ΤΜΗΜΑ ΦΥΣΙΚΗΣ
Διδάσκοντες: Κ. Φουντάς, Μ. Μπενής, Ν. Πατρώνης.

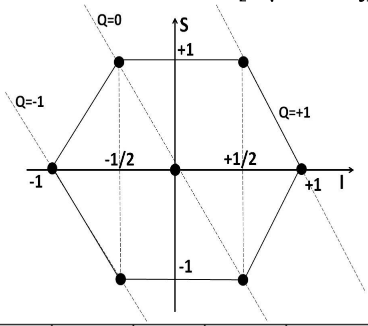
“ΣΥΓΧΡΟΝΗ ΦΥΣΙΚΗ ΙΙ”

24 – 9 – 2012

Θέμα 1ο:

(α) Η αντίδραση $e^+e^- \rightarrow e^+e^-$ περιγράφεται από δύο διαγράμματα Feynman. Σχεδιάστε τα δύο διαγράμματα και δώστε τα ονόματα όλων των σωματιδίων καθώς και του μεταδότη/φορέα. [6 μονάδες]

(β) Αρχίζοντας από τα δύο διαγράμματα του (α) σχεδιάστε δύο διαγράμματα Feynman γιά την αντίδραση $e^+e^- \rightarrow e^+e^-\gamma$. [6 μονάδες]



(γ) Σύμφωνα με το μοντέλο των κουάρκ (quark) τα μεσόνια με σπιν μηδέν ακολουθούν τη συμμετρία του διπλανού διαγράμματος. Ο άξονας-y είναι βαθμονομημένος σε μονάδες παραδοξότητας και ο άξονας-x σε μονάδες ισοσπίν. Κάθε σημείο του διπλανού διαγράμματος αναπαριστά ένα μεσόνιο. Τα μεσόνια πάνω στις διακεκομμένες γραμμές έχουν φορτία -1, 0, +1.

(1) Ποιοι συνδυασμοί από κουάρκ και αντι-κουάρκ αντιστοιχούν στα σημεία ;

(2) Γράψτε τα μεσόνια (πιόνια και καόνια) τα οποία αντιστοιχούν σε κάθε σημείο του διαγράμματος.

Οι κβαντικοί αριθμοί των κουάρκ δίνονται στον πίνακα:

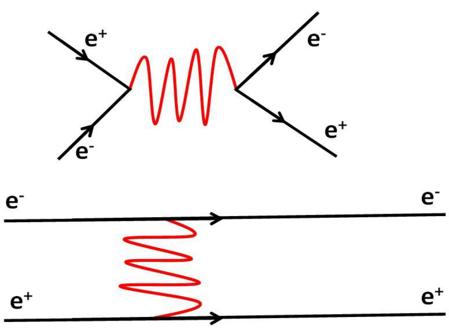
	u	d	c	s	t	b
Q	+2/3	-1/3	+2/3	-1/3	+2/3	-1/3
S	0	0	0	-1	0	0
I	+1/2	-1/2	0	0	0	0

[7 μονάδες]

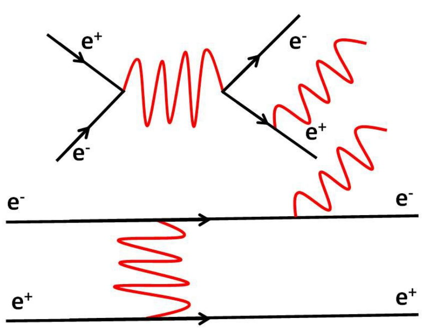
(δ) Σύμφωνα με τη θεωρία του Yukawa οι ισχυρή αλληλεπίδραση η οποία είναι υπεύθυνη για τη σταθερότητα των πυρήνων μεταδίδεται μέσω των σωματιδίων του Yukawa (τα οποία σήμερα ονομάζονται πιόνια). Εκτιμήστε την μάζα των πιονίων με δεδομένο οτι η εμβέλεια της ισχυρής αλληλεπίδρασης είναι 1-2 fm. Βάση αυτών εκτιμήσετε τον χρόνο ζωής μεταπτώσεων που λαμβάνουν χώρα λόγω της ισχυρής αλληλεπίδρασης. Δίνεται ότι $\hbar c \approx 200\, MeV\ fm$. [6 μονάδες]

Λύση:

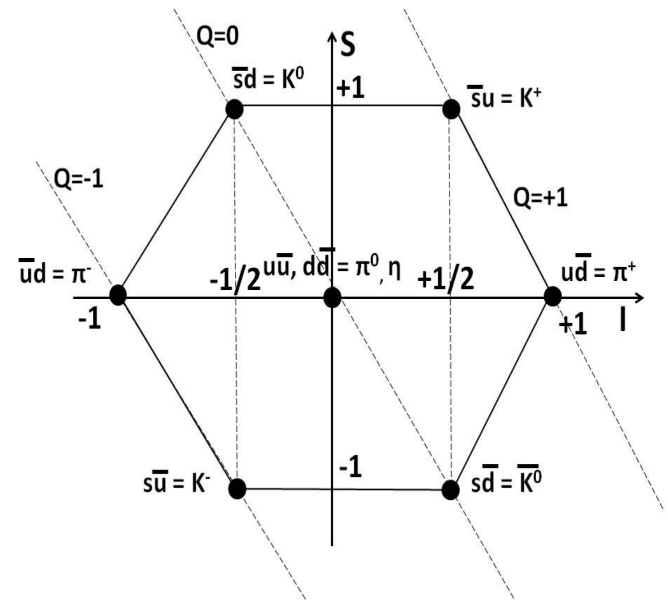
(α)



(β)



(γ)



Από τον πίνακα των κουάρκς που μας δίνεται έχουμε ότι σωματίδια με παραδοξότητα μηδέν δεν έχουν s-κουάρκ. Σωματίδια με παραδοξότητα +1 έχουν έχουν ένα s-αντι-κουάρκ και σωματίδια με παραδοξότητα -1 έχουν έχουν ένα s-κουάρκ.

Ξέρουμε ότι τα σωματίδια είναι μεσόνια και συνεπώς αποτελούνται από ένα ζεύγος κουάρκ/αντι-κουάρκ. Άρα μας μένει να βρούμε τώρα το δεύτερο κουάρκ ή αντι-κουάρκ. Αυτό μπορεί να γίνει με δύο τρόπους.

1. Χρησιμοποιώντας το ισοσπίν το οποίο μας δίνεται στον πίνακα και φαίνεται στο σχήμα πάνω στον άξονα **x.** Παραδείγματος χάριν το σωματίδιο με (I, S) = (½, 1) πρέπει να αποτελείται από ένα s-αντι-κουάρκ και ένα άλλο μη-παράδοξο κουάρκ με ισοσπίν 1/2. Συνεπώς το δεύτερο κουάρκ θα είναι ή u-κουάρκ ή αντι-d-κουάρκ. Αντι-d-κουάρκ δέν μπορεί να είναι γιατί τότε το μεσόνιο θα είχε φορτίο 2|e|/3 και στη φύση δεν παρατηρούνται σωματίδια με κλασματικό φορτίο. Άρα το δεύτερο κουάρκ είναι αναγκαστικά το u-κουάρκ. Έτσι το μεσόνιο αποτελείται από ένα s-αντι-κουάρκ και ένα u-κουάρκ και έχει φορτίο |e|.
2. Χρησιμοποιώντας το φορτίο που επίσης δίνεται. Όπως είδαμε το σωματίδιο με (I, S) = (½, 1) αποτελείται από ένα s-αντι-κουάρκ και ένα άλλο μη-παράδοξο κουάρκ με συνολικό φορτίο |e|. Άρα το δεύτερο κουάρκ θά είναι το u-κουάρκ.

Ξέροντας ότι τα καόνια έχουν παραδοξότητα και ότι τα πιόνια έχουν παραδοξότητα μηδέν μπορούμε τώρα να συμπληρώσουμε και τα ονόματα των μεσονίων.

(δ)

$$\Delta E\, \Delta t \approx \hbar \Rightarrow \Delta E\, \Delta t\, c \approx \hbar c \;\Rightarrow\; \Delta E\, r_0 \approx \hbar c \;\Rightarrow\; \Delta E \approx \frac{\hbar c}{r_0} = \frac{197.3\, MeV\, fm}{1\, fm} \approx 200\, MeV$$

αν είχαμε χρησιμοποιήσει 2 *fm* τότε θα είχαμε $\Delta E \approx 100\, MeV$. **Συνεπώς η ενέργεια (μάζα) του σωματιδίου του Yukawa είναι μεταξύ 100 και 200 *MeV*.**

$$\Delta t \approx \frac{r_0}{c} = \frac{(1-2)\, fm}{3\times 10^8\, m/s} = 0.3 - 0.6\times 10^{-23}\, s$$

Έτσι ο χαρακτηριστικός χρόνος ζωής των ισχυρών αλληλεπιδράσεων είναι της τάξης των $10^{-23}\, s$ με $10^{-24}\, s$

Θέμα 2ο:

(α) Πρωτόνια με κινητική ενέργεια 5 MeV προσπίπτουν σε λεπτό φύλλο χρυσού. Θεωρείστε σκέδαση Rutherford και υπολογίστε τη διαφορική ενεργό διατομή σε μονάδες (b/sr) για γωνία σκέδασης 45^o.
Ο χρυσός έχει ατομικό αριθμό Z=79. [7 μονάδες]

(β) Σε συνέχεια του προηγούμενου ερωτήματος θεωρήστε ότι το πάχος του φύλου χρυσού είναι 1 μm. Ένας ανιχνευτής επιφάνειας 1 cm^2 βρίσκεται σε απόσταση 50 cm από τον στόχο και σε γωνία 45^o. Η δέσμη πρωτονίων έχει ροή-ένταση $I = 5\times10^{10}\ sec^{-1}$. Υπολογίστε πόσα σωματίδια ανά δευτερόλεπτο ανιχνεύονται. (Το ατομικό βάρος του χρυσού είναι A=196.97 gr και η πυκνότητα του ρ=19.32 gr/cm^3)

[10 μονάδες]

(γ) Κατά την διάρκεια λειτουργίας ενός πυρηνικού αντιδραστήρα αφαιρούμε ένα μονο-ισοτοπικό δείγμα. Η ενεργότητα του δείγματος αυτού την χρονική στιγμή t=0 είναι 230 kBq. Μετά από χρονικό διάστημα τεσσάρων ωρών (4 h) η ενεργότητα του δείγματος έχει μειωθεί στα 68.7 kBq. Να βρεθεί ο μέσος χρόνος ζωής (το αντίστροφο της σταθεράς αποδιέγερσης), ο χρόνος ημιζωής (ο χρόνος στον οποίο ο αριθμός των πυρήνων είναι ίσος με το ήμισυ του αρχικού), και το πλήθος των πυρήνων του ασταθούς ισοτόπου την χρονική στιγμή t=0.

[8 μονάδες]

Δίνονται: $\dfrac{e^2}{4\pi\,\varepsilon_0\hbar c}=\dfrac{1}{137}$, $\quad \hbar\cdot c = 197.3\ MeV\ fm$, $\quad 1\text{Bq} = 1\times αποδιέγερση/sec$

$$\frac{d\sigma}{d\Omega}=\left[\frac{Z\cdot z\cdot e^2}{16\cdot\pi\cdot\varepsilon_0\cdot K}\right]^2\frac{1}{\sin^4(\theta/2)} \qquad \frac{d\sigma}{d\Omega}=\frac{(Z\cdot z)^2}{16}\left[\frac{1}{137}\right]^2\left[\frac{197.3}{K(MeV)}\right]^2\frac{1}{\sin^4(\theta/2)}(fm^2/sr)$$

Λύση:

$$\frac{d\sigma}{d\Omega}=\frac{(Z\cdot z)^2}{16}\left[\frac{1}{137}\right]^2\left[\frac{197.3}{K(MeV)}\right]^2\frac{1}{\sin^4(\theta/2)}(fm^2/sr)$$

(α) $$\frac{d\sigma}{d\Omega}=\frac{(79\cdot 1)^2}{16}\left[\frac{1}{137}\right]^2\left[\frac{197.3}{5}\right]^2\frac{1}{\sin^4(45/2)}(fm^2/sr)$$

$$\frac{d\sigma}{d\Omega}=1.509\,x\,10^3(fm^2/sr)=15.09(b/sr)$$

(β) Οι πυρήνες χρυσού ανά μονάδα επιφάνειας:

$$T=\frac{\rho(Au)\,\Delta\chi\,N_A}{A}=\frac{19.3\,gr\,cm^{-3}\cdot 10^{-4}\,cm\cdot 6.023\,10^{23}}{197\,gr}=5.9\cdot10^{18}\,cm^{-2}$$

Η στερεά γωνία: $$\Delta\Omega=\frac{1\,cm^2}{50^2\,cm^2}=4\cdot10^{-4}\,sr$$

Ο ρυθμός γεγονότων στον ανιχνευτή:

$$N=\frac{d\sigma}{d\Omega}\cdot d\Omega\cdot I\cdot T=15.09(b\,sr^{-1})\cdot 4\,10^{-4}\,sr\cdot 5\,10^{10}\cdot 5.9\,10^{18}\,cm^{-2}$$

$$N=\frac{d\sigma}{d\Omega}\cdot d\Omega\cdot I\cdot T=15.09\,10^{-24}\,cm^2\,sr^{-1}\,4\,10^{-4}\,sr\cdot 5\,10^{10}\cdot 5.9\,10^{18}\,cm^{-2}$$

$$N=1.8\cdot10^3(1/s)$$

(γ)

$$R = R_0 e^{-\lambda t} \Rightarrow \lambda = -\ln\left(\frac{R}{R_0}\right)\frac{1}{t} \Rightarrow -\ln\left(\frac{68.7}{230}\right)\frac{1}{4} \Rightarrow \lambda = 0.302\,(1/h) = 8.389\,10^{-5}\,(1/s)$$

$$\tau = \frac{1}{\lambda} = 11920\,s$$

$$T_{1/2} = \frac{\ln(2)}{\lambda} = 2.295\,h$$

$$R_0 = \lambda N \Rightarrow N = \frac{R_0}{\lambda} \Rightarrow N = \frac{230\,10^3}{8.389\,10^{-5}}\,2.742\,x\,10^9\ \pi\upsilon\rho\acute{\eta}\nu\varepsilon\varsigma$$