

Physikalisches Praktikum für Fortgeschrittene
Versuch 2.6, Abteilung C

Höhenstrahlung

von

Ilja Homm und Thorsten Bitsch

Durchgeführt am: 24.10.2011
Betreut von: Andreas Krugmann

Inhalt

1	Einleitung	2
1.1	Geschichtlicher Hintergrund	2
1.2	Physikalische Grundlagen	2
2	Versuchsaufbau	4
2.1	Detektor	4
2.2	Messelektronik	5
2.2.1	Diskriminator	5
2.2.2	Koinzidenzeinheit	6
2.2.3	Time-to-Amplitude-Converter	6
2.2.4	Analog/Digital-Wandler	7
2.2.5	Verstärker	7
3	Durchführung	8
3.1	Energie- und Winkelverteilung von Myonen	8
3.1.1	Energieeichung	8
3.1.2	Winkelverteilung	9
3.1.3	Energiespektrum von Myonen	9
3.2	Geschwindigkeitsmessung	9
3.2.1	Zeitausgleich und Zeiteichung	9
3.2.2	Messung der Lichtgeschwindigkeit	10
3.2.3	Messung der Myonen-Geschwindigkeit	11
3.3	Schauermessung	11
4	Auswertung	12
4.1	Energie- und Winkelverteilung von Myonen	12
4.1.1	Winkelverteilung	12
4.1.2	Energieeichung	12
4.1.3	Energiespektrum von Myonen	14
4.2	Geschwindigkeitsmessung	14
4.2.1	Messung der Lichtgeschwindigkeit	14
4.2.2	Messung der Myonen-Geschwindigkeit	15
4.3	Schauermessung	15
4.4	Fazit	17

1 Einleitung

Das vorliegende Protokoll behandelt den Nachweis und die Eigenschaften der kosmischen Strahlung (auch Höhenstrahlung genannt). Ziel des Versuchs ist es verschiedene Folgeeffekte der kosmischen Strahlung zu untersuchen und sich mit den Möglichkeiten der vorliegenden Messtechnik auseinanderzusetzen. Dazu werden folgende Teilversuche durchgeführt:

1. Messung des Myoneneinfalls unter verschiedenen Azimutwinkeln
2. Messung des Energieverlustspektrums von Myonen der Sekundärstrahlung
3. Bestimmung der Lichtgeschwindigkeit mit Hilfe von γ -Quanten
4. Bestimmung der Geschwindigkeit von Myonen der Sekundärstrahlung
5. Langzeitmessung von Teilchenschauern

1.1 Geschichtlicher Hintergrund

Die Höhenstrahlung wurde 1912 von Victor Franz Hess entdeckt, als er den Ursprung der ionisierenden Strahlung auf der Erdoberfläche untersuchte. Mit Hilfe einer Ionisationskammer und einem Ballon untersuchte er den Zusammenhang von Zählraten in Abhängigkeit von der Entfernung zur Erdoberfläche. Bis zu einer Steighöhe von etwa 700 Metern konnte er eine Abnahme der Zählraten feststellen, jedoch nahmen diese bei größerer Steighöhe wieder zu, was der Beweis für die Existenz extraterrestrischer Strahlung war. 1936 erhielt er für seine Entdeckung den Nobelpreis für Physik.

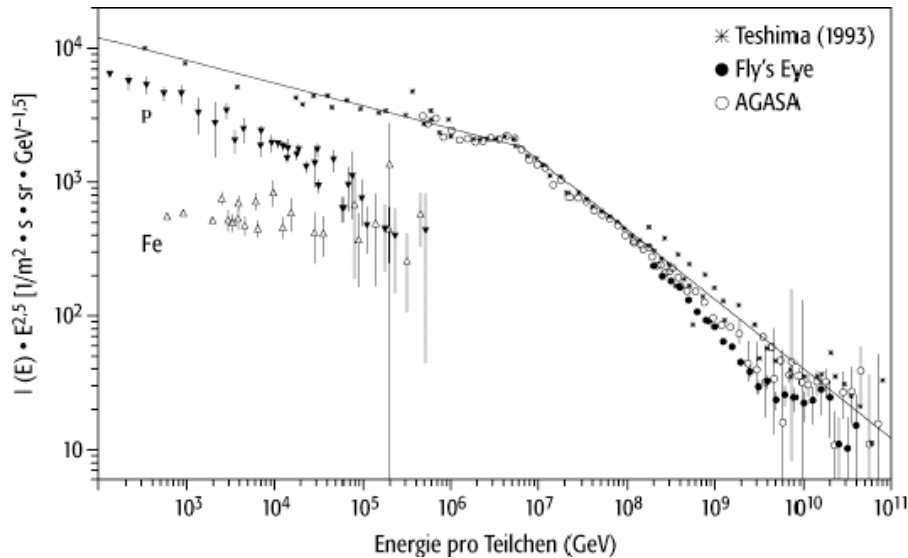
1.2 Physikalische Grundlagen

Bei der kosmischen Strahlung wird zwischen Primär- und Sekundärstrahlung unterschieden. Die Primärstrahlung besteht zu 99% aus Protonen und α -Teilchen und 1% aus Elektronen, die ihren Ursprung im extraterrestrischen Raum haben.

Gleichung (1) beschreibt den bei der Erdatmosphäre ankommenden Teilchenfluss.

$$\frac{dN}{dE} \sim E^{-\gamma} \text{ mit } \gamma = \begin{cases} 3,0 \text{ wenn} & E > 10^{15} \text{ eV} \\ 2,7 \text{ wenn} & E \leq 10^{15} \text{ eV} \end{cases} \quad (1)$$

Grafik 1 zeigt das Energiespektrum der Primärstrahlung. Denn Knick im gedachten Kurvenverlauf wird Knie genannt. Oberhalb der 10^{20} eV ist der weitere Kurvenverlauf nicht genau bekannt.



Grafik 1: Energiespektrum der Primärstrahlung
 Quelle: <http://www.technikerlexikon.net>

Die Sekundärstrahlung entsteht auf Grund der Wechselwirkung von der Primärstrahlung mit den Bestandteilen der Erdatmosphäre. Dabei entstehen ganze Schauer von Pionen, Myonen, Elektronen und Neutrinos.

Gleichungen (2) und (3) zeigen die möglichen Reaktionen von Protonen mit Nukleonen in der Atmosphäre.

$$p + n \rightarrow \begin{cases} p + n + \pi^0 \\ p + p + \pi^- \\ n + n + \pi^+ \end{cases} \quad (2)$$

$$p + p \rightarrow \begin{cases} p + p + \pi^0 + \pi^0 \\ p + n + \pi^+ \\ n + n + \pi^+ + \pi^+ \end{cases} \quad (3)$$

Die neutralen Pionen zerfallen in γ -Quanten. Ein positives Pion zerfällt in ein μ^+ und ein Neutrino (ν_μ), ein negatives Pion in ein μ^- und ein entsprechendes Antineutrino.

Dies ist der Grund dafür, dass lediglich Neutrinos und Myonen die Erdoberfläche erreichen. Neutrinos reagieren nur auf die schwache Wechselwirkung und sind nur sehr schwer bis garnicht zu messen. Auf Grund ihrer hohen Geschwindigkeit und Ladung sind Myonen auf der Erdoberfläche messbar. Wegen der Zeitdilatation besitzen sie im Bezugssystem der Erde eine

deutlich größere Halbwertszeit als in Ruhe, sodass sie zu einem großen Teil nicht zerfallen bevor sie die Erdoberfläche erreichen. Wegen ihrer Ladung sind sie in der Lage Elektronen anzuregen, was ihre Detektierbarkeit mit z.B. Szintillationszählern gewährleistet.

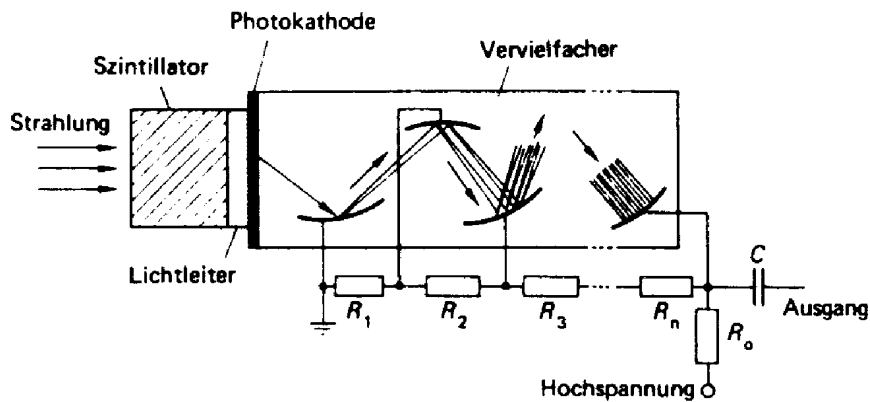
2 Versuchsaufbau

Im Folgenden Kapitel wird die im Versuch verwendete Messtechnik behandelt, da diese ein Lernzielschwerpunkt des Versuchs darstellt. Die Messapparaturen bestehen neben den Detektoren aus einer Reihe elektronischer Elemente, die jeweils unterschiedliche Aufgaben erfüllen. Im Wesentlichen geht es darum, einen rein analogen Spannungsabfall in ein Signal umzuwandeln, welches von einem Rechner erfasst und verarbeitet werden kann.

Die Detektoreinheit besteht aus 3 Detektoren und ist drehbar gelagert. Sie wird in Verbindung einer Koinzidenzeinheit auch Teleskopdetektor genannt, da sie auf bestimmte Winkel ausgerichtet werden kann. Somit kann sie Strahlung aus einer wohl definierten Richtung registrieren. Detektor 2 (mittlerer Detektor) wird lediglich zur Energiemessung verwendet. Die Detektoren 1 und 3 werden zur Geschwindigkeitsmessung verwendet und dienen lediglich als Signalgeber, falls ein Ereignis in beiden registriert wird.

2.1 Detektor

Als Detektor dienen im behandelten Versuch mehrere Plastik-Szintillationszähler. Diese bestehen im Wesentlichen aus Kunststoff, welches mit Szintillatormaterial dotiert ist. Dieses sendet durch elektromagnetische Anregung (z.B. durch ionisierende Strahlung) Lichtquanten aus, die mit Hilfe eines Photomultipliers zu messbaren Spannungsabfällen verarbeitet werden.

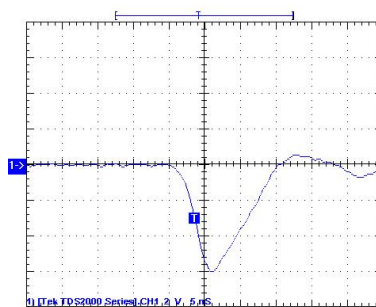


Grafik 2: prinzipieller Aufbau eines Szintillationsdetektors
 Quelle: <http://www.univie.ac.at>

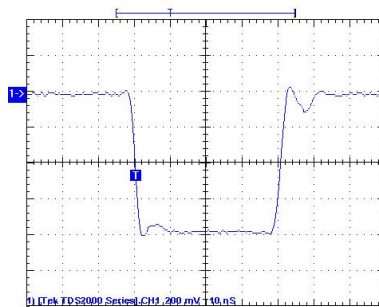
2.2 Messelektronik

2.2.1 Diskriminator

Erreicht ein Signal den Diskriminator, so gibt dieser ein logisches Signal (z.B. Rechtecksignal) weiter, wenn das Eingangssignal einen regelbaren Schwellwert überschreitet. Auf diese Weise kann gewährleistet werden, dass nur Strahlung oberhalb einer bestimmten Energie gemessen wird. Beispielsweise kann so ein Teil der Untergrundstrahlung herausgefiltert werden, was zu einer Verringerung der Messfehler führt.



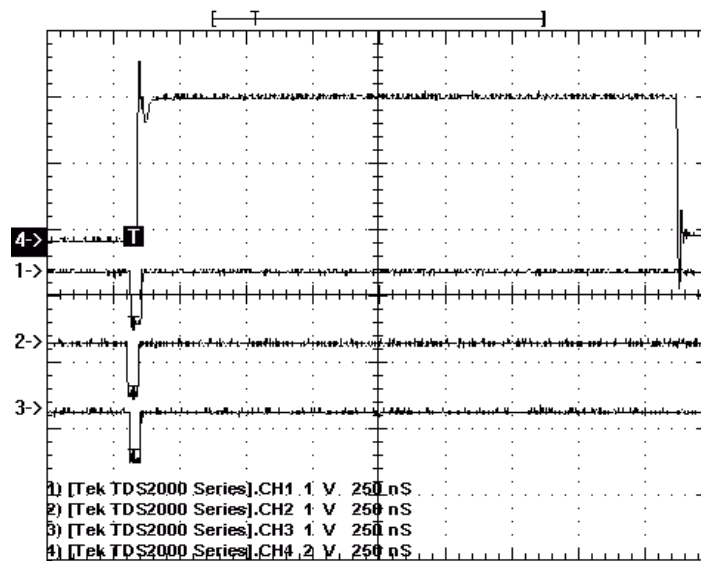
Grafik 3: Ausgangssignal des Photomultipliers
 Quelle: Versuchsanleitung C2.6 Höhenstrahlung



Grafik 4: Ausgangssignal des Diskriminators bei Schwellwertüberschreitung
 Quelle: Versuchsanleitung C2.6 Höhenstrahlung

2.2.2 Koinzidenzeinheit

Die Koinzidenzeinheit hat mehrere Eingangskanäle und einen Ausgangskanal. Sie gibt erst dann ein logisches Signal weiter, wenn mehrere Signale auf unterschiedlichen Kanälen gleichzeitig eingeht.

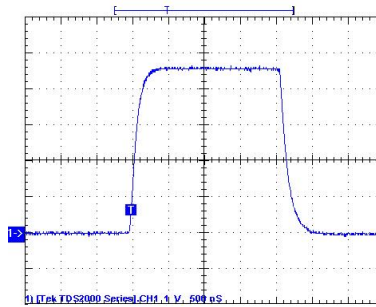


Grafik 5: Eingangssignale und Ausgangssignal des Diskriminators
 Quelle: Versuchsanleitung C2.6 Höhenstrahlung

2.2.3 Time-to-Amplitude-Converter

Der Time-to-Amplitude-Converter (kurz TAC) besitzt einen Start- und einen Stoppkanal. Geht ein Signal am Startkanal ein, so öffnet der TAC ein Zeit-

fenster. Ein Signal, das am Stoppkanal eingeht schließt das Zeitfenster. Der TAC gibt dann ein Signal aus, dessen Amplitude proportional zur Größe des Zeitfensters ist. Der TAC ermöglicht auf diese Weise elektronische Zeitmessungen.



Grafik 6: Ausgangssignal des TAC
Quelle: Versuchsanleitung C2.6 Höhenstrahlung

2.2.4 Analog/Digital-Wandler

Der Analog/Digital-Wandler (auch ADC) wandelt eingehende Analogsignale in digitale Signale um, sodass sie von einem Rechner erfasst werden können.

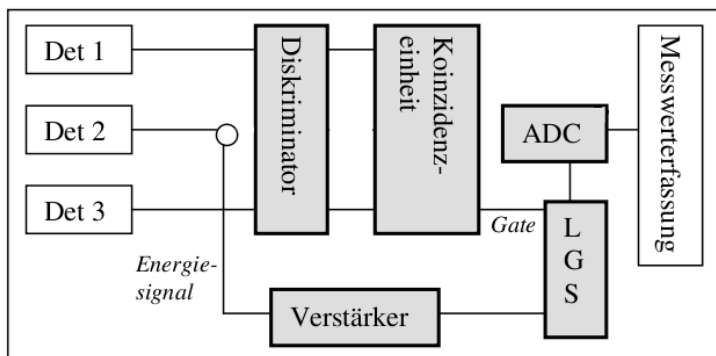
2.2.5 Verstärker

Der Verstärker verstärkt das analoge Eingangssignal und glättet es, sodass es vom ADC leicht verarbeitet werden kann.

3 Durchführung

3.1 Energie- und Winkelverteilung von Myonen

Gemessen wurde die Winkelverteilung und das Energiespektrum der, von der Primärstrahlung erzeugten, Myonen. Beide Messungen wurden gleichzeitig mit ein und demselben Messaufbau durchgeführt.



Grafik 7: Schaltskizze der Messtechnik für die Energie- und Winkelverteilungsmessung

Quelle: Versuchsanleitung C2.6 Höhenstrahlung (leicht verändert)

Grafik 7 zeigt den Aufbau den verwendeten Messaufbau. Dieser war so aufgebaut, dass wenn ein Myon nacheinander durch Detektor 1, 2 und 3 durchlaufen hat, die Messelektronik ein Ereignis mit entsprechender Energie registriert hat. LGS steht für Linear Gate Stretcher, welcher im Versuch verwendeten Verstärker implementiert ist. Der LGS dehnt ein einkommendes Signal zeitlich, sodass es leichter zu verarbeiten ist.

3.1.1 Energieeichung

Die verwendete Software erfasst lediglich Werte für bestimmte Eingangskanäle der Schnittstelle zwischen ADC und Rechner. Die Kanäle mussten vor Beginn der eigentlichen Messung auf eine Energieskala geeicht werden. Dies wurde mit Hilfe einer Na-22 Quelle durchgeführt, welche beim Zerfall zwei γ -Quanten gleicher Energie aussendet. Der Schwellwert des Diskriminators wurde auf 11 mV geregelt. Die radioaktive Quelle wurde direkt auf Detektor 2 platziert, um möglichst viel der Strahlung einzufangen. Anschließend wurde das Energiespektrum 120 Sekunden lang gemessen. Die bekannten

Comptonkanten wurden im Energiespektrum lokalisiert und die Skala geeicht (siehe Auswertung). Anschließend wurde die Quelle entfernt.

3.1.2 Winkelverteilung

Um die Azimutwinkelverteilung von Myonen zu messen, wurde zunächst der Schwellwert des Diskriminators auf 140 mV geregelt, um die Untergrundstrahlung herauszufiltern. Die Detektoreinheit wurde mit Hilfe eines Kompasses so ausgerichtet, dass nur Myoneneinfall aus Ost-, bzw. West-Richtung gemessen wurde. Anschließend wurde jeweils 600 Sekunden lang unter den Winkeln +60 Grad (Ost), +30 Grad (Ost), 0 Grad (Zenit), -30 Grad (West), -60 Grad (West) die Anzahl der gemessenen Myoneneinfälle registriert.

3.1.3 Energiespektrum von Myonen

Um das Energiespektrum von Myonen aufzunehmen, wurde die Detektoreinheit auf den Zenit gerichtet und die Energieverteilung ca. 1 Stunde lang gemessen.

3.2 Geschwindigkeitsmessung

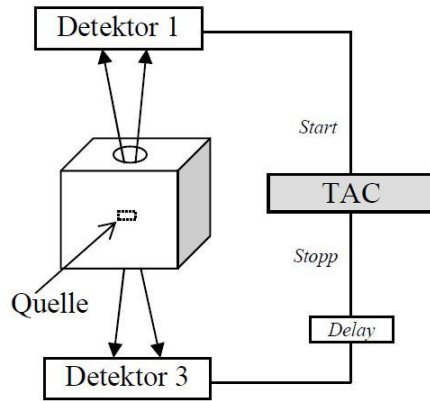
Um die Lichtgeschwindigkeit, bzw. die Geschwindigkeit von Myonen zu messen wurde eine andere Messtechnik wie bei der Messung der Energie- und Winkelverteilung verwendet. Es wurde zunächst lediglich mit Detektor 1 und 3 gemessen. Bei der Registrierung eines Ereignisses hat immer einer der Detektoren im TAC ein Zeitfenster geöffnet und der andere geschlossen.

3.2.1 Zeitausgleich und Zeiteichung

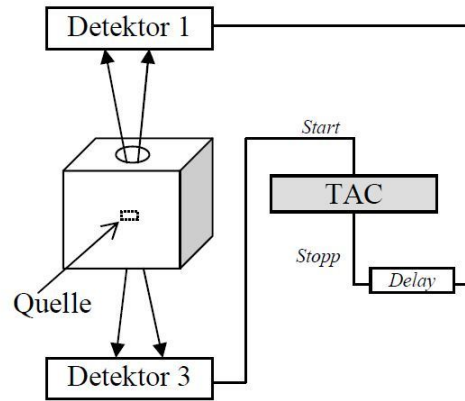
Vor der Geschwindigkeitsmessung muss dafür gesorgt werden, dass die Signale die gleichen Kabellängen durchlaufen, um so Fehler bei der Messung zu vermeiden. Dafür werden zwei Messungen von jeweils 120 Sekunden gestartet, bei denen einmal Detektor 1 das Startsignal gibt und Detektor 3 mit einer Delayeinheit versehen wird und umgekehrt (siehe Grafik 8). Die Start- und Stoppsignale werden von den beiden Gammaquanten des Na 22 ausgelöst. Daraufhin wird, ähnlich wie in 3.1, eine Zeiteichung durchgeführt, bei der den 1024 Kanälen bestimmte Zeiten in der Größenordnung von Nanosekunden zugeordnet werden. Den Kanälen 24, 51, 78 und 91 entsprechen die Zeiten 10, 20, 30 und 35 ns. Mit diesen Werten entsteht durch einen linearen Fit eine Ausgleichsgerade in der Form:

$$f(x) = 0,37246x + 1,02991 \quad (4)$$

Messung 1:



Messung 2:



Grafik 8: Zeitausgleich für die Geschwindigkeitsmessung
Quelle: Versuchsanleitung C2.6 Höhenstrahlung

3.2.2 Messung der Lichtgeschwindigkeit

Für die Messung der Lichtgeschwindigkeit wird der Messaufbau ein wenig modifiziert (siehe Grafik 9). Dabei wird das Natrium auf den Detektor 1 gelegt, der Verstärkungsfaktor auf 200 gestellt und der Schwellenwert, um eine Verfälschung durch die Untergrundstrahlung zu vermeiden, auf 11mV gestellt. Dann werden zwei Messungen gestartet, bei denen wieder jeweils einmal der 1. Detektor und einmal der 3. Detektor das Start- bzw. Stoppsignal geben. Bei der ersten Messung ist die Zeitdifferenz zwischen Start- und Stoppsignal gegeben durch die Summe aus Delayzeit und der Flugzeit

$$\Delta t_1 = t_D + t_F. \quad (5)$$

Bei Messung 2 ist es die Differenz zwischen den beiden

$$\Delta t_2 = t_D - t_F. \quad (6)$$

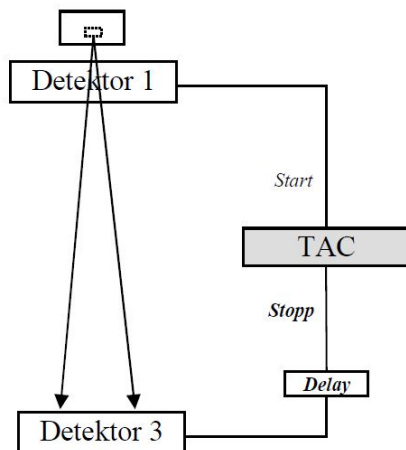
Durch Umstellen beider Gleichungen nach t_D und anschließendes Gleichsetzen, ergibt sich die Flugzeit

$$t_F = \frac{\Delta t_1 - \Delta t_2}{2}. \quad (7)$$

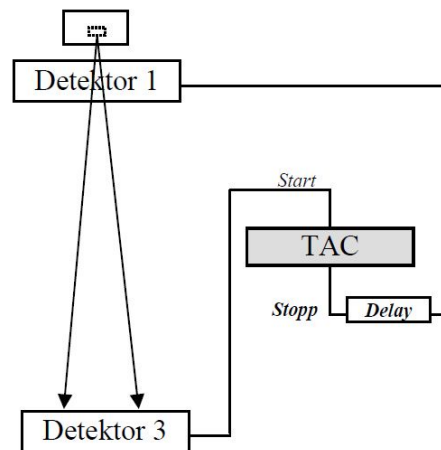
3.2.3 Messung der Myonen-Geschwindigkeit

Der Messaufbau bleibt bei der Geschwindigkeitsmessung der Myonen derselbe, außer dass die Natriumquelle vom 1. Detektor entfernt, der Verstärkungsfaktor auf 50 und der Schwellenwert auf 140mV gestellt wird.

Messung 1:



Messung 2:



Grafik 9: Geschwindigkeitsmessung
Quelle: Versuchsanleitung C2.6 Höhenstrahlung

3.3 Schauermessung

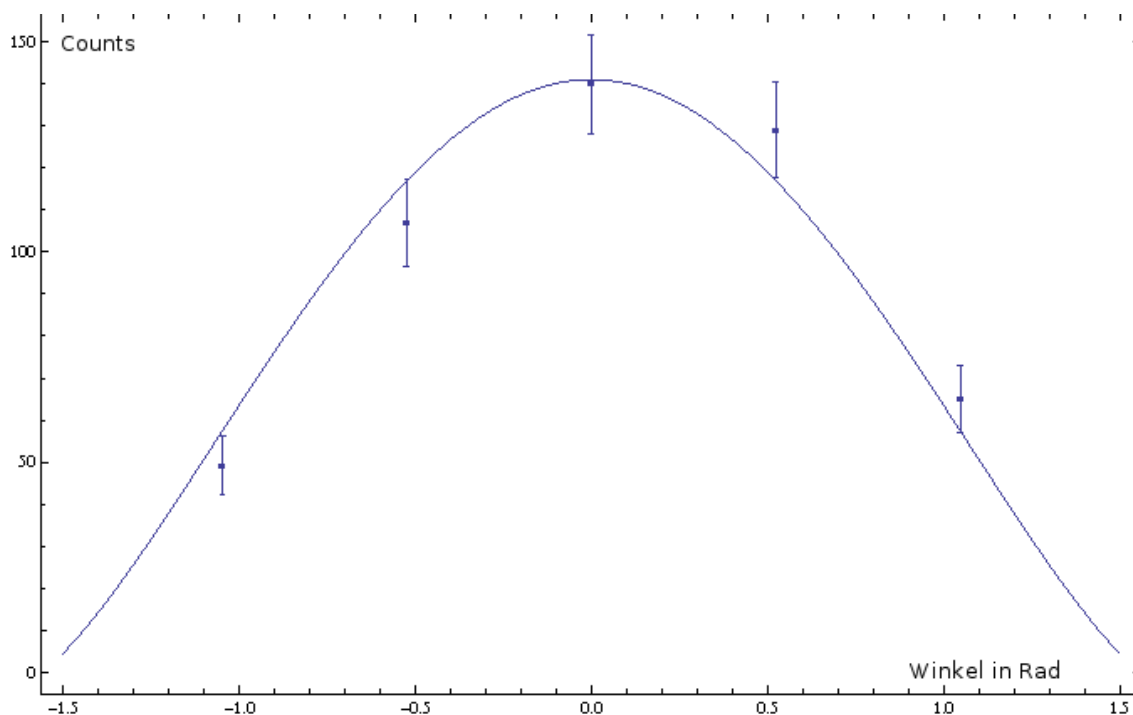
Zur Schauermessung wurde die Detektoreinheit horizontal (90 Grad zum Zenit) ausgerichtet. Detektor 1 und 3 wurden auf zweifach-Koinzidenz geschaltet. Die Messung lief 7 Tage und die gemessenen Datensätze wurden alle zwei Stunden gespeichert und zurück gesetzt. Die Messung wurde am 24.10.2011 um 15:59 Uhr gestartet und am 31.10.2011 um 8:31 Uhr beendet.

4 Auswertung

4.1 Energie- und Winkelverteilung von Myonen

4.1.1 Winkelverteilung

Der Datensatz für die Messung unter dem Winkel +30 Grad(Ost) enthielt auf Kanal-Nr. 1024 insgesamt über 10000 Counts. Dieser Messwert ist vermutlich ein Messfehler und wurde in der folgenden Auswertung nicht berücksichtigt. Für die Winkelverteilung der Myonenstrahlung lässt sich eine $\cos^n(\theta)$ -Abhängigkeit zeigen.



Grafik 10: Winkelverteilung der Höhenstrahlung mit Fehlerbalken und Fit

Als Fit-Funktion ergibt sich:

$$f(x) = 140,972 \cdot \cos^{1,295 \pm 0,227}(x) \Rightarrow n = 1,295 \pm 0,227 \quad (8)$$

Als Fehler für die N Counts wird $\Delta N = \sqrt{N}$ angenommen.

4.1.2 Energieeichung

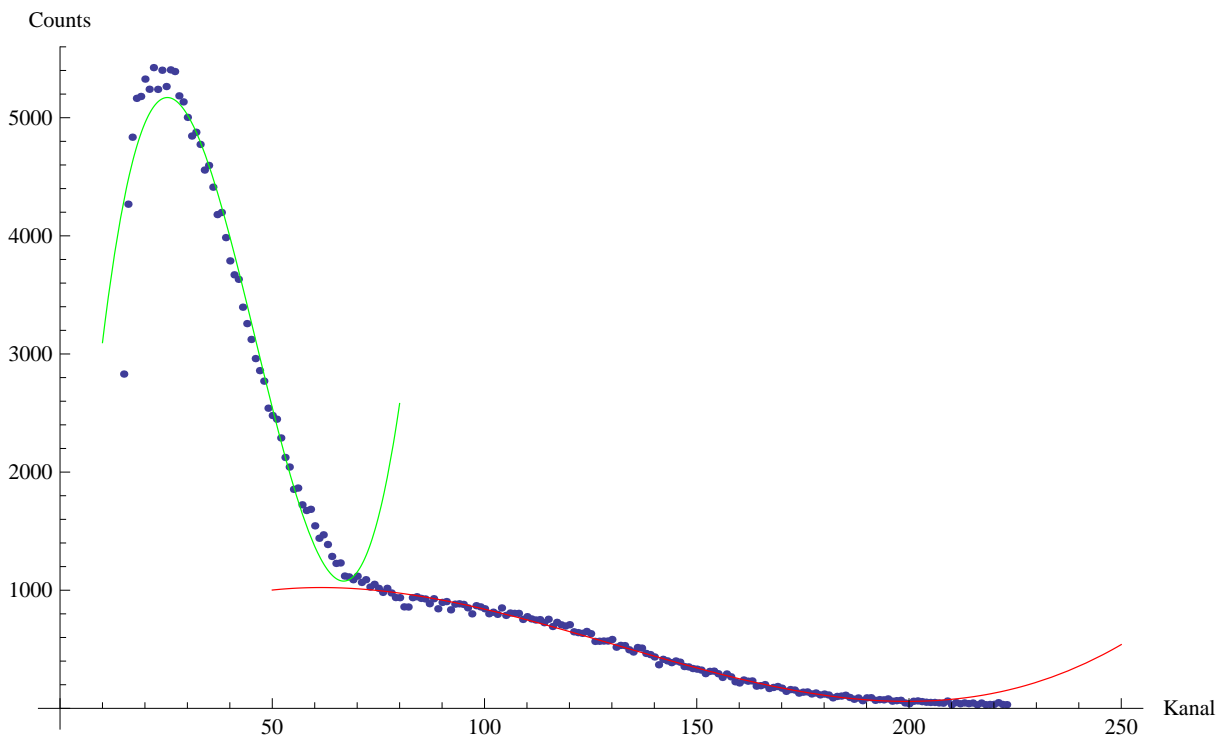
Die Compton-Kanten des Na-22-Zerfalls sind bekannt. Sie befinden sich bei $E_1 = 341 \text{ keV}$, bzw. $E_2 = 1062 \text{ keV}$. Im Zerfallsspektrum von Na-22

befinden sich die Comptonkanten an den Wendepunkten des gedachten Kurvenverlaufs. Es werden zwei Polynome 3. Ordnung an die Messpunkte gefittet und die Wendepunkte (K_1, K_2) bestimmt.

Die Polynome sind:

$$f_1 = 277.412 + 27.005x - 0.287x^2 + 0.00073x^3 \quad (9)$$

$$f_2 = -1237.382 + 579.963x - 15.807x^2 + 0.114x^3 \quad (10)$$



Grafik 11: Energiespektrum von Na-22 mit Fit-Polynomen

$f_1 \rightarrow$ rot, $f_2 \rightarrow$ grün

Im durchgeführten Versuch werden auf der Kanalskala die Werte $K_1 = 46,048$ und $K_2 = 130,525$ den o.g. Energien zugeordnet. Da $K \rightarrow E$ proportional ist, ergibt sich für die Umrechnung für die gesetzten Werte:

$$E(K) = [a \cdot K + b] \quad (11)$$

mit

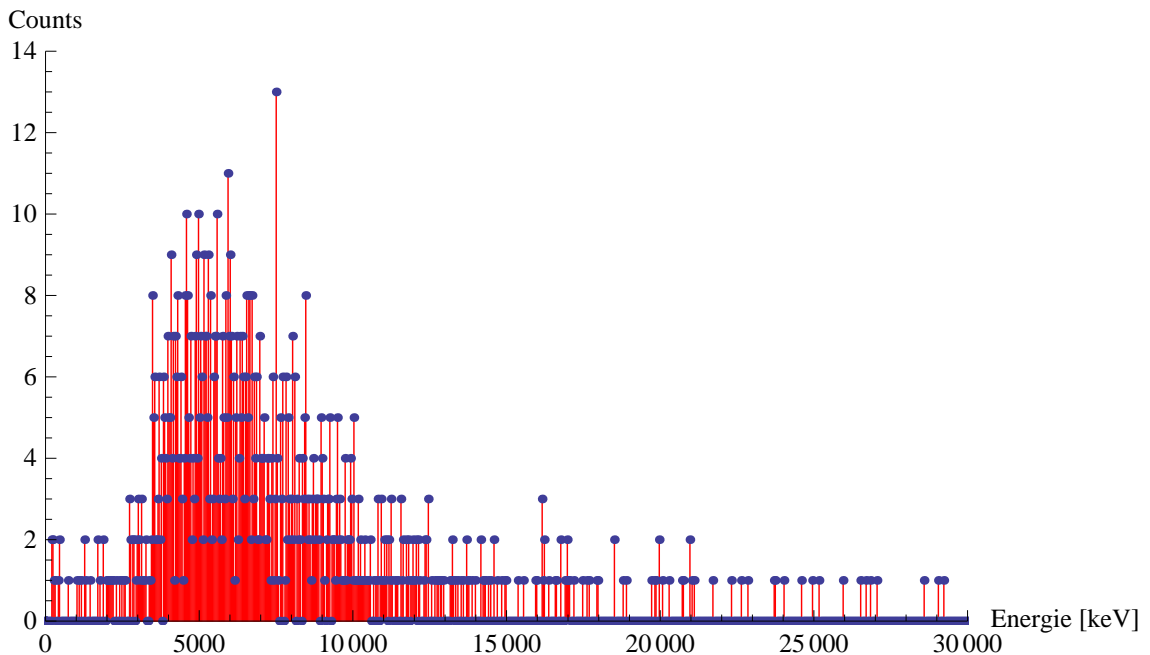
$$a = \frac{E_2 - E_1}{K_2 - K_1} = (8,535 \pm 0,02) \text{ keV} \quad (12)$$

$$\Rightarrow b = (-100,067 \pm 0,1) \text{ keV} \quad (13)$$

4.1.3 Energiespektrum von Myonen

Da bei der Energieeichung der Verstärkungsfaktor von 50 auf 200 gestellt wurde, ergibt sich für die Energieskala der Myonenmessung folgende Umrechnung:

$$E_{korrr}(K) = (8,535 \text{ keV} \cdot K - 100,067 \text{ keV}) \cdot 4 \quad (14)$$



Grafik 12: Energiespektrum von Myonen mit geeichter Skala

Die Grafik zeigt, dass sich die meisten Myonen in einem Energiebereich von 4-8 MeV befinden.

4.2 Geschwindigkeitsmessung

4.2.1 Messung der Lichtgeschwindigkeit

Bei der Geschwindigkeitsmessung werden die Messdaten durch eine Gaußsche Glockenkurve angenähert. Der Mittelwert entspricht dabei dem Zentroiden und die Hälfte der Halbwertsbreite gibt den Fehler an. Die erste Messung mit Gamma-Quanten, mit dem 1. Detektor als Startsignalgeber, liefert einen Mittelwert, der bei Kanal 78,45 liegt und eine Halbwertsbreite von 9,79 Kanälen. Die zweite Messung bekommt das Startsignal vom 3. Detektor.

Hierbei ist der Mittelwert 77,86 und die Halbwertsbreite 13,04. Kanal 78,45 entspricht einer Zeit von 30,249 ns und ist das Ergebnis von Gleichung (5). Kanal 77,86 liegt bei 30,03 ns und wird in Gleichung (6) eingesetzt. Damit errechnet sich mit Gleichung (7) eine Flugzeit von 0,11 ns. In dieser Zeit wird die Strecke von 1,1 m durchflogen, was einer Geschwindigkeit von $1 \cdot 10^{10}$ m/s entspricht. Der Fehler für die erste Messung ergibt $\Delta(\Delta t_1) = \pm 4,676$ ns, für die zweite $\Delta(\Delta t_2) = \pm 5,887$ ns. Mit der Gaußschen Fehlerrechnung wird der Fehler für die Flugzeit berechnet:

$$\Delta t_F = \sqrt{\left(\frac{\Delta(\Delta t_1)}{2}\right)^2 + \left(\frac{\Delta(\Delta t_2)}{2}\right)^2} = 3,759 \text{ ns} \quad (15)$$

Und damit ist der Fehler für die Geschwindigkeit:

$$\Delta v = \sqrt{\left(\frac{\Delta s}{t_F}\right)^2 + \left(-\frac{s \Delta t_F}{t_F^2}\right)^2} = 4,135 \cdot 10^{11} \text{ m/s} \quad (16)$$

4.2.2 Messung der Myonen-Geschwindigkeit

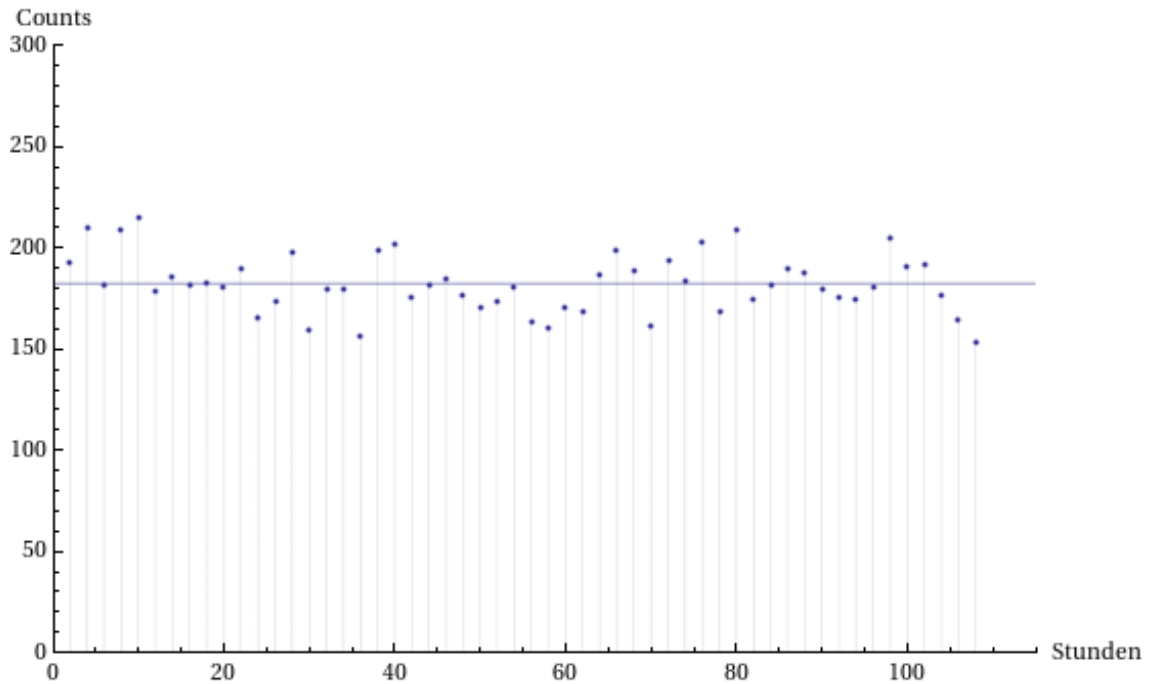
Analog wie bei der Lichtgeschwindigkeitsmessung liefert die erste Messung der Myonen-Geschwindigkeit (Detektor 1 gibt Startsignal) einen Mittelwert bei Kanal 80,54, also bei 31,028 ns, und eine Halbwertsbreite von 8,88 Kanälen, also 4,337 ns und Messung 2 (Detektor 3 gibt Startsignal) als Mittelwert Kanal 77,41 (29,862 ns) und als Halbwertsbreite 8,92 Kanäle (4,352 ns). Damit ergibt sich für die Flugzeit 0,583 ns und die Geschwindigkeit $1,887 \cdot 10^9$ m/s. Mit den Gleichungen (15) und (16) lassen sich die Fehler für Δt_F und Δv berechnen ($\Delta t_F = 3,072 \text{ ns}$ und $\Delta v = 9,944 \cdot 10^9 \text{ m/s}$).

4.3 Schauermessung

Die folgende Grafik zeigt das Ergebnis der Myonenschauer-Messung. Die Anzahl der gemessenen Myonenschauer wurden in Abständen von zwei Stunden aufgetragen. Die Linie ist ein Fit 0. Ordnung, der die durchschnittliche Schauerrate angibt. Im Schnitt hat der Detektor also etwa

$$(182,537 \pm 1,969) \frac{\text{Schauer}}{120 \text{ min}} = 15,211 \frac{\text{Schauer}}{10 \text{ min}}$$

gemessen.

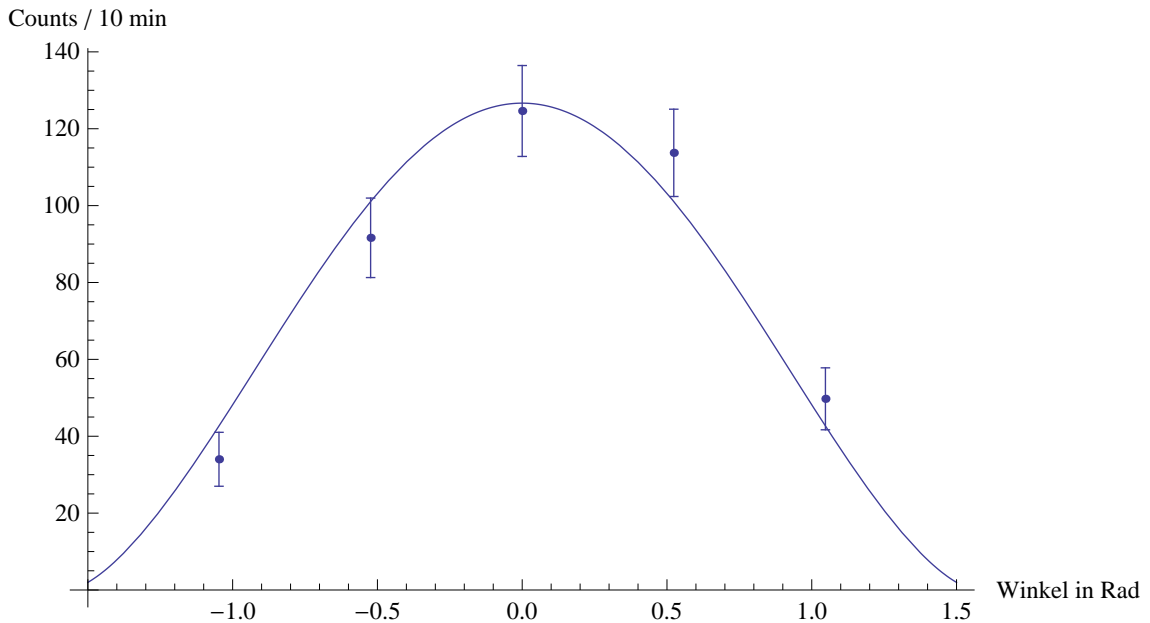


Grafik 13: Myonenschauer in 2 Stunden-Abständen aufgetragen

Die Messpunkte 39-41 sind nicht vertrauenswürdig, da ihre Messdaten angepasst wurden. Bei jeder dieser Messungen lieferte Kanal 1024 alleine 40115092 Counts. Diese wurden in der Auswertung nicht berücksichtigt. Möglicherweise handelt es sich hierbei um einen Fehler in der verwendeten Software.

Wird die Schauermessung in die Winkelverteilung mit einbezogen, ändern sich die Fitparameter. Für die Fitfunktion ergibt sich:

$$f(x) = (126,656 \pm 8,7) \cdot \cos^{1,57 \pm 0,297}(x) \quad (17)$$



Grafik 14: Winkelverteilung der Myonen mit Schauerkorrektur

4.4 Fazit

Die Messung der Winkelverteilung hat gezeigt, dass die $\cos^n(\theta)$ -Abhängigkeit durchaus zutrifft. Allerdings hätte die Messung mit mehr als 5 Winkeln durchgeführt werden sollen, um definitiv dieses Ergebnis untermauern zu können.

Die Energiemessung hat gezeigt, dass es mit der entsprechenden Messtechnik möglich ist Myonen und deren Energieverlust zu messen. Die Versuchsergebnisse sind auch durchaus repräsentativ, jedoch mussten die Messwerte auf Grund der defekten Messtechnik leicht angepasst werden. Beispielsweise wurden vereinzelt auf bestimmten Kanälen Zählraten registriert, die höchst fragwürdig sind und deshalb bei der Auswertung nicht berücksichtigt wurden. Außerdem wurden die Messzeiten relativ kurz gehalten. Da es sich um das Zählen statistischer Ereignisse handelt, sind große Messzeiten ratsam, da hier auf Grund des Gesetzes der großen Zahlen Messfehler leichter auszuschließen sind.

Anhand der Geschwindigkeitsmessungen der Myonen, sowie der Gamma-Quanten, ist zu erkennen, dass die Literaturwerte mit diesen Messungen nicht reproduziert werden konnten. Der Literaturwert der Lichtgeschwindigkeit liegt bei 299792458 m/s (Quelle: Wikipedia.org) und der der Myonen bei ca. 0,999c (Quelle: Wikipedia.org). Das Ergebnis der Messung liefert zu große Werte, sowohl für die Geschwindigkeiten, als auch für ihre Fehler. Die

Gründe dafür können u. a. daran liegen, dass die Messapparatur veraltet ist. Außerdem besteht die Möglichkeit, dass nicht dasselbe, sondern verschiedene Myonen aus unterschiedlichen Richtungen gleichzeitig von den beiden Detektoren registriert werden (siehe Winkelverteilung der Myonen) und die Messung verfälschen.

Bei der Schauermessung hat sich eine Regelmäßigkeit der Fluktuation der Zählraten nicht zeigen lassen. Objektiv betrachtet, sind die Anzahl der gemessenen Schauer rein zufällig. Die Messung könnte durch eine größere Anzahl von Detektoren, welche auf eine größere Fläche verteilt werden, deutlich verbessert werden.

Als abschließendes Fazit muss gesagt werden, dass im Versuch zu viele Messungen für eine zu kurze Zeit angesetzt wurden. Jede einzelne Teilmessung hätte mit deutlich größeren Messzeiten einen größeren Erkenntnisgewinn geliefert. Auch ist die Funktion der Detektoren zu hinterfragen, da sie vermutlich zu nicht vertrauenswürdigen Ergebnissen geführt haben. Mit funktionierenden Werkzeugen und dem entsprechenden Zeitaufwand sind die verwendeten Messverfahren durchaus für einen aussagekräftigen Versuch geeignet.