

V01

Lebensdauer kosmischer Myonen

Benjamin Brandt
benjamin.brandt@tu-dortmund.de

Paula Daniel
paula.daniel@tu-dortmund.de

Durchführung: 03.11.21

Abgabe: 13.11.21

TU Dortmund – Fakultät Physik

Inhaltsverzeichnis

1	Theorie	3
1.1	Zielsetzung	3
1.2	Myonen	3
1.3	Lebensdauer	3
2	Versuchsaufbau	4
2.1	Messgeräte	4
2.1.1	Szintillator	4
2.1.2	Photonenvervielfacher	4
2.1.3	Zeit-Amplituden-Konverter (TAC)	5
2.2	Aufbau	5
2.2.1	Logische Schaltung	5
3	Durchführung	6
4	Diskussion	6

1 Theorie

1.1 Zielsetzung

Ziel des Versuches ist die Lebensdauer von Myonen zu messen.

1.2 Myonen

Myonen sind Teilchen, die Teil der sekundären kosmischen Strahlung sind. Die Myonen, die die Erdoberfläche erreichen, entstehen durch den Zerfall von geladenen Pionen.

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

Pionen entstehen durch Protonen, die in der Erdatmosphäre mit den Luftmolekülen wechselwirken. Da Pionen nur eine sehr geringe Lebensdauer besitzen, zerfallen sie in etwa 10 km Höhe zu Myonen. Myonen sind wie Elektronen und Tauon, Leptonen. Leptonen unterliegen der schwachen Wechselwirkung und sind Fermionen, das heißt sie besitzen den Spin $\frac{1}{2}$. Myonen haben auch nur eine endliche Lebensdauer und zerfallen in unter anderem ein Elektron. Beim Zerfallsprozess müssen jeweils der Impuls und die Quantenzahlen erhalten sein.

Myonen zerfallen gemäß:

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

Für die Messung der Lebensdauer eines Myons wird ein Szintillator benutzt. Wenn nun ein Myon in den Szintillator fällt, gibt es ein Teil seiner kinetischen Energie ab. Dadurch wird ein Lichtblitz ausgelöst und in einen elektrischen Impuls umgewandelt. Um nun die Lebensdauer der Myonen zu messen werden die Myonen benötigt, die ihre gesamte kinetische Energie verlieren und somit im Szintillator verbleiben und dort zerfallen. Das Myon löst somit ein Signal aus wenn es in den Szintillator eintritt aber auch das Elektron das beim Zerfall entsteht löst eins aus. Die Zeit zwischen diesen beiden Signalen ist also die Lebensdauer eines Myons.

1.3 Lebensdauer

Die Lebensdauer von Myonen ist ein stochastischer Prozess. Jedes einzelne Myon hat eine unterschiedliche Lebensdauer. Daher wird die Wahrscheinlichkeit dW , das ein Myon im infinitesimalen Bereich zerfällt benötigt. Es lässt sich der Zusammenhang

$$dW = \lambda dt$$

herstellen. Dabei ist λ die charakteristische Zerfallskonstante. Also hängt die Zerfallswahrscheinlichkeit nicht vom Alter eines individuellen Teilchens ab. Das Myon unterliegt keinen Alterungsprozess. Daraus ergibt sich der weitere Zusammenhang

$$dN = -N dW = -\lambda N dt$$

mit dN der Zahl der Teilchen, die im Zeitraum dt zerfallen sind, wenn die Anzahl N Teilchen beobachtet werden. Für die Lebensdauer folgt daraus die Exponentialverteilung auf dem Intervall t bis dt .

$$dN(t) = N_0 \lambda e^{-\lambda t} dt$$

Der Erwartungswert von dieser Verteilung ist die charakteristische Lebensdauer der Myonen τ .

$$\tau = \int_0^\infty \lambda t e^{-\lambda t} dt = \frac{1}{\lambda}$$

2 Versuchsaufbau

2.1 Messgeräte

2.1.1 Szintillator

Die Messung wird mit Hilfe von einem Szintillatordetektor durchgeführt. Dieser macht sich den Effekt der Lumineszenz zu nutze. Lumineszenz ist die Emission von Licht mit einem charakteristischen Spektrum. Diese wird durch die Absorption von ionisierter Strahlung erzeugt. Dabei wird zwischen zwei Arten von Szintillatoren unterschieden. Es gibt den organischen und anorganischen Szintillator. In diesem Versuch wird ein organischer Szintillator benutzt. Bei diesen wird durch Hilfe der hinzugefügten Energie der einfallenden Strahlung die Atome in einen angeregten Zustand gehoben. Wenn das Atom wieder in seinen normalen Zustand zurück geht, wird Energie in Form von Photonen abgegeben.

2.1.2 Photonenvervielfacher

Die abgegebenen Photonen werden mit Hilfe eines Photonenvervielfacher (PMT) in einen elektrischen Impuls umgewandelt. Dieser besteht aus einer Photokathode, einem Verstärkersystem, das aus mehreren Dynoden besteht und einer Anode. Das Licht, welches durch den Szintillator entstanden ist, trifft durch das PMT-Fenster auf die Photokathode. Dort werden durch den Photoeffekt Elektronen emittiert. Diese werden durch ein elektrisches Feld auf die erste Dynode fokussiert. Beim Auftreffen auf die Dynode wird ein Elektron durch die Emission von Sekundärelektronen vervielfacht. Diese werden darauf auf eine nächste Dynode beschleunigt. Nach mehreren Dynoden, wo diese wieder vervielfacht werden, treffen die Elektronen auf eine Anode. So wird ein Lichtblitz in einen elektrischen Impuls umgewandelt.

2.1.3 Zeit-Amplituden-Konverter (TAC)

Der TAC gibt einen Spannungsimpuls ab, dessen Amplitude proportional zu der Zeit zwischen zwei einlaufenden Impulsen ist.

2.2 Aufbau

Der Aufbau des Versuchs ist in Abbildung 1 dargestellt. An den organischen Szintillator im zylinderförmigen Edelstahltank befinden sich zwei PMT angeschlossen. Diese geben beim der Messung eines Myons einen Impuls ab. Dieser durchläuft ein Schaltsystem bis es in einen Zeit-Amplituden-Konverter (TAC) gemessen wird. Dieses Signal wird dann an einen Vielkanalanalysator weitergeleitet. Der Vielkanalanalysator sortiert die einkommenden Impulse und histogrammiert diese. Die Daten werden dann an einen Computer geleitet und gespeichert.

Da es unterschiedliche Störprozesse gibt werden unterschiedliche Bauelemente eingebaut, um diese zu unterdrücken. Zum einen wird auch durch andere einfallende Teilchen ein Impuls ausgelöst oder auch durch eine spontane Elektronenemission der Photokathode. Diese Signale werden durch einen Diskriminator herausgefiltert. Nach dem Diskriminator werden die Signale von den beiden PMT im Koinzidenz zusammengeführt. Dieser gibt nur ein Signal weiter, wenn von beiden PMT die Signale gleichzeitig ankommen. Danach wird eine logische Schaltung durchlaufen.

2.2.1 Logische Schaltung

Da viele Myonen nicht im Szintillator zerfallen, werden viele Signale ausgelöst, die nicht gezählt werden sollen. Die Schaltung soll die Zeit zwischen zwei Signalen messen, die die Lebensdauer des Myons darstellt. Dabei starten der erste Impuls die Zeitmessung des TACs und das zweite endet diese. Nun darf nur ein Impuls die Zeit stoppen, welcher beim Myonenzerfall entstanden ist und nicht eins, das durch ein anderes Myon entstanden ist, welches danach in den Szintillator gefallen ist. Daher muss nach einer gewissen Zeit, der Suchzeit, die Messung abgebrochen werden und mit einem neuen Impuls gestartet werden. Dazu wird eine monostabile Kippstufe und zwei AND-Gatter verbaut. Das Startsignal stammt aus dem einem AND-Gatter, welches das Signal aus der negierten Kippstufe und die Koinzidenz vergleicht. Von der Koinzidenz führt dasselbe Signal über eine 30 ns Verzögerungsleitung zur Kippstufe und zu einem zweiten AND-Gatter. Das zweite Signal fürs AND-Gatter stammt von der Kippstufe. Das Signal aus diesem AND-Gatter ist für den Stopimpuls zuständig.

Wenn der erste Impuls aus einer Koinzidenz kommt, wird der TAC gestartet, da die beiden Signale, die das erste AND-Gatter erreichen True sind. Nach 30ns kippt die Kippstufe und ein weiteres Signal stoppt die Messung. Der Zeitraum in dem die Kippstufe gekippt bleibt entspricht der Suchzeit. Wenn diese Zeit verstrichen ist stoppt ein weitere Impuls den TAC nicht sondern startet die Messung neu. Um die Anzahl an Start- und Stoppimpulsen zumessen wird jeweils noch ein Impulszähler eingebaut.

3 Durchführung

Der Aufbau wird wie bei Abbildung 1 aufgebaut und justiert. Dabei werden zwischen den Diskriminator und den Koinzidenz Verzögerungsleitungen geschaltet. Diese werden so eingestellt, dass die beiden Impulse, die von einem Myon ausgelöst werden, gleichzeitig die Koinzidenz erreichen. Außerdem wird die Diskriminatorschwelle so eingestellt, dass bei beiden Messkanälen die Impulsrate ungefähr gleich ist. Zum Schluss wird der Vielkanalanalysator kalibriert. Dann wird die eigentliche Messung gestartet. Diese wird ungefähr 48 Stunden durchgeführt.

4 Diskussion