Abgabe: 29.11.2016

Übung 5 zur Vorlesung Physik V

Aufgabe 1: Detektoraufbau und Teilchenidentifikation

In einem bestimmten Experiment erwartet man den direkten Nachweis von Photonen, $e^{\pm}$, $\mu^{\pm}$, $\pi^{\pm}$, $K^{\pm}$ und (Anti-)Protonen mit Impulsen von typisch etwa 10 GeV.

a) Legen Sie eine Tabelle an, in der sie darstellen, wie Sie die verschiedenen Teilchensorten voneinander unterscheiden können. Beschreiben Sie, welche Detektoren man dafür verwenden kann und erläutern Sie in Stichpunkten deren Vor- und Nachteile. **3 (A)**

b) Nennen Sie Methoden, um die Impulse der Teilchen zu messen, sowie deren Vor- und Nachteile. **3 (A)**

Aufgabe 2: Kinematik von Streuprozessen

Wir betrachten einen Streuprozess zwischen zwei beliebigen Teilchen a und b im Anfangszustand und den beiden Teilchen p und q im Endzustand.

$$a + b \rightarrow p + q$$

Die Vierer-Impulse dieser Teilchen werden im Folgenden genauso bezeichnet wie die Teilchen, alos $a = p_a,\ b = p_b, \dots$.

a) Wie viele unabhängige Lorentz-invarianten Größen kann man höchstens aus den 4-er Vektoren a, b, p und q bilden, wenn die Massen der Teilchen bekannt sind? **2 (A)**

b) Zeigen Sie für die folgenden drei kinematischen Variablen

$$s = (a + b)^2$$

$$t = (a - p)^2$$

$$u = (a - q)^2$$

dass die Summe $s + t + u$ nur von den Massen der vier Teilchen abhängt. **3 (B)**

c) Wir betrachten den ultra-relativistischen Fall, in dem wir die Masse der Teilchen vernachlässigen können. Wie hängen s, t und u im Schwerpunktssystem vom Streuwinkel der Reaktion zwischen $\vec{a}$ und $\vec{p}$ ab? **2 (B)**

Aufgabe 3: Messgrößen an Beschleunigerexperimenten

Der Vierer-Impuls lautet in kartesischen Koordinaten oder Kugelkoordinaten:

$$p^\mu = \begin{pmatrix} E \\ p_x \\ p_y \\ p_z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \sqrt{\vec{p}^2 + m^2} \\ |\vec{p}| \sin\theta \cos\phi \\ |\vec{p}| \sin\theta \sin\phi \\ |\vec{p}| \cos\theta \end{pmatrix}$$

An Beschleunigerexperimenten wird allerdings meistens die so genannte Rapidität y und der transversalen Masse m_T benutzt:

$$p_T = \sqrt{p_x^2 + p_y^2}, \quad m_T = \sqrt{p_T^2 + m^2}, \quad y = \frac{1}{2} \ln \frac{E + p_z}{E - p_z}$$

Damit gilt

$$p^\mu = \begin{pmatrix} m_T \cosh(y) \\ |p_T| \cos\phi \\ |p_T| \sin\phi \\ m_T \sinh(y) \end{pmatrix}$$

Diese Grössen haben besonders einfache Eigenschaften bei Lorentz-Boosts entlang der z-Achse (Strahlachse):

a) Ein Teilchen wird mit $p_T = 60\,\text{GeV}$; $\eta = 1{,}3$; $\phi = 0{,}785$ und $m = 160\,\text{GeV}$ gemessen. Bestimmen Sie p_x, p_y, p_z und die Energie E. **1 (A)**

b) Wie transformiert sich die Rapidität y für Boosts entlang der z-Achse? Zeigen Sie insbesondere, dass $y' = y + const.$ und berechnen Sie die Konstante. Wie transformieren sich Rapiditätsdifferenzen? **2 (A)**

c) Zeigen Sie, dass man für masselose Teilchen die Rapdität y vereinfachen kann zur so genannten Pseudorapidität η:

$$y \approx -\ln(\tan\theta/2) = \eta$$

Diese Observable hängt nur von einer geometrischen Größe ab und besitzt keine Energie- oder Massenabhängigkeit. Sie wird häufig für die Beschreibung der Detektorgeometrie verwendet. **2 (B)**

d) Drücken Sie für ultrarelativistische Teilchen den Vierer-Impuls als Funktion der Masse m, der Pseudorapidität η, dem Winkel ϕ und dem transversalen Impuls p_T aus. **2 (B)**