεργός διατομή

→ **Άσκηση 4.4 = άσκηση 9.2** βιβλίου Cottingham & Greenwood:

Δείξτε ότι ένα πυρηνικό εργοστάσιο που παράγει 1000 MW θερμότητας “καταναλώνει” περίπου $1 \text{ kg } ^{235}\text{U}$ (ή άλλο σχάσιμο καύσιμο) την ημέρα.

Δίνεται: Αριθμός του Avogadro, $N_A = 6.022 \times 10^{23}$

→ **Άσκηση 4.5 = άσκηση 9.3**, βιβλίου Cottingham & Greenwood:

Δείξτε ότι ο ημειμπειρικός τύπος μάζας προβλέπει ότι για ένα βαρύ πυρήνα, η ενέργεια διαχωρισμού του νετρονίου (ή “ενέργεια σύνδεσης του τελευταίου νετρονίου”) είναι περίπου $2 \times (11.2/A^{1/3}) \text{ MeV}$ μεγαλύτερη για ένα πυρήνα με άρτιο Z και άρτιο N , όπως το ^{236}U , από έναν κοντινό πυρήνα με άρτιο Z και περιττό N , όπως το ^{239}U .

Άσκησης 4.3, 4.4, 4.5, 4.6:

Διάσπαση α, σχάση, σύντηξη

Απελευθερούμενη ενέργεια και ενεργός διατομή

→ **Άσκηση 4.6** = **άσκηση 10.1**, βιβλίου Cottingham & Greenwood:

(α) Θεωρώντας ότι όλη η ενέργεια που εκλύεται από τον Ήλιο προέρχεται από την PPI αλυσίδα, υπολογίστε τη ροή των νετρίνων στη Γη. (Απόσταση Γης-Ήλιου $\sim 1.5 \times 10^8$ km.)

(β) Η ενεργός διατομή ενός ηλιακού νετρίνου για αλληλεπίδραση με έναν πυρήνα είναι $\sim 10^{-20}$ b (δες Πρόβλημα 12.4). Δείξτε ότι ένα τέτοιο νετρίνο που προσπίπτει στη Γη, είναι πολύ πιθανό να τη διαπεράσει ολόκληρη.

→ Σημείωση:

Δείτε διαφάνειες μαθήματος 3, ενεργές διατομές. Για τις ενεργές διατομές: $1\text{b} = 1000\text{mb}$.

Άσκηση 4.7

Ανακάλυψη νετρονίου , Chadwick 1932

Να περιγράψετε το πείραμα βομβαρδισμού βηρυλλίου με σωμάτια άλφα, να βρείτε το Q της αντίδρασης και να δώσετε την ερμηνεία των αποτελεσμάτων στην οποία βασίστηκε η ανακάλυψη του νετρονίου (Chadwick, 1932).

Δίνονται:

$$B(^4\text{He}) = 28.30 \text{ MeV}, B(^8\text{Be}) = 58.16 \text{ MeV}, B(^{12}\text{C}) = 92.16 \text{ MeV},$$

$$m_p = 938.3 \text{ MeV}/c^2, m_n = 939.6 \text{ MeV}/c^2$$

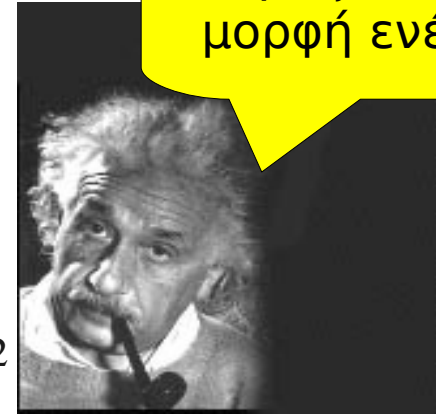
Σχετικιστική κινηματική

Σχετικιστική κινηματική:

$E = mc^2$ = η ενέργεια που έχω επειδή απλά και μόνο έχω μάζα m
 c = ταχύτητα του φωτός

ενέργεια E
μάζα m

Η μάζα είναι μια μορφή ενέργειας



γενικά, με κινητική ενέργεια K , έχουμε: $E = K + mc^2$

$$E = m \gamma c^2, \text{ όπου } \gamma = \frac{1}{\sqrt{1-\beta^2}}, \text{ και } \beta = v/c, \text{ με } v = \text{ταχύτητα σωματιδίου}$$

$$p = m \gamma v = m \gamma \beta c, \text{ όπου } p = \text{ορμή}$$

$$E^2 = (pc)^2 + (mc^2)^2 \quad \rightarrow \quad E [\text{MeV}], p [\text{MeV}/c], m [\text{MeV}/c^2]$$

Σημείωση: με $c = 1$, γράφουμε: $E^2 = p^2 + m^2$, κλπ.

Μονάδες

$$c = 3 \times 10^8 \text{ m/s} \equiv \text{μονάδα ταχύτητας} \equiv 1$$

$$\text{μονάδα ενέργειας} \equiv eV = 1.6 \times 10^{-19} \text{ Cb} * V = 1.6 \times 10^{-19} \text{ Joule}$$

Συνήθως χρησιμοποιούμε το MeV ($= 10^9 \text{ eV}$)

$$\text{Σταθερά του Plank} = \mathbf{h} = 6.626 \times 10^{-34} \text{ J s}$$

$$\hbar c = 197 \text{ MeV fm}, \text{ όπου } \hbar = \frac{h}{2\pi} \equiv \text{μονάδα δράσης (ενέργειας} \times \text{χρόνου)} \equiv 1$$

$$\alpha = \frac{e^2}{4 \pi \epsilon_0 \hbar c} [mks] = \frac{e^2}{\hbar c} [cgs] = \frac{1}{137}$$

$$\alpha = \text{η σταθερά λεπής υφής} = 1/137$$

Θα χρησιμοποιούμε παντού:
eV για ενέργεια (ή MeV στην πυρηνική),
 $1/4\pi\epsilon_0 = 1$ σε όλους τους τύπους,
και θα βάζουμε

$$e^2 = \alpha \hbar c, \text{ όπου } \alpha = 1/137$$

$$\hbar c = 197 \text{ MeV fm}$$

Μετράμε:

Μάζα: MeV/c^2 (αφού $E = mc^2$)

Ορμή: MeV/c (αφού $p = m\gamma\beta c$)

Χρόνος σε: $1/\text{MeV}$ (αφού η μονάδα δράσης = Ενέργεια * Χρόνος = 1)

Μήκος σε: μονάδες χρόνου = $1/\text{MeV}$ (αφού η μονάδα ταχύτητας=1)

1 amu = 1/12 μάζας ουδέτρου ατόμου $^{12}\text{C} = 931.5 \text{ MeV}/c^2$

Μάζα ηλεκτρονίου = $0.511 \text{ MeV}/c^2$

Μάζα πρωτονίου = $938.3 \text{ MeV}/c^2$, Μάζα νετρονίου = $939.6 \text{ MeV}/c^2$