

Name:

Gruppe:

Aufgabenblatt 01 - Experimentalphysik V - WS 2010/2011

Abgabedatum: 21./22. Oktober 2010

1.1 Relativistische Kinematik Ein einsames Photon aus der kosmischen Hintergrundstrahlung mit der Energie $E_\gamma = 2.6 \cdot 10^{-10}$ MeV trifft im Weltraum auf ein Proton; der Zusammenstoß erfolgt frontal, d.h. unter einem Winkel von 180° . Wie groß muß die Energie des Protons mindestens sein, damit in der Reaktion $\gamma + p \rightarrow p + \pi^0$ ein neutrales Pion erzeugt werden kann?

Hinweis 1: Formulieren Sie zunächst die Schwellenbedingung im Schwerpunktsystem (center-of-mass system) von Photon und Proton. Machen Sie Gebrauch von der Lorentzinvarianz von Skalarprodukten und damit Quadraten von Viererimpulsen.

Hinweis 2: Sie können den Betrag des 3-Impulses des Protons durch seine Energie approximieren.

Lösung:

Es seien P_1, P_2 die 4-Impulse von Photon und Proton vor der Reaktion, E_1 und E_2 die entsprechenden Energien, sowie p_1 und p_2 deren 3-Impulse. Gestrichene Größen bezeichnen Impulse und Energien nach der Reaktion, P_3', E_3' sind 4-Impuls und Energie des erzeugten Pions; m_0 und m_p seien die Massen von π^0 und Proton, mit $m_0 + m_p = M$. Dann gilt allgemein

$$(P_1 + P_2)^2 = (P_2' + P_3')^2$$

oder

$$(E_1 + E_2)^2 - (p_1 + p_2)^2 = (E_2' + E_3')^2 - (p_2' + p_3')^2$$

Nach der Reaktion muß im Schwerpunktsystem mindestens die Ruhemasse von Pion und Proton, $m_0 + m_p = M$, zur Verfügung stehen.

Damit lautet die Schwellenbedingung

$$(E_1 + E_2)^2 - (p_1 + p_2)^2 = M^2$$

Ausmultiplizieren

$$E_1^2 + 2E_1E_2 + E_2^2 - p_1^2 - p_2^2 - 2p_1p_2 = M^2$$

$E^2 = m^2 + p^2$ verwenden

$$E_1^2 + 2E_1E_2 + m_p^2 + p_2^2 - E_1^2 - p_2^2 - 2p_1p_2 = M^2$$

Die Impulse p_1 und p_2 bilden einen Winkel von 180° und der Impulsbetrag des Protons darf durch seine Energie ersetzt werden, $|p_2| \approx E_2$. Dann folgt: