

Zestaw 1 / Wstęp do oddziaływań hadronów

1. (a) Narysuj dwa wiodące diagramy Feynmana dla procesu $e^+e^- \rightarrow e^+e^-$ zachodzące poprzez wymianę pojedynczego fotonu i wyraż jego czteropęd q za pomocą czteropędów początkowych/końcowych cząstek. Oszacuj q^2 w układzie środka masy lub innym i określ czy q jest czaso- ($q^2 > 0$) czy przestrzenno- ($q^2 < 0$) podobne.
 (b) Pokaż, że $s + t + u = m_1^2 + m_2^2 + m_3^2 + m_4^2$, gdzie s, u, t są zmiennymi Mandelstama.
 (c) Pokaż, że \sqrt{s} jest całkowitą energią w układzie środka masy.
 (d) Na akceleratorze HERA w Hamburgu zderzane były czołowo wiązki elektronów o energii 27.5 GeV i protony o energii 820 GeV. Oblicz energię dostępną w układzie środka masy e^-p oraz konieczną energię wiązki elektronów zderzających się ze stacjonarną tarczą protonową aby uzyskać tą samą wartość \sqrt{s} .
 (e) Pokaż, że w układzie laboratoryjnym, w którym spoczywa cząstka X , do zajścia reakcji $\nu + X \rightarrow l + Y$ konieczna jest energia padających neutrin większa od tzw. energii progowej

$$E_\nu > \frac{(m_l + m_Y)^2 - m_X^2}{2m_X}$$

2. Dla cząstki o czteropędzie $p^\mu = (E, p_x, p_y, p_z)$, pokaż, że wielkości

$$p^2 = E^2 - p_x^2 - p_y^2 - p_z^2 \qquad \frac{dp_x dp_y dp_z}{E}$$

są Lorentzowsko niezmiennicze.

3. Pokaż, że w rozpadzie dwuciałowym $a \rightarrow 1 + 2$ pęd cząstek w stanie końcowym w układzie środka masy ma wartość

$$p^* = \frac{1}{2m_a} \sqrt{[m_a^2 - (m_1 + m_2)^2][m_a^2 - (m_1 - m_2)^2]}$$

4. Cząstka o masie m poruszająca się z prędkością $u = 4c/5$ zderza się z inną cząstką o masie m znajdującą się w spoczynku. W wyniku zderzenia powstaje foton o energii E poruszający się w kierunku prostopadłym do kierunku ruchu pierwotnej cząstki oraz cząstka o masie M poruszająca się w innym kierunku. Ile wynosi masa M wyprodukowanej cząstki? Jaka jest maksymalna możliwa energia fotonu E ?
5. Cząstka o masie M poruszająca się z prędkością $3c/5$ rozpada się na cząstkę o masie $M/4$ i dwa fotony. Jeden z fotonów porusza się w kierunku prostopadłym, natomiast drugi pod kątem θ w stosunku do kierunku ruchu pierwotnej cząstki. Cząstka o masie $M/4$ pozostaje nieruchoma. Ile wynosi kąt θ ?
6. Cząstka o masie M i energii E zderza się centralnie i elastycznie ze spoczywającą cząstką o masie m . Pokaż, że końcowa energia cząstki o masie M jest dana przez:

$$E' = \frac{2mM^2 + E(m^2 + M^2)}{m^2 + M^2 + 2Em}$$