Bastian Löher und Antje Weber

Versuch 2.6 Höhenstrahlung

Versuchsausarbeitung

Oktober 2007

Inhaltsverzeichnis

1	Teil 1.1 1.2 1.3	A: Versuchsaufbau Szintillator Messelektronik Aufbauten 1.3.1 Zeitmessungen 1.3.2 Energiemessungen 1.3.3 Schauermessung	3 3 4 6 7 7
2	Teil 2.1 2.2 2.3 2.4 2.5	B: Messergebnisse Geeichtes Energiespektrum $\dots \dots \dots$	8 8 9 10 12
3	Teil 3.1 3.2	C: Statistik Statistik der Myonenereignisse	l 2 12 13

1 Teil A: Versuchsaufbau

Zuerst wird hier auf die einzelnen Komponenten des Versuchs und warum sie für den Versuch wichtig sind eingegangen. Danach folgt eine Beschreibung des Aufbaus der Komponenten für den jeweiligen Teil des Versuchs.

1.1 Szintillator

Ein Szintillator ist ein Messgerät, mit deren Hilfe Strahlung verschiedener Art gemessen werden kann. Dabei besteht die Detektoreinheit meist aus einer Kombination von Szintillatormaterial und Photomultiplier. Das Szintillatormaterial kann aus anorganischen Substanzen oder organischen Verbindungen (Plastik) bestehen. Diese Materialien bestitzen die Eigenschaft, dass sie zur Emission von Lichtquanten angeregt werden können. Dieses Prinzip wird in unserem Versuch ausgenutzt. Die Atome des Materials werden dabei durch Strahlung oder geladene Teilchen angeregt und so zur Emission gebracht.

Verschiedene Typen

Der Hauptunterschied zwischen organischen-, anorganischen- und Gasszintillatoren liegt im Prozess der Photonenentstehung. So entstehen die Photonen in einen Gasszintillator durch Stöße der durch die Strahlung entstehenden 'Sekundärteilchen' mit den Gasatomen. Die anorganischen Szintillatoren beruhen hingegen auf dem sogenannten 'Lumineszenz-Mechanismus', welcher zur Eigenschaft dieser anorganischen Kristalle gehört. Dazu stellt man sich die unterschiedlichen Energieniveaus der Elektronen im Kristall als Band vor (sog. Bändermodell). Das höchste Elektronenband, welches besetzt ist, wird als Valenzband bezeichnet. Das darüber liegende, meist leere Band ist das Leitungsband. Zwischen Valenz- und Leitungsband besteht je nach Kristalltyp eine unterschiedlich große Energielücke. Diese Lücke kann nur von wenigen Elektronen überwunden werden (kristallabhängig). Durch die Anregung mit Strahlung (Photo-, Comptoneffekt) oder durch geladene Teilchen, werden Elektronen in das Leitungsband gehoben. Diese angeregten Elektronen kehren unter Emission von γ -Quanten in ihren Grundzustand zurück. Um eine Reabsorbtion der emittierten Quanten zu vermeiden, werden die Szintillatorkristalle dotiert, so dass die Energie der emittierten Photonen nicht genügt, um andere Elektronen in das Leitungsband zu heben.

Organische- oder Plastikszintillatoren, wie wir sie in unserem Versuch verwenden, sind hingeben etwas anders aufgebaut. Sie bestehen aus einer durchsichtigen Trägersubstanz zu der der sogenannte 'Aktivator' beigegeben wird. Die durch Strahlung oder geladene Teilchen emittieren Photonen haben so unterschiedliche Energien. Dadurch wird eine Reabsorbtion vermieden, ähnlich wie bei den anorganischen Szintillatoren durch Dotierung. Die 'Lichtausbeute' wird somit vergrößert.

Detektion

Die durch das Szintillatormaterial emittierten Photonen werden durch Reflexion an den verspiegelten Seitenflächen nun zu einem Photomultiplier geleitet. Dort treffen sie auf eine Photokathode und lösen Elektronen aus. Diese werden duch eine anliegende Spannung auf mehrere hintereinander liegende Dynoden beschleunigt, um dort weitere Sekundärelektronen auszulösen. Dieser Prozess dient der Signalverstärkung, denn die vom dem Szintillator stammenden γ -Quanten haben eine zu geringe Energie, um ein ausreichend starkes Signal zu erzeugen, um mit der nachfolgenden Elektronik verarbeitet zu werden.

Aufbau

In diesem Versuch werden drei lange Plastikszinzillatoren mit rechteckigem Querschnitt verwendet, die in einem Stahlrahmen mit jeweils etwa 50 cm Abstand übereinander angeordnet sind. Damit die erzeugten γ -Quanten nicht am Rand des Szintillators absorbiert werden, ist die Oberfläche verspiegelt. Eine Ummantelung mit schwarzer Kunststofffolie verhindert außerdem das Eindringen von Licht. So ist sichergestellt, dass die gemessenen Photonen durch ionisierende Strahlung entstehen. Der Stahlrahmen ist drehbar gelagert, so dass die Detektoren in verschiedenen Winkeln zum Himmel ausgerichtet werden können. Durch den Aufbau mit drei Detektoren Strahlung aus einem kleinen Winkelbereich mittels Koinzidenzmessung identifiziert werden. Daher heißt der Aufbau auch Teleskopdetektor.

1.2 Messelektronik

Die Datenaufnahme im Verlauf unseres Versuches wurde mit einer Reihe elektronischer Messgeräte realisiert. Entscheidend war dabei die richtige Zusammenschaltung sowie die passende Einstellung der Geräte während der verschiedenen Abschnitte der Durchführung. Die Aufgaben der wichtigsten Komponenten der Messelektronik will ich hier kurz beschreiben.

Diskriminator

Der Diskriminator erhält das Rohsignal der Photomultiplier und führt eine Art Vorselektion der Ereignisse durch. Die Signale der Photomultiplier sind sehr unterschiedlich, je nachdem, wieviele Photonen zu einem Signal beigetragen haben. Nur Signale, die stärker als der am Gerät eingestellte Schwellwert sind, werden angenommen. Diese Signale werden vom Diskriminator anschließend gleichförmig gemacht. So ist es möglich, Signale eindeutig zu identifizieren. Die vom Diskriminator ausgegebenen Signale heißen auch logische Signale, weil sie nur noch den Wert 0 (kein Signal) oder 1 (Signal) haben können.

Koinzidenzeinheit

Die logischen Signale mehrerer Diskriminatoren können in der Koinzidenzeinheit mittels logischer Gatter miteinander verknüpft werden. In diesem Versuch werden die Signale mit einem logischen UND verknüft, damit die Koinzidenzeinheit nur dann ein Signal erzeugt, wenn alle Detektoren zur gleichen Zeit ein (ausreichend starkes) Signal gesendet haben. Andere logische Verknüpfungen sind auch möglich, aber für diesen Versuch nicht nötig. Das erzeugte logische Signal wird als Gate für den ADC benutzt. Das bedeutet, dass der ADC nur in dem Zeitraum, in dem auch gleichzeitig das Gatesignal anliegt, das Eingangssignal digitalisiert.

Verstärker

Der Verstärker ist eine wichtige Komponente, da die Ausgangssignale der Photomultiplier noch recht kleine Amplituden haben. Mit Hilfe des Verstärkers wird die Amplitude des Detektorsignals um einen einstellbaren Faktor verstärkt, so dass der ADC die Signale digitalisieren kann. Die Pulsform ändert sich durch die Verstärkung allerdings auch erheblich. Für unseren Versuch war aber die Form des Signals nicht wichtig.

ADC (Analog to Digital Converter)

Das verstärkte Detektorsignal wird im ADC je nach Signalhöhe (also z.B. Energie des kosmischen Teilchens) in einen von 1024 Kanälen einsortiert. Dies geschieht mit einer sehr hohen Frequenz, so dass nur wenige Signale in unserem Versuch nicht aufgenommen werden konnten. Diese Kanäle können während der Versuchslaufzeit mit dem PC ausgelesen und sofort in einem Histogramm dargestellt werden.

TAC (Time to Amplitude Converter)

Um den Zeitunterschied zwischen zwei Ereignissen genau zu bestimmen, wird ein TAC verwendet. Über einen Start- und Einen Stopp-Eingang wird die Zeitmessung gesteuert. Erreicht ein Signal den Start-Eingang, so beginnt die Zeitmessung. Beim Eintreffen des Stoppsignals wird über am Ausgang ein Signal generiert, dessen Amplitude der gemessenen Zeit entspricht. Dieses kann mit einem ADC weiterverarbeitet werden. Erhält der TAC nicht rechtzeitig ein Stoppsignal, so wird kein Ausgangssignal generiert und wieder auf ein Startsignal gewartet. Wichtig ist

1 Teil A: Versuchsaufbau

außerdem, dass der TAC eine bestimmte Mindestzeit zwischen Start- und Stoppsignal benötigt, um überhaupt ein Signal auszugeben.

Delay

Mit einem Delay wird das Signal verzögert. Delays bestehen im Allgemeinen aus aufgewickelten oder aufgespulten Kabeln. Pro Meter Kabellänge wird das Signal um 5ns verzögert. So lässt sich z.B. das Stoppsignal für den TAC verzögern.

1.3 Aufbauten

Während des Versuchs wurden sehr unterschiedliche Messungen durchgeführt. Hierzu waren verschiedene Messaufbauten nötig.

1.3.1 Zeitmessungen

Zeiteichung

Bei der Zeiteichung wird jedem Kanal des ADC ein fester Zeitwert zugeordnet. Ein bestimmtes Signal wird dazu auf zwei Leitungen aufgespalten. Die eine Leitung führt zum Starteingang des TAC, die andere zunächst durch ein variables Delay und dann in den Stoppeingang des TAC. Am Ausgang des TAC folgt der ADC. Im Versuch haben wir zur Eichung 3 verschiedene Delayeinstellungen verwendet, die im Spektrum als scharfe Peaks aufgetreten sind.

Bestimmung des Zeitausgleichs

Die Detektoren 1 und 3 (der obere und der untere) haben verschieden lange Signalwege. Um aber die Geschwindigkeitsmessung durchzuführen, muss dieser Unterschied durch ein Delay ausgeglichen werden. Detektor 1 gibt über ein variables Delay das Startsignal an den TAC, während Detektor 3 über ein festes Delay mit einer längeren Verzögerung (16ns) das Stoppsignal liefert. Die Quelle, die die ionisierende Strahlung aussendet liegt in der Mitte zwischen den Detektoren.

Für eine zweite Messung wird das feste Delay hinter das variable Delay geschaltet und die Eingänge am TAC vertauscht. So wird die Zeitverzögerung in der anderen Richtung gemessen.

Zwischen den beiden Aufbauten wird nun hin und her gewechselt und das variable Delay so korrigiert, dass der Schwerpunkt der Peaks beider Messungen übereinander liegt. Dann ist am variablen Delay der korrekte Zeitausgleich eingestellt und die Geschwindigkeitsmessung kann beginnen.

Bestimmung der Geschwindigkeit von γ -Strahlung

Der Aufbau ähnelt dem zur Bestimmung des Zeitausgleichs, nur liegt die Quelle nun oberhalb des oberen Detektors, so dass die Strahlung den Weg zwischen den Detektoren zurücklegen muss, um das Stoppsignal zu erzeugen. Über die Koinzisdenzmessung kann die Flugzeit der γ -Quanten bestimmt werden.

1.3.2 Energiemessungen

Energieeichung

Zur Energieeichung wird die 22 Na Quelle auf einen der Szintillatoren gelegt und über den Diskriminator und den ADC direkt das Energiespektrum aufgenommen. Da die Lage der Comptonkanten von 22 Na bekannt ist, kann dann jedem Kanal des ADC eine Energie zugewiesen werden.

Energiemessung von Myonen

Der Aufbau zur Energiemessung ist kompliziert, da nur Myonen, die senkrecht von oben einfallen, registriert werden sollen. Es wird deshalb eine Koinzidenzeinheit benutzt, mit der der oberste und unterste Detektor in Koinzidenz geschaltet wird. Das Gate-Signal der Koinzidenzeinheit wird benutzt, um den ADC zu schalten. Das Signal des mittleren Detektors wird verstärkt und vom ADC aufgenommen, während das Gate-Signal anliegt. Falls einer der drei Detektoren kein Ereignis im Koinzidenzintervall registriert, dann liegt kein echtes Myonenereignis vor und es wird auch kein Count im ADC gespeichert.

Messung der Winkelverteilung

Der Aufbau der Energiemessung wird beibehalten, jedoch wird der Detektorrahmen exakt in Nord-Süd Richtung ausgerichtet und jeweils um 30° bzw. 60° in positive wie in negative Richtung verkippt. So werden insgesamt (zusammen mit der Energiemessung bei 0°) fünf Werte gemessen, mit denen die Winkelverteilung der Myonenintensität durch eine $\cos^{n}(\theta)$ Funktion angenähert werden kann.

1.3.3 Schauermessung

Bei der Schauermessung wird über einen Zeitraum von fast vier Tagen ein Zeitspektrum der Myonenintensitäten gemessen. Dazu wird der Detektor waagerecht ausgerichtet und die beiden äußeren Detektoren gegenseitig in Koinzidenz geschaltet. Dadurch wird die Ereignisrate auf Ereignisse eingeschränkt, die zugleich an verschiedenen Orten auftreten. Es wird dabei ausgenutzt, dass bei einem Myonenschauer die Ereignisse zeitgleich über eine große Fläche verteilt auftreten.

2 Teil B: Messergebnisse

In diesem Teil sind die Erkenntnisse aus den Messergebnissen dieses Versuchs dargestellt. Es folgt jeweils eine kurze Erläuterung.



2.1 Geeichtes Energiespektrum

Abbildung 1: Energieeichung

Mit Hilfe der Lage der Comptonkanten von 22 Na bei 341 keV und 1062 keV, die im Energiespektrum (Abb. 1) sehr gut zu sehen sind, konnte die Eichung durchgeführt werden. Für folgende Energiemessungen ist jetzt jedem Kanal eindeutig eine Energie zugewiesen.

2.2 Energiespektrum von Myonen

In Abb. 2 ist das gemessene Energiespektrum von Myonen zu sehen. Die Messzeit betrug hier eine Stunde. Da das eigentliche Spektrum aufgrund der wenigen Ereignisse wenig ausgesagt hat, wurden zur Veranschaulichung jeweils 16 Kanäle zu



Abbildung 2: Energiespektrum (BIN-Größe 16)

einem BIN zusammengefasst. Es leidet darunter zwar die Energieauflösung, aber die Verteilung der Energien wird dafür umso deutlicher hervorgehoben.

2.3 Geschwindigkeit von γ -Strahlung

Als Zeitausgleich zwischen den beiden Signalwegen des oberen und unteren Detektors wurde eine Zeit von 7.5 ns bestimmt. Ein Delay mit genau dieser Verzögerung wurde für diese Messung dem unteren Detektor direkt nachgeschaltet, um dessen Signalweg dem des oberen Detektors anzugleichen. Durch zwei Messungen wurde dann jeweils die Summe der Zeitverzögerung des festen Delays (16 ns) und der Flugzeit der γ -Quanten aufgenommen. In Abb. 3 sind beide Messungen in einem Diagramm dargestellt. Die Schwerpunkte der Peaks liegen bei 15.9 ns und 17.6 ns. Daraus ergibt sich eine Differenz Δt von 1.1 ns. Dies ist die doppelte Flugzeit der Gammas. Um die tatsächliche Flugzeit zu bestimmen, wird dieser Wert durch zwei geteilt und wir erhalten als Flugzeit $t_{\gamma} = 0.65 \, ns.$

Wird als Geschwindigkeit von γ -Strahlung die Lichtgeschwindigkeit $c = 2.998 \cdot 10^8 \frac{m}{s}$ angenommen, so errechnet sich die Flugzeit für die Strecke zwischen den



Abbildung 3: Geschwindigkeit von γ -Strahlung

Detektoren (s = 1 m) über die Gleichung

$$t_{\gamma} = \frac{s}{c} \tag{1}$$

Mit den obigen Werten ergibt dies als Flugzeit $t_{\gamma} = 3.34 \, ns$, also einen fünf mal höheren Wert.

Fehlerrechung für die beiden Peaks ergibt eine Standardabweichung von etwa 4 ns, so dass die berechnete Flugzeit in diesen Fehlerbereich hineinfällt. Mit dem gegebenen Aufbau und unserer Durchführung ist also keine richtige Geschwindigkeitsbestimmung von γ -Strahlung möglich.

2.4 Intensitätswinkelverteilung

In Abb. 4 sind die gemessenen Werte der Intensitäts-Winkelverteilung graphisch aufgetragen. Die Verteilung folgt einer $\cos^n(\theta)$ -Funktion. Um den Parameter nzu erhalten, werden die Messwerte via $a \cdot \cos^b(\theta)$ gefittet. Als Ergebnis des Fits



Abbildung 4: Intensitäts-Winkelverteilung

erhalten wir: a = 83.0734 mit $\Delta a = \pm 19.98$ und b = 1.90111 mit $\Delta b = \pm 1.198$. Also haben wir eine $\cos^{1.9}(\theta)$ -Verteilung (Literatur: $\cos^2(\theta)$).

Bei der Schauermessung wurden Koinzidenzen von seitlich in die Detektoren einfallenden Myonen gemessen. Es ist anzunehmen, dass auch während der Energiemessungen zufällig Koinzidenzen senkrecht, zur eigentlich Messrichtung, einfallenden Myonen aufgetreten sind. Diesen störenden Anteil des Untergrundes versuchen wir zu berücksichtigen, indem die Messergebnisse der Winkelverteilung $I(\theta)$ bereinigt werden.

$$I'(\theta) = I(\theta) - \bar{I}_s(t)\sin(\theta)$$
⁽²⁾

 $I_s(t)$ kennzeichnet hierbei die über mehrere Tage gemittelte Schauerintensität zur selben Uhrzeit, zu der auch die Energiemessung stattgefunden hat. Diese wird je nach Winkel θ von der gemessenen Intensität $I(\theta)$ subtrahiert. In Abb. 5 sind die bereinigten Werte zusammen mit dem Fit ($a = 105.082 \pm 12.7 \ b = 8.05 \pm 2.06$) aufgetragen. Es ist deutlich zu sehen, dass durch die Bereinigung der Fit nur schlechter geworden ist. Eine zweite einfachere Art, die Messpunkte zu bereinigen wäre, den berechneten Untergrund von der gemessenen Intensität abzuziehen, ohne den Winkel zu berücksichtigen. Dadurch würde sich aber die Anzahl der verwertbaren Messpunkte von 5 auf 2 reduzieren, so dass eine vernünftige Auswertung nicht mehr möglich ist. Aus diesem Grund ist hier auf eine Darstellung verzichtet worden.

3 Teil C: Statistik



Abbildung 5: Intensitäts-Winkelverteilung bereinigt

2.5 Vergleich der Zählraten

Um die Zählraten zwischen Schauer- und Energiemessung vergleichen zu können, wird erst ein auf counts pro Stunde normierter Mittelwert \bar{I}_s der Schauerzählraten, die zur selben Uhrzeit wie die Energiemesswerte aufgenommen wurden, gebildet. Es ergibt sich eine Zählrate von etwa 158 counts pro Stunde. Dieser Wert muss noch auf 30% verringert werden, da bei der Schauermessung nur mit 2-fach Koinzidenz gemessen wurde, gegenüber der 3-fach Koinzidenz bei der Energiemessung. Effektiv erhalten wir eine Rate von etwa 47 counts pro Stunde. Bei der Energiemessung beträgt die Zählrate aber 105 counts pro Stunde und ist damit um den Faktor zwei größer. Die Erklärung hierfür ist, dass für ein Ereignis bei der Schauermessung zwei Myonen nötig waren, wogegen bei der Energiemessung jedes Myon gezählt worden ist.

3 Teil C: Statistik

3.1 Statistik der Myonenereignisse

Zur Statistik der Myonenereignisse ist eine Auswertung nicht möglich, weil wir die entsprechende Messung nicht durchgeführt haben.

3 Teil C: Statistik



3.2 Zeitlicher Intensitätsverlauf der Schauer

Abbildung 6: Zeitlicher Intensitätsverlauf der Schauerereignisse

Der zeitliche Intensitätsverlauf der Schauerereignisse ist in Abb. 6 gezeigt. Zwischen 24 und 0 Uhr ist jeweils eine Trennmarkierung eingetragen. Es ist deutlich zu sehen, dass die Schauerintensität tageszeitabhängig ist.