

Übungen Physik VI (Kerne und Teilchen)

Sommersemester 2009

Übungsblatt Nr. 1

Bearbeitung bis 30.04.2009

Webseite mit Anmeldeformular:

http://www-ekp.physik.uni-karlsruhe.de/~kreps/teaching/Physik6_SS2009/

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:

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

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 ΔE für ein Proton mit $E = 1 \text{ TeV}$ bei einem Radius von 1 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 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 cm .

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

- b) Ein mit CO_2 gefüllter Čerenkovzähler soll zum Nachweis von π -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 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.

Aufgabe 5: Relativistische Kinematik

(1 Bonus Punkt)

Berechnen Sie die Geschwindigkeit von Protonen am Tevatron und am LHC, dem jetzigen und dem künftigen Beschleuniger mit der höchsten erreichbaren Kollisionsenergie. Drücken Sie die Ergebnisse als Differenz zur Lichtgeschwindigkeit aus und verwenden sie menschenlesbare Einheiten.