
Übungen zur Vorlesung Physik IV

– Kern- und Teilchenphysik –

Frank Ellinghaus

Sommersemester 2019

Universität Wuppertal

BLATT II

ABGABE BIS MITTWOCH, DEN 17. APRIL 2019 UM 18:00
(IN DAS POSTFACH VON F. ELLINGHAUS IN GEBÄUDE D, EBENE 9)

1. Cherenkov-Licht (6 Punkte)

Bewegt sich ein geladenes Teilchen durch ein Medium (Brechungsindex n) mit einer Geschwindigkeit oberhalb der Lichtgeschwindigkeit in diesem Medium, so führt dies zur Anregung von elektromagnetischen Wellen (Cherenkov-Strahlung), deren Ausbreitungsrichtung einen Winkel θ mit der Bewegungsrichtung des Teilchens bildet.

- (a) Ab welchem Mindestimpuls können geladene Pionen (Masse = $139,6 \text{ MeV}/c^2$) Cherenkov-Strahlung emittieren, wenn sie durch folgende Medien fliegen? (Für gasförmigen Medien angegebene Werte beziehen sich auf Normalbedingungen.)

Medium	N_2	C_4F_{10}	Aerogel	Quarz
Brechungsindex n	$1 + 1,20510^{-6}$	$1 + 1,5310^{-3}$	1,05	1,458

- (b) Zur Unterscheidung zwischen verschiedenen Teilchensorten werden sogenannte Schwellen-Cherenkov-Zähler eingesetzt. Dabei wird ein gasförmiges Medium genutzt, dessen Brechungsindex über den Gasdruck so eingestellt wird, dass bei gegebenem Impuls die eine Teilchensorte Licht erzeugt und die andere nicht. Bestimmen Sie den optimalen Brechungsindex für die Unterscheidung zwischen Pionen und Kaonen (Masse = $493,7 \text{ MeV}/c^2$) bei einem Teilchenimpuls von $10 \text{ GeV}/c$. Welchen Brechungsindex sollte man einstellen, um Protonen von Kaonen zu unterscheiden?

2. Bethe-Bloch-Formel (5 Punkte)

Unter Vernachlässigung des Dichteeffekts bei sehr hohen Impulsen kann man die Bethe-Bloch Formel für den Energieverlust durch Ionisation in folgender Form angeben:

$$-\frac{dE}{dx} = 0.3071 \frac{\text{MeV}}{\text{g cm}^{-2}} \cdot z^2 \frac{Z}{A} \frac{1}{\beta^2} \left[\ln \left(\frac{2m_e c^2 \gamma^2 \beta^2}{I} \right) - \beta^2 \right]$$

- (a) Wie groß ist der Energieverlust (in $\text{MeV}/\text{g cm}^{-2}$) von Protonen mit Impulsen von $0.1 \text{ GeV}/c$ bzw. $1 \text{ GeV}/c$ beim Durchgang durch Blei?

- (b) Ein Proton beschreibt auf seiner Bahn durch ein Magnetfeld von 1 Tesla einen Kreis mit Radius $r = 2.5$ m. Es durchquert 5 cm Blei. Wie groß ist der Krümmungsradius danach?

3. Vierervektoren: Absorption (4 Punkte)

Ein ruhendes Teilchen der Masse m absorbiert ein Photon der Energie E_γ . Was ist die Masse m' des Teilchens nach der Absorption? Warum ist der Massenzuwachs nicht $\Delta m = E_\gamma/c^2$?

Hinweis: Benutzen Sie Vierervektoren.

4. Vierervektoren: Teilchenerzeugung (5 Punkte)

Im Jahr 1954 wurde am LBNL (Lawrence Berkeley National Laboratory) in Berkeley, USA, ein Protonenbeschleuniger in Betrieb genommen. Protonen (p) sollten auf genügend Energie beschleunigt werden um in der Streuung an einem ruhenden Proton (p) zum ersten Mal ein Anti-Proton (\bar{p}) nachweisen zu können. Dieses Anti-Proton kann nur zusammen mit einem weiteren Proton kreiert werden (z.B. wegen Ladungserhaltung). Die Reaktion lautet also:

$$p + p \rightarrow p + p + \bar{p} + p$$

Die Entdeckung des Anti-Protons konnte im folgenden Jahr bekannt gegeben werden, der Nobelpreis folgte ein paar Jahre später.

- (a) Welche Energie muss der Protonenstrahl mindestens gehabt haben? Die Masse m des Protons ist gleich der Masse des Anti-Protons.
- (b) An einem Proton-Proton Collider wie dem LHC (Large Hadron Collider) werden Protonen gleicher Energie miteinander zur Kollision gebracht. Welche Energie muss jedes der beiden Protonen nun mindestens haben um ein Proton-Antiproton Paar zu erzeugen?

Hinweis: Benutzen Sie Vierervektoren.