

---

# Übungen zur Vorlesung Physik IV

## – Kern- und Teilchenphysik –

Frank Ellinghaus

Sommersemester 2019

Universität Wuppertal

---

### BLATT I

ABGABE BIS DONNERSTAG, DEN 11. APRIL 2019 UM 17:00  
(IN DAS POSTFACH VON F. ELLINGHAUS IN GEBÄUDE D, EBENE 9)

#### 1. Relativistische Kinematik

(5 Punkte)

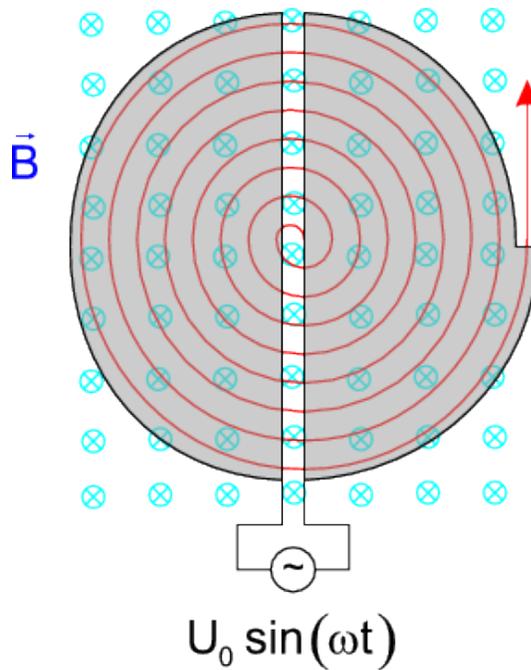
- (a) Muonen der kosmischen Höhenstrahlung werden in der Atmosphäre erzeugt, wobei zunächst Protonen aus den Tiefen des Weltraums auf die Atmosphäre treffen und dort vor allem Pionen erzeugen, welche dann unter anderem in Muonen zerfallen. Berechnen Sie die Flugstrecke der Muonen für den nicht-relativistischen 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  $\tau$  und Halbwertszeit  $T_{1/2}$  ist  $T_{1/2} = \tau \ln 2$ .*

#### 2. Zyklotron

(10 Punkte)

- (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  $T_{1/2}$ , 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 “Dosen­durchmesser” 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. Strahlstrom im Large Hadron Collider (LHC) (5 Punkte)

Im Teilchenbeschleuniger LHC am europäischen Teilchenlabor CERN in der Nähe von Genf (Schweiz), treffen zwei Protonenstrahlen aufeinander. Jeder Strahl besteht aus 2808 Teilchenpaketen, die aus jeweils  $10^{11}$  Protonen bestehen. Der Beschleuniger wird zur Zeit darauf vorbereitet, Protonen auf eine bisher nie erreichte kinetische Energie von 7 TeV zu beschleunigen.

- (a) Bei welcher Geschwindigkeit (in km/h) hat ein ICE ( $m = 300$  Tonnen) die gleiche kinetische Energie wie einer der beiden Protonenstrahlen? Wieviel Liter Bier (40 kcal/100ml) muss ein Mensch trinken, um die gleiche Energie zu absorbieren, wie ein LHC-Strahl?
- (b) Berechnen Sie den Strahlstrom im LHC.