

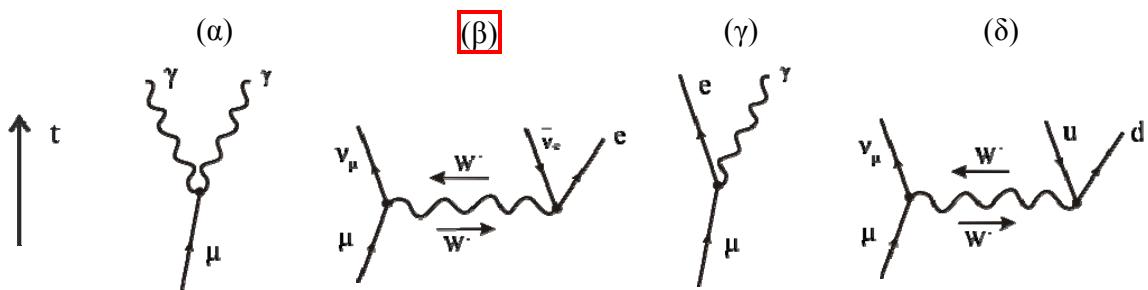
Από τα Κουάρκ μέχρι το Σύμπαν

A

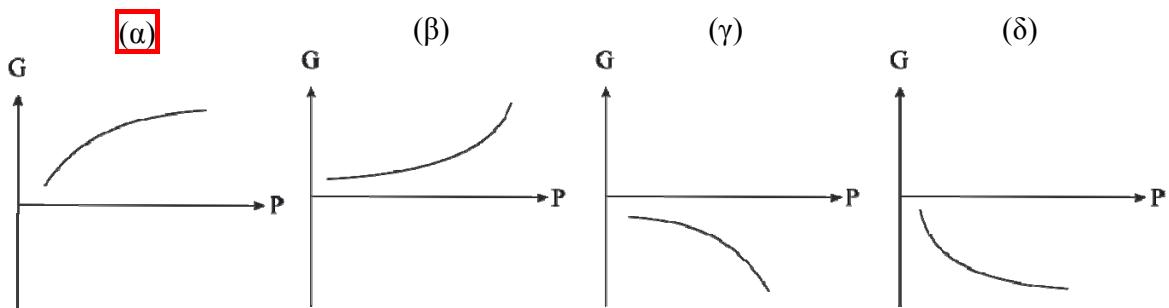
1. Η διαφορά ενέργειας ηρεμίας νετρονίου μείον πρωτονίου (σε MeV) είναι:
 (α) 0,112 (β) 10 (γ) -0,112 (δ) 1,3 (δ)
2. Ο μέσος χρόνος ζωής ενός ακίνητου απομονωμένου νετρονίου (σε seconds) είναι:
 α) 10^{-23} (β) 10^{-18} (γ) 10^{-8} (δ) 890 (δ)
3. Η αδιάστατη ένταση του ΗΜ πεδίου είναι:
 (α) $5,9 \times 10^{-39}$ (β) 1 (γ) 10^{-5} (δ) $1/137$ (δ)
4. Ο μέσος χρόνος ζωής (σε seconds) ενός πιονίου-μηδέν είναι:
 (α) 10^{-23} (β) 10^{-16} (β) (γ) 10^{-8} (δ) 1
5. Η εμβέλεια (σε μέτρα) της ασθενούς αλληλεπίδρασης είναι:
 (α) 10^{-10} (β) 10^{-13} (γ) 10^{-5} (δ) 10^{-18} (δ)
6. Εάν r^2 είναι η μέση τιμή $\langle x^2 + y^2 + z^2 \rangle$ για τη βασική κατάσταση του ατόμου του υδρογόνου, τότε η ενεργειακή διαφορά της πρώτης διεγερμένης κατάστασης από τη βασική είναι:

(α) $\frac{9}{8} \frac{\hbar^2}{mr^2}$ (β) $\frac{\hbar^2}{2m a_B^2}$ (γ) $\frac{e^2}{2a_B}$ (δ) $\frac{e^4 m}{2\hbar^2}$

7. Ποιο από τα παρακάτω διαγράμματα Feynman περιγράφει τη φυσική διαδικασία αφανισμού του σωματίου μ;



8. Ποιο από τα παρακάτω σχηματικά γραφήματα αντιστοιχεί στη σωστή εξάρτηση της ελεύθερης ενέργειας του Gibbs G από την πίεση P υπό σταθερή θερμοκρασία και αριθμό σωματίων;



9. Δεδομένου του διαφορικού της εσωτερικής ενέργειας $dU = TdS - PdV + \mu dN$ οι «φυσιολογικές» ανεξάρτητες μεταβλητές για την U είναι οι S, V, N . Πώς εξαρτάται το U από τις S, V, N ;
- (α) $U = N\varepsilon_0 f_1(S, V)$ (β) $U = (V/a^3)\varepsilon_0 f_2(N, S)$
 (γ) $U = N\varepsilon_0 f_3(S/Nk_B, V/Na^3)$ (δ) $U = N\varepsilon_0 f_4(S/Nk_B, V/a^3)$
- $[\varepsilon_0] = [\text{μονάδα ενέργειας}], [a] = [\text{μήκος}]$
10. Ποια είναι η θερμοκρασία του τριπλού σημείου του νερού (σε βαθμούς Κελσίου, ${}^\circ\text{C}$);
- (α) -273,15 (β) 0,01 (γ) -0,01 (δ) 100
11. Η ταχύτητα ενός συνήθους θαλάσσιου κύματος ($1\text{m} < \lambda \ll d$), όπου d είναι το βάθος της θάλασσας, δίνεται από τον τύπο:
- (α) $v = \sqrt{gd}$ (β) $v = \sqrt{g\lambda/2\pi}$ (γ) $v = \sqrt{gk}$ (δ) $v = c_{ηχού}$
12. Ο τύπος που δίνει την πίεση P ενός συστήματος φωτονίων θερμοκρασίας T και όγκου V σε θερμοδυναμική ισορροπία είναι:
- (α) $P = Nk_B T/V$ (β) $P = 0$ (γ) $P = V k_B T/N$
 (δ) $P = (\pi^2/45)(k_B T)^4/\hbar^3 c^3$
13. Ο μέσος χρόνος ζωής της ιδιοκατάστασης $2p_z$ στο άτομο του υδρογόνου δίνεται από τον τύπο:
- (α) $\tau = 1,29(\hbar c^3/e^2 a_B^2 \omega^3)$ (β) $\tau = 1,29(c^2/a_B^2 \omega^3)$
 (γ) $\tau = 1,29(c e^2/\hbar a_B^2 \omega^3)$ (δ) $\tau = \infty . \quad \hbar\omega = \varepsilon_2 - \varepsilon_1$
14. Η ενεργός διατομή ελαστικής σκέδασης φωτονίου χαμηλής συχνότητας από φορτισμένο σωμάτιο είναι:
- (α) $\sigma_s = (8\pi/3)(q^2/mc^2)^2$ (β) $\sigma_s = (8\pi/3)(\hbar c/mc^2)^2$
 (γ) $\sigma_s = (8\pi/3)(q^2/\hbar\omega)^2$ (δ) $\sigma_s = (8\pi/3)(q^4/\hbar mc^3)^2$
15. Η ενεργός διατομή ελαστικής σκέδασης φωτονίου με $\lambda = 600 \text{ nm}$ από ουδέτερο άτομο υδρογόνου είναι:
- (α) $\sigma \approx 0,25 \times 10^{-20} \text{ m}^2$ (β) $\sigma \approx 0,75 \times 10^{-14} \text{ m}^2$
 (γ) $\sigma \approx 0,5 \times 10^{-26} \text{ m}^2$ (δ) $\sigma \approx 0,5 \times 10^{-31} \text{ m}^2$
16. Η σχέση μεταξύ μήκους ελεύθερης διαδρομής και ενεργού διατομής σκέδασης σε ένα αέριο είναι:
- (α) $l = n\sigma^2$ (β) $l = n\sigma$ (γ) $l = n^2\sigma^{3,5}$ (δ) $l = 1/n\sigma . \quad n = N/V$

17. Η αγωγιμότητα σ ενός μετάλλου δίνεται (στο G-CGS) από τον προσεγγιστικό τύπο (n_f είναι η συγκέντρωση των ‘ελεύθερων’ ηλεκτρονίων και το χρόνος αποκατάστασης):
- $$(α) \sigma = e^2 n_f \omega / m_e (\omega + i \tau^{-1})$$
- $$(β) \sigma = i e^2 n_f \omega / m_e (\omega + i \tau^{-1})$$
- $$(γ) \sigma = e^2 n_f \omega / m_e (\omega^2 + i \omega \tau^{-1})$$
- $$(δ) \sigma = i e^2 n_f \omega / m_e (\omega^2 + i \omega \tau^{-1})$$
18. Ένας λευκός νάνος περιέχει 10^{56} πυρήνες και 5×10^{56} ηλεκτρόνια. Ποια είναι η ακτίνα του, θεωρώντας την κατά 22,5% μεγαλύτερη από την τιμή της, για ομοιόμορφη κατατομή της μάζας στο εσωτερικό του λευκού νάνου; Η τιμή του G στο ατομικό σύστημα μονάδων είναι $2,4 \times 10^{-43}$.
19. Θεωρήστε ένα ουδέτερο άτομο με ατομικό αριθμό $Z \gg 1$. Εκτιμήστε την εξάρτηση από το Z της μέσης απόστασης a ενός ηλεκτρονίου από τον πυρήνα καθώς και αυτήν της συνολικής ενέργειας E του ατόμου (κβαντικής κινητικής ενέργειας όλων των ηλεκτρονίων και συνολικής ενέργειας Coulomb). Η εμπειρική τιμή του a σε ατομικές μονάδες είναι $a \approx 0,424 Z^{-1/3}$ και του E είναι $E \approx -0,589 Z^{7/3} \approx -16 Z^{7/3}$ eV

Λύση 18:

Η δυναμική ενέργεια για ένα λευκό νάνο είναι σχεδόν αποκλειστικά βαρυτική. Η βαρυτική αυτοενέργεια ενός σφαιρικού αντικειμένου μάζας M , ακτίνας R και ομοιόμορφης πυκνότητας είναι:

$$E_\Delta = -0,6 GM^2 / R, \quad M = N_v m_u \quad (1)$$

Η κινητική ενέργεια E_K σε ένα λευκό νάνο οφείλεται σχεδόν αποκλειστικά στην κβαντική κινητική ενέργεια των ηλεκτρονίων που σε επαρκή προσέγγιση μπορούν να θεωρηθούν ως μη σχετικιστικά. Άρα:

$$E_K = 1,105 \hbar^2 N_e^{5/3} / m_e R^2 \quad (2)$$

Η ελαχιστοποίηση της ολικής ενέργειας συνεπάγεται στην παρούσα περίπτωση την ισότητα της κινητικής ενέργειας με το μισό της απόλυτης τιμής της δυναμικής ενέργειας

$$\frac{\partial E_{\text{ολ}}}{\partial R} = 0 \Rightarrow E_K = \frac{1}{2} |E_\Delta| \quad (3)$$

Από (1), (2) και (3) έπειτα, λαμβάνοντας υπόψη ότι $N_e = N_p \approx N_n$ (για μικρούς πυρήνες έχουμε ότι $N_p \approx N_n$) και επομένως $N_v = N_p + N_n \approx 2N_e$:

$$R = \frac{1,105}{1,2} \frac{\hbar^2}{G m_u^2 m_e N_e^{1/3}} \text{ ή σε ατομικές μονάδες}$$

$$R = 0,92 \frac{2^{1/3}}{2,4 \times 10^{-43} 10^{19} \times 1822,88^2} = 1,45 \times 10^{17} \text{ a.μ} = 0,769 \times 10^7 \text{ m}$$

ή

$$R_{\delta i o \rho \theta} = 1,225 R = 9,42 \times 10^6 \text{ m}$$

Λύση 19:

Η κινητική ενέργεια όλων των ηλεκτρονίων δίνεται από την παρακάτω σχέση με βάση τον τύπο (2.12) και τον $V = (4\pi/3)\tilde{a}^3$, όπου \tilde{a} , η ενεργός ακτίνα του ατόμου, είναι της ίδιας τάξεως, αλλά σαφώς μεγαλύτερη από το a , δηλαδή $\tilde{a} = x a$ με x μεγαλύτερο της μονάδας.

$$E_K = 1,1 \frac{\hbar^2}{m_e} \frac{Z^{5/3}}{x^2 a^2}$$

Η ολική δυναμική ενέργεια περιλαμβάνει τον όρο $-Z^2 e^2 / a$ για την αλληλεπίδραση όλων των Z ηλεκτρονίων με το φορτίο Ze του πυρήνα και τον όρο $(Z(Z-1)/2)(e^2 / a') \approx Z^2 e^2 / 2a'$, όπου a' είναι η μέση απόσταση μεταξύ δύο ηλεκτρονίων. Το $a' = y a$ όπου y είναι μια αριθμητική σταθερά της τάξεως της μονάδας. Επομένως σε ατομικές μονάδες έχουμε

$$E = 1,1 \frac{Z^{5/3}}{x^2 a^2} - \frac{Z^2}{a} \left(1 - \frac{1}{2y}\right) \quad (1)$$

Παραγωγίζοντας την (1) ως προς a και θέτοντας την παράγωγο ίση με μηδέν βρίσκουμε (σε ατομικές μονάδες)

$$a = \frac{2,2}{x^2 \left(1 - \frac{1}{2y}\right)} Z^{-1/3} \quad (2)$$

Αντικαθιστώντας την (2) στην (1) έχουμε

$$E = -\frac{1}{4,4} x^2 \left(1 - \frac{1}{2y}\right)^2 Z^{7/3}$$

$$a = 0,426 z^{1/3} = a', \quad \tilde{a} = 1,37 z^{-1/3}$$

Για να επιτύχουμε τις εμπειρικές τιμές θα πρέπει να επιλέξουμε για τα x και y τις εύλογες τιμές $x = 3,22$ και $y = 1$.