

1. Ποιοί νόμοι διατήρησης απαγορεύουν κάθε μία από τις παρακάτω αντιδράσεις

$$\mu^- \rightarrow e + \gamma \quad (1)$$

$$n \rightarrow p + e + \nu_e \quad (2)$$

$$\Lambda^0 \rightarrow p + \pi^0 \quad (3)$$

$$p \rightarrow e^+ + \pi^0 \quad (4)$$

$$\Xi^0 \rightarrow n + \pi^0 \quad (5)$$

Θεωρείστε ότι και οι τρεις λεπτονικοί αριθμοί είναι διατηρούμενοι.

Λύση: (1) L_e, L_μ

(2) L_e

(3) Q, S, I, I_3

(4) B, I, I_3, L_e

(5) $|\Delta S| = 2, I_3$

2. Βαρυόνιο ($B = 1$) έχει κβαντικούς αριθμούς $Q = 0, S = -2$. Βρείτε τα συστατικά του κουάρκ και αντικουάρκ, αν γνωρίζετε επιπλέον ότι η μάζα του είναι μικρότερη από $3GeV$. Προσδιορίστε τους υπόλοιπους κβαντικούς του αριθμούς.

Λύση: $B = 1$ συνεπάγεται 3 κουάρκ. $S = -2$ σημαίνει ότι τα δύο από αυτά είναι s . $Q = 0$ συνεπάγεται ότι το τρίτο είναι u ή c ή t . Αφού όμως η μάζα του $M \leq 3GeV$ αποκλείεται το τρίτο κουάρκ να είναι το t . Άρα τα συστατικά του εν λόγω βαρυονίου είναι είτε (uss) με το ελαφρύτερο να έχει μάζα περί τα $1.3GeV/c^2$ είτε (css) με το ελαφρύτερο να έχει μάζα περί τα $2.5GeV/c^2$.

Οι υπόλοιποι κβαντικοί αριθμοί στις δύο περιπτώσεις είναι (α) (uss) : $I = 1/2, I_3 = +1/2, C = B = T = 0$ και (β) (css) : $I = 0 = I_3, C = 1, B = T = 0$.

3. Θεωρείστε τα σωματία $\rho^0 \sim (u\bar{u})$ και $K^0 = (d\bar{s})$. Σχεδιάστε στη γλώσσα των κουάρκ και των φορέων των θεμελιωδών αλληλεπιδράσεων τα διαγράμματα που περιγράφουν τις αντιδράσεις διάσπασης

$$\rho^0 \rightarrow \pi^+ + \pi^- \quad (6)$$

και

$$K^0 \rightarrow \pi^+ + \pi^- \quad (7)$$

και διαπιστώστε ότι η πρώτη μπορεί να γίνει με βάση την ισχυρή αλληλεπίδραση, ενώ η δεύτερη χρησιμοποιεί αναγκαστικά την ασθενή, και επομένως είναι πολύ πιο αργή. Μπορείτε να εκτιμήσετε τι χαρακτηριστικούς χρόνους έχουν οι δύο αυτές διασπάσεις;

¹Σας υπενθυμίζω ότι με τα ίδια συστατικά κουάρκ τα σωματία μπορούν να έχουν διεγερμένες καταστάσεις που διαφέρουν στο σπιν και οι οποίες έχουν μεγαλύτερη ενέργεια δηλαδή μάζα. Επίσης σας υπενθυμίζω ότι η μάζα του ελαφρύτερου βαρυονίου ή αντιβαρυονίου με κάποια συστατικά κουάρκ, υπολογίζεται χοντρικά αθροίζοντας τις μάζες των συστατικών κουάρκ με $m_u \simeq m_d \simeq 0.3GeV/c^2, m_s \simeq 0.5GeV/c^2, m_c \simeq 1.5GeV/c^2, m_b \simeq 4.8GeV/c^2, m_t \simeq 175GeV/c^2$. ΠΡΟΣΟΧΗ: Ο κανόνας αυτός ΔΕΝ ισχύει τόσο απλά για τα ελαφρά μεσόνια.

Λύση: (6): Το u ή το \bar{u} του ρ εκπέμπει ένα γλοιόνιο, το οποίο στη συνέχεια δίνει ένα ζευγάρι $d\bar{d}$. Το \bar{d} με το αρχικό u οδηγούν σε π^+ ενώ το d με το \bar{u} δίνουν το π^- . Η αντίδραση αυτή γίνεται με χρήση μόνο της ισχυρής δύναμης και επομένως είναι ισχυρή, με το ρ να έχει μέσο χρόνο ζωής της τάξης των 10^{-23} sec .

(7): Το \bar{s} του K μετατρέπεται σε \bar{u} εκπέμποντας ένα W^- , το οποίο στη συνέχεια διασπάται σε $\bar{u}d$. Το \bar{u} μαζί με το αρχικό d δίνουν π^- , ενώ το d με το \bar{u} δίνουν π^+ . Για να γίνει η αντίδραση πρέπει να εξαφανιστεί το αρχικό παράδοξο κνάρκ και να μετατραπεί σε \bar{u} . Αυτό μπορεί να το κάνει ΜΟΝΟ η ασθενής δύναμη, μέσω του W . Η αντίδραση επομένως είναι ασθενής και ο χρόνος ζωής του K της τάξης του 10^{-10} sec .

4. Περιγράψτε στη γλώσσα των στοιχειωδών σωματιδίων και των φορέων των θεμελιωδών δυνάμεων την διάσπαση του μιονίου. Παρατηρήσετε ότι το διάγραμμα είναι παρὰλληλο αυτού της διάσπασης του νετρονίου.

Λύση: Το μόνιο μετατρέπεται σε μονικό νετρίνο εκπέμποντας ένα W^- , το οποίο στη συνέχεια διασπάται σε ηλεκτρόνιο και ηλεκτρονικό αντινετρίνο. Το διάγραμμα που παίρνετε είναι ίδιο με αυτό που περιγράφει τη διάσπαση του d κνάρκ ή του νετρονίου.

5. Βαρυόνιο έχει για συστατικά uds . Προσδιορίστε τις δυνατές τιμές των κβαντικών του αριθμών $Q, B, S, I, I_3, spin$. Δείτε τον πίνακα των βαρυονίων και πείτε ποιά μπορεί να είναι το βαρυόνιο αυτό.

Λύση: $Q = 0, = 1, S = -1, = 0$ ή $1, = 0, spin = 1/2, 3/2, 5/2, \dots$. Μερικά βαρυόνια με αυτούς τους κβαντικούς αριθμούς είναι τα: $\Lambda^0, \Sigma^0, \Lambda^0(1405), \Lambda^0(1520), \Sigma^0(1385), \Sigma^0(1660), \dots$ (Σε παρένθεση είναι η μάζα του σωματιδίου σε MeV/c^2).

6. Περιγράψτε στη γλώσσα των στοιχειωδών σωματιδίων και των φορέων των δυνάμεων τις αντιδράσεις

$$e + e^+ \rightarrow e + e^+ \quad (8)$$

$$e + e^+ \rightarrow \gamma + \gamma \quad (9)$$

$$\pi^+ + \pi^- \rightarrow \pi^+ + \pi^- \quad (10)$$

Λύση: (8) Το ηλεκτρόνιο και το ποζιτρόνιο δίνουν ένα φωτόνιο το οποίο στη συνέχεια γίνεται ηλεκτρόνιο και ποζιτρόνιο.

(9) Το ηλεκτρόνιο εκπέμπει το ένα φωτόνιο, ενώ στη συνέχεια ενώνεται με το αρχικό ποζιτρόνιο και δίνει το δεύτερο φωτόνιο.

(10) Τετριμμένη με βάση την ισχυρή δύναμη και αλληλεπιδράσεις με γλοιόνια.

7. Στους πίνακες των σωματιδίων μπορείτε να δείτε (α) ότι τα σωματάρια Σ^+ και Σ^0 διασπώνται σύμφωνα με τις παρακάτω αντιδράσεις:

$$\Sigma^0 \rightarrow \Lambda^0 + \gamma \quad (11)$$

$$\Sigma^+ \rightarrow p + \pi^0, \quad \Sigma^+ \rightarrow n + \pi^+ \quad (12)$$

και (β) ότι ο χρόνος ζωής του Σ^0 είναι 10^{-19} sec , ενώ του Σ^+ είναι 10^{-10} sec .

Να εξηγήσετε το (β) με βάση το (α) και τους κβαντικούς αριθμούς των εμπλεκόμενων σωματιδίων που μπορείτε να βρείτε στους πίνακες.

8. Να περιγράψετε με διαγράμματα Feynman με στοιχειώδη σωματάρια τις διασπάσεις της άσκησης 7.

9. (α) Να αποδείξετε, υποθέτοντας ότι και οι τρεις λεπτονικοί αριθμοί διατηρούνται, ότι η διάσπαση του μιονίου σε δύο σωματίια είναι αδύνατη.

(β) Με την ίδια υπόθεση, να αποδείξετε ότι η διάσπασή του σε τρία άλλα σωματίια είναι μονοσήμαντη.

(γ) Να αποφασίσετε ποιά αλληλεπίδραση είναι υπεύθυνη για τη διάσπαση του μιονίου σε τρία σωματίια.

(δ) Να περιγράψετε με διάγραμμα Feynman τη διάσπαση του μιονίου.

10. Να χαρακτηρίσετε την αντίδραση



και να την περιγράψετε με διάγραμμα Feynman.