

# Übungen Physik VI (Kerne und Teilchen)

Sommersemester 2008

## Übungsblatt Nr. 1

Bearbeitung bis 24.04.2008

Webseite mit Anmeldeformular:

<http://www-ekp.physik.uni-karlsruhe.de/~tkuhr/PhysikVI/index.html>

### Aufgabe 1: Relativistische Kinematik, Beschleuniger

(3 Punkte)

- a) Ein Linearbeschleuniger für Protonen wird mit einer konstanten Frequenz von  $\nu = 200$  MHz betrieben. Welche Länge muss die Driftröhre an dem Ort haben, an dem die Protonen eine kinetische Energie von 1 MeV, 100 MeV, 10 GeV haben?
- b) Bei einem Synchrotron müssen die Generatorfrequenz und das Magnetfeld an die Energie der relativistisch beschleunigten Teilchen angepasst werden, um sie auf einer Kreisbahn mit konstantem Radius  $R$  zu halten. Wie hängen die Frequenz und das Magnetfeld von der Energie der Teilchen (Masse  $m$ , Ladung  $e$ ) ab?
- c) Berechnen Sie die Schwerpunktsenergie von Teilchenreaktionen an folgenden Beschleunigern:

Beschleuniger	Teilchen	Energien
LEP 2	$e^+e^-$	$E_{e^+} = E_{e^-} = 103$ GeV
PEP-II	$e^+e^-$	$E_{e^+} = 3.1$ GeV, $E_{e^-} = 9$ GeV
HERA	$ep$ $ep$	$E_e = 27.5$ GeV, $E_p = 920$ GeV $E_e = 27.5$ GeV, $p$ in Ruhe
Tevatron	$p\bar{p}$	$E_p = E_{\bar{p}} = 980$ GeV
LHC	$pp$ $^{208}_{82}\text{Pb } ^{208}_{82}\text{Pb}$ (Kerne)	$E_p = 7$ TeV $E = 2.76$ TeV pro Nukleon

Welche Näherung kann man bei diesen Energien machen?

Wie hoch müsste die Energie eines Bleikerns sein, wenn in einer Reaktion mit einem stationären Bleikern dieselbe Schwerpunktsenergie erreicht werden soll wie bei PbPb-Kollisionen bei LHC?

### Aufgabe 2: Synchrotronstrahlung

(2 Punkte)

Die Leistung, die ein relativistisch beschleunigtes Teilchen der Masse  $m$ , Ladung  $q$  und Energie  $E$  abstrahlt, ist:

$$\frac{dE}{dt} = \frac{2}{3} \frac{q^2}{c} \gamma^6 \left[ \left( \frac{d\vec{\beta}}{dt} \right)^2 - \left( \vec{\beta} \times \frac{d\vec{\beta}}{dt} \right)^2 \right].$$

Zeigen Sie, dass ein auf einer Kreisbahn mit Radius  $R$  umlaufendes Teilchen mit Ladung  $q = e$  pro Umlauf die Energie

$$\Delta E [\text{MeV}] = 6.02 \cdot 10^{-15} \frac{\beta^3}{R[\text{m}]} \cdot \left( \frac{E}{mc^2} \right)^4$$

verliert. Hinweis:  $e^2/\hbar c = \alpha = 1/137$ ,  $\hbar c = 197 \text{ MeV fm}$

Berechnen Sie  $\Delta E$  für ein Proton mit  $E = 1 \text{ TeV}$  bei einem Radius von  $1 \text{ km}$ . Wie groß müsste der Radius eines Kreisbeschleunigers für Elektronen derselben Energie sein, damit pro Umlauf dieselbe Energie abgestrahlt wird?

### Aufgabe 3: Čerenkov-Detektoren

(2 Punkte)

- a) Ein RICH-Detektor hat einen  $1 \text{ cm}$  dicken Radiator, der mit flüssigem Freon (Brechungsindex  $n = 1.22$ ) gefüllt ist. Der Abstand  $L$  zwischen dem Radiator und dem Photodetektor ist  $9.5 \text{ cm}$ .

Wie groß sind die Schwellenimpulse, oberhalb derer Pionen bzw. Kaonen Čerenkovlicht erzeugen? Berechnen Sie die Größe der Radianze in der Mitte des Radiators als Funktion des Impulses und stellen Sie diese Funktion im Bereich vom Pion-Schwellenimpuls bis  $2 \text{ GeV}$  graphisch dar.

- b) Ein mit  $\text{CO}_2$  gefüllter Čerenkovzähler soll zum Nachweis von  $\pi$ -Mesonen eingesetzt werden. Man beachte, dass die Suszeptibilität  $\chi = \epsilon - 1$  proportional zum Druck ist. Bei Normaldruck ist der Brechungsindex  $n = 1.00041$ .

Wie hoch muss der Druck sein, um Pionen oberhalb einer Energie von  $5 \text{ GeV}$  nachzuweisen? Ab welcher Energie erzeugen bei diesem Druck auch Kaonen Čerenkovlicht im Detektor?

### Aufgabe 4: Detektorkonzept

(1 Punkt)

Beschreiben Sie den prinzipiellen Aufbau eines Detektors zur Analyse von hochenergetischen Teilchenreaktionen (z.B. an einem der in Aufgabe 1 genannten Beschleuniger).

Welche Komponenten werden aus welchem Grund eingesetzt? Wie sind die Komponenten angeordnet? Welchen Einfluss hat das Verhältnis der Energien der kollidierenden Teilchen auf die Detektoranforderungen?

Bei dieser Aufgabe können Sie sich natürlich von existierenden Detektoren inspirieren lassen.