

Experimentalphysik V - Kern- und Teilchenphysik Vorlesungsmitschrift

Dozent: Prof. K. Jakobs

Verfasser: R. Gugel

12. Februar 2013

7. Teilchendetektoren

- Teilchen werden durch ihre Wechselwirkung mit Materie, d.h. dem Detektormaterial, nachgewiesen. Im Allgemeinen wird der ganze Raumwinkel 4π abgedeckt.
- Verschiedene Teilchen wechselwirken unterschiedlich mit dem Detektormaterial. Dies bietet eine Möglichkeit die Teilchen zu identifizieren
- Energie wird auf sensitive Materialschichten übertragen → elektrisches oder Licht-Signal

Die unterschiedlichen Detektoren sind

7.1 Nachweisprinzipien

(i) Spurdetektoren:

- Die Position des Teilchens wird mehrmals gemessen, basierend auf der elektromagnetischen Wechselwirkung → Nur elektrisch geladene Teilchen werden erfasst, ihre Spur kann verfolgt werden
- Durch ein Magnetfeld kann auf Grund der Lorentzkraft eine Krümmung der Flugbahn beobachtet werden und daraus der Impuls p des Teilchens bestimmt werden.

(ii) Kalorimeter: Kalorimeter messen die Energie der Teilchen, die in ihm gestoppt werden. Die Teilchen geben ihre gesamte Energie ab, ein Teil dieser Energie wird auf das Detektormaterial übertragen.

Verschiedene Teilchen (e^- , γ , π , K , ...) unterscheiden sich in Wechselwirkung und Eindringtiefe. Üblicher weise werden zwei Kalorimeter-Bereiche verwendet:

- Elektromagnetische Kalorimeter: e^- und γ werden gestoppt / absorbiert
- Hadronische Kalorimeter: Hadronen (π , K , p , n , ...) werden gestoppt.
- Neutrinos und Myonen werden *nicht* gestoppt!

7. Teilchendetektoren

(iii) Myonen Detektoren:

- Auf Grund ihrer relativ großen Masse und ihrer Leptonennatur, wechselwirken Myonen nur geringfügig mit dem Detektormaterial
- Sie durchdringen die Kalorimeter und rufen ein Signal hervor in Spurdetektoren hinter den Kalorimetern.
- Ihre Signatur durch die gesamten Schichten ist: Spur, kleines Signal in den Kalorimetern, Spur im Myonendetektor.

(iv) Wie werden Neutrinos nachgewiesen?

- Neutrinos wechselwirken nur schwach, d.h. durch schwache Wechselwirkung mit dem Detektormaterial
- Die Detektordicke ist viel zu klein um Neutrinos zu stoppen.
- Neutrinos tragen Energie und Impuls fort.
- Ihre Anwesenheit kann nur abgeleitet werden aus der anscheinenden Verletzung von Energie- und Impulserhaltung. D.h. Neutrinos (und andere rein schwach wechselwirkende Teilchen) werden indirekt nachgewiesen!

7.2 Einführung in die Detektorphysik

- Detektion erfolgt durch Wechselwirkung der Teilchen mit Materie, z.B. durch Energieverlust im Medium (Ionisation und Anregung)
- Der Energieverlust muss gemessen / sichtbar gemacht werden, hauptsächlich in Form von elektrischen oder Licht-Signalen
- Die fundamentale Wechselwirkung elektrisch geladener Teilchen ist die elektromagnetische Wechselwirkung. Der Energieverlust der Teilchen kommt vorrangig durch Interaktion mit den Elektronen im Medium zustande. Die Wirkungsquerschnitte sind riesig:

$$\sigma \sim 10^{-17} - 10^{-16} \text{cm}^2 \quad (7.1)$$

Der Energieverlust pro Kollision ist zwar gering, jedoch ist die Anzahl der Kollisionen sehr groß.

- Die Wechselwirkungsprozesse (Energieverlust, Streuung,...) stören präzise Messungen und begrenzen die Genauigkeit der Messung

7. Teilchendetektoren

Tabelle 7.1: Übersicht über Energieverlust- und Nachweisprinzipien

Geladene Teilchen	Photonen
Ionisation	photoelektrischer Effekt
Bremsstrahlung	Comptonstreuung
Cherenkov Strahlung	Paarbildung
Übergangsstrahlung	

Literaturverzeichnis

- [1] Th. Mayer-Kuckuck, *Kernphysik*, Teuber Verlag
- [2] J. Bleck-Neuhaus, *Elementare Teilchen - Moderne Physik von den Atomen bis zum Standardmodell*, Springer Verlag
- [3] B. Povh, K.Rith, C.Scholz und F. Zetsche, *Teilchen und Kerne*, Springer Verlag
- [4] K. Bethge, G. Walter und B. Wiedemann, *Kernphysik*, Springer Verlag
- [5] D. Griffith, *Introduction to Elementary Particles*, Verlag Wiley-VCH
- [6] F. Halzen und A.D. Martin, *Quarks & Leptons*, Verlag J. Wiley
- [7] C. Grupen, *Teilchendetektoren*, BI Wissenschaftsverlag
- [8] W.R.Leo, *Techniques for Nuclear and Particle Physics Experiments*, Springer Verlag
- [9] K. Kleinknecht, *Detektoren für Teilchenstrahlung*, Teuber Verlag
- [10] E. Bodenstedt, *Experimente der Kernphysik und ihre Deutung*, BI Wissenschaftsverlag (1978)
- [11] P. A. Tipler und R. A. Llewellyn, *Moderne Physik*, Oldenburg Verlag (2002)
- [12] W. Demtröder, *Experimentalphysik 4, Kern-, Teilchen- und Astrophysik*, Springer Verlag
- [13] *Reaktorphysik*, Universität Bonn (1982)