
Übungen zur Vorlesung Physik IV – Kern- und Teilchenphysik –

Prof. C. Zeitnitz, Dr. F. Ellinghaus, Dr. A. Pollmann

Sommersemester 2016

Universität Wuppertal

BLATT I

ABGABE BIS DONNERSTAG, DEN 28. APRIL 2016, 12:00

1. Relativistische Kinematik

(5 Punkte)

- (a) Muonen der kosmischen Höhenstrahlung werden in der Atmosphäre erzeugt, wobei zunächst Protonen aus den Tiefen des Weltraums auf die Atmosphäre treffen und dort vor allem Pionen erzeugen, welche dann unter anderem in Muonen zerfallen. Berechnen Sie die Flugstrecke der Muonen für den nicht-relativistischen und den relativistischen Fall unter der Annahme, dass die Muonen eine Geschwindigkeit von 99,8% der Lichtgeschwindigkeit haben. Erreichen die Muonen den Erdboden ?
- (b) In einem monoenergetischen Muonstrahl zerfällt die Hälfte der Muonen in den ersten 600m. Wieviel Prozent der Lichtgeschwindigkeit haben die Muonen ?

Hinweise: Muonen haben eine Lebensdauer $\tau = 2.2 \cdot 10^{-6} s$. Die Beziehung zwischen Lebensdauer τ und Halbwertszeit $T_{1/2}$ ist $T_{1/2} = \tau \ln 2$.

2. Zyklotron

(9 Punkte)

In der Vorlesung wurde das Zyklotron besprochen sowie ein Bild dazu gezeigt.

- (a) Wir betrachten zunächst Ionen mit nicht-relativistischer Geschwindigkeit, die sich mit konstanter Energie (also bei ausgeschalteter Hochfrequenz-Quelle) in der Bildebene im Magnetfeld bewegen. Zeigen Sie, dass sich die Ionen auf einer Kreisbahn mit Radius $r = p/qB$ bewegen, mit q der Ladung des Ions. Wie ist die Beziehung für Ionen mit relativistischer Geschwindigkeit ?
- (b) Zeigen Sie für den nicht-relativistischen Fall, dass die Zeit T , die die Ionen für eine halbe Umdrehung auf der Kreisbahn brauchen, nicht vom Bahnradius und damit auch nicht von der Energie der Ionen abhängt.

- (c) Den in b) gegebenen Sachverhalt kann man nutzen, um den Ionen Energie zuzuführen. Dazu muss man dafür sorgen, dass die Spannung zwischen den beiden "Dosenhälften" die Ionen bei jedem Queren des Zwischenraumes beschleunigt, also bei geeigneter Wahl der Hochfrequenz. Berechnen Sie die allgemeine Formel für die einzustellende Frequenz. Wie groß ist die Frequenz wenn ein Proton in einem 1.5 T Magnetfeld beschleunigt werden soll?
- (d) Zeigen Sie, dass bei klassischer Behandlung die Endenergie der Ionen nicht von der Spannung zwischen den Dosenhälften, sondern nur von deren Radius abhängt. Berechnen Sie die Endenergie für das Beispiel aus c) und einen "Dosen Durchmesser" von 4.7 m (was etwa dem Durchmesser des 1946 in Berkeley fertiggestellten 184-inch Zyklotrons entspricht).
- (e) Bei relativistischer Beschreibung der Ionen ist die Aussage aus Teil b) nicht mehr korrekt. Das führt (bei gegebenem Magnetfeld und gegebener Hochfrequenz) zu einer Begrenzung der erreichbaren Endenergie der Ionen. Geben Sie eine qualitative Begründung für diese Aussage.

3. 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 ?

Die Übungsblätter und weitere Informationen sind verfügbar unter
<http://www.atlas.uni-wuppertal.de/~elli/KerneTeilchenSoSe16/>

ellinghaus@uni-wuppertal.de