

**ΤΜΗΜΑ ΦΥΣΙΚΗΣ**

Διδάσκοντες: Κ. Φουντάς, Α. Λύρας, Μ. Μπενής, Ν. Πατρώνης,

**“ΣΥΓΧΡΟΝΗ ΦΥΣΙΚΗ ΙΙ”**

19 – 6 – 2012

**Θέμα 1<sup>ο</sup>:**

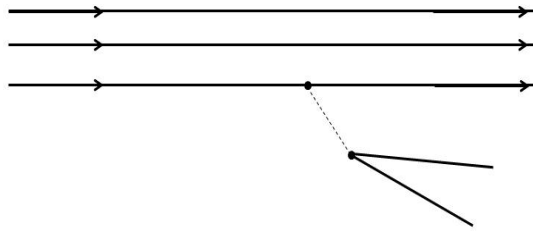
- (α) Ποια είναι τα στοιχειώδη σωματίδια (κουάρκς και λεπτόνια) του καθιερωμένου προτύπου ; [5 μονάδες]
- (β) Ποιες είναι οι αλληλεπιδράσεις που συμπεριλαμβάνονται στο καθιερωμένο πρότυπο ; [5 μονάδες]
- (γ) Ποιοι είναι η μεταδότες/φορείς των αλληλεπιδράσεων αυτών ; [3 μονάδες]
- (δ) Πέραν των (α) και (γ) υπάρχει ακόμα ένα σωματίδιο στο καθιερωμένο πρότυπο. Ποιο είναι το σωματίδιο αυτό και τι ρόλο παίζει ; [2 μονάδες]
- (ε) Ας υποθέσουμε ότι ο φορέας μιας κάποιας αλληλεπίδρασης έχει μάζα  $M = 100 \text{ GeV}$  . Τι εμβέλεια έχει αυτή η αλληλεπίδραση ; Δίνεται ότι  $\hbar c \approx 200 \text{ MeV fm}$  . [4 μονάδες]
- (ζ) Ένα ελεύθερο νετρόνιο αποδιηγείται μέσω μετάπτωσης β. Γράψτε την αντίδραση

$$n \rightarrow$$

και αιτιολογήστε τις επιλογές σας.

[3 μονάδες]

- (η) Το διάγραμμα Feynman με κουάρκς, λεπτόνια και μεταδότη/φορέα για την πιο πάνω μετάπτωση β είναι



Συμπληρώστε τα είδη των κουάρκς και λεπτονίων τόσο στην είσοδο όσο και στην έξοδο καθώς και το σχετικό μεταδότη/φορέα (αντικαταστήστε την διακεκομμένη γραμμή) και αιτιολογήστε τις επιλογές σας.

[3 μονάδες]

**Λύση**

- (α) Τα στοιχειώδη σωματίδια του καθιερωμένου προτύπου είναι τα λεπτόνια και τα κουάρκς τα οποία κατατάσσονται σε τρεις οικογένειες.

Τα λεπτόνια είναι τα εξής

$$\begin{pmatrix} \nu_e \\ e^- \end{pmatrix} \quad \begin{pmatrix} \nu_\mu \\ \mu^- \end{pmatrix} \quad \begin{pmatrix} \nu_\tau \\ \tau^- \end{pmatrix}$$

και τα κουάρκς είναι τα εξής

$$\begin{pmatrix} u \\ d \end{pmatrix} \quad \begin{pmatrix} c \\ s \end{pmatrix} \quad \begin{pmatrix} t \\ b \end{pmatrix}$$

Προφανώς στα στοιχειώδη σωματίδια ανήκουν και όλα τα αντί-σωματίδια των λεπτονίων και κουάρκς

(β) Η ηλεκτρομαγνητική, η ισχυρή πυρηνική και η ασθενής πυρηνική αλληλεπίδραση.

(γ) Ο μεταδότης/φορέας της ηλεκτρομαγνητικής αλληλεπίδρασης είναι το φωτόνιο  $\gamma$ . Οι μεταδότες/φορείς της ασθενούς πυρηνικής αλληλεπίδρασης είναι τα μποζόνια  $W^\pm, Z^0$ . Οι μεταδότες/φορείς της ισχυρής πυρηνικής αλληλεπίδρασης είναι τα 8 γκλουόνια.

(δ) Το σωματίδιο αυτό είναι το μποζόνιο Higgs  $H^0$  το οποίο πιστεύεται ότι είναι υπεύθυνο για το ότι τα σωματίδια έχουν μάζα.

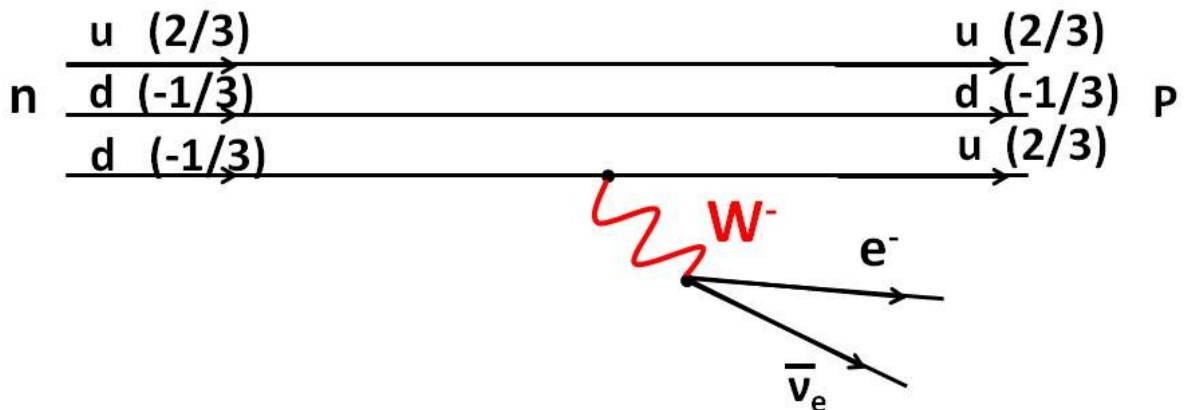
(ε) Αν ο φορέας/μεταδότης έχει μάζα 100 GeV τότε η αβεβαιότητα στην τιμή της μάζας είναι περίπου 100 GeV και ο ελάχιστος χαρακτηριστικός χρόνος της αλληλεπίδρασης δίνεται από την αρχή του Heisenberg. Η εμβέλεια της αλληλεπίδρασης είναι φυσικά ο χρόνος αυτός πολλαπλασιασμένος με την ταχύτητα του φωτός.

$$\Delta E \Delta t \approx \hbar \Rightarrow c \Delta t \approx \frac{c \hbar}{\Delta E} = \frac{200 \text{ MeV fm}}{100 \text{ GeV}} = \frac{2 \text{ MeV fm}}{10^3 \text{ MeV}} = 2 \times 10^{-3} \text{ fm}$$

(ζ)  $n \rightarrow p + e^- + \bar{\nu}_e$

Η μετάπτωση β δίνει πάντα ηλεκτρόνιο ή ποσιτρόνιο και το αντίστοιχο νεutrino ή αντι-νεutrino. Διατήρηση φορτίου ενέργειας και βαριονικού αριθμού απαιτούν να έχουμε πρωτόνιο και ηλεκτρόνιο στη τελική κατάσταση και η διατήρηση του λεπτονικού αριθμού του ηλεκτρονίου απαιτεί το νεutrino να είναι αντι-νεutrino ηλεκτρονίου.

(η)



Το πρωτόνιο αποτελείται από **uud** και το νεutrino από **udd** διότι το πρώτο είναι θετικά φορτισμένο και το δεύτερο ουδέτερο. Επί πλέον έχουν μόνο ισοσπίν και δεν έχουν άλλους κβαντικούς αριθμούς που πηγάζουν από βαρύτερα κουάρκ (παραδοξότητα S, C...). Η μετάπτωση-β γίνεται μέσω της ασθενούς αλληλεπίδρασης ( $W^\pm, Z^0$ ) και η διατήρηση του φορτίου απαιτεί ο μεταδότης να είναι  $W^-$ .