

Übungen Physik VI (Kerne und Teilchen)

Sommersemester 2010

Übungsblatt Nr. 08

Bearbeitung bis 24.06.2010 Abgabedatum

Aufgabe 1: Teilchendetektoren

Wenn ein geladenes Teilchen in einem Szintillator Energie verliert, geschieht dies meist durch Anregung der Atome bzw. Moleküle des Szintillators. Ein Großteil der angeregten Elektronen gibt beim Übergang ins Grundniveau diese Energie über strahlungslose Rotation und Vibrationsübergänge an die Umgebung ab. Nur wenige Prozent emittieren ein Photon im sichtbaren oder nahen Ultraviolett-Bereich. In Plastikszintillatoren wird im Mittel ein Photon pro 100 eV Energieverlust emittiert. Für eine bestimmte Szintillatorgeometrie erreichen nur 6% dieser Photonen die Photokathode des Photomultipliers, mit dem sie nachgewiesen werden, der Rest wird im Szintillator oder den Wänden absorbiert. Die Photokathode hat eine Quantenausbeute von 30%, d.h. nur 30% der auftreffenden Photonen erzeugen ein Photoelektron, das im Photomultiplier verstärkt wird. In einem Argon-gefüllten Gaszählrohr werden 25 eV pro Ionisierung gebraucht. In einem Halbleiterdetektor wird im Mittel eine Energie von 3,6 eV (Si) benötigt, um ein Elektron-Loch-Paar zu erzeugen. Für die beiden letzten Detektoren nehmen wir an, dass 100 % der Ladungsträger nachgewiesen werden.

- a) Wie groß ist der statistische Anteil der relativen Energieauflösung σ_E/E eines Detektors für einen Energieverluste des Teilchens von 100 keV, 5 MeV und 20 MeV? Berechnen Sie die Anzahl der nachgewiesenen Photonen, Ionisationen und Elektron-Loch-Paare. Gehen Sie bei der Berechnung von einer Poissonverteilung aus.
- b) Wie dick müssen diese drei Detektorarten sein, damit sie diese Energieverluste messen, wenn Teilchen im minimalionisierenden Energiebereich ($\gamma \approx 3-4$) den Detektor durchqueren? Verwenden Sie die Bethe-Bloch-Gleichung mit $\rho_{\text{szint}} \approx 1.2 \text{ g/cm}^3$, $\rho_{\text{Si}} = 2.33 \text{ g/cm}^3$, $\rho_{\text{Ar}} = 1-3 \text{ mg/cm}^3$ (siehe auch Aufgabe 1 vom 7. Übungsblatt).

Aufgabe 2: Čerenkovdetektor

- a) Ein RICH-Detektor (Ring Imaging Cherenkov detector) hat einen 1 cm dicken Radiator, der mit flüssigem Freon (Brechungsindex $n = 1.22$) gefüllt ist. Der Abstand L zwischen dem Radiator und dem Photondetektor ist 9.5 cm. Wie

groß sind die Schwellenimpulse oberhalb derer Pionen bzw. Kaonen Čerenkovlicht erzeugen? Berechnen Sie die Größe der Ringradien auf dem Photodetektor für Licht aus 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 3: Beschleuniger

- 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 (CERN)	e^+e^-	$E_{e^+} = E_{e^-} = 103$ GeV
PEP-II (SLAC)	e^+e^-	$E_{e^+} = 3.1$ GeV, $E_{e^-} = 9$ GeV
HERA (DESY)	ep ep	$E_e = 27.5$ GeV, $E_p = 920$ GeV $E_e = 27.5$ GeV, p in Ruhe
Tevatron (Fermilab)	$p\bar{p}$	$E_p = E_{\bar{p}} = 980$ GeV
LHC (CERN)	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?

- d) Wie hoch müßte die Energie eines Protons aus der kosmischen Strahlung sein, wenn in einer Reaktion mit einem stationären Proton in der Atmosphäre dieselbe Schwerpunktsenergie erreicht werden soll wie bei pp-Kollisionen bei LHC?