

Besprechung: 24.10.2017 bis 30.10.2017

Studierende im Studiengang Lehramt Gymnasium lösen bitte die Aufgaben 1 a und b, 2 sowie 3 a.  
Studierende aller anderen Studiengänge lösen bitte alle Teilaufgaben.

## 1. Umrechnungen zwischen Einheiten

Berechnen Sie folgende Ausdrücke explizit im SI-System:

- $\hbar c$  (ebenso in der Einheit MeV fm).  
Interpretieren Sie diese Relation mit Hilfe der Heisenbergschen Unschärferelation.
- Lassen Sie Protonen im LHC-Beschleuniger, die mit einer Energie von 6.5 TeV umlaufen, zu einem Wettlauf mit einem Lichtstrahl antreten. Um welchen Geschwindigkeitsbetrag (in km/h) sind die LHC-Protonen langsamer im Vergleich zu den Photonen des Lichtstrahls?  
Hinweis: Nutzen Sie eine Taylor-Entwicklung, um den numerischen Rechenfehler zu reduzieren.
- Freiwillig für Lehramtsstudierende:**  
die de-Broglie-Wellenlänge  $\lambda = h/p$  eines Elektrons, das aus der Ruhe heraus durch eine Potentialdifferenz von 2 MV beschleunigt wird.

## 2. Kinematik

Am HERA-Speicherring kollidierten Elektronen einer Energie von 27.5 GeV frontal mit im Gegensinn umlaufenden Protonen einer Energie von 920 GeV.

- Berechnen Sie die Gesamtenergie im Schwerpunktsystem von Elektron und Proton!
- Welche Energie müssen Elektronen, die auf ein ruhendes Protontarget treffen, haben, damit im Schwerpunktsystem die gleiche Gesamtenergie wie in Teilaufgabe (a) zur Verfügung steht?

## 3. Wirkungsquerschnitt und Luminosität

Betrachten Sie die Produktion von  $\mu^+\mu^-$ -Paaren am Beispiel des Elektron-Positron Beschleunigers LEP (Betrieb: 1989-2000, maximale Strahlenergie: 109.5 GeV)!

Der differentielle Wirkungsquerschnitt für den Prozess  $e^+e^- \rightarrow \mu^+\mu^-$  über die Bildung eines virtuellen Photons ist

$$\frac{d\sigma}{d\Omega} = \frac{\alpha^2 \cdot \hbar^2}{4 \cdot s \cdot c^2} (1 + \cos^2 \theta)$$

in der Näherung  $m_e = 0$ . Der Nachweis der  $\mu^+\mu^-$ -Paare erfolge auf einer Kugelschale mit einem Radius  $R = 1$  m (die Nachweiswahrscheinlichkeit für  $\mu^+$  und  $\mu^-$  sei 100 % auf der gesamten Kugelschale).

- Wie groß muss die Luminosität des Speicherrings sein, damit bei einer Strahlenergie von 40 GeV im zeitlichen Durchschnitt mindestens ein Myon pro  $\text{cm}^2$  pro Stunde auf der gesamten Detektorfläche registriert wird?  
Hinweis: Es genügt, hierfür das Minimum des differentiellen Wirkungsquerschnittes zu verwenden.
- Freiwillig für Lehramtsstudierende:**  
Wie hoch sind die Strahlströme bei der für LEP typischen Luminosität von  $\mathcal{L} = 20 \cdot 10^{30} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$  (Annahme:  $I_{e^+} = I_{e^-}$ , jeweils zwei Teilchenbündel, Strahlausdehnung:  $\sigma_x = 13 \mu\text{m}$ ,  $\sigma_y = 430 \mu\text{m}$ , Ringumfang: 26.6 km)? Wieviele Elektronen bzw. Positronen sind in jeweils einem Teilchenbündel enthalten?