Ενέργεια στο CM.

Δέσμη σωματιδίων μάζας m_1
και ενέργειας Ε, σε σωματίδιο
στόχου μάζας m_2

$$\boldsymbol{P = (E, \vec{p})}$$

$$P_o = (E_1 + E_2) - (\vec{p}_1 + \vec{p}_2)$$

$$\sqrt{s} = \sqrt{(E_1 + E_2)^2 - (\vec{p}_1 + \vec{p}_2)^2}$$

Το $\sqrt{s}$ είναι η ενέργεια που είναι διαθέσιμη
στο CM.

Ελάχιστη ενέργεια
για παραγωγή π^0
από δέσμη p

$$\boldsymbol{p + p \to p + p + \pi^0}$$

$$\boldsymbol{\to \sqrt{s} \geq 2m_p + m_{\pi^0}}$$

$$\boldsymbol{m_p = 0{,}938 \quad GeV,}$$

$$\boldsymbol{m_{\pi^0} = 0{,}140 \quad GeV}$$

$$\boldsymbol{\sqrt{s} \geq 2{,}01 \quad GeV}$$

$$\boldsymbol{E_1 = (s - 2m_p) / 2m_p}$$

Ταχύτητα CM στο σύστημα εργαστηρίου

$$\beta_{CM} = \vec{p}_{1lab} / (E_{1lab} + m_2)$$

$$\gamma_{CM} = (E_{1lab} + m_2) / E_{CM}$$

Σε ένα πείραμα σταθερού στόχου, θεωρούμε ότι το σωμάτιο 2 είναι ακίνητο. Επίσης ότι η μάζα του είναι μικρή σε σχέση με την κινητική ενέργεια του σωματιδίου της δέσμης.

$$\vec{\boldsymbol{p}}_2 = 0$$

$$\sqrt{\boldsymbol{s}} = \sqrt{\boldsymbol{E}_1^2 + \boldsymbol{E}_2^2 - \vec{\boldsymbol{p}}_1^2} = \sqrt{\boldsymbol{m}_1^2 + \boldsymbol{m}_2^2 + 2\boldsymbol{E}_1 \boldsymbol{m}_2}$$

$$\boldsymbol{p}_1 >> \boldsymbol{m}_1, \boldsymbol{m}_1 \rightarrow \sqrt{\boldsymbol{s}} = \sqrt{2\boldsymbol{E}_1 \boldsymbol{m}_2}$$

Διάσπαση στο σύστημα CM i

L

$A\rho\chi \quad P$

$T\varepsilon\lambda \quad P_1, P_2$

CM

$P = (M, 0, 0, 0)$

$\vec{p}_1 = -\vec{p}_2$

$$E_1 + E_2 = \sqrt{m_1^2 + p^2} + \sqrt{m_2^2 + p^2} = M$$

$$p = \frac{1}{2M}\sqrt{\left[M^2 - (m_1 - m_2)^2\right]\left[M^2 - (m_1 + m_2)^2\right]}$$

$$M \geq m_1 + m_2$$

Διάσπαση στο σύστημα CM ii

$$p_1^2 = p_2^2$$

$$E_1^2 - m_1^2 = E_2^2 - m_2^2$$

$$E_2^2 = E_1^2 - m_1^2 + m_2^2$$

$$(M - E_1)^2 = E_1^2 - m_1^2 + m_2^2$$

$$E_1 = \frac{1}{2M}(M^2 + m_1^2 - m_2^2)$$

$$E_2 = \frac{1}{2M}(M^2 + m_2^2 - m_1^2)$$

$$m_1 = m_2 = m$$

$$E_1 = E_2 = \frac{1}{2}M$$

$$p = \frac{1}{2}\sqrt{M2 - 4m^2}$$

Υπολογισμός στο Σύστημα Εργαστηρίου.

$$P = (E,0,0, p)$$
$$P_1 = (E_1 , p_{1\perp} , p_{1z})$$
$$P_2 = (E_1 , p_{2\perp} , p_{2z})$$
$$\vec{p}_\perp = \vec{p}_{1\perp} = -\vec{p}_{2\perp}$$

$$* \rightarrow CM$$
$$E_1 = \gamma(E_1^* + \upsilon p_{1z}^*)$$
$$p_{1z} = \gamma(p_{1z}^* + \upsilon E_1^*)$$
$$\gamma = \frac{E}{M} \quad \upsilon = \frac{p}{E}$$

Παραγωγή μιονίων.

Όρια στην Ενέργεια Εργαστηρίου του παραγόμενου

$$\gamma(E_i^* - \beta p^*) \le E_i \le \gamma(E_i^* + \beta p^*)$$

Η κανονικοποιημένη κατανομή ενέργειας των προιόντων γίνεται:

$$\frac{n_{ij}}{dE_i} = \frac{B_{ij}}{2\gamma\beta p^*} = \frac{B_{ij}M}{2p^* P_L}$$

B_{ij} branching ratio j->i

Παραγωγή μιονίων

Για την παραγωγή από $K^{\pm}$ έχουμε:

$$\frac{dn}{dE_{\nu}} = \frac{dn}{dE_{\mu}} = \frac{0{,}635}{(1 - m_{\mu}^2 / m_K^2) P_K}$$

Αποδεικνύεται ότι

$$\frac{< E_{\mu} >}{E_{\pi}} = 0.79$$

$$\frac{< E_{n} >}{E_{\pi}} = 0.21$$

Ο αριθμός των τελικών καταστάσεων είναι σταθερός αν εκφραστεί σαν συνάρτηση του κλάσματος της ενέργειας που παίρνει το τελικό σωματίδιο.

Τα όρια γίνονται :

$E_\mu(\mu^2/\mu_\pi^2) \leq E_\mu \leq E$

$0 \leq EE_\nu \leq (1-\mu^2/\mu_\pi^2)E$

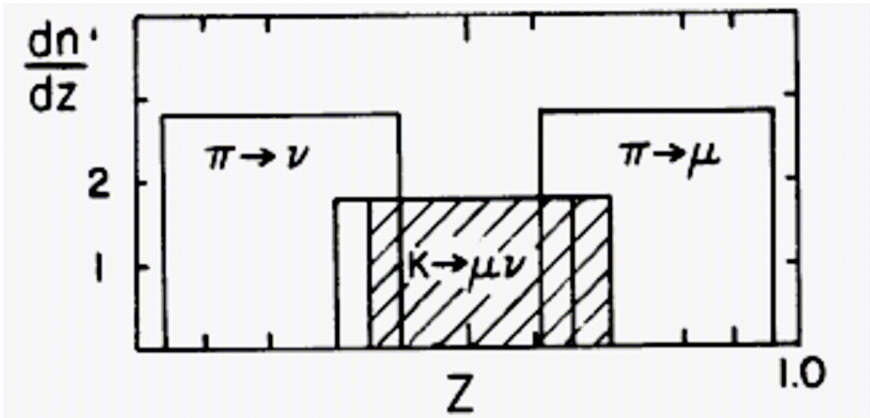

Figure 4.1: Decay distributions of π-decay and K-decay into $\mu\nu_\mu$ for 200 MeV/c parent mesons. z is the ratio of the total laboratory energy of the decay product to that of the parent.

$$\frac{<E_\mu>}{E_\pi} = 0.79$$

$$\frac{<E_n>}{E_\pi} = 0.21$$

Διάσπαση πιονίου, γωνία νετρίνου – μιονίου

$$E_1 + E_2 = \sqrt{m_1^2 + p_1^2} + \sqrt{m_2^2 + p_2^2}$$

$$\vec{p} = \vec{p}_1 + \vec{p}_2$$

$$(\vec{p}_2)^2 = (\vec{p} - \vec{p}_1)^2 \to$$

$$p_2^2 = p^2 + p_1^2 - 2p\ p_1 \cos\theta$$

$$p_1 = \frac{(M^2 + m_1^2 - m_2^2)\, p \cos\theta \pm 2E\sqrt{M^2 p^{*2} - m_1^2 p^2 \sin^2\theta_1}}{2(M^2 + p^2 \sin^2\theta_1)}$$

$$\frac{Mp^*}{m_1 p} > 1 \to \theta_1 > \frac{\pi}{2}$$

Πρόβλημα

$$\gamma + p \rightarrow p + \pi^0$$

$$s = (P_a + P_b)^2 = (P_c + P_d)^2$$

$$s = P_a^2 + P_b^2 + 2P_a P_b = P_a^2 + P_b^2 + (E_a E_b - p_a p_b)$$

$$= m_a^2 + m_b^2 + 2E_a E_b (1 - \beta_a \beta_b \cos\theta)$$

$$\beta = \frac{p}{E}$$

Αν p πρωτονίου =0

$$s = m_p^2 + 2E_\gamma p \geq (m_p + m_\pi)^2 = m_p^2 + 2m_p m_\pi + m_\pi^2$$

$$E_\gamma \geq m_\pi + \frac{m_\pi^2}{2m_p} \cong 145\ MeV$$

Παραγωγή p

$$p + p \rightarrow pp\bar{p}p$$

$$s = 2m_p^2 + E_p m_p \geq 16 m_p^2$$

$$E_p \geq 7 m_p$$

Μεταφορά ορμής

$$t = (P_a - P_c)^2 = (P_b - P_d)^2$$

$$e^- + p \to e^- + p$$

$$t = (P_e - P'_e)^2 = 2m_e^2 - 2E_e E'_e (1 - \beta_e \beta'_e \cos\theta)$$

$$Av\ \beta_e\ \beta'_e \to 1$$

$$m_e << E$$

$$\to$$

$$t = -2E_e E'_e (1 - \cos\theta) = -42E_e E'_e \sin^2 \theta/2$$

$$t = Q^2 = (P_e - P'_e)^2 < 0 \to Virtual\ \ photon$$

$$\frac{d\sigma}{d\Omega} \prec \frac{1}{t^2} \prec \frac{1}{\sin^2 \theta/2}$$

Παραγωγή Ζεύγους

$\gamma \rightarrow e^{+} + e^{-}$

$E_{\gamma} > 2m_{e}c^{2}$

$Κινητική \quad K = (\gamma - 1)m_{e}c^{2}$

$\Delta \quad 4O$

$\hbar\omega = 2\gamma m_{e}c^{2}$

$$p_{\zeta} = 2\gamma m_{e}\upsilon = \frac{\hbar\omega}{c} \cdot \frac{\upsilon}{c}$$

Επειδή υ<c δεν αρκούν 2 σωματίδια για την διατήρηση της ορμής.

Ενεργός Διατομή για παραγωγή ζεύγους.

$$1 << \frac{\hbar\omega}{m_e c^2} << \frac{1}{Z^{\frac{1}{3}}}$$

$$\sigma_{pair} = a r^2 Z^2 \left[\frac{28}{y} ln\left(\frac{2\hbar\omega}{m_e c^2} \right) - \frac{218}{27} \right] (m^2 / atom)$$

with screening

$$\sigma_{pair} = a r^2 Z^2 \left[\frac{28}{y} ln\left(\frac{2\hbar\omega}{m_e c^2} \right) - \frac{2}{27} \right] (m^2 / atom)$$