

# V01 - Lebensdauer kosmischer Myonen

## 1 Ziel des Versuchs

In diesem Versuch soll die Lebensdauer kosmischer Myonen bestimmt werden. Hierzu wird ein Szintillationsdetektor verwendet. Dabei ist das Verstehen der Funktionsweise und das Zusammenspiel der einzelnen Bauteile des Aufbaus explizit Teil der Lernziele.

## 2 Vorbereitung

Zur Vorbereitung empfehlen sich unter anderem folgende Lehrbücher, die in analoger oder digitaler Form in der Universitätsbibliothek der TU Dortmund erhältlich sind.

- [1] Kapitel 2, 7
- [2] Kapitel 10, 13
- [3] Kapitel 14 bis 17
- [4] Kapitel 8.1 und 8.2

Folgende exemplarische Fragen sollten im Rahmen des Kolloquiums beantwortet werden können:

1. Was sind Myonen? Welche Eigenschaften haben sie? Woher stammen kosmische Myonen? In welcher Höhe entstehen sie; wie zerfallen sie?
2. Was definiert die Lebensdauer und aus welchem Zusammenhang lässt sie sich herleiten?
3. Berechnen Sie klassisch und relativistisch aus der Sicht eines auf der Erde ruhenden Beobachters die Reichweite eines kosmischen Myons ( $E_\mu = 10 \text{ GeV}$ ).
4. Welche Ereignisrate erwarten Sie auf der Erdoberfläche? Den Szintillatortank können Sie als liegenden Zylinder mit  $h = 2r$  und  $V = 50 \text{ l}$  nähern.
5. Was ist ein Szintillator und welche Arten gibt es? In welchen Eigenschaften unterscheiden sie sich und welche Vor- und Nachteile ergeben sich daraus für diesen Versuch?

6. Welche Maßnahmen zur Rauschunterdrückung werden vorgenommen? Schätzen Sie die verbleibende Untergrundrate  $U$  ab. Nehmen Sie dazu an, dass die Wahrscheinlichkeit, dass ein weiteres Myon während der Suchzeit  $T_s$  eintritt und damit ein Stoppsignal auslöst, poissonverteilt ist.
7. Wie funktioniert ein Vielkanalanalysator und welche Größen werden in diesem Versuch im Spektrum gegeneinander aufgetragen? Formulieren Sie eine Erwartungshaltung, wie das entstehende Spektrum aussieht.
8. Nach welcher Methode wird die Lebensdauer kosmischer Myonen im Rahmen dieses Versuches bestimmt? Wie ist das grundlegende Messprinzip schaltungstechnisch verwirklicht; welche Aufgaben übernehmen dabei die einzelnen Bauteile? Machen Sie sich auch mit der Darstellung logischer Bauteile in Schaltplänen vertraut.

### 3 Versuchsaufbau

Der Versuchsaufbau besteht aus einem Szintillatortank mit einem ungefähren Volumen von ungefähr 50l. An den beiden Enden des Tanks ist je ein Photomultiplier (PMT) montiert. Die jeweiligen Ausgänge der PMT werden über eine Verzögerungsleitung auf den Eingang eines Diskriminators mit variabler Schwelle gegeben. Ebenfalls einstellbar ist die Pulsdauer am Ausgang der Diskriminatoren. Beide Signale gelangen anschließend in eine Koinzidenzschaltung, die nur dann ein Ausgangssignal erzeugt, wenn die Pulse zeitgleich an ihrem Eingang eintreffen. Danach folgt das elektronische Äquivalent einer Stoppuhr.

Das Ausgangssignal der Koinzidenz gelangt zu zwei AND-Gattern sowie über eine weitere Verzögerungsleitung mit  $\Delta t = 30 \text{ ns}$  zu einem Monoflop<sup>1</sup>, welcher die Suchzeit  $T_s$  vorgibt. Die AND-Gatter sind so mit dem Time-Amplitude-Converter (TAC) verbunden, dass eins die Zeitmessung startet, während das andere sie stoppt. Zusätzliche Kabel zu je einem Impulszähler ermöglicht es, die Start- bzw. Stoppimpulse zu zählen. Durch eine geeignete Kombination der Bauteile wird erreicht, dass die Zeitmessung startet, wenn ein Myon das aktive Volumen betritt. Zerfällt das Myon, wird die Messung gestoppt.

Das Signal des TAC gelangt in den Vielkanalanalysator bzw. Multi-Channel-Analyser (MCA). Dieser wird über einen PC mit installierter Messsoftware ausgelesen.

Zur Kalibration des MCA steht ein Doppelimpulsgenerator zur Verfügung, welcher Doppelimpulse mit einem variablem Zeitabstand bei einer Frequenz von 1 kHz generiert.

---

<sup>1</sup> auch monostabile Kippstufe oder Univibrator genannt

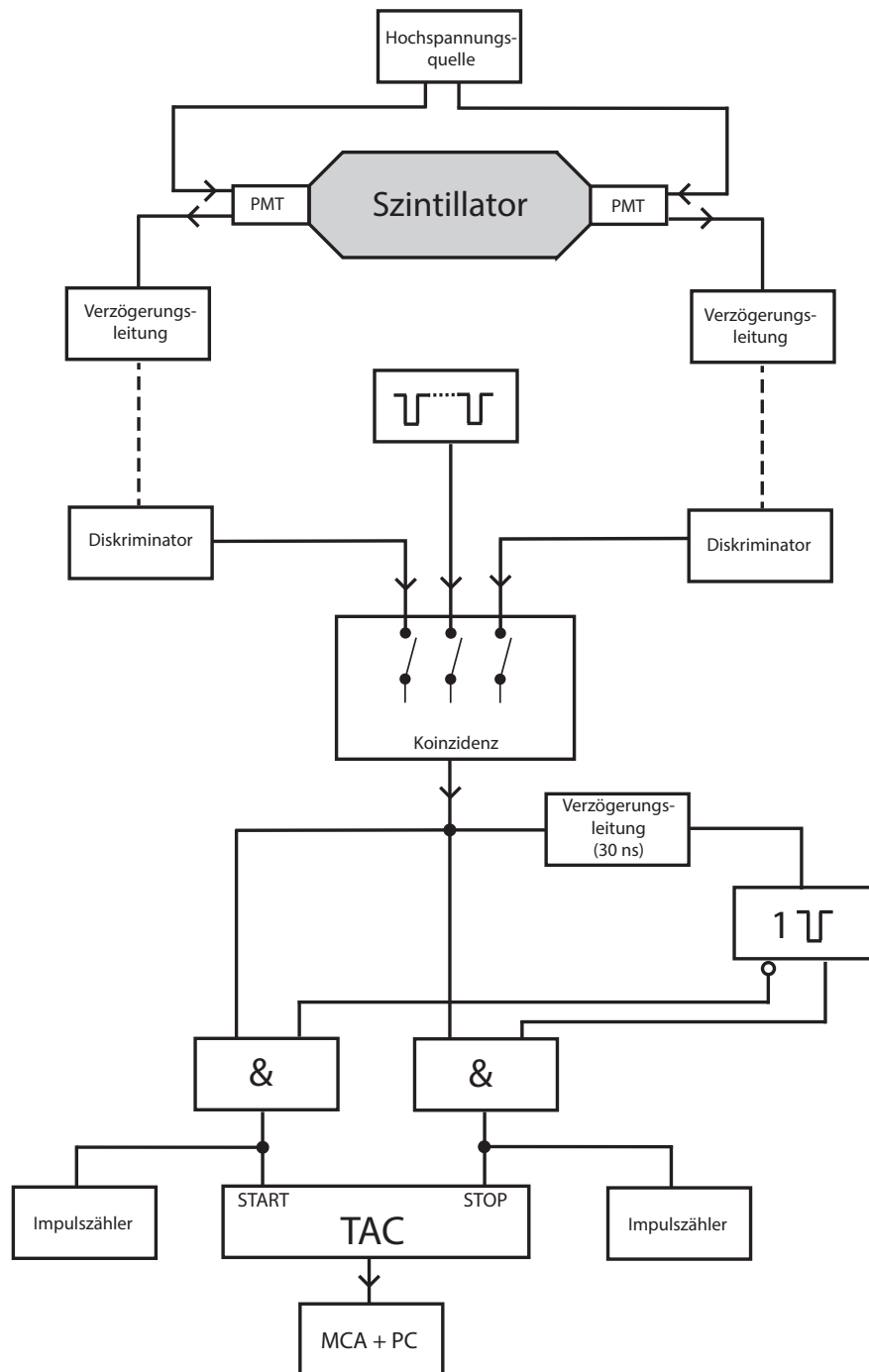


Abbildung 1: Blockschaltbild des Versuchaufbaus.

## 4 Aufgabe

Bauen Sie die in Abbildung 1 dargestellte Schaltung auf und bestimmen Sie die Lebensdauer der kosmischen Myonen aus einer Messreihe von Individuallebensdauern.

## 5 Durchführung

Werden die Photomultiplier mit Hochspannung versorgt, sollten an den jeweiligen Ausgängen Spannungsimpulse unterschiedlicher Höhe sichtbar sein. Überprüfen Sie dies mit Hilfe des bereitstehenden Oszilloskops.

Im nächsten Schritt müssen die Schwellspannungen der Diskriminatoren so eingestellt werden, dass an beiden Ausgängen ca. 30 Impulse pro Sekunde gemessen werden. Stellen Sie eine Pulsdauer von  $\Delta t = 10 \text{ ns}$  ein. Schließen Sie hierzu den Impulszähler an. Um anschließend die Koinzidenzapparatur zu justieren, variieren Sie systematisch je eine der Verzögerungsleitungen und beobachten die Impulsrate am Ausgang der Koinzidenz. Die Messbereich sollte so groß gewählt sein, dass sich die Halbwertsbreite der Verteilung bestimmen lässt. Wählen Sie abschließend eine geeignete Verzögerung aus, die für die Dauer des Versuches eingestellt bleibt. Die Ereignisrate sollte im Bereich von  $20 \text{ s}^{-1}$  liegen.

Verkabeln Sie den verbleibenden Teil der Schaltung. Stellen Sie hierbei eine Suchzeit  $T_s$  am Monoflop ein und passen Sie den Messbereich des TAC entsprechend an.

Zur Kalibration des MCA schließen Sie den Doppelimpulsgenerator an und messen, welcher zeitliche Abstand der Doppelimpulse welchem Kanal des MCA entspricht. Führen Sie die Kalibration mit mindestens zehn Messwerten im Bereich von  $0,3 \mu\text{s}$  bis  $9,9 \mu\text{s}$  durch. Um eine einheitliche Effizienz über den gesamten Messbereich zu überprüfen, wählen Sie für alle Messpunkte die gleiche Messzeit aus und vergleichen die absoluten Zählraten.

Nach der erfolgreichen Kalibration schließen Sie erneut die beiden Photomultiplier an und starten die eigentliche Messung der Lebensdauer.

## Literatur

- [1] C. Grupen, *Einstieg in die Astroteilchenphysik*, 2. Aufl. Springer Spektrum, 2018.
- [2] H. Kolanoski und N. Wermes, *Teilchendetektoren*, 1. Aufl. Springer Berlin Heidelberg, 2016.
- [3] W. R. Leo, *Techniques for nuclear and particle physics experiments*, 2. Aufl. Springer-Verlag, 1994.
- [4] W. Walcher, *Praktikum der Physik*, 6. Aufl. Teubner, 1989.