Exercício 3

$$P = (P_0, P_1, P_2, P_3) = (E, p_x c, p_y c, p_z c) = (E, \vec{p} c)$$

Vamos considerar $\hbar = c = 1$

Portanto $P = (E, p)$

O produto interno é dado por:

$$A \cdot B = A_0 B_0 - A_1 B_1 - A_2 B_2 - A_3 B_3$$

O momento quadrado é dado por:

$$P^2 = P \cdot P = E^2 - |p|^2 c^2 = m^2 c^4$$

Como $c = 1$ $\quad P^2 = E^2 - |p|^2 = m^2$

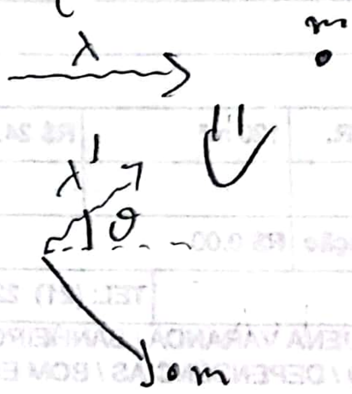
Utilizaremos a conservação de momento:

$$P_{antes} = P_{depois}$$

ANTES DA COLISÃO: $P_\gamma = \left(\frac{1}{\lambda}, \frac{1}{\lambda}, 0, 0\right)$ e $P_m = (m, 0, 0, 0)$

DEPOIS DA COLISÃO:

$$P'_\gamma = \left(\frac{1}{\lambda}, \frac{1}{\lambda'}\cos\theta, \frac{1}{\lambda}\sin\theta, 0\right)$$



PELA CONSERVAÇÃO DE ENERGIA E MOMENTO:

$$P_\gamma + P_m = P'_\gamma + P'_m$$

$$(P_\gamma + P_m - P'_\gamma)^2 = P'^2_m$$

$$P_\gamma^2 + P_m^2 + P'^2_\gamma + 2P_m(P_\gamma - P'_\gamma) - 2P_\gamma P'_\gamma = P'^2_m$$

$$0 + m^2 + 0 + 2m\left(\frac{1}{\lambda} - \frac{1}{\lambda'}\right) - 2\frac{1}{\lambda}\frac{1}{\lambda'}(1-\cos\theta) = m^2$$

MULTIPLICANDO POR: $\lambda\lambda'/2m$

$$\boxed{\lambda' = \lambda + \frac{1}{m}(1-\cos\theta)}$$

Exercício 2

$$s+t+u = \frac{1}{c^2}\left[(P_A+P_B)^2 + (P_A-P_C)^2 + (P_A-P_D)^2\right]$$

$$= \frac{1}{c^2}\left[P_A^2 + 2P_A P_B + P_B^2 + P_A^2 - 2P_A P_C + P_C^2 + P_A^2 - 2P_A \cdot P_D + P_D^2\right.$$

$$= \frac{1}{c^2}\left[m_A^2 c^2 + m_B^2 c^2 + m_C^2 c^2 + m_D^2 c^2\right.$$

$$2P_A\underbrace{(P_A+P_B-P_C-P_D)}_{0}$$

$$P_A+P_B = P_C+P_D$$

$$s+t+u = m_A^2 + m_B^2 + m_C^2 + m_D^2$$

7

$E_e = 27{,}6\ GeV$; $E_p = 920\ GeV$

$\sqrt{s} \simeq \sqrt{4E_1E_2}$

$\sqrt{s} \simeq \sqrt{4 \cdot 27{,}6 \cdot 920} \simeq 318{,}69\ GeV$

R: $\sqrt{s} \simeq 320\ GeV$

a) $E_{cm} = \frac{\sqrt{s}}{2} \cong 160\ GeV$

b) $s = (E'_e + m_p)^2 - (P_e)^2$

NO REFERENCIAL DO PRÓTON, O PRÓTON ESTÁ EM REPOUSO, ENTÃO $E_P = m_p$ E $\vec{p}_p = 0$

$s = m_p^2 + 2E_p m_p$

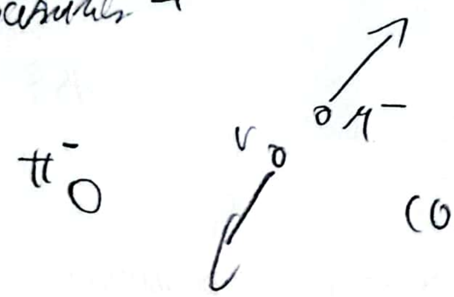
COMO $s = 320\ GeV^2$ $m_p \simeq 0{,}938\ GeV$

$s = m_p^2 + 2E'_e m_p$

$102{,}400\ GeV^2 = (0{,}938\ GeV)^2 + 2E'_e(0{,}938\ GeV)$

$$\boxed{E'_e = \frac{102399121\ GeV^2}{1{,}876\ GeV} \simeq 54{,}000\ GeV}$$

Exercício 4



$$E_\pi = E_\mu + E_\nu$$

CONSERVAÇÃO DE MOMENTO

$$p_\pi = p_\mu + p_\nu$$

Mas o π está em repouso $p_{\pi^-} = 0$

$$p_\mu = -p_\nu$$

$$E^2 \; p^2 c^2 = m^2 c^4$$

$$\begin{cases} E_\pi = m_\pi c^2 \qquad E_\mu = c\sqrt{m_\mu^2 c^2 + p_\mu^2} \\ E_\nu = |p_\nu| c = |p_\mu| c \end{cases}$$

$$m_\pi c^2 = c\sqrt{m_\mu^2 c^2 + p_\mu^2} + p_\mu c$$

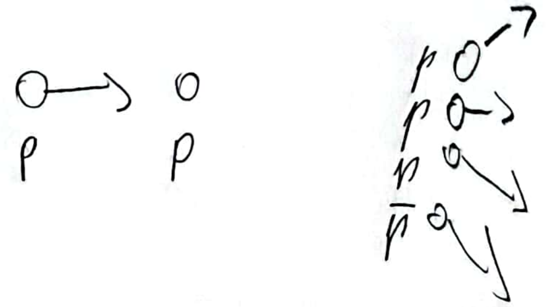
$$(m_\pi c - |p_\mu|)^2 = m_\mu^2 c^2 + p_\mu^2$$

Resolvendo por $|p_\mu| \Rightarrow \quad |p_\mu| = \dfrac{m_\pi^2 - m_\mu^2}{2 m_\pi}$

$$E_\mu = \frac{m_\pi^2 + m_\mu^2}{2 m_\pi} c^2 \qquad \begin{cases} p/E = v/c^2 \\ v = pc^2/E \end{cases}$$

R: $v_\mu = \dfrac{m_\pi^2 - m_\mu^2}{m_\pi^2 + m_\mu^2} c$

5. $p+p \to p+p+p+\bar{p}$



$$p^{\mu}_{TOT} = \left(\frac{E+mc^2}{c}, |P|, 0, 0\right)$$

ONDE p^{μ}_{TOT} É O QUADRIVETOR DO MOMENTO INI...

E $p^{\mu\prime}_{TOT}$ É O QUADRIVETOR MOMENTO FINAL

$$p^{\mu\prime}_{TOT} = (4mc, 0, 0, 0)$$

$$p^{\mu}_{TOT}\, p^{\mu}_{TOT} \Rightarrow \left(\frac{E}{c}+mc\right)^2 - p^2$$

$$p^{\mu\prime}_{TOT}\, p^{\mu\prime}_{TOT} \Rightarrow (4mc)^2$$

$$\left(\frac{E}{c}+mc\right)^2 - p^2 = (4mc)^2$$

COMO $E^2 - p^2c^2 = m^2c^4$

$$-p^2 = +m^2c^2 - \frac{E^2}{c^2}$$

$$2Em + (mc)^2 = 16(mc)^2$$

$$\boxed{R:\ E = \frac{15}{2} mc^2}$$