

P515 Driftkammern

P515.1 Versuchsziel

Dieser Versuch soll in die Funktionsweise gasbasierter Teilchendetektors einführen. Dazu werden Messungen mit einer Driftkammer durchgeführt. Aufgebaut ist die Prototyp-Driftkammer des BGOOD-Experiments mit einem Szintillationszähler als Trigger und einer Auslese-Elektronik. Am Versuchstag werden zunächst die Betriebsparameter der Kammer bestimmt und abschließend wird mit dem Aufbau die Winkelverteilung der kosmischen Strahlung vermessen. In der Auswertung soll die eventbasierte Datenanalyse mit dem ROOT-Framework erlernt werden.

P515.2 Notwendige Vorkenntnisse

- Funktionsweise einer Driftkammer
- Gaseigenschaften
- Energieverlust von geladenen Teilchen in Materie
- Lawineneffekt und Gasverstärkung
- Kosmische Strahlung
- Ereignisbasierte Datenauswertung

P515.3 Literatur

- D. Hammann, Test und Inbetriebnahme der Prototyp-Driftkammer für das B1-Spektrometer, Diplomarbeit, Bonn 2008 zum Ausleihen vom Assistenten oder unter https://www.pi.uni-bonn.de/schmieden/medien/medien-ergebnisse/diplomarbeit_danielhammann.pdf
- M. Krammer, Gasdetektoren, Institut für Hochenergiephysik der ÖAW, Wien. Unter <https://web-docs.gsi.de/~wolle/Schuelerlabor/TALKS/DETEKTOREN/V0-3-Gasdetektoren.pdf>
- R. Brun, F. Rademakers et al, ROOT users guide Kapitel über TTrees und über Histogramme. Unter <https://root.cern.ch/root/html534/guides/users-guide/ROOTUsersGuideChapters/Trees.pdf> b.z.w. <http://root.cern.ch/root/html534/guides/users-guide/Trees.html> bei Bedarf noch das Kapitel über C++: <https://root.cern.ch/root/html534/guides/users-guide/ALittleC++.html>

- W.R. Leo, Techniques for Nuclear and Particle Physics Experiments, Springer Verlag
- H. Kolanoski, N. Wermes, Teilchendetektoren: Grundlagen und Anwendungen, Springer Verlag

P515.4 Durchführung

P515.4.1 Messung der analogen Signale

Betrachten Sie die analogen Ausgangssignale der Driftkammer und des Szintillationszählers mit dem Oszilloskop. Dazu stellen Sie für den Szintillationszählers eine Hochspannung von $-1,7\text{ kV}$ ein und für die Driftkammer eine Hochspannung von $-2,8\text{ kV}$. Das Signal des Szintillationszählers ist bereits am Oszilloskop angeschlossen, für die Driftkammer wird das Signal eines Anodendrahtes mit einem Tastkopf abgegriffen. Dieser wird dazu am äußersten Pin der hinteren, unteren Reihe der linken Messkarte befestigt. Die Stromversorgung der Messkarte (bunte Kabel) wird entfernt und die Erdung des Tastkopfes an der Seite der Karte befestigt. *Wie unterscheiden sich die beiden Signale und warum?*

P515.4.2 Messung des Stroms durch die Driftkammer

Messen Sie den Strom durch die Driftkammer als Funktion der Hochspannung der Driftkammer, mit und ohne Bestrahlung durch das ^{90}Sr -Präparat. Platzieren Sie dazu den Szintillationszähler senkrecht zu den Drähten auf Höhe der Aussparung im Holz unterhalb der Kammer. Das Präparat kann nun über der Aussparung aufgestellt werden. Der Strom durch die Kammer kann mittels der gemessenen Spannung über einen bekannten Widerstand am Multimeter bestimmt werden. Überlegen Sie sich geeignete Fehlerwerte für die Strommessung, der Fehler der Messanzeige der Hochspannungsversorgung beträgt ca. 1%. *Welchen Verlauf erwarten Sie für den Strom in Abhängigkeit von der Hochspannung?*

P515.4.3 Einstellung der Hochspannung des Szintillationsdetektors

Stellen Sie die Hochspannung und damit die effektive Schwelle des Szintillationszählers so ein, dass er zum Nachweis der Elektronen des Präparats und zum Nachweis der Muonen der kosmischen Strahlung geeignet ist. Dabei kann es sinnvoll sein, zwei verschiedene Hochspannungen zu wählen.

- Myonen:** Messen sie hierzu ohne ^{90}Sr -Präparat und nehmen Sie an, das alle gemessenen Teilchen Myonen sind. Nutzen Sie als Referenz die Teilchenflussdichte der Muonen auf der Erdoberfläche und überlegen Sie wie groß die relevante Fläche für den Fluss im Versuch ist. Bestimmen Sie die Hochspannung bei der die Rate mit dem erwarteten Wert für diese Fläche übereinstimmt.
- Elektronen:** Messen Sie hierzu mit und ohne ^{90}Sr -Präparat. Bestimmen Sie den Punkt, an dem Sie möglichst viele Elektronen des Präparats messen können, gleichzeitig aber möglichst

wenig Untergrund (alles was nicht vom Präparat kommt) messen. Nutzen Sie dazu das Verhältnis der Teilchenraten von Messungen mit und ohne Präparat. Für welche Hochspannung ist dieses Verhältnis maximal?

Verwenden Sie zur Bestimmung des Teilchenraten bereits das in P515.6 beschriebene `fpexperiment`-Programm und eine Stoppuhr. Für jedes detektierte Ereignis wird einen Punkt in die Konsole ausgegeben. Eine Hochspannung von $-2,0\text{ kV}$ sollte nicht überschritten werden um den Szintillationszähler nicht zu beschädigen!

P515.4.4 Einstellung der Betriebsparameter der Driftkammer

Im folgenden werden drei Betriebsparameter der Driftkammer eingestellt: Die Hochspannung, die Verzögerung und die Diskriminatorschwelle. Verzögerung und Diskriminatorschwelle werden in der `setup.xml` Datei wie in P515.6 beschrieben verändert.

Führen Sie mit dem `fpexperiment`-Programm für verschiedenen Hochspannungen, Verzögerungen und Diskriminatorschwellen Messungen durch und schauen Sie sich die Driftzeitspektren an. Achten Sie auf ausreichend Statistik in den Spektren. In einer kurzen Auswertung werden die optimalen Betriebsparameter bestimmt, die dann für die weiteren Messungen verwendet werden. Überlegen Sie dafür zunächst: *Was zeichnet ein gutes Driftzeitspektrum aus? Sind die Parameter voneinander unabhängig? Wie und in welcher Reihenfolge stellt man sie am besten ein?* Diskutieren Sie anschließend, warum Sie die gewählten Parameter für optimal halten.

P515.4.5 Messung der Winkelverteilung der kosmischen Strahlung

Bauen Sie den Aufbau so um, dass der Szintillationszähler parallel zu den Drähten oberhalb der Kammer liegt. Überlegen Sie wie Sie mithilfe der Position des Szintillationsdetektors und der angesprochenen Drahtnummer die Winkelverteilung der kosmischen Strahlung bestimmen können. Nutzen Sie hierzu den bekannten Abstand von zwei Drahtnummern in der selben Ebene von 17 mm und den Abstand des Szintillationszählers zur Drahtebenen der Driftkammer, den sie vermessen können. Für beide Drahtebenen kann die Höhe der Messkarten angenommen werden (gehen Sie nicht mit dem Zollstock in die Ausparung der Holzplatte!).

Starten Sie eine Langzeitmessung mit den gewählten Betriebsparameter und der Hochspannung des Szintillationsdetektors die Sie für die Myonen bestimmt haben. Wie viele Events können Sie anhand der Ereignisrate erwarten?

P515.5 Auswertung

P515.5.1 Verteilung der Ansprecher und Time-over-Threshold

- (a) Tragen Sie die Drahtnummern der angesprochenen Drähte gegen die Driftzeiten in einem 2D-Histogramm auf. Welche Struktur(en) erkennen Sie?

- (b) Stellen Sie nun das Spektrum der Time-over-Threshold (Zeiten über der Schwelle) in einem 2D-Histogramm gegen die Driftzeiten der aufgenommenen Ansprechere dar. Welche Struktur(en) erkennen Sie? Gehören alle vorkommenden Werte zu sinnvollen Ansprechern und wenn nein, warum nicht? Filtern Sie wenn nötig für die folgenden Aufgabenteile entsprechend.
- (c) Betrachten Sie erneut die Drahtnummern der angesprochenen Drähte gegen die Driftzeiten in einem 2D-Histogramm. Was hat sich verändert?

P515.5.2 Drahtkorrelationen

Betrachten Sie nun die Korrelationen der angesprochenen Drähte. Tragen sie dazu pro Event für jede angesprochene Drahtnummer die anderen angesprochenen Drahtnummern in einem 2D-Histogramm auf (selbstkorrelation sollen nicht berücksichtigt werden). Bestimmen Sie anhand des Ergebnisses die geometrische Anordnung der Drähte. Gibt es eine sinnvollere Anordnung? Nummerieren Sie wenn nötig um und behalten Sie die Nummerierung für die folgenden Aufgaben bei.

P515.5.3 Orts-Driftzeitbeziehung

Erstellen Sie aus dem Driftzeitspektrum eine Orts-Driftzeitbeziehung. Nutzen Sie den Code aus Abschnitt P515.6 als Hilfestellung. Achten Sie auf eine sinnvolle Schleifensetzung im Code.

P515.5.4 Winkelverteilung der kosmischen Strahlung

Bestimmen sie nun die Winkelverteilung der kosmischen Strahlung. Nutzen sie dazu die Überlegungen aus P515.4.5.

Zusatzaufgabe: Wiederholen Sie das mit unter Berücksichtigung der durch die Driftzeit bestimmten Durchtrittsorten!

P515.5.5 Abstandssumme gegen Abstandsdifferenz

Nutzen Sie die Orts-Driftzeitbeziehung um ein 2D-Spektrum Abstandssumme gegen Abstandsdifferenz (für benachbarte Drähte) zu erstellen.

- (a) Erstellen Sie das Histogramm zunächst unabhängig vom Winkel der einfallenden Myonen zur Kammerebene. Welche Struktur(en) erkennen Sie?
- (b) Erstellen Sie nun Abstandssumme gegen Abstandsdifferenz Histogramme in verschiedenen Bereichen des Winkels der einfallenden Myonen zur Kammerebene. Kann man für schräge Einfälle andere Strukturen als für senkrechte Einfälle erwarten? Welche Struktur(en) erkennen Sie?

P515.6 Anhang

Sicherung der Driftkammer Die Driftkammer wird durch eine Sicherung geschützt, die bei einem zu hohen Stromfluss durch die Kammer rausfliegt. Ein zu hoher Stromfluss kann zum einen durch schnelle Änderung der Hochspannung entstehen, zum anderen bei Messungen mit dem Präparat für eine hohe Hochspannung. Es ist daher ratsam die Hochspannung nur langsam zu verändern und für hohe Spannungswerte mit Präparat die Sicherung regelmäßig zu überprüfen. Sollte die Sicherung herausgeflogen sein leuchtet ein rotes Lämpchen. Die Hochspannung ist dann zu reduzieren, die Sicherung kann mit dem weißen Knopf erneut gesetzt werden.

Einstellung der Betriebsparameter Zum Einstellen der Parameter der Datennahme dient die Setup-Datei `setup.xml` Sie hat etwa folgenden Inhalt:

```
<DAQW>
  <MODULES>
    <cros3_0
      devname="/dev/cros3-0"
      CCB_ENABLE="0x0001"
      ReadoutMode="rawTOT"
      SystemLevel="2"
    >
    <AD16_0
      CSR_DEN="0x0001"
      CSR_DDC="0x006C"
      CSR_DRC="0x00FB"
      CSR_THC="0x0400"
      CSR_THR="0x0020"
      CSR_WIM="0x0000"
    />
  </cros3_0>
  <mesa5i23_0
    cardNum="0"
    binFileName="/home/expadmin/src/trunk/firmware/boards/fpexperiment_trigger_pci.bit"
  />
</MODULES>
</DAQW>
```

In dem XML-Attribut `CSR_THR` steht der Wert für die Diskriminatorschwelle, im Attribut `CSR_DDC` der Wert für die Verzögerung der Signale, in Einheiten von 10 ns. Nur diese beiden Attribute sollten geändert werden (für alle Messkarten).

Datenaufnahme Zur Datenaufnahme wird das `fpexperiment`-Programm genutzt. Eine Messung kann über das Terminal mit dem folgenden Befehl gestartet werden:

```
fpexperiment setup.xml [number of events]
```

Dabei werden in der `setup.xml` Datei die entsprechenden Betriebsparameter übergeben und optional kann eine feste Anzahl an Ereignissen (also wenn der Szintillationszählers als trigger ausgelöst wurde) für die Messung festgelegt werden. Letzteres empfiehlt sich wenn man Spektren unterschiedlicher Messungen vergleichen möchte. Während der Messung wird jedes Ereignis als ein Punkt in der Konsole dargestellt, die Messung kann mit `strg + c` manuell beendet werden.

Datenanalyse Bei der Analyse der Daten werden die vom Datennahme-Programm erzeugten ROOT-Dateien eingelesen, sie enthalten jeweils einen ROOT-„Tree“. Jedes gemessene Ereignis (Event) ist in einem Eintrag (Entry) des Trees enthalten. Die in den „Branches“ des ROOT-Trees enthaltenen Informationen sind in Tabelle P515.1 dargestellt. Allgemeine Informationen über die Ereignisse sind in der Spalte Block mit Event markiert, Debug-Informationen sind mit Debug und die Daten der Driftkammer selbst als Daten gekennzeichnet.

Branch	Block	Bedeutung
<code>event/i</code>	Event	Eventnummer
<code>eventTime/D</code>	Event	Eventzeit, Sekunden seit 1970
<code>deltaT/D</code>	Event	Zeit seit dem vorigen Event
<code>hwEvent/i</code>	Debug	Hardware-Eventnummer
<code>nBytes/i</code>	Debug	Anzahl Bytes im undekodierten Event
<code>c3trigTime/i</code>	Debug	CROS3 Trigger time
<code>c3trigNr/i</code>	Debug	CROS3 Trigger number
<code>nhits_le/i</code>	Daten	Anzahl Hits mit Leading Edge
<code>wire_le[nhits_le]/i</code>	Daten	Array der Drahtnummern der LE-Hits
<code>time_le[nhits_le]/i</code>	Daten	Zeiten (in 2,5 ns-Schritten) der LE-Hits
<code>nhits_te/i</code>	Daten	Anzahl Hits mit Trailing Edge
<code>wire_te[nhits_te]/i</code>	Daten	Array der Drahtnummern der TE-Hits
<code>time_te[nhits_te]/i</code>	Daten	Zeiten (in 2,5 ns-Schritten) der TE-Hits
<code>tot[nhits_le]/i</code>	Daten	Array der Time-over-Threshold (in 2,5 ns-Schritten) der LE-Hits

Tabelle P515.1: Inhalt des Daten-Trees

Da die Anzahl der Ansprechere in einem Ereignis von Ereignis zu Ereignis schwankt, ist im Branch `nhits_le` die Anzahl der Ansprechere gespeichert. Die Drahtnummern der Ansprechere finden sich dann in dem Array `wire_le[nhits_le]`, dessen Indizes von 0 bis `nhits_le-1` laufen. Die Zeiten der Ansprechere für das Überschreiten der Diskriminatorschwelle relativ zum Triggerzeitpunkt finden sich im Array `time_le[nhits_le]`, wobei der `wire_le[i]` zu `time_le[i]` gehört. Die Zeiten der Ansprechere für das Unterschreiten finden sich in `time_te[nhits_te]`, die Zeit überhalb der Schwelle (Time-over-Threshold) in `tot[nhits_le]/i`. Beachten Sie, dass alle Zeiten in TDC-Bins angegeben, d.h. in Schritten von 2,5 ns. Das Messzeitfenster des TDCs beträgt 250 TDC-Bins (respektive 625 ns), damit können je nach Wahl der Betriebsparameter unter Umständen einige zu LE-Hits zugehörige TE-Hits nicht mehr im Zeitfenster liegen. In diesem Fall speichert das Ausleseprogramm im entsprechenden Eintrag eine `time_le[i]` aber keine `time_te[nhits_te]/i` ab. Die `tot_le[i]` kann somit nicht berechnet werden und wird auf den TDC-Wert 0 gesetzt.

Einige Beispiel-Ereignisse könnten somit wie folgt aussehen:

nhits_le	2	nhits_le	4
wire_le	{ 5, 6 }	wire_le	{ 3, 3, 4, 8 }
time_le	{ 10, 21 }	time_le	{ 10, 12, 21, 40 }
nhits_te	2	nhits_te	3
wire_te	{ 5, 6 }	wire_te	{ 3, 3, 4 }
time_te	{ 140, 165 }	time_te	{ 11, 140, 185 }
tot	{ 130, 144 }	tot	{ 1, 128, 164, 0 }

Da normalerweise das erste Cluster das den Signaldraht erreicht das Interessierende ist, empfiehlt es sich nur den jeweils ersten Ansprechere pro Draht und Ereignis zu betrachten!

Es wird am Versuchstag bereits ein Grundgerüst eines Analyseprogramms bestehend aus den Dateien *analysis.h*, *analysis.c* und einem *Makefile* bereitgestellt, das Sie in der Auswertung mit den benötigten Funktionen erweitern. Im Programm werden bereits ein Driftzeitspektrum und ein Drahtkorrelationshistogramm erstellt. Das Programm lässt sich mit dem Befehl:

`make`

im Terminal kompilieren. Es kann im Anschluss mit dem Befehl:

`./analysis run_[_].root`

ausgeführt werden.

Erstellen der Orts-Driftzeitbeziehung Die Orts-Driftzeitbeziehung lässt sich aus dem Driftzeitpektrum bilden, indem die laufende Summe über das Driftzeitspektrum in einem Histogramm aufgetragen wird, das anschließend auf die Breite einer Driftzelle von 8,5 mm normiert wird. Der folgende Code dient hierzu als Hilfestellung:

```
Double_t sum = 0;
for (UInt_t bin = 1; bin <= dzh->GetNbinsX(); ++bin){
    sum += dzh->GetBinContent(bin);
    odb->SetBinContent(bin,sum);
}
odb->Scale(8.5/sum);
```

wobei in diesem Beispiel *dzh* der Pointer des Driftzeithistogramms ist und *odb* der Pointer des Histogramms der Orts-Driftzeitbeziehung.

Viel Erfolg bei der Durchführung!

Stand: August 2024