

ΦΥΣ 331 – Χειμερινό Εξάμηνο 2019

Ενδιάμεση Εξέταση

Σάββατο 02/11/2019

Διάρκεια: 11:00 – 14:00

Σας δίνονται 10 ισοδύναμες ασκήσεις και θα πρέπει να απαντήσετε σε όλες.
Σύνολο μονάδων 100.

Καλή Επιτυχία

1. [10μ]

Έστω μια αλληλεπίδραση δύο σωματιδίων A και B με τετραδιανύσματα ορμών p_A και p_B τα οποία σκεδάζονται μεταξύ τους και δίνουν σαν προϊόντα τα σωματίδια C και D με τετραδιανύσματα ορμών p_C και p_D αντίστοιχα. Ορίζουμε ως μεταβλητές Mandelstam τις ποσότητες $s = (p_A + p_B)^2$, $t = (p_A - p_C)^2$ και $u = (p_A - p_D)^2$, αντίστοιχα. Αποδείξτε ότι $s + t + u = m_A^2 + m_B^2 + m_C^2 + m_D^2$ όπου m_A , m_B , m_C και m_D οι μάζες ηρεμίες των σωματιδίων A, B, C και D αντίστοιχα.

$$\begin{aligned} s &= (p_A + p_B)^2 = p_A^2 + p_B^2 + 2 p_A \cdot p_B \\ t &= (p_A - p_C)^2 = p_A^2 + p_C^2 - 2 p_A \cdot p_C \\ u &= (p_A - p_D)^2 = p_A^2 + p_D^2 - 2 p_A \cdot p_D \\ \text{Αλλα } p^2 &= E^2 - \vec{p}^2 = m^2 \end{aligned} \quad \left. \begin{array}{l} \Rightarrow s + t + u = m_A^2 + m_B^2 + 2 p_A \cdot p_B + \\ + m_C^2 + m_D^2 - 2 p_A \cdot p_C + \\ + m_A^2 + m_D^2 - 2 p_A \cdot p_D \Rightarrow \\ \Rightarrow \boxed{s + t + u = 3m_A^2 + m_B^2 + m_C^2 + m_D^2 - 2(p_A \cdot (p_B + p_C + p_D))} \end{array} \right\} \quad (1)$$

$$\text{Αλλα } p_C + p_D = p_A + p_B \text{ και } 2(p_A \cdot p_A) = 2m_A^2$$

$$\text{Άνω γην προγράφεται είσινεις: } p_A = p_C + p_D - p_B$$

$$\text{Αντικατασταθη στην (1) θα δώσει: } -2 p_A \cdot p_A = -2m_A^2$$

$$\text{Επομένως } s + t + u = 3m_A^2 + m_B^2 + m_C^2 + m_D^2 - 2m_A^2 \Rightarrow \boxed{s + t + u = m_A^2 + m_B^2 + m_C^2 + m_D^2}$$

2. [10μ]

Θεωρήστε τις ακόλουθες αλληλεπιδράσεις υψηλών ενέργειών ή διασπάσεις σωματιδίων:

- (i) $\pi^- + p \rightarrow \pi^0 + n$
- (ii) $\pi^0 \rightarrow \gamma + \gamma + \gamma$
- (iii) $\pi^0 \rightarrow \gamma + \gamma$
- (iv) $\pi^+ \rightarrow \mu^+ + \nu_\mu$
- (v) $\pi^+ \rightarrow \mu^+ + \bar{\nu}_\mu$
- (vi) $p + \bar{p} \rightarrow \Lambda^0 + \bar{\Lambda}^0$
- (vii) $p + \bar{p} \rightarrow \gamma$
- (viii) $n \rightarrow p + \pi^-$
- (ix) $K^+ \rightarrow \pi^+ + \pi^- + \pi^+ + \pi^- + \pi^+ + \pi^0$
- (x) $p \rightarrow e^+ + \nu_e$

Για κάθε περίπτωση σημειώστε αν η διεργασία είναι (α) επιτρεπτή ή μή, (β) τον λόγο για τον οποίο απαγορεύεται και (γ) τον τύπο της αλληλεπίδρασης (ασθενής, ηλεκτρομαγνητική ή ισχυρή) αν επιτρέπεται. Το $\Lambda^0(uds)$ βαρύνυλο έχει μάζα $m_{\Lambda^0} = 1115.7 \text{ MeV}/c^2$.

(i) $\pi^- + p \rightarrow \pi^0 + \eta$: Όλα οι νευρικοί αριθμοί διατρέπονται και η διεργασία επιτρέπεται από τις ισχύες αλληλεπιδράσεων

(ii) $\pi^0 \rightarrow \gamma + \gamma + \gamma$: Η $C(\pi^0) = +1$, $C(3\gamma) = (-1)^3 = -1 \neq C(\pi^0)$
Η διεργασία δεν επιτρέπεται εφόσον η C-ομοιομορφία παραβιάζεται

(iii) $\pi^0 \rightarrow \gamma + \gamma$: Είναι ηλεκτρομαγνητική αλληλεπίδραση και επιτρέπεται

(iv) $\pi^+ \rightarrow \mu^+ + \nu_\mu$: Είναι αεριστική αλληλεπίδραση, επιτρέπεται

(v) $\pi^+ \rightarrow \mu^+ \bar{\nu}_\mu$: Το αριστερό μέλος ο Ιεπτόνιος αριθμός των μετατόπιστων είναι $b_\mu = 0$. Το δεξιό μέλος $b_\mu = -2$ και επομένων η διεργασία δεν επιτρέπεται. Ήσω παραβιάζεται διεπιπλού των Ιεπτόνιων αριθμών.

(vi) $p + \bar{p} \rightarrow \Lambda^0 + \bar{\Lambda}^0$: Το Λ baryon είναι δίσταυλη κατεύθυνσης και έχει σφραγίδες τα διάφορα αριθμοί της αλληλόγραφης και την παρεκβασή:

$$p + p \rightarrow \Lambda^0 + \bar{\Lambda}^0$$

$$\begin{array}{ccccc} B & 1 & -1 & 1 & 1 \\ S & 0 & 0 & -1 & -1 \end{array} \quad \Delta B = 2 \quad \Delta S = -2$$

Η διεργασία δεν διατηρεί τα διάφορα αριθμούς και επομένως δεν επιτρέπεται.

(vii) $p + \bar{p} \rightarrow \gamma$: Οι υποβασικοί αριθμοί των p είναι $J^{PC} = +\frac{1}{2}^+$ ενώ για το φωτισμό έχουμε: $\gamma: J^{PC} = +1^{--}$
Επομένως η διεργασία δεν διατηρεί συρροής' και parity.

Η διεργασία δεν διατηρεί ενέργεια και ορθούς αφού

$$(P_p + P_{\bar{p}})^2 = (E_p + E_{\bar{p}})^2 - (\vec{P}_p + \vec{P}_{\bar{p}})^2 = m_p^2 + m_{\bar{p}}^2 + 2(P_p \cdot P_{\bar{p}}) = m_p^2 + m_{\bar{p}}^2 + 2(E_p E_{\bar{p}} - \vec{P}_p \cdot \vec{P}_{\bar{p}}) \geq 2m_p^2$$

$$\text{Άλλα } P_\gamma^2 = m_\gamma^2 = 0 \quad \geq 0 \text{ από } E_p E_{\bar{p}} \geq |\vec{P}_p||\vec{P}_{\bar{p}}| \geq \vec{P}_p \cdot \vec{P}_{\bar{p}}$$

$$\text{Επομένως } (P_p + P_{\bar{p}})^2 > P_\gamma^2$$

(viii) $n \rightarrow n^- + p$: Η παρεκβασή της διεργασίας είναι επομένως η διεργασία δεν διατηρεί τη προστοποιητική.

(ix) $K^+ \rightarrow \pi^+ + \pi^- + \pi^+ + \pi^+ + \pi^0$: Η παρεκβασή της διεργασίας είναι επομένως να μην έχει την διατήρηση της περιορισμού των m_K^+

(x) $p \rightarrow e^+ + \nu_e$: Η παρεκβασή της διεργασίας αριθμούς

3. [10μ]

Θεωρήστε δέσμη πρωτονίων υψηλής ενέργειας η οποία προσπίπτει σε στόχο. Μετά τον στόχο υπάρχει μία διάταξη αποτελούμενη από σχισμές και μαγνήτες η οποία χρησιμοποιείται ώστε να δημιουργήσει μία δέσμη μικρής διαμέτρου που αποτελείται από θετικά φορτισμένα σωματίδια, ορμής $10GeV/c$. Η δέσμη περιέχει διάφορα ποσοστά από δευτερογενή σωματίδια, όπως e , μ , π , K και p τα οποία παράχθηκαν μετά την αλληλεπίδραση της αρχικής δέσμης πρωτονίων με το στόχο. Είναι επιθυμητό να ανιχνευτούν τα K^+ τα οποία περιέχονται στη δευτερογενή δέσμη. Πόσοι Cherenkov ανιχνευτές κατωφλίου θα πρέπει να χρησιμοποιηθούν; Ποιό είναι το κατώφλι της β που θα πρέπει να έχει κάθε ανιχνευτής Cherenkov; Δίνονται οι μάζες των σωματιδίων $m_{e^+} = 0.511 MeV/c^2$, $m_{\mu^+} = 105.6 MeV/c^2$, $m_{\pi^+} = 139.6 MeV/c^2$, $m_{K^+} = 493.7 MeV/c^2$ και $m_p = 938.3 MeV/c^2$.

Η δέσμη αποτελείται από διάφορα συντεταγμένα e, μ, π, p, K , όλα με την ίδια όρθια επίπεδη διαφορετικής ταχύτητας εφόσον η μέση των είναι συντεταγμένη διαφορετική.

Θα ξακουσεις επομένως: $P = \beta \gamma m c = 0$ τα διάφορα συντεταγμένα.

π^+ :

$$\beta \gamma = \frac{P}{m} = \frac{10GeV}{0.1396GeV} \Rightarrow \beta \gamma = 71.63 = \frac{\beta}{\sqrt{1-\beta^2}} \Rightarrow (71.63)^2(1-\beta^2) = \beta^2$$

$$\Rightarrow \beta^2 = \frac{(71.63)^2}{(71.63)^2 + 1} \Rightarrow \beta^2 = 0.99980514 \Rightarrow \boxed{\beta = 0.99990256}$$

Πικανέ: Το β των μονιμών και πλευρικών έχει πιο κοντά σε 1 από ότι τα π^+ εφόσον ήταν μεγαλύτερη μήτρα από τα π^+ .

K :

Όπως και προηγείνω: $\frac{P_K}{m_K} = \frac{10GeV}{0.4937GeV} = 20.255216 = \frac{\beta}{\sqrt{1-\beta^2}}$

$$\Rightarrow \beta^2 = \frac{(20.255216)^2}{(20.255216)^2 + 1} \Rightarrow \boxed{\beta_K = 0.99878351}$$

p :

Για τα πρωτόνια: $\beta \gamma = \frac{P_p}{m_p} = \frac{10GeV}{0.9383GeV} = 10.657572 = \frac{\beta}{\sqrt{1-\beta^2}}$

$$\Rightarrow \beta^2 = \frac{(10.657572)^2}{(10.657572)^2 + 1} \Rightarrow \boxed{\beta = 0.99569684}$$

Εποιείν χρειαζομένοι Σιο Cherenskov ανιχνεύεται, ενώ η κατιφλέ για
Βητερόγια Βικ ή Βητ ή είναι για κατιφλέ βετερόγια Βητ ή Βητ
Αν ο πρώτος ανιχνεύεται σίνει αγία, τότε το ευφετιδόν του περνά είναι:
Ειδησή, αλλά όχι και ρ. Αν ο δεύτερος ανιχνεύεται σε σίνει
Γιατί, τότε το ευφετιδόν είναι ρήματος βαπτιστικού. Εποιείν
η των ονομάτων του καθηγείται Ανιχνεύεται 2: ΝΑΙ και Ανιχνεύεται 1: ΟΧΙ

4. [10μ]

Θεωρήστε ότι πραγματοποιείτε ένα πείραμα στο οποίο θέλετε να διερευνήσετε την ύπαρξη ή όχι της αλληλεπίδρασης $p + p \rightarrow H + K^+ + K^+$, όπου το H είναι άγνωστο σωματίδιο.

(α) Ποιές οι τιμές του ηλεκτρικού φορτίου, παραδοξότητας, και βαρυνονικού αριθμού του σωματιδίου H ; Πόσα quarks μπορεί να περιέχει το H σωματίδιο; [5μ]

(β) Ένας θεωρητικός υπολογισμός της μάζας του H σωματιδίου προβλέπει ότι η μάζα του είναι $m_H = 2150 \text{ MeV}$. Ποιά είναι η ελάχιστη τιμή της ορμής της δέσμης των προσπίπτοντων πρωτονίων ώστε να παραχθεί το σωματίδιο αυτό; Υποθέστε ότι τα πρωτόνια του στόχου είναι σε ηρεμία. [5μ]

Δίνεται ότι το K^+ είναι δέσμια κατάσταση ($u\bar{s}$) με μάζα $m_{K^+} = 493.7 \text{ MeV}/c^2$ και το p είναι δέσμια κατάσταση (uud) με μάζα $m_p = 938.3 \text{ MeV}/c^2$.

(α) Το κείμeno k^+ έχει $S=1$ και $B=0$, ενώ το H αναφέρεται να έχει ηλεκτρικό φορτίο $Q=0$, παραδοξότητα: $S=-2$ εφόσον υπάρχουν 2 K^+ στην σελίδα: μετατόπιση και η φράση μετατόπιση δεν ισχει παραδοξότητα, και επίσης αναφέρεται να έχει $B=2$. ώστε να διατηρούνται, Βαρυνονικός αριθμός παραδοξότητας Q . Για να μελενονοιούνται τα ανωτούπων, Δε ορίσει το H να περιέχει του λεχιστού 6 quarks: (uu, dd και ss)

(β) Στην ενέργεια κινητής, σε επιλεκτικά περιήγησης γε γρεφιά στο σύστημα αναφοράς των κεντρώων μεταξύ

$$\begin{aligned} \text{Επομένως } \text{Δε } \text{έχομε: } P_i^2 &= P_f^2 \Rightarrow (P_p + P_p)^2 = (P_H + P_{K^+} + P_{K^+})^2 \Rightarrow \\ &\Rightarrow (E_p^\delta + E_p^{\epsilon\tau})^2 - (\tilde{P}_p^\delta + \tilde{P}_p^{\epsilon\tau})^2 = (E_p^\delta + m_p)^2 - |\vec{P}_p|^2 = (m_H + m_{K^+} + m_{K^+})^2 \Rightarrow \end{aligned}$$

$$\Rightarrow \cancel{E_p^\delta}^2 + m_p^2 + 2\cancel{E_p^\delta} m_p - \cancel{p_p^2} = (m_H + 2m_{K^+})^2 \Rightarrow 2m_p^2 + 2\cancel{E_p^\delta} m_p = (m_H + 2m_{K^+})^2 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow 2\cancel{E_p^\delta} m_p = (m_H + 2m_{K^+})^2 - 2m_p^2 \Rightarrow \cancel{E_p^\delta} = \frac{(m_H + 2m_{K^+})^2 - 2m_p^2}{2m_p} = \frac{(2.15 + 2 \cdot 0.494)^2 - 2 \cdot 0.938^2}{2 \cdot 0.938}$$

$$\Rightarrow \boxed{\cancel{E_p^\delta} = 1.311 \text{ GeV}}$$

Apa nglakukan operasi dan sebagainya di sini? $\cancel{P_p} = \sqrt{\cancel{E_p^\delta}^2 - m_p^2} \Rightarrow \boxed{\cancel{P_p} = 1.908 \text{ GeV/c}}$

5. [10μ]

Το ηλεκτρικά ουδέτερο βαρυνόνιο Σ^0 μάζας $m_{\Sigma^0} = 1915.0 \text{ MeV}/c^2$, έχει isospin $I = 1, I_3 = 0$.

Θεωρήστε ότι τα Γ_{K^-p} , $\Gamma_{\bar{K}^0n}$, Γ_{π^-p} , και $\Gamma_{\pi^-\pi^+}$ αναφέρονται στο επιμέρος εύρος διάσπασης του σωματιδίου $\Sigma^0 \rightarrow K^-p$, $\Sigma^0 \rightarrow \bar{K}^0n$, $\Sigma^0 \rightarrow \pi^-p$ και $\Sigma^0 \rightarrow \pi^-\pi^+$ αντίστοιχα. Να υπολογίσετε τους λόγους:

$$\frac{\Gamma_{\bar{K}^0n}}{\Gamma_{K^-p}}, \frac{\Gamma_{\pi^-p}}{\Gamma_{K^-p}} \text{ και } \frac{\Gamma_{\pi^-\pi^+}}{\Gamma_{K^-p}}$$

Οι μάζες των K^- και π^- είναι τέτοιες ώστε οι διασπάσεις επιτρέπονται κινηματικά.

Τα p και n αντελαίν Σ^0 isospin με $I = \frac{1}{2}$ και $I_3 = \frac{1}{2}$ και $-\frac{1}{2}$ αντίστοιχα.

Τα π^+ , π^- και π^0 αντελαίν φρεγής isospin με $I = 1$ και $I_3 = +\frac{1}{2}, -\frac{1}{2}, 0$, αντίστοιχα

Τα k^+ και k^0 αντελαίν Σ^0 isospin $I = \frac{1}{2}$ με $I_3 = \frac{1}{2}$ και $-\frac{1}{2}$ αντίστοιχα ενώ τα αντισυμετρικά των Σ^0 αντελαίν είναι Σ^0 isospin $\frac{1}{2}$ με $I_3 = -\frac{1}{2}$ και $\frac{1}{2}$ αντίστοιχα για τα k^+ , \bar{k}^0 . Επτών κατέσταση του ωσπρήν των Σ^0 είναι $|10\rangle$

το p : $|\frac{1}{2}, \frac{1}{2}\rangle$ και το n : $|\frac{1}{2}, -\frac{1}{2}\rangle$

το \bar{k}^0 : $|\frac{1}{2}, \frac{1}{2}\rangle$ και το k^- : $|\frac{1}{2}, -\frac{1}{2}\rangle$

Επομένως ανώ των πιτακών CG θα έχουμε:

$$\Psi(\bar{K}^0n) = |\frac{1}{2}, \frac{1}{2}\rangle |\frac{1}{2}, -\frac{1}{2}\rangle = \sqrt{\frac{1}{2}} (|1,0\rangle + |0,0\rangle)$$

$$\Psi(k^-p) = |\frac{1}{2}, -\frac{1}{2}\rangle |\frac{1}{2}, \frac{1}{2}\rangle = \sqrt{\frac{1}{2}} (|1,0\rangle - |0,0\rangle)$$

Οι διασπάσεις $\Sigma^0 \rightarrow \bar{K}^0n$ και $\Sigma^0 \rightarrow k^-p$ προχωρούν μετανάληψης αλληλεπιδράσεων. Τα σχετικά ποσοστά διασπάσεων θα είναι:

$$\Gamma_{\bar{K}^0 n} \propto \left| \langle \psi(5^0) | \mathcal{H} | \psi(\bar{K}^0 n) \rangle \right|^2 = \frac{\alpha_1^2}{2} \quad \text{since } \alpha_1 = \langle 1 | \mathcal{H} | 1 \rangle$$

$$\Gamma_{\bar{K}^- p} \propto \left| \langle \psi(5^0) | \mathcal{H} | \psi(\bar{K}^- p) \rangle \right|^2 = \frac{\alpha_1^2}{2} \quad \text{but } \langle 1 | \mathcal{H} | 0 \rangle = 0$$

$\frac{\Gamma_{\bar{K}^0 n}}{\Gamma_{\bar{K}^- p}} = 1$

και εφόσον οι όγκοις αλληλούχων
 είναι αναθρόπητοι των φυσικών α_1
 δημιουργίας πέντε αντίτυπων I_3 .

Efereisoufe tηn Δiānei $5^0 \rightarrow p\pi^-$.

Η Δiānei awi eisai asdētis Δiānei ($\Delta I_3 = -\frac{1}{2} \neq 0$) και $\frac{\Gamma_{\pi^- p}}{\Gamma_{\bar{K}^- p}} \ll 1$

Ai efereisoufe tηv kozētēv iōspin Δe iōspine:

$$\psi(\bar{\pi}^- p) = \left| 1, -1 \right\rangle \left| \frac{1}{2}, \frac{1}{2} \right\rangle = \sqrt{\frac{1}{3}} \left| \frac{3}{2}, \frac{1}{2} \right\rangle - \sqrt{\frac{2}{3}} \left| \frac{1}{2}, -\frac{1}{2} \right\rangle$$

Efereisoufe tηn Δiānei $5^0 \rightarrow \pi^- \pi^+$. Σtai neptintas exoufe
πapētias tōv bōpōtōv apidhōi και enētēs tēs eisai enigmenē.

Ta π -mesōtēs iōspin bōpōtōv apidhōi \emptyset emi tō 5^0 -tēs bōpōtōv
apidhōi 1.

6. [10μ]

Το βαρυόνιο Σ^{*+} είναι ένα ασταθές σωματίδιο μάζας $m_{\Sigma^{*+}} = 1385.0 \text{ MeV}/c^2$ και ολικού εύρους $\Gamma = 35 \text{ MeV}$, και ποσοστό διάσπασης σε $\Sigma^{*+} \rightarrow \pi^+ \Lambda$ ίσο με 88%. Παράγεται στη διάσπαση $K^- + p \rightarrow \pi^- + \Sigma^{*+}$ ενώ η διάσπαση $K^+ + p \rightarrow \pi^+ + \Sigma^{*+}$ δεν παρατηρείται.

(α) Ποιά η τιμή της παραδοξότητας του σωματιδίου Σ^{*+} ; Εξηγήστε την απάντησή σας βασιζόμενοι στις διεργασίες που σας δίνονται στο πρόβλημα. [5μ]

(β) Η διάσπαση του Σ^{*+} προχωρά μέσω ισχυρών ή ασθενών αλληλεπιδράσεων; [3μ]

(γ) Ποια η τιμή του isospin του Σ^{*+} ; Εξηγήστε με βάση τις πληροφορίες που δίνονται και καταλήξατε στα προηγούμενα ερωτήματα. [2μ]

(α) Το Σ^{*+} παριστάται ως ισχυρόν αλληλεπιδράσεων: $k^- p \rightarrow \bar{\Sigma}^* \pi^+$

παν Σωστρούς την παρενοχή της. Η παρενοχή της Σ^{*+} είναι ίδια με αυτή των K^- που ισούται $S = -1$.

Η παρενοχή των K^+ είναι $S(K^+) = +1$ και παραβιαστεί κατά την Σιεργκαία: $K^+ p \rightarrow \pi^+ \Sigma^{*+}$. Εποκίνως η Σιεργκαία αυτή δεν επιτρέπεται από τις ισχυρές αλληλεπιδράσεις.

(β) Η Σιεργκαία $\Sigma^{*+} \rightarrow \Lambda^0 \pi^+$ σίνεται ότι είναι: $\Gamma_{\Lambda^0} = 0.88 \cdot 35 \Rightarrow$
 $\Rightarrow \Gamma_{\Lambda^0 \pi^+} = 30.8 \text{ MeV}$.

Το σχετικό είρος αναστοχεί σε χρόνο f_{vis} : $I_{\Lambda^0 \pi^+} = \frac{t}{\Gamma_{\Lambda^0 \pi^+}} = \frac{6.4 \cdot 10^{-22}}{30.8} \Rightarrow$
 $\Rightarrow I_{\Lambda^0 \pi^+} = 2.15 \cdot 10^{-23} \text{ s}$.

Ο χρόνος είναι της τάξης τεργάδων των ισχυρών αλληλεπιδράσεων και εποκίνως η Σιεργκαία είναι μία ισχυρή αλληλεπιδράση.

(γ) Το isospin διεπηρείται στις ισχυρές αλληλεπιδράσεις.

Από την Σιεργκαία $\Sigma^{*+} \rightarrow \Lambda^0 \pi^+$ έχουμε ότι $I(\Lambda^0) = I_3(\Lambda^0) = \emptyset$.

Εποκίνως $I(\Sigma^{*+}) = I(\pi^+) = 1$.

7. [10μ]

Υποθέστε ότι το π^- έχει spin 0 και αρνητική τιμή parity. Το π^- συλλαμβάνεται από πυρήνα δευτερίου, d , ενώ βρίσκεται σε P τροχιά μέσω της διεργασίας: $d + \pi^- \rightarrow n + n$. Να δείξετε ότι τα δύο νετρόνια στην τελική κατάσταση βρίσκονται σε μονήρη κατάσταση. Δίνεται ότι για το n $J^P = \frac{1}{2}^+$ και για το δευτέριο $J^P = 1^+$.

Μες Σινεται από την άσυνη ότι π^- του πυρίου είναι D^-

ενώ συλλαμβάνεται ενώ βρίσκεται σε P τροχιά. Ακόδη μια φοράς κατιεστεγ όχει σφροφόρη $l=1$.

Η φοράς μετατοπευτική επομένως βρίσκεται σε parity:

$$P_i = P(\pi^-)P(d)(-1)^l = (-1) \times (+1) \times (-1)^1 \Rightarrow P_i = +1$$

Η Συρραϊσια θετικής χάρα βίασιν τοχυτάν αποτελείται και επομένων τη parity διατηρείται. Οι πρίνεις επομένως και η τελική μετατοπευτική να έχει parity $+1$. Έχομες Σηλεύσι $P_f = +1$.

Η parity των νετρονίων είναι $+1$ και επομένως $P_f = P(n)P(n)(-1)^l \Rightarrow P_f = P_i = P(n)(-1)^l = +1 \Rightarrow 1 \cdot (-1)^l = 1 \Rightarrow l$ Δα πρέπει να είναι άριτο. Η l ανατονούει ση σφροφόρη των δύο νετρονίων από τη σχετική τους κίνηση. Επομένως $l=0, 2, 4, \dots$

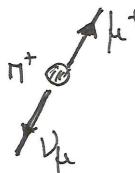
Ωστόσο, η τελική μετατοπευτική αποτελείται από δύο πλωματισμένα φερμιόνια και η κυματοσωμάτησης. Δα πρέπει να είναι αντι-συμμετρική σε εναλλαγή τους. Άντο ας εσχημάτισμε πως το τροχιανό φερμιόνι της κυματοσωμάτησης είναι συμμετρικό από εναλλαγή αριθμ. $l=0, 2, 4, \dots$ αντικαίνει ότι το φερμιόνι της κυματοσωμάτησης που περιγράφεται ωσ spin. Δα πρέπει να είναι αντι-συμμετρικό. Άρα τα δύο νετρόνια Δα πρέπει να είναι σε παραμορφωμένη spin.

8. [10μ]

Μία δέσμη π^+ -μεσονίων κινητικής ενέργειας T παράγει ένα ποσοστό μ^+ τα οποία κινούνται αντίθετα από την κίνηση των π^+ . Τα μ^+ παράγονται στη διάσπαση $\pi^+ \rightarrow \mu^+ + \nu$ όπου $m_{\pi^-} = 139.57 \text{ MeV}/c^2$, $m_{\mu^+} = 105.66 \text{ MeV}/c^2$ και $m_\nu = 0.0 \text{ MeV}/c^2$. Για ποιό εύρος τιμών ενέργειας T είναι πιθανή αυτή η διεργασία;

Το μ^+ από την διάσπαση του π^+ μπορεί να κινηθείν αναδεικνύεται σα σύστημα αναφοράς των εργαστηρίων, αν η ταχύτητα του μονιμού π^+ είναι αναφορά των κέντρων λειψανίας (σύστημα αναφοράς των π^+ σε ηρεμία) είναι λεγόμενη από την ταχύτητα των π^+ σα σύστημα αναφοράς των εργαστηρίων.

Η διάσπαση των πονιών $\pi^+ \rightarrow \mu^+ \nu_\mu$.



$$\text{Στο σύστημα αναφοράς των } \pi^+: \vec{P}_{\mu^+}^* = -\vec{P}_{\nu_\mu}^* \Rightarrow \\ \Rightarrow |\vec{P}_{\mu^+}^*| = |\vec{P}_{\nu_\mu}^*|, m_{\nu_\mu} = 0, p^*: \text{οριζ. σα } \text{Λ.M.}$$

$$\text{Η ενέργεια των κέντρων λειψανίας είναι η φυσική ηρεμία των } \pi^+. \text{ Επομένως } m_\pi = \sqrt{m_{\mu^+}^2 + \vec{P}_{\mu^+}^{*2}} + |\vec{P}_{\nu_\mu}^*| \Rightarrow$$

$$\Rightarrow m_\pi - |\vec{P}_{\mu^+}^*| = \sqrt{m_{\mu^+}^2 + \vec{P}_{\mu^+}^{*2}} \Rightarrow m_\pi^2 + \vec{P}_{\mu^+}^{*2} - 2m_\pi P_{\mu^+}^* = m_{\mu^+}^2 + \vec{P}_{\mu^+}^{*2} \Rightarrow \\ \Rightarrow |\vec{P}_{\mu^+}^*| = \frac{m_\pi^2 - m_{\mu^+}^2}{2m_\pi} \quad (1)$$

$$\text{Επομένως } \beta_{\mu^+}^* = \frac{P_{\mu^+}^*}{E_{\mu^+}^*} = \frac{m_\pi^2 - m_{\mu^+}^2}{2m_\pi \sqrt{\vec{P}_{\mu^+}^{*2} + m_{\mu^+}^2}} \stackrel{(1)}{=} \frac{m_\pi^2 - m_{\mu^+}^2}{2m_\pi \sqrt{m_\pi^4 + m_{\mu^+}^4 - 2m_\pi^2 m_{\mu^+}^2 + 2m_\pi^2 m_{\mu^+}^2}} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \beta_{\mu^+}^* = \frac{m_\pi^2 - m_{\mu^+}^2}{2m_\pi \sqrt{(m_\pi^2 + m_{\mu^+}^2)^2 - 4m_\pi^2 m_{\mu^+}^2}} \Rightarrow \beta_{\mu^+}^* = \frac{m_\pi^2 - m_{\mu^+}^2}{2m_\pi \frac{m_\pi^2 + m_{\mu^+}^2}{\sqrt{2m_\pi^2}}} \stackrel{(2)}{=} \boxed{\beta_{\mu^+}^* = \frac{m_\pi^2 - m_{\mu^+}^2}{m_\pi^2 + m_{\mu^+}^2}}$$

Για να κινηθούν αναδεικνύοντας, θα ιρίσει $\beta_\pi \leq \beta_{\mu^+}^* \Rightarrow E_\pi \leq \frac{m_\pi}{\sqrt{1 - \beta_{\mu^+}^{*2}}} \Rightarrow$

$$E_\pi \leq \frac{m_\pi}{\sqrt{\left(1 - \frac{m_\pi^2 - m_{\mu^+}^2}{m_\pi^2 + m_{\mu^+}^2}\right)\left(1 + \frac{m_\pi^2 - m_{\mu^+}^2}{m_\pi^2 + m_{\mu^+}^2}\right)}} = \frac{m_\pi}{\sqrt{\frac{4m_\pi^2 m_{\mu^+}^2}{(m_\pi^2 + m_{\mu^+}^2)^2}}} = \frac{m_\pi(m_\pi^2 + m_{\mu^+}^2)}{2m_\pi m_{\mu^+}} \Rightarrow E_\pi \leq \frac{m_\pi^2 + m_{\mu^+}^2}{2m_\pi m_{\mu^+}}$$

$$\Rightarrow E_\pi^* \leq E_\pi - m_\pi \leq \frac{m_\pi^2 + m_{\mu^+}^2}{2m_\pi} - m_\pi = \frac{m_\pi^2 + m_{\mu^+}^2 - 2m_\pi m_{\mu^+}}{2m_\pi} = \frac{(m_\pi - m_{\mu^+})^2}{2m_\pi} = 5.44 \text{ MeV}$$

9. [10μ]

Το μεσόνιο ρ^0 έχει μάζα $m_{\rho^0} = 769 \text{ MeV}/c^2$ και εύρος $\Gamma = 154 \text{ MeV}/c^2$. Μπορεί να παραχθεί με βομβαρδισμό στόχου υγρού υδρογόνου με δέσμη π^- μέσω της αλληλεπίδρασης $\pi^- + p \rightarrow \rho^0 + n$.

(α) Ποιός είναι ο χρόνος ζωής και η μέση απόσταση διάσπασης ρ^0 -μεσονίων ενέργειας 5 GeV ;

(β) Ποιά είναι η ενέργεια κατωφλίου της δέσμης των π^- ώστε να παραχθούν ρ^0 -μεσόνια; [2μ]

(γ) Αν η ενεργός διατομή παραγωγής ρ^0 -μεσονίων είναι $1 \text{ mb} \equiv 10^{-27} \text{ cm}^2$ και ο στόχος του υγρού υδρογόνου έχει μήκος 30 cm , πόσα ρ^0 -μεσόνια παράγονται κατά μέσο όρο για κάθε προσπίπτον π^- ; Η πυκνότητα του υγρού υδρογόνου είναι 0.07 gr/cm^3 . [3μ]

(δ) Τα ρ^0 -μεσόνια διασπώνται σχεδόν αμέσως σε ζεύγος $\pi^+ \pi^-$. Δεδομένου ότι στο σύστημα αναφοράς του εργαστηρίου το ρ^0 παράγεται στην διεύθυνση κοντά στη διεύθυνση της προσπίπτουσας δέσμης των π^- , και με ενέργεια 5 GeV , ποιά είναι η ελάχιστη γωνία μεταξύ των παραγόμενων $\pi^+ \pi^-$ στο σύστημα αναφοράς του εργαστηρίου; [3μ]

$$(α) \text{ Ο ποραγμένος Lorentz των } \rho^0 \text{ είναι: } \gamma = \frac{E_p}{m_p} = \frac{5 \text{ GeV}}{0.769 \text{ GeV}} = 6.50$$

$$\text{Ο ιδιωχρόνος των } \rho^0 \text{ είναι } \tau_0 = \frac{\hbar}{\Gamma} = \frac{6.58 \cdot 10^{-22} \text{ MeV sec}}{154 \text{ MeV}} \Rightarrow \tau_0 = 4.27 \cdot 10^{-24} \text{ s.}$$

Δια σύστημα αναφοράς των εργαστηρίου ο χρόνος βασίσεων των ρ^0 θα είναι:

$$\tau = \gamma \tau_0 = 4.27 \cdot 10^{-24} \cdot 6.5 \text{ sec} \Rightarrow \tau = 2.78 \cdot 10^{-23} \text{ sec}$$

Επομένως η απόσταση που θα διενιστεί το ρ^0 θα είναι $d = \tau \beta c \Rightarrow$

$$\Rightarrow d = \tau_0 \gamma \beta c = \tau_0 c \sqrt{\gamma^2 - 1} \Rightarrow d = 4.27 \cdot 10^{-24} \cdot 3 \cdot 10^{16} \cdot \sqrt{6.5^2 - 1} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \boxed{d = 8.23 \cdot 10^{-13} \text{ cm}}$$

(β) Η μεγότερη τιμή ενέργειας είναι όσο την προτίτλων που το ρ^0 και τη περιήγηση σε πρεμία.

$$\begin{aligned} S = (P_n + P_p)^2 &= (P_n + P_{p^0})^2 \Rightarrow (E_n + \cancel{P_p})^2 - (\cancel{P_n} + \cancel{P_p})^2 = (E_n + \cancel{P_{p^0}})^2 - (\cancel{P_n} + \cancel{P_{p^0}})^2 \\ &\quad \downarrow m_p \quad \downarrow m_{p^0} \quad \downarrow m_n \quad \downarrow m_{p^0} \quad \downarrow m_p \\ \Rightarrow (E_n + m_p)^2 - P_n^2 &= (m_n + m_{p^0})^2 \Rightarrow E_n^2 + m_p^2 - 2E_n m_p - P_n^2 = (m_n + m_{p^0})^2 \\ \Rightarrow m_n^2 + m_{p^0}^2 - 2E_n m_p &= (m_n + m_{p^0})^2 \Rightarrow E_n = \frac{(m_n + m_{p^0})^2 - m_p^2 - m_n^2}{2m_p} \\ \Rightarrow E_n = \frac{(769 + 938)^2 - 140^2 - 938^2}{2 \cdot 938} &\Rightarrow E_n \approx 1077 \text{ MeV} \end{aligned}$$

(γ) Ο λίγος αριθμός ρ -γεγούσιων που περιήγησε στην αλιθινή δραστική ενός π^- με τα πρώτα ταυτόχρονα είναι:

$$N = \rho \rho_0 N_0 / A = 0.07 \cancel{30} \cancel{0.9} \cdot 10^{-27} \cancel{6.02} \cdot 10^{23} \Rightarrow N = 1.3 \times 10^{-3}$$

(δ) Στο σύστημα αναφοράς του ρ^0 , το σύγχρονο του πιονιού που περιήγησε στη Διεισδυτική περιοχή, κινείται με αντίδεξης ορθής $\vec{P}_{\pi^+}^* = -\vec{P}_{\pi^-}^*$

Diagram illustrating the decay of a pion (π^-) into a ρ^0 meson and a π^+ meson. The incoming pion has momentum P_π^- . The outgoing ρ^0 meson has momentum P_{ρ^0} , and the outgoing π^+ meson has momentum P_{π^+} .

$$\begin{aligned} \text{Oι ενέργειες των } \Delta \text{ είναι: } E_{\pi^+}^* &= E_{\pi^-}^* = \frac{m_{p^0}}{2} \Rightarrow \\ \Rightarrow \gamma_{\pi^+}^* &= \frac{E_{\pi^+}^*}{m_{\pi^+}} = \frac{m_{p^0}}{2m_{\pi^+}} \Rightarrow \beta_{\pi^+}^* = \sqrt{1 - \frac{1}{\gamma_{\pi^+}^{*2}}} \Rightarrow \\ \Rightarrow \beta_{\pi^+}^* &= \sqrt{1 - \frac{4m_{\pi^+}^2}{m_{p^0}^2}} = \sqrt{\frac{m_{p^0}^2 - 4m_{\pi^+}^2}{m_{p^0}^2}} \Rightarrow \beta_{\pi^+}^* = \frac{1}{m_{p^0}} \sqrt{m_{p^0}^2 - 4m_{\pi^+}^2} \\ \Rightarrow \boxed{\beta_{\pi^+}^* = 0.93} \end{aligned}$$

Το σύστημα αναφοράς του ρ^0 (στη γραμμή περιήγησης) έχει παραγόντες Lorentz $\gamma = 6.50$ στην βριδική σε (a) λήπτη. Επομένως $\beta = \sqrt{1 - \frac{1}{6.5^2}} = 0.99$

Έσσω ότι είναι λεγόμενη η εκπέμποντα παράλληλη φε στη διεύθυνση μήκους του ρ^0 σε αναφορές των εργαστηρίων. Το πλάνο που κινείται στην μηδοσταθή περιοχή (μηκές γιατίς ας προτηνούνται δε' ότι) θα κινείται προς αυτήν την κατεύθυνση και στη συνέχεια αναφορά σε εργαστηρίαν. Αν η τοξικότητα του ρ^0 στο εργαστήριο είναι μεγαλύτερη από την τοξικότητα του π^+ σε αναφορές των μήκους λεγόμενων ($B_{\pi}^* < B$), το πλάνο που κινείται προς την πλευρά της λεγόμενης εργαστηρίου, και επομένως η ελάχιστη γωνία θέσπισης που ανατίθεται στην παρατηρητική πλευρά.



10. [10μ]

- (i) Να σχεδιάσετε το διάγραμμα Feynman για τη διάσπαση: $K^+ \rightarrow \pi^+ \pi^0$.
- (ii) Να σχεδιάσετε τα διαγράμματα Feynman που περιγράφουν τη σκέδαση $e^- + \nu_e \rightarrow e^- + \nu_e$ μέσω ουδέτερων και φορτισμένων ρευμάτων.
- (iii) Να σχεδιάσετε το διάγραμμα Feynman για τη διάσπαση: $D^{*+}(c\bar{d}) \rightarrow D^0(c\bar{u})\pi^+(u\bar{d})$
- (iv) Να σχεδιάσετε το διάγραμμα Feynman για τη διάσπαση: $D^+(c\bar{d}) \rightarrow \bar{K}^0(s\bar{d})\pi^+(u\bar{d})$
- (v) Να σχεδιάσετε τα διαγράμματα Feynman για τη σκέδαση: $e^- + e^+ \rightarrow \nu_\tau + \bar{\nu}_\tau$
- (vi) Να σχεδιάσετε τα διαγράμματα Feynman για τη σκέδαση: $\nu_\mu + n \rightarrow \mu^- + p$
- (vii) Να σχεδιάσετε το διάγραμμα Feynman για τη διάσπαση: $B^0(d\bar{b}) \rightarrow K^+(\bar{u}\bar{s})\pi^-(\bar{u}d)$
- (viii) Σε αντιστοιχία με τα διαγράμματα Feynman που περιγράφουν την ταλάντωση των ουδέτερων καονίων ($K^0 \leftrightarrow \bar{K}^0$) να σχεδιάσετε τα διαγράμματα Feynman που περιγράφουν τις ταλαντώσεις των ουδέτερων $B_s^0(\bar{b}s)$ μεσονίων ($B_s^0 \leftrightarrow \bar{B}_s^0$).
- (ix) Να σχεδιάσετε το διάγραμμα Feynman για τη παραγωγή ενός μποζονίου Higgs μέσω σύντηξης γκλουονίων και διάσπασής του σε ζεύγος φωτονίων: $g + g \rightarrow H^0 \rightarrow \gamma + \gamma$.
- (x) Η διεργασία παραγωγής ζεύγους top-quarks ($t\bar{t}$) σε αδρονικούς επιταχυντές (pp ή $p\bar{p}$) πραγματοποιείται μέσω ισχυρών αλληλεπιδράσεων. Ποιά τα δύο διαγράμματα χαμηλότερης τάξης που περιγράφουν την παραγωγής αυτή; Σε αντίθεση, η διεργασία παραγωγής ενός μόνο top quark πραγματοποιείται μέσω ασθενών αλληλεπιδράσεων. Ποιά δύο διαγράμματα χαμηλότερης τάξης περιγράφουν την παραγωγή ενός top quark;

