

Übungen zu Experimentelle Methoden (der Teilchenphysik) SS 2014  
Prof. Karl Jakobs, Dr. Susanne Kühn, Daniel Büscher  
Übungsblatt Nr. 3

Die Lösungen müssen bis 12 Uhr am Montag, 26.5.2014 in Briefkasten Nr. 1  
im Erdgeschoss des Gustav-Mie-Hauses eingeworfen werden!

---

### 1. Flugzeit und Szintillatoren

Szintillatoren werden zur Teilchenidentifikation genutzt, dazu wird die massenabhängige Flugzeit zwischen zwei Szintillatorebenen verwendet. Die Flugzeit hängt über  $t = L/v$  vom Abstand der Szintillatorebenen  $L$  und der Geschwindigkeit  $v$  des Teilchens ab. Somit gilt für deren Zeitdifferenz  $\Delta t$

$$\Delta t = L\left(\frac{1}{v_1} - \frac{1}{v_2}\right) = \frac{L}{c}\left(\frac{1}{\beta_1} - \frac{1}{\beta_2}\right). \quad (1)$$

- Zeigen Sie, dass sich unter Benutzung der relativistischen Energie-Impulsbeziehung für relativistische Teilchen ( $p, E \gg m$ ) der Zusammenhang

$$\Delta t = \frac{Lc}{2p^2}(m_1^2 - m_2^2) \quad (2)$$

ergibt. Die Abhängigkeit der Geschwindigkeit von der Masse ist durch  $\beta = p/\sqrt{p^2 + m^2}$  gegeben und nutzen Sie eine Reihenentwicklung. **[2 Punkte]**

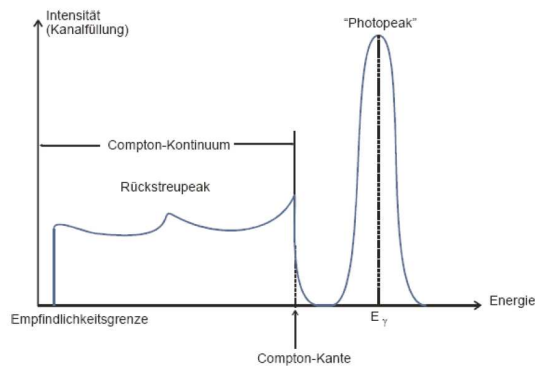
- Berechnen Sie die Zeitdifferenz, die Pionen und Kaonen mit einem Impuls von jeweils 10 GeV/c auf einer Flugstrecke von 4 m haben. Vergleichen Sie diese Werte mit typischen Werten für die Auflösung in Szintillatoren. **[1 Punkt]**
- Bis zu welchem Impuls ist es möglich, Protonen und Kaonen mit einer Signifikanz von 4 Standardabweichungen zu trennen, wenn die Zeitauflösung der Szintillationszähler  $t = 200$  ps beträgt und die Flugstrecke 4 m lang ist? **[1 Punkt]**
- Was ergibt sich bei gleichen Annahmen für die Trennung von Myonen und Pionen? **[1 Punkt]**
- Welche Zeitauflösung müssten die Szintillatoren haben, damit bei einer Flugstrecke von 10 m Protonen und Elektronen mit einem Impuls von 1 GeV/c noch mit 3 Standardabweichungen unterschieden werden könnten? **[1 Punkt]**

### 2. Ionisationsdetektor

Ein minimal-ionisierendes Teilchen durchquert einen mit Argon bei Normaldruck gefüllten Detektor, der aus einem Plattenkondensator besteht. Das Teilchen fliegt gerade durch die Mitte der beiden 8 mm entfernten Platten.

- Wieviele Elektron-Ion-Paare werden pro Zentimeter in gasförmigem Argon erzeugt? Die Dichte von Argongas beträgt  $\rho = 1,66 \times 10^{-3} \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$ , der Energieverlust ist  $dE/dX = 1,5 \text{ MeV} \cdot \text{cm}^2/\text{g}$ , die benötigte Energie zur Erzeugung eines Elektron-Ion-Paares beträgt  $W = 26 \text{ eV}$ . **[1 Punkt]**
- Wieviele Elektron-Ion-Paare werden in flüssigem Argon erzeugt? Die Dichte von flüssigem Argon beträgt  $\rho = 1,4 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$ . **[1 Punkt]**
- Wie groß ist die Driftgeschwindigkeit im Gas bzw. im flüssigem Argon für positive Ionen, die zur Kathode driften? Wie lang ist die Driftzeit? Die Beweglichkeit ist  $\mu^+ = 1,7 \frac{\text{cm}^2}{\text{Vs}}$  in Gas,  $\mu^+ = 0,5 \times 10^{-3} \text{ cm}^2/(\text{Vs})$  in der Flüssigkeit. Die elektrische Feldstärke beträgt  $E = 500 \text{ V/cm}$  **[1 Punkt]**

Bitte wenden.



- Die Driftgeschwindigkeit der Elektronen ist  $v^- = 0,3 \text{ cm}/\mu\text{s}$  sowohl im Gas als auch in der Flüssigkeit. Wie lang sind die Driftzeiten der Elektronen? [1 Punkt]
- Wieviele Ionen befinden sich im Mittel im Driftraum in Abhängigkeit der Rate der einfliegenden Teilchen?  
Zur Vereinfachung sollen alle Teilchen genau die Mitte des Kondensators durchqueren. Bestimmen Sie die Größe für gasförmiges und für flüssiges Argon. Was geschieht mit dem Feld, wenn die Teilchenrate sehr hoch ist? [2 Punkte]

### 3. Compton-Effekt

Bei der inelastischen Streuung von  $\gamma$ -Quanten an Elektronen überträgt das Photon einen Teil seiner Energie auf ein ruhendes Elektron und fliegt unter einem Streuwinkel  $\theta_\gamma$  weiter.

- Berechnen Sie die kinetische Energie des gestreuten Elektrons in Abhängigkeit vom Streuwinkel  $\theta_\gamma$  und der Energie des Photons  $E_\gamma$ . [2 Punkte]
- Der maximale Energieübertrag auf das Elektron erfolgt bei Rückstreuung des  $\gamma$ -Quants ( $\theta_\gamma = 180^\circ$ ). Berechnen Sie die Energiedifferenz zwischen der ursprünglichen  $\gamma$ -Energie und der maximalen Elektronenenergie. Wie groß wird diese Energiedifferenz im Grenzfall hoher  $\gamma$ -Energien? [2 Punkte]
- Zur Diskussion in der Übung! Keine Punkte im Übungsblatt.  
Diskutieren Sie die Form der in der  $\gamma$ -Spektroskopie beobachteten Energiespektren. Welche Unterschiede erwarten Sie im Spektrum für dünne und dicke Detektoren?