

1. Pokazać, że istnieje następujący związek między dostępną energią E_L w zderzeniu cząstki (E_L, \vec{p}) ze spoczywającą tarczą $(M, \vec{0})$ oraz energią w układzie CM $E_{CM} = E_1 + E_2$, gdy cząstki zderzają się czołowo, $(E_1, \vec{p}), (E_2, -\vec{p})$:

$$E_L = \frac{E_{CM}^2}{2M} - M.$$

Jaki z tego płynie wniosek? (który rodzaj zderzeń/akceleratorów daje większe możliwości)?

2. Elektrony o energii 10 GeV zderzają się z protonami o energii 100 GeV. Obliczyć energię środka masy, E_{CM} . Jaką energię musiałyby mieć elektrony uderzające w spoczywające protony, by osiągnąć to samo E_{CM} ? (masę elektronu można pominąć).
3. Biorąc pod uwagę prawa zachowania, pokazać, że w reakcji $2 \rightarrow n$ cząstek, przekrój czynny zależy od $[3(n+2) - 10]$ zmiennych kinematycznych.
4. Udowodnić, że

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

gdzie $s = (p_A + p_B)^2$, $t = (p_A - p_C)^2$, $u = (p_A - p_D)^2$, m_i - masy spoczynkowe cząstek.

5. Pokazać, że niezmienniki Mandelstama dla procesu $e^+e^- \rightarrow e^+e^-$ wynoszą

$$\begin{aligned} s &= 4(k^2 + m^2), \\ t &= -2k^2(1 - \cos \Theta), \\ u &= -2k^2(1 + \cos \Theta), \end{aligned}$$

gdzie Θ - kąt rozproszenia w CM, $k = |k_i| = |k_f|$ - pędy wchodzącego i rozproszonego elektronu. Pokazać, że proces jest fizycznie możliwy przy warunkach $s \geq 4m^2$, $t \leq 0$, $u \leq 0$.