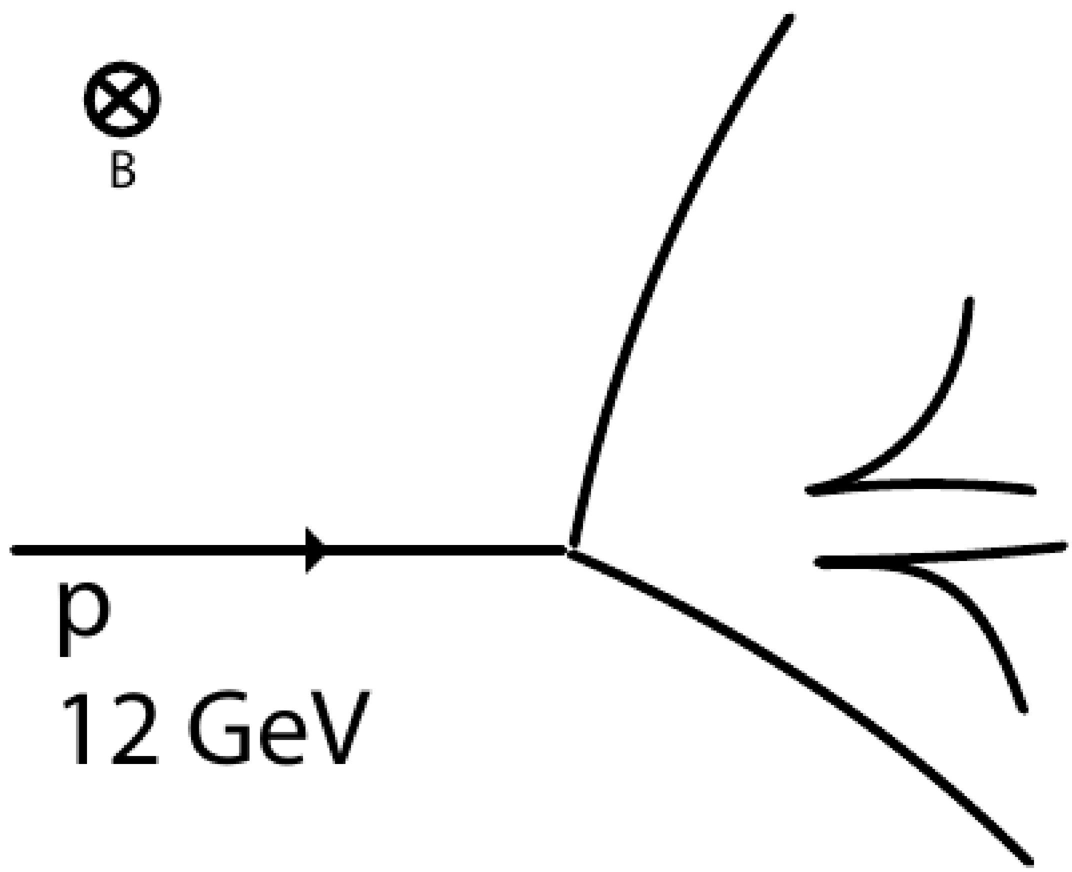
Loesung_Teilchenproduktion

December 11, 2024

1 Musterlösung zum 2. Teil der Probeklausur, Aufgabe 2

1.1 a)

Eine Skizze der beobachteten Spuren ist in der folgenden Abbildung zu sehen. Dabei ist zu beachten, dass die Krümmung der Spur im Magnetfeld mit kleinerem Impuls immer stärker wird.



1.2 b)

Alle neutralen Mesonen, die aus u- und d-Quarks bestehen (und genauso das ϕ-Meson ($s\bar{s}$)) sind viel zu kurzlebig, um die beobachteten Flugstrecken von Zentimetern zurückzulegen, und bei der zur Verfügung stehenden Strahlenergie sind auch die erreichbaren Zeitdilatationsfaktoren zu klein. Bei dieser Strahlenergie können auch keine schweren Quarks (c, b) erzeugt werden. Deshalb ist der einzige mesonische Zerfallskandidat das K_S^0. Die einzigen neutralen Baryonen, die hier in

Frage kommen, sind das Λ^0 und das $\bar{\Lambda}^0$. Die wesentlichen Zerfallsmoden dieser Teilchen lauten $K_S^0 \to \pi^+\pi^-$, $\Lambda^0 \to p\pi^-$ und $\bar{\Lambda}^0 \to \bar{p}\pi^+$.

1.3 c)

Die invariante Masse M_X eines zerfallenden Teilchens ergibt sich aus den Viererimpulsen der Zerfallsprodukte:

$$\begin{aligned}
M_X^2 &= \begin{pmatrix} E_+ + E_- \\ \vec{p}_+ + \vec{p}_- \end{pmatrix}^2 \\
&= E_+^2 + E_-^2 + 2E_+E_- - \vec{p}_+^2 - \vec{p}_-^2 - 2|\vec{p}_+||\vec{p}_-| \cos\angle(\vec{p}_+, \vec{p}_-) \\
&= m_+^2 + m_-^2 + 2\sqrt{\vec{p}_+^2 + m_+^2}\sqrt{\vec{p}_-^2 + m_-^2} - 2|\vec{p}_+||\vec{p}_-| \cos\angle(\vec{p}_+, \vec{p}_-)
\end{aligned}$$

Für diesen Ausdruck definieren wir eine python-Funktion:

```python
import numpy as np

def Minv(m1, m2, p1, p2, angle):
    return np.sqrt(m1**2+m2**2+2*np.sqrt((p1**2+m1**2)*(p2**2+m2**2)) -␣
 ↪2*p1*p2*np.cos(angle))
```

Die Massen der beteiligten Teilchen lauten:

$$\begin{aligned}
m_{\pi^\pm} &= 0.1396\,\mathrm{GeV} \\
m_{K_S^0} &= 0.4976\,\mathrm{GeV} \\
m_p &= 0.9383\,\mathrm{GeV} \\
m_\Lambda &= 1.116\,\mathrm{GeV}
\end{aligned}$$

```python
m_pi = 0.1396
m_K = 0.4976
m_p = 0.9383
m_Lambda = 1.116
```

Die folgenden Impulsdaten wurden gemessen:

```python
p1p = 0.68
p1m = 0.27
ang1 = np.deg2rad(11)
p2p = 0.25
p2m = 2.16
ang2 = np.deg2rad(16)
```

Damit errechnen wir die möglichen invarianten Massen für den ersten Zerfall:

```python
print(Minv(m_pi, m_pi, p1p, p1m, ang1))
print(Minv(m_p, m_pi, p1p, p1m, ang1))
print(Minv(m_pi, m_p, p1p, p1m, ang1))
```

```
0.31705154600639895
1.1152950512223956
1.3765913960255205
```

An der zweiten Kombination sehen wir, dass es sich um den Zerfall $\Lambda^0 \to p\pi^-$ handeln muss.

Ebenso bilden wir alle möglichen Kombinationen für den zweiten Zerfall:

```python
print(Minv(m_pi, m_pi, p2p, p2m, ang2))
print(Minv(m_p, m_pi, p2p, p2m, ang2))
print(Minv(m_pi, m_p, p2p, p2m, ang2))
```

```
0.4902701594072758
2.0162715132421316
1.100168889191202
```

Hier haben wir es also mit einem Zerfall $K_S^0 \to \pi^+\pi^-$ zu tun. Zwar wäre auch ein $\bar{\Lambda}^0$-Zerfall kinematisch möglich. Dann müssten aber insgesamt gleich vier Antiquarks erzeugt worden sein, was sehr unwahrscheinlich ist.

1.4 d)

Es stellt sich nur noch die Frage nach der Natur der direkt in der Wechselwirkung erzeugten beiden geladenen Teilchen. Wegen der Erhaltung von Baryonzahl und Ladung ergibt sich nach dem Gesagten, dass höchstwahrscheinlich die Reaktion

$$p + p \to K^0 + \Lambda^0 + p + \pi^+$$

beobachtet wurde.