

V01

Lebensdauer kosmischer Myonen

Leander Flottau Jannis Vornholt
leander.flottau@udo.edu jannis.vornholt@udo.edu

January 3, 2024

TU Dortmund University – Department of Physics

Contents

1	Theorie	3
1.1	Zielsetzung	3
1.2	Entstehung und Zerfall kosmischer Myonen	3
1.3	Lebensdauer der Myonen	3
2	Aufbau und Durchführung	4
2.1	Aufbau	4
2.2	Durchführung	6
3	Auswertung	7
4	Diskussion	8
	References	9

1 Theorie

1.1 Zielsetzung

Ziel des Versuches ist es, die Lebensdauer kosmischer Myonen zu bestimmen. Zudem soll die dafür verwendete Schaltung genauer untersucht werden.

1.2 Entstehung und Zerfall kosmischer Myonen

Treffen hoch energetische kosmische Teilchen auf die Erdatmosphäre, so entstehen sogenannte Luftschauer, in denen wiederum Myonen entstehen. In diesen Luftschauern entstehen durch unterschiedliche Prozesse Pionen, welche eine kurze Lebensdauer besitzen und anschließend zu Myonen zerfallen

$$\begin{aligned}\pi^+ &\rightarrow \mu^+ + \nu_\mu \\ \pi^- &\rightarrow \mu^- + \bar{\nu}_\mu.\end{aligned}$$

Die entstandenen Myonen bewegen sich mit nahezu Lichtgeschwindigkeit Richtung Erde. Durch die Relativistische Geschwindigkeit erreichen genug Myonen die Erdoberfläche, um sie dort mit einem Szintillator zu detektieren. Treten die Myonen in den Szintillator ein, so wechselwirken sie mit der Szintillatormaterie. Dabei geben sie einen Teil ihrer Energie an die mit ihnen wechselwirkenden Moleküle ab. Dadurch werden diese Moleküle angeregt und fallen nach einiger Zeit zurück in ihren Grundzustand. Bei dieser Relaxation wird ein Photon emittiert, welches detektiert werden kann und somit das Eintreffen eines Myons in den Szintillator. Ein Teil der Myonen zerfällt zudem innerhalb des Szintillators in ein Elektron und zwei Neutrinos

$$\begin{aligned}\mu^- &\rightarrow e^- + \bar{\nu}_e + \nu_\mu \\ \mu^+ &\rightarrow e^+ + \nu_e + \bar{\nu}_\mu.\end{aligned}$$

Die dabei entstehenden Elektronen erzeugen ebenfalls Photonen innerhalb des Detektors, wodurch der zeitliche Abstand zwischen Eintreten eines Myons und seinem Zerfall gemessen werden kann. Dieser zeitliche Abstand entspricht der individuellen Lebensdauer des jeweiligen Myons.

1.3 Lebensdauer der Myonen

Der Zerfall eines Elementarteilchens wie das Myon ist ein statistischer Prozess. Jedes Teilchen hat die selbe Wahrscheinlichkeit dW zu zerfallen. Diese Wahrscheinlichkeit ist proportional zur Zeit dt . Daraus folgt:

$$dW = \lambda dt. \tag{1}$$

Für den Zerfall von N Teilchen gilt somit

$$dN = -NdW = -\lambda Ndt. \quad (2)$$

Dabei ist dN die Anzahl der Teilchen die im, Zeitraum dt zerfallen, wenn N Teilchen beobachtet werden. Durch integrieren der Gleichung folgt das Zerfallsgesetz:

$$N(t) = N_0 \cdot \exp(-\lambda t). \quad (3)$$

Dabei ist λ die Zerfallskonstante, t die Zeit und N_0 die Anzahl der betrachteten Teilchen. Die Lebensdauer τ entspricht nun der Zeit t , nach der die noch nicht zerfallenen Teilchen $N(t) = \frac{N_0}{e}$ entsprechen. Die Lebensdauer kann durch $\tau = \frac{1}{\lambda}$ berechnet werden.

2 Aufbau und Durchführung

2.1 Aufbau

Wie in Kapitel 1 beschrieben, wird die Lebensdauer der Myonen bestimmt, indem die Zeit zwischen Eintreffen und Zerfall eines Myons in einem Szintillator gemessen wird. Dies wird durch den in Abbildung 1 dargestellten Aufbau realisiert. Die in dem Szintillator entstehenden Photonen beim Eintreffen so wie beim Zerfallen der Myonen, werden durch die beiden Photomultiplier (PM) detektiert. Die Signale der PM werden durch Verzögerungsleitungen, welche vorangegangene Verzögerungen der einzelnen PM ausgleichen, an Diskriminatoren angeschlossen. Die Diskriminatoren unterdrücken alle Signale unterhalb einer bestimmten Schwellenspannung U_0 , wodurch thermische Anregungen der PM herausgefiltert werden. Höher energetischer Untergrund wird durch die nachgeschaltete Koinzidenzschaltung herausgefiltert. Diese gibt ein Signal nur weiter, wenn beide eingehende Signale innerhalb eines Zeitraumes t_k eintreffen. Durch die Kombination der beiden Filter, wird der größte Teil des unkorrelierten Untergrundes herausgefiltert.

Die gefilterten Signale werden nun in den Schaltungsteil weiter geleitet, der die Signale zählt, so wie die Lebensdauer misst, falls das Myon zerfällt. Dafür wird das Signal in 3 Teile aufgeteilt. Zwei Signale werden an je ein AND-Gatter angeschlossen. Das Dritte wird nach einer Verzögerung von 30 ns an einen Monoflop angeschlossen. Nachdem der Monoflop durch ein HIGH-Signal getriggert wurde, gibt er für die Zeit T_S , ein HIGH-Signal aus. Dabei entspricht T_S der Suchzeit, in der ein zweites eintreffendes Signal als Zerfall des vorher eingetroffenen Myons interpretiert wird. Der Monoflop ist invertiert an das erste AND-Gatter und normal an das zweite AND-Gatter angeschlossen. Ist die Schaltung im Ruhezustand, also der Monoflop nicht getriggert und es trifft ein Signal ein, so liegen am ersten AND-Gatter ein HIGH-Signale an. Dieses wird weiter an den Impulszähler gegeben und startet den Zeit-Amplituden-Converter (TAC). Am zweiten AND-Gatter liegen zur selben Zeit ein HIGH- und ein LOW-Signal an, daher wird kein Signal weiter geleitet.

Trifft nun innerhalb der Suchzeit T_S ein weiteres Signal ein, so liegen durch den Aktivierten Monoflop ein HIGH- und ein LOW-Signal an, ersten AND-Gatter an, es wird kein Signal weiter geleitet. Am zweiten AND-Gatter hingegen liegen jetzt zwei

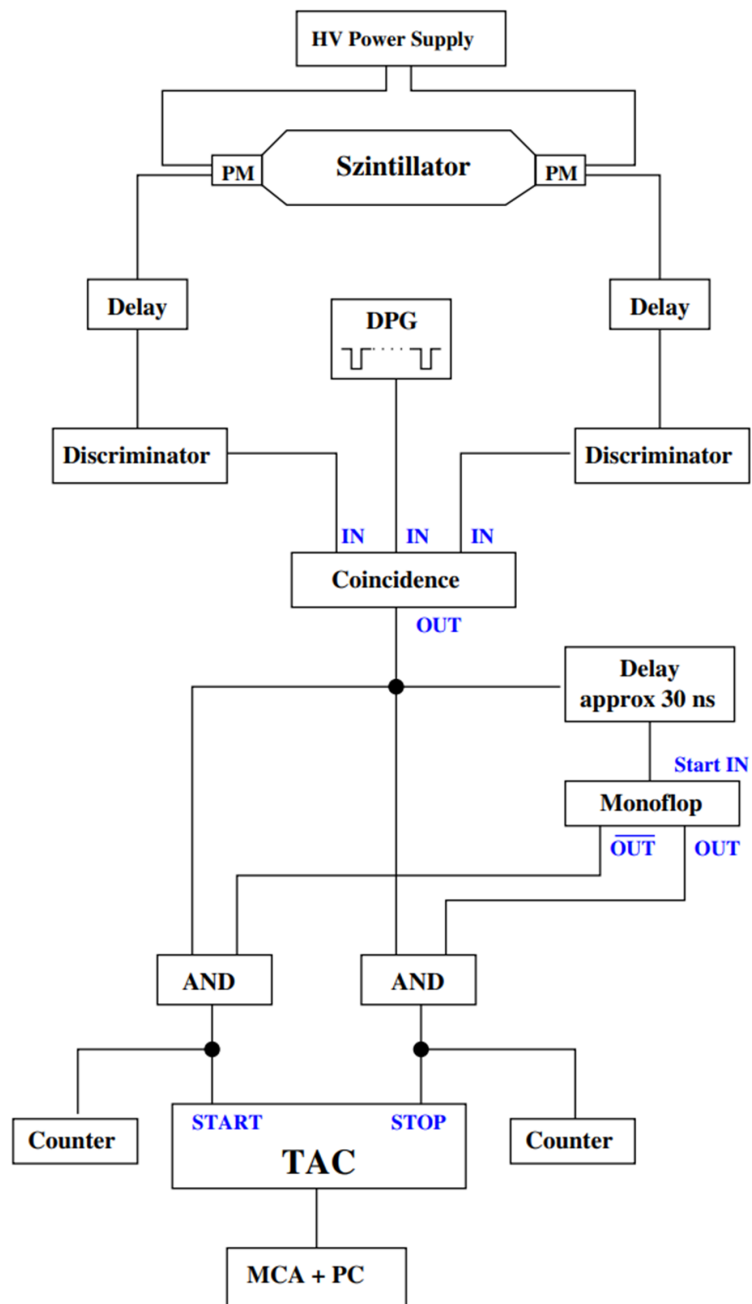


Figure 1: Skizze der Schaltung [1].

HIGH-Signale an, das Signal wird weiter geleitet. Durch das Signal wird ein weiterer Impulszähler aktiviert, so wie der TAC gestoppt. Der Zeit-Amplituden-Converter gibt nun eine Spannung weiter, die proportional zu der Zeit zwischen den beiden eingegangenen Signalen ist. Diese Spannung wird an einen Multi-Channel-Analyser (MCA) geleitet, welcher durch einen PC ausgewertet wird.

2.2 Durchführung

Zunächst wird die Schaltung wie in Abbildung 1 aufgebaut und die einzelnen Komponenten eingestellt. Als erstes werden die Diskriminatorschwellen so eingestellt, dass beide Diskriminatoren die gleiche Impulsrate von etwa 30 pro Sekunde haben. Danach wird die Pulsrate der Koinzidenzschaltung in Abhängigkeit der Verzögerung durch die Verzögerungsleitungen gemessen. Dies wird für die Pulsdauern $\Delta t = 20 \text{ ns}$ und $\Delta t = 10 \text{ ns}$, welche an den Diskriminatoren eingestellt werden können, durchgeführt. Für den restlichen Versuch wird eine Pulsdauer von $\Delta t = 10 \text{ ns}$ gewählt. Anschließend werden die Verzögerungsleitungen so eingestellt, dass eine möglichst hohe Impulsrate von der Koinzidenzschaltung ausgegeben wird. Zudem wird an dem Monoflop eine Suchzeit von $T_S = 12 \text{ ns}$ eingestellt. Nun werden der Tac und der MCA kalibriert, damit aus der Spannungshöhe bzw. dem Channel die Lebensdauer der Myonen bestimmt werden kann. Dafür wird der Doppelimpulsgenerator an die Koinzidenzschaltung angeschlossen und für verschiedene Impulsabstände der entsprechende Channel notiert. Am Ende wird die Messung der Lebensdauer der kosmischen Myonen gestartet. Diese geht etwa drei Tage lang, während der die Start-, so wie Stopp-Signale gezählt und die Lebensdauern der Myonen am Computer erfasst werden.

3 Auswertung

4 Diskussion

References

- [1] *Versuchsanleitung zu Versuch V01: "V01 Lifetime of cosmic muons"*. Fakultät Physik, TU Dortmund. 2023.