Wstęp do fizyki cząstek

zestaw 7 i 8

12.04.2016. wtorek, godz. 10:00 (punktualnie!)

sala A-1-08

1. Będąca w spoczynku cząstka o masie m_1 rozpada się na dwie cząstki $1 \to 2 + 3$ o masach $m_{2,3}$.Wyrazić energie $E_{2,3}$ cząstek powstałych w wyniku rozpadu poprzez masy spoczynkowe. Wyrazić poprzez masy spoczynkowe moduły pędów $|\vec{p}_2|$ oraz $|\vec{p}_3|$. Przy rozwiązaniu tego zadania powinna pojawić się funkcja
$$\lambda(x^2, y^2, z^2) = x^4 + y^4 + z^4 - 2x^2y^2 - 2x^2z^2 - 2y^2z^2.$$
Znaleźć rozkład λ na iloczyn czynników zawierających zmienne x, y, z w pierwszej potędze.

2. Cząstka π^- będąca w spoczynku rozpada się
$$\pi^- \to \mu^- + \bar{\nu}_\mu.$$
Jaką odległość (średnio) pokona mion, zanim się rozpadnie.

3. Zachodzi reakcja
$$A + B \to 1 + 2 + 3 + \ldots + n. \tag{1}$$
Cząstka B spoczywa. Jaka jest minimalna energia cząstki A, aby reakcja (1) była możliwa. Podać wartość minimalnej energii dla następujacych reakcji:
$$\begin{aligned} p + p &\to p + p + \pi^0, \\ p + p &\to p + p + \pi^+ + \pi^-, \\ \pi^- + p &\to p + \bar{p} + n, \\ \pi^- + p &\to \Sigma^0 + K^0, \\ p + p &\to p + \Sigma^+ + K^0. \end{aligned}$$

4. Dla rozpraszania dwa-na-dwa
$$A + B \to C + D$$
definiujemy tzw. zmienne Mandelstamma
$$\begin{aligned} s &= (p_A + p_B)^2, \\ t &= (p_A - p_C)^2, \\ u &= (p_A - p_D)^2. \end{aligned}$$
Obliczyć $s + t + u$. Wyrazić energię cząstki A w układzie spoczynkowym cząstki B i w układzie centrum masy poprzez s i masy cząstek A oraz B.

5. Zgodnie ze wzorem podanym na wykładzie

$$\Gamma_{1\to 2+3} = \int \frac{|\mathcal{M}_{fi}|^2}{2E_{p_1}} \prod_{i=2}^{3} \left(\frac{d^3 p_i}{(2\pi)^3 2E_i} \right) (2\pi)^4 \delta^4 (p_1 - \sum_{i=2}^{3} p_i) \tag{2}$$

Założyć, że cząstka 1 jest przed rozpadem w spoczynku $p_1 = (m_1, 0, 0, 0)$. Element macierzowy $\mathcal{M}_{fi}$ jest funkcją skalarną czteropędów $p_{1,2,3}$. Z punktu widzenia całek występujacych w (2) p_1 jest stałą. Ze względu na występującą w (2) funkcję $\delta^{(4)}$ można wykonać całkę po $d^3\vec{p}_3$ i wtedy okaże się, że jedyną niezależną zmienną jest $\vec{p}_2$. Ale ponieważ $\mathcal{M}_{fi}$ jest skalarem, więc może tylko zależeć od kwadratu pędu $\vec{p}_2$, a więc nie zależy od kątów. Okazuje się więc, że we wzorze (2) można wykonać wszystkie całki. Podać końcowy wzór na Γ.

6. Podany na wykładzie wzór na rozpraszanie, w przypadku $1 + 2 \to 3 + 4$ ma postać

$$\sigma_{1+2\to n} = \frac{1}{4\sqrt{(p_1 \cdot p_2)^2 - m_1^2 m_2^2}} \int \prod_{i=3}^{4} \left(\frac{d^3 p_i}{(2\pi)^3 2E_i} \right) |\mathcal{M}_{fi}|^2 \times$$
$$\times (2\pi)^4 \delta^4 (p_1 + p_2 - p_3 - p_4).$$

Przyjąć kinematykę układu środka masy, w którym $\vec{p}_1 + \vec{p}_2 = 0$. Wykonując całkowanie z pomocą funkcji $\delta^{(4)}$ możemy się pozbyć całkowania $d^3\vec{p}_4$. Jednak w tym przypadku $\mathcal{M}_{fi}$ może zależeć od kątów zwiazanych z $\vec{p}_3$. Dlatego całkowania po $d\Omega$ nie można wykonać nie znając $\mathcal{M}_{fi}$. Stąd końcowy wzór jest w rzeczywistości wzorem na różniczkowy przekrój czynny $d\sigma/d\Omega$. Podać końcowy wzór na ten przekrój czynny.

UWAGA: W obu zadaniach 2 i 3 wygodnie jest w pewnym momencie zmienić zmienne w całce po module pędu cząstek w stanie końcowym p na zmienną

$$u = \sqrt{p^2 + m_2^2} + \sqrt{p^2 + m_3^2}$$

lub w przypadku zad.3

$$u = \sqrt{p^2 + m_3^2} + \sqrt{p^2 + m_4^2}.$$

http://th-www.if.uj.edu.pl/~michal/wfc_2016/