

Thomas Rapp

FRANZIS
EXPERIMENTE



Experimente mit selbst gebauten

Geigerzählern, Funken- & Nebelkammern

Grundlagen und Praxis der radioaktiven Messtechnik



Vorwort

Dieses Buch wendet sich an den technisch interessierten Leser, der einen tieferen Einblick in die verschiedenen kernphysikalischen Messmethoden gewinnen will. Zu diesem Zweck werden der Aufbau und die Funktion der Messgeräte erläutert. Die ausführlichen Bauanleitungen ermöglichen dem Leser, die Geräte mit meist einfachen Mitteln aufzubauen.

Die zum Test der Detektoren verwendeten radioaktiven Quellen sind bei richtigem Umgang ungefährlich und ohne behördliche Genehmigungen zu erwerben.

Gefährlicher als die Radioaktivität ist die bei manchen Detektoren notwendige Betriebsspannung. So erfordert die Funktion von Funkenkammern Spannungen von einigen Zehntausend Volt. An den Nachbau derartiger Geräte sollten sich nur Experimentatoren wagen, die über das erforderliche Hochspannungs-Know-how verfügen.

Durch die in diesem Buch beschriebenen Experimente kann der Leser Fachwissen im Bereich der Elektronik und der physikalischen Messtechnik erwerben und vertiefen. Nicht zuletzt sind manche der aufgeführten Projekte eine gute Grundlage für interessante Fach- und Praktikumsarbeiten und könnten manchem mit niedrigem Etat geplagten Lehrer die Möglichkeit geben, den naturwissenschaftlichen Unterricht anschaulicher zu gestalten.

Wichtige Hinweise

- Die in diesem Buch beschriebenen Geräte und Experimente sind potenziell gefährlich. Sie können Sach- und Personenschäden bis hin zum Tod verursachen. Die Gefährdung ist nicht auf die unmittelbare Umgebung des Aufbaus beschränkt, sondern betrifft auch Personen und Gegenstände in größerer Entfernung.
- Die sichere Durchführung der beschriebenen Experimente erfordert neben großer Umsicht auch besondere Sachkenntnis und Fähigkeiten, die dieses Buch nicht vollständig vermitteln kann.
- Sicherheitshinweise und ähnliche Aussagen geben lediglich die Erfahrung des Autors wieder und sind keinesfalls als Sicherheitsgarantien zu verstehen.
- Der Autor weist darauf hin, dass der Aufbau und/oder die Inbetriebnahme bestimmter Geräte und Experimente möglicherweise gegen gesetzliche Bestimmungen oder technische Normen verstößt.
- Die in diesem Buch enthaltenen Angaben wurden nach bestem Wissen des Autors gemacht. Eine Garantie für die Richtigkeit kann jedoch nicht gegeben werden. Eine Haftung für Folgen, die sich aus falschen Angaben ergeben, ist ausgeschlossen.

Autor und Verlag übernehmen keinerlei Haftung für Schäden oder Folgeschäden, die aus dem Nachbau der in diesem Buch beschriebenen Geräte und Experimente oder allgemein aus der Verwertung des Inhalts entstehen können.

Inhalt

1	Allgemeine Grundlagen	11
2	Strahlenquellen	14
2.1	Radioaktive Erze	14
2.2	Glühstrümpfe	15
2.3	Schweißelektroden	16
2.4	Leuchtfarben	16
2.5	Rauchmelder	16
2.6	Uranglas	17
2.7	Kaliumverbindungen	17
2.8	Höhenstrahlung	19
2.9	Röntgenstrahlung	20
3	Ionisationsdetektoren	22
3.1	Ionisationskammer	24
3.1.1	Einfache Ionisationskammer mit Elektroskop	26
3.1.2	Ionisationskammer mit elektronischem Verstärker	29
3.2	Proportionalzähler	35
3.3	Geiger-Müller-Zählrohr	39
3.3.1	Einfacher Geigerzähler	41
3.4	Spezielle Zählleinrichtungen	43
3.4.1	Funkenzähler	43
3.4.2	Spitzenzähler	48
3.4.3	Parallelplatten-Zähler	52
3.4.5	Resistive Plate Counter (RPC)	55
3.5	Funkenkammer	58
3.5.1	Vielplattenkammer	58
3.5.2	Die Projektionskammer	64
3.5.3	Kammer mit großem Plattenabstand (Wide Gap Chamber)	69
4	Szintillationsdetektoren	72
4.1	Einfaches Spinthariskop	72

4.2	Szintillationszähler mit Fotovervielfacher	73
4.3	Szintillationskristalle	75
4.3.1	Anorganische Szintillatoren	76
4.3.2	Szintillationszähler mit Zinksulfid	76
4.3.3	Organische Szintillatoren	77
4.3.4	Szintillationszähler mit Naphtalin	78
4.5	Einfacher Szintillationszähler	79
4.6	Plastikszintillator	83
4.7	Flüssige Szintillatoren	84
5	Cherenkov-Strahlung	89
6	Halbleiterdetektoren	98
6.1	Halbleiterzähler mit Fotodiode	99
6.2	Einfacher Zähler mit Halbleiterdetektor	102
6.3	Sprintiskop mit CCD-Kamera	104
7	Nebelkammern	106
7.1	Expansionsnebelkammern	107
7.1.2	Einfache Nebelkammer	107
7.1.2	Automatische Wilson-Kammer nach M. Wehrmeister	110
7.1.3	Nebelkammer mit Flüssigkolben	114
7.1.4	Vollautomatische Nebelkammer	117
7.2	Diffusionsnebelkammern	125
7.2.1	Nebelkammer mit Peltier-Elementen	126
7.2.2	Diffusionskammer mit Trockeneiskühlung	136
7.2.3	Diffusionskammer mit Kompressorkühlung	139
8	Elektronik	141
8.1	Netzteile	141
8.1.1	Netzteil für Zählrohre bis 1.000 V Betriebsspannung	142
8.1.2	Universalnetzteil für Spannungen bis 10 kV	142
8.1.3	Netzteil für Spannungen größer 10 kV	145
8.2	Diskriminatorschaltungen	147
8.2.1	Einfache Diskriminatoren	147
8.2.2	Fensterdiskriminator	148
8.2.3	Vielkanalanalysator	149
8.3	Koinzidenzschaltung	153

9 Experimente	155
9.1 Messungen mit Höhenstrahlung	155
9.1.1 Mesonenteleskop	155
9.1.2 Schauermessung	158
9.2 Messung der radioaktiven Umweltbelastung	159
9.2.1 Messung der radioaktiven Luftverschmutzung	161
9.2.2 Messungen an Paranüssen	162
9.2.3 Messungen an Wildpilzen	165
9.3 Messung der Halbwertszeit von Thoriumemanation	166
9.4 Messung von Thorium A und Thorium B	168
9.5 Die Uranzerfallsreihe	170
9.6 Gassammlung mit Aktivkohle	171
9.7 Einfache Röntgenquelle zum Testen von Detektoren	172
Anhang	177
10.1 Tabellen	177
10.1.2 Radioaktive Zerfallsreihen	180
10.2 Programmlisten	184
10.2.1 Betriebsprogramm der Membrankammer	184
10.2.2 Betriebsprogramm des Fensterdiskriminators	201
10.2.3 Betriebsprogramm des Vielkanalanalysators	207
10.3 Literaturreferenzen	218
10.4 Bezugsquellen	220
Sachverzeichnis	221

5 Cherenkov-Strahlung

Detektoren, die auf der Basis der Cherenkov-Strahlung arbeiten, sind in technischer Hinsicht den vorherigen Szintillationsdetektoren sehr ähnlich, obwohl sie nach einem gänzlich anderen physikalischen Prinzip funktionieren. Wie bei der Szintillation werden auch hier durch die Strahlung Leuchterscheinungen ausgelöst und mit einem Fotomultiplier registriert. Allerdings sind hier keine speziellen Leuchtstoffe notwendig, sondern der Cherenkov-Effekt tritt in jedem Medium auf – vorausgesetzt die einfallende Strahlung genügt gewissen Kriterien. Sehr vereinfacht kann man den Cherenkov-Effekt mit einer Bugwelle eines schnell fahrenden Boots vergleichen. Das nahezu mit Lichtgeschwindigkeit fliegende Teilchen erzeugt im durchflogenen Medium eine „Bugwelle“, die in Form von Licht abgestrahlt wird. Die Intensität des Lichts hängt sowohl von der Geschwindigkeit und der Energie des Teilchens als auch von der Brechzahl des Mediums ab. Das Licht wird in der Form eines Kegels mit dem Öffnungswinkel θ in der Flugrichtung des Teilchens abgestrahlt und auch der Öffnungswinkel des Kegels hängt von den beiden genannten Faktoren ab.

$$\cos \theta = c/(n \cdot v_p)$$

θ = Öffnungswinkel des Lichtkegels

c = Lichtgeschwindigkeit

n = Brechzahl des Mediums

v_p = Teilchengeschwindigkeit

Die Formel zeigt, dass es eine Mindestgeschwindigkeit für das Auftreten des Cherenkov-Effekts gibt. Das Produkt aus Brechzahl und Teilchengeschwindigkeit muss mindestens so groß wie die Lichtgeschwindigkeit sein. Je größer die Teilchenenergie wird, desto weiter öffnet sich der Lichtkegel. Teilchen mit sehr hohen Energien kommen in der Höhenstrahlung vor. So wird der Cherenkov-Effekt oft zur Mes-

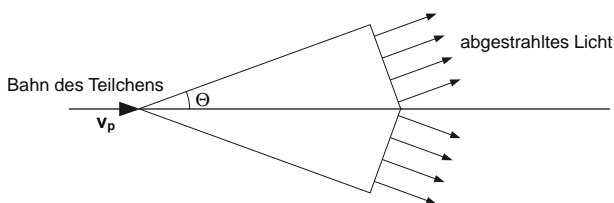


Abb. 5.1: Die Cherenkov-Strahlung

sung der Mesonen der Höhenstrahlung verwendet. Als preiswertes und hochtransparentes Medium ist Wasser sehr geeignet. So besteht ein Cherenkov-Detektor im einfachsten Fall aus einem Eimer Wasser, in den ein Fotomultiplier eingetaucht ist. Leider ist die Lichtausbeute beim Cherenkov-Effekt wesentlich kleiner als bei der Szintillation. Die am Ausgang des Multipliers entstehenden Spannungsimpulse sind nicht oder nur wenig größer als das thermische Rauschen. Zudem sind die Lichtblitze mit einigen Nanosekunden sehr kurz, was an die auf den Multiplier folgende Elektronik hohe Anforderungen stellt. Mit den heute zugänglichen Verstärkerbausteinen sind solche kurzen Impulse aber durchaus zu verarbeiten.

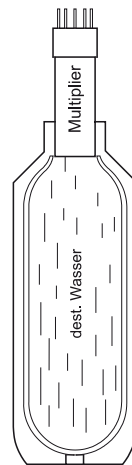


Abb. 5.2: Der Thermoskannendetektor

Bei den folgenden Messungen wurde eine innen verspiegelte Thermoskanne als Behälter verwendet. In die Öffnung der Flasche wird der Multiplier gesteckt und das Ganze lichtdicht eingepackt. Da die Höhenstrahlung vertikal einfällt, wäre es günstiger, wenn sich das strahlende Medium über dem Multiplier befinden würde, da nach den Gesetzen der Cherenkov-Strahlung die Lichtemission nach unten gerichtet ist. Durch die Verspiegelung der Flasche wird aber zumindest ein Teil des Lichts nach oben zum Multiplier reflektiert. Da die Cherenkov-Strahlung äußerst schwach ist, muss der Multiplierer vom Umgebungslicht abgeschirmt werden. Das ist nicht ganz einfach, da fast alle Thermoskannen nicht wirklich lichtdicht sind. Zum einen ist die Verspiegelung durchscheinend, was man leicht feststellen kann, wenn man den Glaseinsatz der Kanne herausnimmt und durch ihn auf eine helle Lichtquelle blickt. Bei allen im Rahmen dieses Buchs getesteten Kannen war ein bläulicher Lichtschimmer zu sehen. Zum anderen ist auch die Kunststoffhülle der Kanne meist durchscheinend. Am besten schneiden hierbei natürlich dunkle oder schwarze Kannen ab. Um sicherzugehen, sollte man die gesamte Kanne mit schwar-

zem Klebeband umwickeln. Eine weitere Schwachstelle ist der Übergang vom Multiplierer zur Kanne. Auch hier muss mit schwarzem Klebeband gearbeitet werden, um das Eindringen von Umgebungslicht sicher zu verhindern. Will man ganz sichergehen, wird man die Messungen in einem abgedunkeltem Raum vornehmen. Auch eignet sich nicht jeder Multiplierer zur Messung. Ältere oder gebrauchte Typen haben manchmal einen großen Rauschuntergrund, der die schwache Cherenkov-Strahlung überdeckt. Aus geometrischen Gründen sind auch Typen mit Frontkathoden weit besser geeignet als die mit Seitenkathode wie der 1P28. Einige bei ebay gekaufte Röhren wurden getestet. Die folgenden Messungen wurden mit einem EMI-Typ 9658R unternommen. Zur Auswertung der Impulse wurde ein Fensterdiskriminator (siehe Kapitel *Elektronik*) verwendet. Zum Test werden zwei Messreihen durchgeführt: eine mit leerer Kanne, um den Nulleffekt zu messen, und eine weitere, bei der die Kanne mit destilliertem Wasser gefüllt ist. Destilliertes Wasser ist besser als Leitungswasser geeignet, da seine Leitfähigkeit zum Cherenkov-Effekt konkurrierende Prozesse zulässt, die die Lichtausbeute erniedrigen.

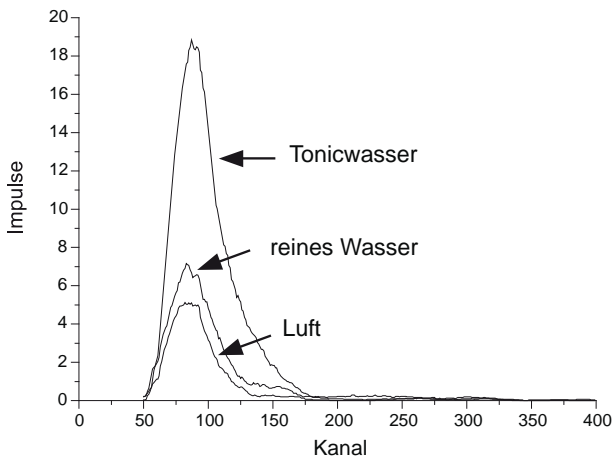


Abb. 5.3: Impulsverteilung der Cherenkov-Strahlung

Für die obige Messung wurde die Thermoskanne einmal leer gelassen und für eine weitere Messung mit Wasser gefüllt. Die Kurven zeigen den kleinen Unterschied zwischen Luft- und Wasserfüllung, der von der Cherenkov-Strahlung herrührt. Für die dritte Messung wurde die Kanne mit *Schweppes Indian Tonic Water* gefüllt. Das große Signal stammt hier aber nicht von der Cherenkov-Strahlung, sondern von den Szintillationen des im Tonic-Wassers enthaltenen Chinin. Der frische bittere Geschmack des Tonics stammt von Chinin, einem Alkaloid, das dem Getränk zugesetzt wird. Die himmelblau Fluoreszenz des Chinins kann man leicht an der Bar einer Diskothek mit Schwarzlichtbeleuchtung und einem Glas „Gin Tonic“ nachweisen.

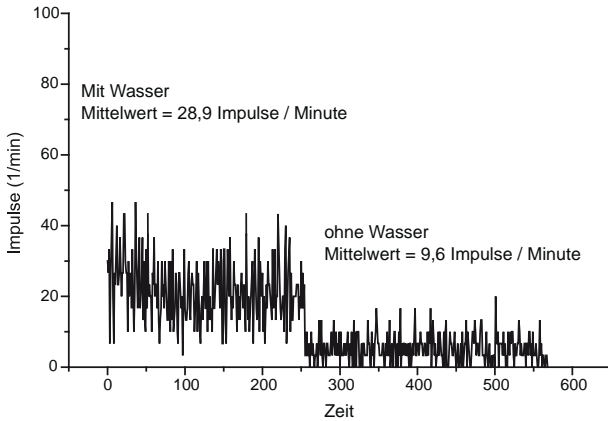


Abb. 5.4: Die Cherenkov-Strahlung in der Thermoskanne

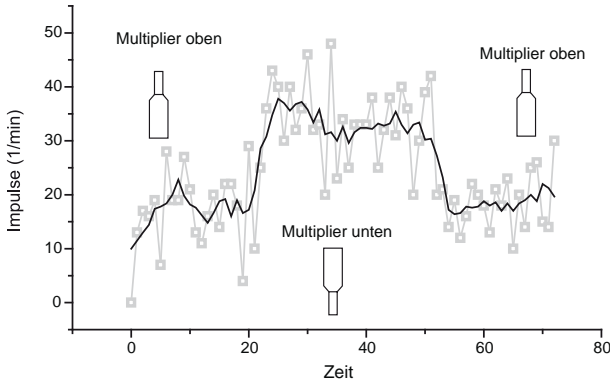


Abb. 5.5: Die Richtungsabhängigkeit des Cherenkov-Effekts

Die Richtungsabhängigkeit des Cherenkov-Effekts kann leicht festgestellt werden, indem man die Anordnung auf den Kopf, also den Multiplier nach unten, aufstellt. Da die Höhenstrahlung aus dem Zenit die höchste Intensität aufweist (siehe Mesonenteleskop), erreichen mehr Photonen die Fotokathode, wenn der Radiator über ihr steht.

Noch deutlicher wird die Richtungsabhängigkeit, wenn man den Multiplier in ein Rohr einbaut. Hier wird nur wenig Licht zurückreflektiert und nur das Licht in Vorwärtsrichtung gemessen. Das verwendete Rohr wurde aus zwei Blechbüchsen zusammengelötet. In das eine Ende ist der Multiplier wasserdicht eingeklebt, das andere mit einem Gummistopfen verschlossen.

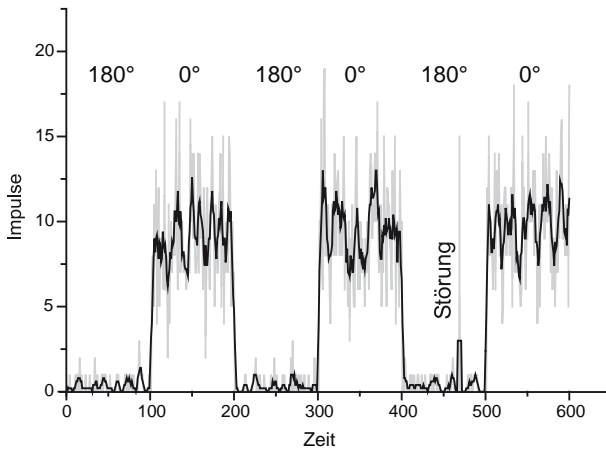


Abb. 5.6: Richtungsmessung mit einem Cherenkov-Rohr

Auf dem Diagramm ist ein starker Ausschlag zu sehen, obwohl die Messanordnung in der 180° -Stellung steht, der Multiplier also kein Cherenkov-Licht sehen kann. Die Störung entstand durch die Betätigung des Lichtschalters. Vor allem Leuchtstoffröhren mit ihrer Zündschaltung sind starke Störstrahler, die eine empfindliche Messung stören können. Die Störimpfindlichkeit der Messanordnung kann verringert werden, wenn die erste Verstärkerstufe direkt an der Fassung des Multipliers montiert wird.

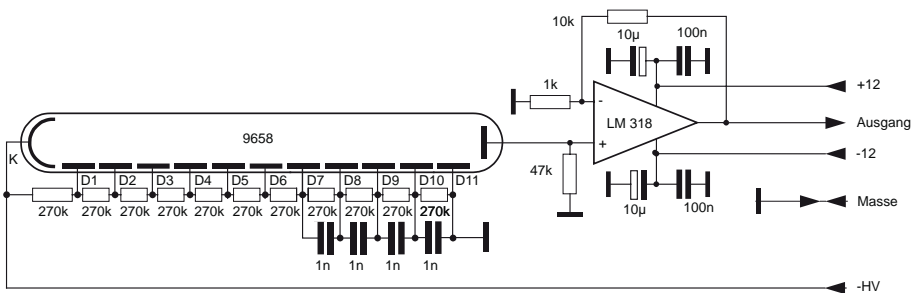


Abb. 5.7: Beschaltung des Multipliers mit Vorverstärker.

Der Vorverstärker mit dem schnellen Operationsverstärker LM 318 ist auf einer kleinen Platine direkt auf der Fassung des Multipliers montiert. Ein guter Radiator ist Plexiglas, das mit 1,49 einen höheren Brechungsindex aufweist als Wasser mit 1,33. Verwendet wurde ein Plexiglaszylinder von 15 cm Länge und 5 cm Durchmesser. Eine der Stirnflächen wurde poliert und mit einer Zwischenschicht aus Silikonfett auf den Multiplier gepresst. Anschließend werden Plexiglas und Multiplier mit

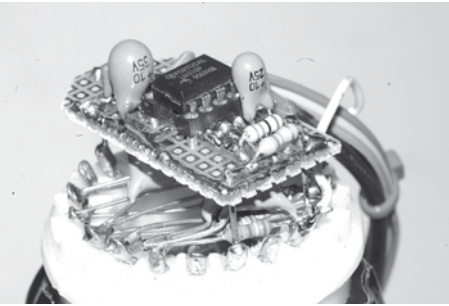


Abb. 5.8: Der Vorverstärker

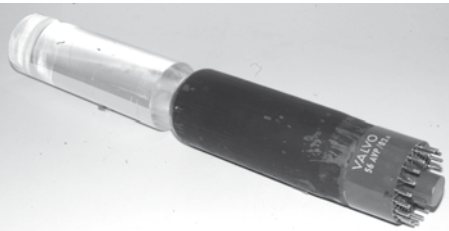


Abb. 5.9: Der Plexiglasstab mit dem Multiplier

Aluminiumfolie und schwarzem Klebeband umwickelt. Aufgrund des kleinen Volumens ist die Pulsrate kleiner als mit dem Wasserzähler.

Eine Messreihe zeigt, wie wichtig die korrekte Einstellung von Multiplierspannung und Diskriminatorschwelle ist.

Während bei einer Multiplierspannung von 1.350 Volt der Unterschied zwischen Rauschen und Cherenkov-Signal deutlich zutage tritt, wird dieses Signal bei einer Spannung von 1.450 Volt vom Rauschen überdeckt. Natürlich kann eine höhere

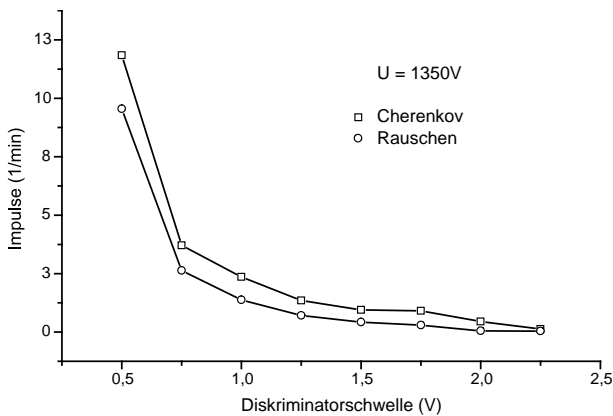


Abb. 5.10: Die Messkurve bei einer Multiplierspannung von 1.350 Volt

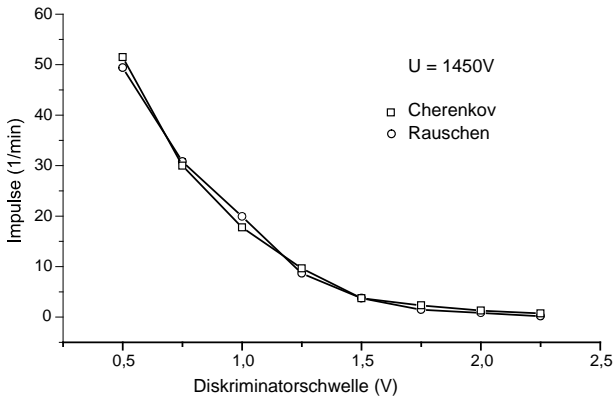


Abb. 5.11: Die Messkurve bei einer Multiplierspannung von 1.450 Volt

Verstärkung des Multipliers nicht die natürliche Mesonenrate, sondern nur die Rauschsignale der Kathode erhöhen.

Um die Cherenkov-Strahlung auch mit einfachen Multipliern nachweisen zu können, muss eine größere Menge Wasser verwendet werden. Dafür wurde ein Blecheimer mit einem Volumen von 10 Litern verwendet. Im Deckel des Eimers wurde der Fotomultiplier vom Typ 1P28 befestigt. Nachdem der Eimer mit 8 Litern destilliertem Wasser gefüllt war, wurde der Deckel aufgesetzt und die Messung gestartet. Der 9-stufige 1P28 benötigte für den Betrieb eine wesentlich kleinere Spannung als Röhren vom Typ 55 AVP mit 14 Stufen. Das liegt daran, dass die Spannung zwischen den Dynoden bei allen Röhren etwa 80 bis 150 Volt betragen sollte. Demzufolge benötigen Röhren mit weniger Stufen auch eine kleinere Gesamtspannung. Für die folgenden Messungen wurde die Röhre mit einer Spannung von 650 Volt betrieben. Obwohl der Multiplier nur neun Stufen besitzt, reicht die Verstärkung aus, um mit dem Diskriminator die einzelnen Rauschimpulse zählen zu können. Die vorhergehenden Messungen zeigen, dass eine noch höhere Verstärkung nicht nur nicht nötig, sondern für die Messung sogar schädlich ist. Ein Nachteil des 1P28 ist nicht die geringe Anzahl der Verstärkerstufen, sondern vielmehr die kleine Kathodenfläche, die nur von einem kleinen Anteil der ausgestrahlten Cherenkov-Photonen getroffen wird.



Abb. 5.12: Der Multiplier 1P28 auf dem Eimerdeckel

Dennoch kann auch mit dieser Anordnung die Höhenstrahlung gemessen werden. Das Signal ist allerdings nicht sehr groß, sodass man schon eine längere Zeit messen muss, um es eindeutig vom Röhrenrauschen unterscheiden zu können. Zur Messung des Rauschsignals wurde eine schwarze Pappröhre über die Röhre geschoben, sodass kein Licht die Kathode erreichen kann und das Ausgangssignal nur durch das thermische Rauschen erzeugt wird. Auch bei dieser Anordnung wird der Vorverstärker möglichst nahe am Multiplier befestigt, am einfachsten auf der Außenseite des Deckels.

Eine wesentlich bessere Anordnung würde zwei Multiplier verwenden, deren Ausgangssignale in einer Koinzidenzschaltung verknüpft werden. So kann erreicht werden, dass ausschließlich die Lichtblitze der Cherenkov-Strahlung, die beide Röhren treffen, gezählt werden. Die Rauschimpulse der einzelnen Röhren sind statistisch verteilt und bewirken nur selten einen zufälligen Koinzidenzimpuls. Will man derartige Messungen unternehmen, sollte man darauf achten, schnelle Verstärker und Komparatoren einzusetzen, damit die Impulse der Multiplier nicht unnötig verbrei-



Abb. 5.13: Der Cherenkov-Eimer

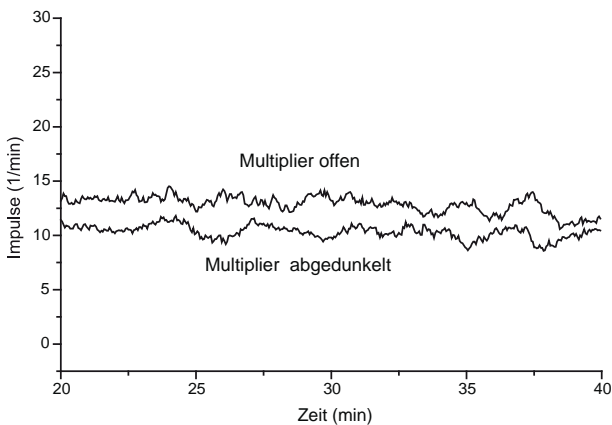


Abb. 5.14: Messung der Cherenkov-Strahlung mit 1P28-Röhre

tert werden. Je kürzer die Pulsdauer ist, desto unwahrscheinlicher wird die zufällige Überlappung von zwei Rauschimpulsen und desto größer wird der Rauschabstand der erhaltenen Messwerte.

9 Experimente

9.1 Messungen mit Höhenstrahlung

9.1.1 Mesonenteleskop

Mithilfe der Koinzidenzschaltung kann nun eine Vorrichtung gebaut werden, die es erlaubt, die Winkelverteilung der Mesonen der Höhenstrahlung zu bestimmen.

Ein Blick auf das Schema zeigt, dass nur Strahlung eines bestimmten Winkelbereichs α beide Zählrohre Z1 und Z2 durchquert und einen Koinzidenzimpuls auslöst. Die Größe des Winkels hängt vom Abstand der Rohre und ihrem Durchmesser ab.

Für den praktischen Aufbau werden zwei Zählrohre an einem drehbaren Balken befestigt. Die Impulse der beiden Zählrohre werden mit einer Koinzidenzschaltung zusammengeführt und die Ausgangspulse der Schaltung gezählt. Nach jeder Messperiode wird der Balken etwas gedreht, sodass eine andere Einstrahlrichtung erfasst werden kann.

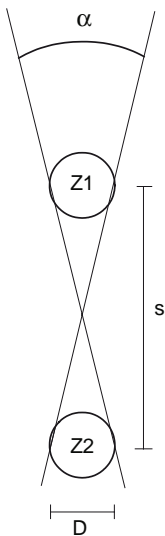


Abb. 9.1: Das Prinzip des Mesonenteleskops

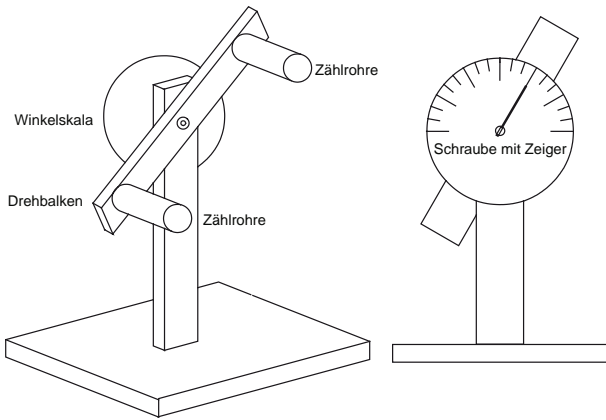


Abb. 9.2: Die Aufbau des Mesonenteleskops

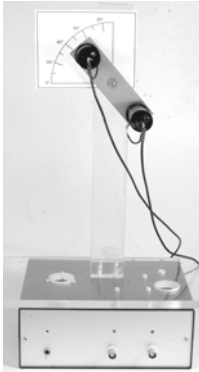


Abb. 9.3: Das fertige Teleskop mit der zugehörigen Elektronik

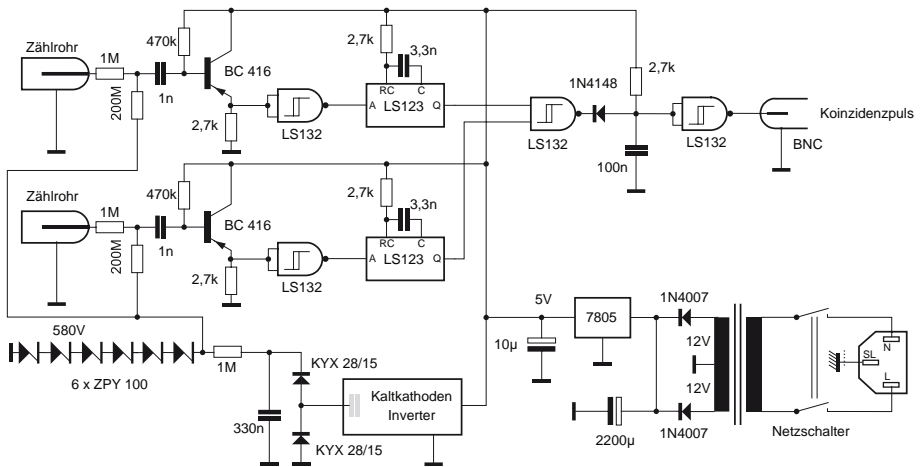


Abb. 9.4: Die Auswerteschaltung

Die Auswerteschaltung besteht aus der Koinzidenzstufe mit Verstärker und Netzteil. Die Zählung der Pulse übernimmt ein externer Zähler. Die Impulse der Zählrohre werden in einer Emitterfolgerstufe verstärkt und mit einem Schmitt-Trigger auf TTL-Pegel gebracht. Die darauf folgenden Monoflops erzeugen einheitliche Pulse mit ca. 1 μ s Dauer, mit denen die Koinzidenzstufe mit einem NAND-Gatter gespeist wird. Das Ausgangssignal der Stufe wird zeitlich verlängert und über eine BNC-Buchse ausgegeben.

Die 5-V-Spannung wird in üblicher Weise mit einem Festspannungsregler erzeugt. Als Hochspannungsgenerator dient ein Kaltkathodeninverter, wie er zum PC-Moding verwendet wird. Dessen Ausgangsspannung wird mit einer Verdopplerschaltung gleichgerichtet und mit einer Zenerdiodenreihe auf etwa 580 V stabilisiert, da die verwendeten Zählrohre ZP 1410 ein Plateau von 450 bis 700 V haben.

Die Durchführung einer solchen Messung verlangt viel Geduld, da die Messzeiten sehr lang gewählt werden müssen. Pro Winkelstellung wird 24 Stunden lang gezählt. Die Tabelle zeigt die Ergebnisse der Messung bei zehn verschiedenen Elevationswinkeln.

Tabelle 9.1: Messwerte der Teleskopmessung

Elevation	Messzeit (min)	Zählung	Rate ($1/\text{min}$)
90°	1.403	642	0,4576
80°	1.568	689	0,4390
70°	1.563	606	0,3877
60°	1.384	446	0,3222
50°	1.499	377	0,2515
40°	1.439	276	0,1918
30°	1.446	203	0,1404
20°	1.472	101	0,0686
10°	1.443	114	0,0795
0°	1.893	120	0,0634

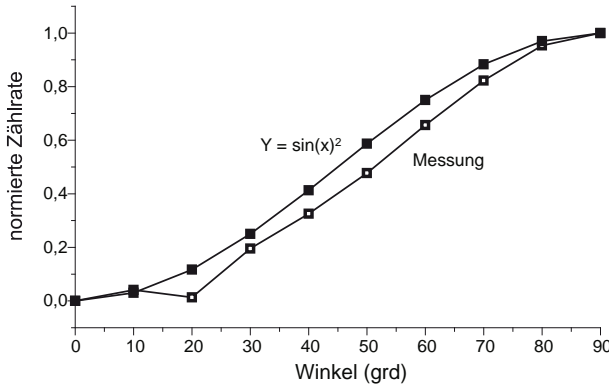


Abb. 9.5: Kurve der Winkelabhängigkeit

Die Kurve in der Abbildung zeigt die Winkelabhängigkeit der Zählrate. Dazu ist auch die theoretisch zu erwartende Funktion $Y = \sin(x)^2$ eingezeichnet. Wie man leicht erkennen kann, kommt das Ergebnis des Experiments der Theorie recht nahe.

9.1.2 Schauermessung

Die im vorigen Abschnitt gemessene hochenergetische Mesonenstrahlung ist in der Lage, Strahlenschauer auszulösen. Trifft ein Meson auf einen Atomkern, wird dieser zertrümmert und eine Vielzahl neuer Teilchen entsteht. Auch dieser Strahlenschauer kann mit einer Koinzidenzschaltung gemessen werden. Die Zeichnung zeigt die Anordnung der Zählrohre. Werden beide Zählrohre übereinander angeordnet, wirken sie wie ein Zählerteleskop. Die Impulsrate beträgt hier 2,2 Impulse pro Minute. Bei einer Anordnung nebeneinander sinkt die Impulsrate auf 0,38 Impulse pro Minute. Durch den über den Zählrohren angebrachten Bleiabsorber erhöht sich die Pulsrate wieder auf 0,43 Impulse pro Minute.

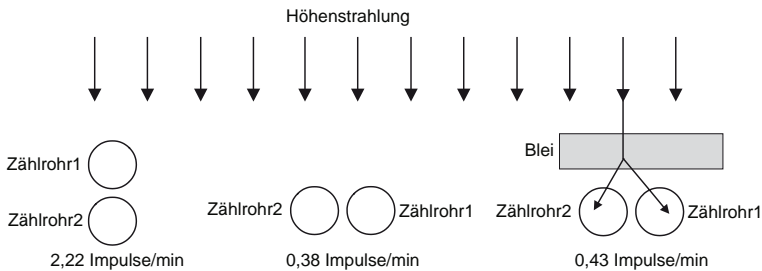


Abb. 9.6: Anordnung der Schauermessung

Es ist leicht ersichtlich, dass nur ein vom Absorber ausgehender Schauer eine Koinzidenz in beiden Zählrohren auslösen kann.

9.2 Messung der radioaktiven Umweltbelastung

Zur Messung der hoffentlich schwachen Strahlung, die durch die radioaktive Umweltbelastung vorkommt, müssen besondere Vorkehrungen getroffen werden. Entweder man umgibt das Messrohr mit einem Kranz Antikoinzidenzrohre, was aber ziemlich aufwendig ist, oder man versucht das Messrohr abzuschirmen. Zur Abschirmung müssen Metalle mit einem hohen Atomgewicht verwendet werden. Das preiswerteste ist sicherlich Blei, das auch leicht verarbeitet werden kann. Durch Gießen kann das Metall leicht in die passende Form gebracht werden. Im hier beschriebenen Fall wurde aus einer Blechdose und einem Besenstiel eine Gussform gebaut. Für die Form des Deckels wurde eine Cremedose gewählt.

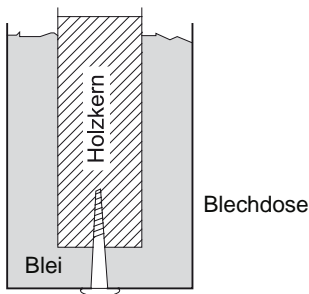


Abb. 9.7: Gussform für die Bleikammer

Die Abmessungen der Kammer wurden so gewählt, dass ein Endfenster-Zählrohr Typ 18505 in den Hohlraum passt. Nach dem Guss werden die Oberflächen des Zylinders und des Deckels mit der Feile oder auf der Drehbank geglättet. Anschließend kann man die Teile lackieren.

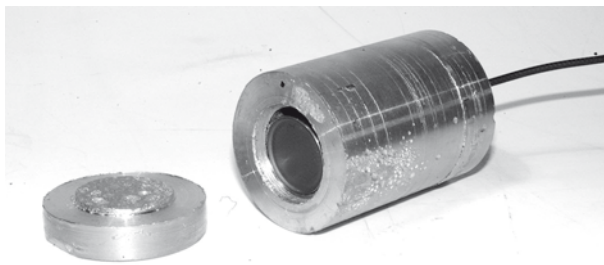


Abb. 9.8: Die fertige Kammer mit dem Endfenster-Zählrohr

Eine 1–2 cm dicke Bleischicht kann zwar nicht die harte Komponente der Höhenstrahlung abschirmen, reicht aber aus, um das Zählrohr gegen die Strahlung aus der Umgebung abzuschirmen. Die Bleikammer senkt den Nulleffekt um 25 % von 19 auf 14 Impulse/Minute.

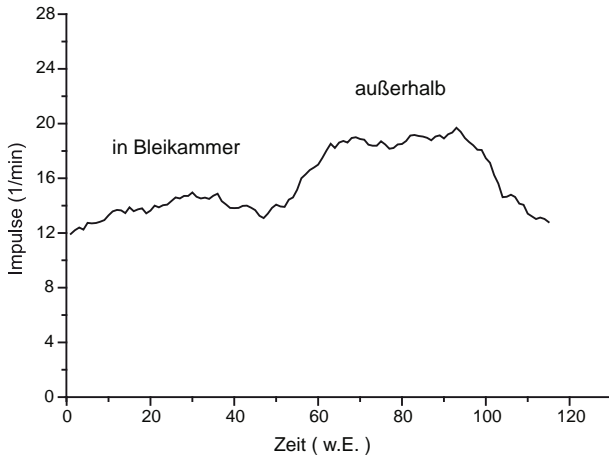


Abb. 9.9: Der Nulleffekt mit und ohne Bleikammer

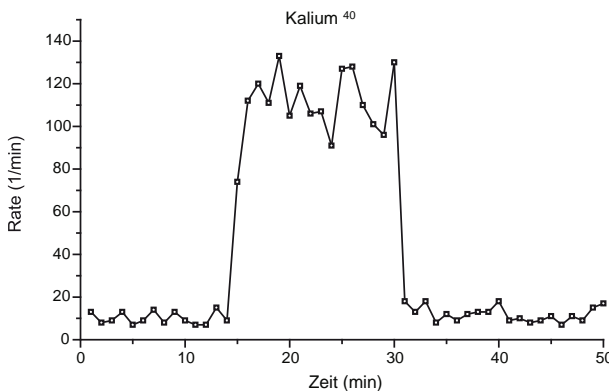


Abb. 9.10: Messung von Kaliumchlorid

Die Messung von Kalium in Form von Kaliumchlorid zeigt die schwache Radioaktivität von Kalium⁴⁰. Etwa 10 g Kaliumchlorid in einem Plastiktütchen geben eine Pulsrate von etwa 120 Impulsen/min gegenüber dem Nulleffekt von 15 Impulsen/min.

9.2.1 Messung der radioaktiven Luftverschmutzung

Ein einfaches Experiment ist die Messung der radioaktiven Luftverschmutzung. Dazu wird die Luft mit einer Pumpe durch einen Filter gesaugt. Kleine Schwebepartikel in der Luft bleiben im Filter hängen. Hier wurde eine Aquariumluftpumpe zum Ansaugen der Luft und ein normales Kaffeefilter verwendet. Ein spezielles, feinporiges Gasfilter, z. B. der Feinstaubfilter aus einem Staubsauger, würde sicherlich noch bessere Ergebnisse bringen. Nach einer längeren Sammelzeit kann dann das Filter mit dem Zählrohr untersucht werden. Die Pumpe mit Filter wurde für etwa eine Woche etwa 10 Stunden am Tag betrieben. Da die Pumpe eine Saugleistung von 300 Liter pro Stunde hat, wurden somit $7 \times 10 \times 300 = 21.000$ Liter entsprechend 21 m^3 durch das Filter gesaugt.

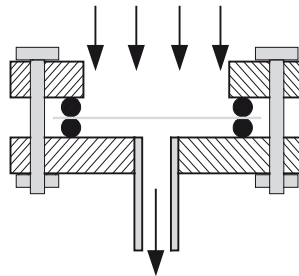


Abb. 9.11: Die Pumpe mit Filteraufsatz

Das Filterpapier wird mit zwei O-Ringen luftdicht zwischen zwei Halteflansche gepresst.

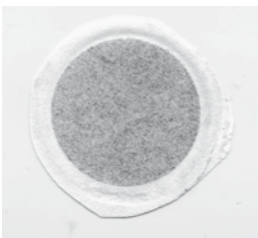


Abb. 9.12: Das Filter nach einwöchiger Exposition

Nach einer Woche sind schon mit dem bloßen Auge die Staubpartikel auf dem Filter zu erkennen. Was man nicht sieht, ist die Radioaktivität des Niederschlags. Diese offenbart sich durch die Messung mit dem Zählrohr.

Die Aktivität des Filters hebt sich deutlich vom Nulleffekt des Zählrohrs ab. Natürlich erlaubt diese einfache Messung keine quantitative Aussage über die radioaktive Luftverschmutzung, zeigt aber doch immerhin die leichte Nachweisbarkeit. Über

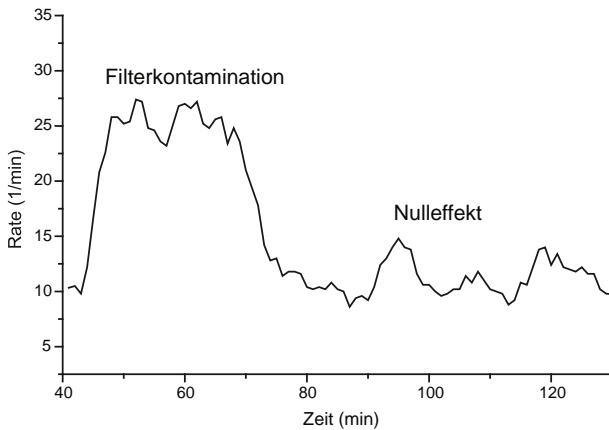


Abb. 9.13: Die Messung des Luftfilters

die Herkunft der Strahlung kann nur gemutmaßt werden. Die hauptsächlich natürliche Radioaktivität in der Luft stammt von Radon und Kohlenstoff¹⁴. Beide Stoffe sind aber gasförmig (C^{14} in Form von Kohlendioxid) und werden vom Filter nicht erfasst. Der radioaktive Staub stammt wohl aus vom Menschen zu verantwortenden Emissionen.

9.2.2 Messungen an Paranüssen

Das klassische Beispiel für radioaktiv belastete Lebensmittel ist die Paranuss. Bedingt durch ihre Physiologie nimmt die Paranusspflanze Barium aus dem Boden auf und speichert es in den Nüssen. In den gereiften Nüssen beträgt der Bariumanteil bis zu einem Prozent. Durch die chemische Ähnlichkeit des Bariums mit dem radioaktiven Element Radium wird auch das in geringsten Mengen im Boden vorkommende Radium mit angereichert. Die relativ hohe Radioaktivität von Paranüssen ist ein natürliches Phänomen. Zur Messung der Paranussaktivität werden die Nüsse erst gemahlen. Anschließend wird die Mehrzahl der organischen Anteile der Nuss durch Verbrennung entfernt. Da die Nüsse sehr viele Fette und Öle beinhalten, wird diese Veraschung am besten im Freien durchgeführt. Übrig bleibt Asche, die die mineralischen Anteile und somit auch die Elemente Barium und Radium enthält.

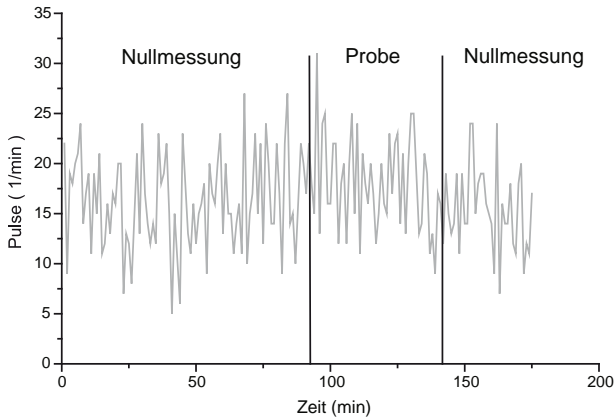


Abb. 9.14: Aktivitätsmessung der Asche von fünf Paranüssen

Für die Messung wurden etwa 0,3 Gramm Asche (entspricht fünf Paranüssen mit zusammen circa 15 Gramm Gewicht) zu einem Plättchen mit 2 cm Durchmesser und 3 mm Dicke gepresst und unter das Zählrohr gelegt. Die gemessene Aktivität hebt sich gerade noch vom Nulleffekt ab.

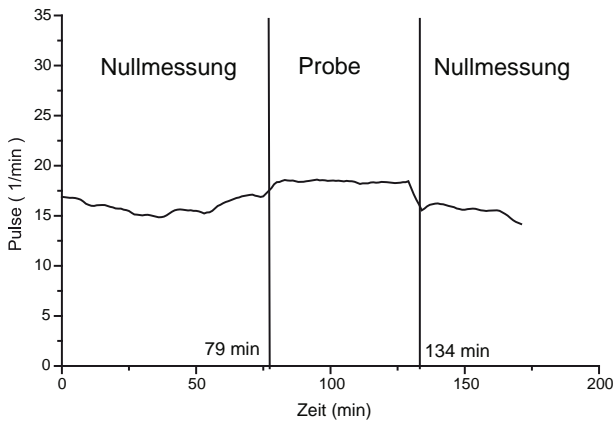


Abb. 9.15: Gemittelte Messkurve

Um den Effekt deutlicher zu machen, wurde die Messdatei in drei Abschnitte zerlegt. Von 0 bis 78 Minuten (Nullmessung), von 79 bis 134 Minuten (Probenmessung) und von 134 bis 174 Minuten (wieder Nullmessung). Die drei Messreihen wurden einzeln geglättet, d. h. , Mittelwerte werden gebildet und wieder zusammengefügt.

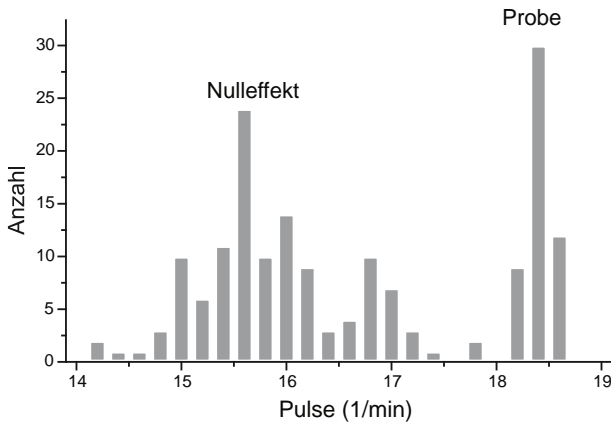


Abb. 9.16: Histogramm der Messung

Das Histogramm zeigt deutlich die erhöhte Pulsrate, die durch die Probe entsteht. Der folgende Trennungsschritt verwendet gefährliche Chemikalien wie Salpetersäure. Der Umgang mit diesen Stoffen setzt die nötige Erfahrung und geeignete Örtlichkeiten voraus. Der Küchentisch ist dazu definitiv nicht geeignet. Um das Radium weiter zu konzentrieren, wird die Asche mit Salpetersäure versetzt, die die Mineralien in Nitrate umsetzt. Der Brei wird gefiltert und das Filtrat gesammelt. Es enthält die gewünschten Mineralien. Anschließend wird die Flüssigkeit eingedampft. Der Chemiker nennt das „abrauchen“, und dieser Vorgang muss im Abzug oder im Freien vorgenommen werden, da dabei nitrose Gase entstehen. Das Resultat ist eine trockene braune Kruste. So entstand aus 300 Gramm Nüssen 2,6 Gramm Trockenmasse und 0,8 Gramm dieser pulverisierten Kruste unter dem Geigerzähler zeigen eine deutliche Aktivität.

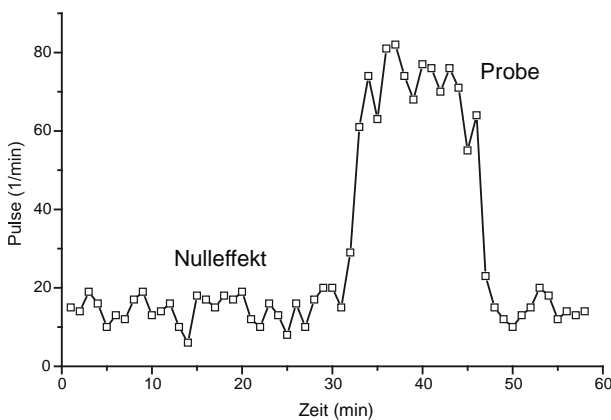


Abb. 9.17: Die deutliche Aktivität der Nussprobe

Allerdings ist in diesem Rückstand neben dem Barium/Radium auch noch das radioaktive Kalium⁴⁰ vorhanden. Zum Abtrennen des Kaliums wird der Rückstand wieder in Wasser gelöst und mit einer Natriumsulfatlösung (Glaubersalz) oder verdünnter Schwefelsäure (Batteriesäure) versetzt. Hierbei fällt das unlösliche Barium/Radiumsulfat als Niederschlag aus und kann abfiltriert werden. Das leicht lösliche Kaliumsulfat bleibt in der Flüssigkeit.

Der Niederschlag im Filter wird getrocknet und auch das Filtrat wird zum Trocknen eingedampft. Anschließend kommen beide Proben unters Zählrohr.

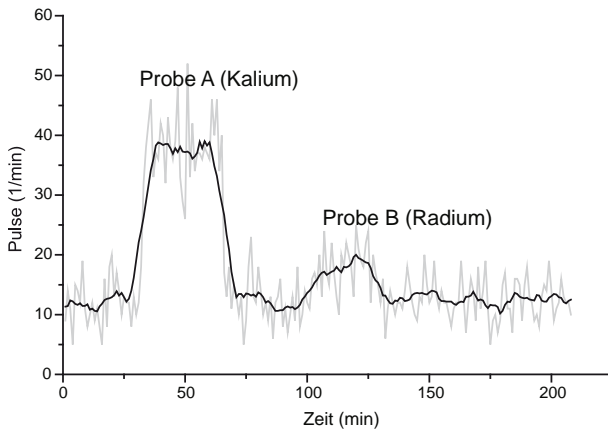


Abb. 9.18: Die beiden Proben aus der Nussasche

Die Probe A ist aus dem Filtrat gewonnen und enthält das in den Nüssen vorhandene Kalium, Probe B ist der unlösliche Teil und enthält neben Kalzium und Barium auch das radioaktive Radium.

9.2.3 Messungen an Wildpilzen

Im Gegensatz zu den Paranüssen handelt es sich bei der radioaktiven Belastung von Pilzen um ein von Menschen verursachtes Problem. Für die Radioaktivität von Pilzen ist das Isotop Cäsium¹³⁷ verantwortlich. Dieses nicht natürlich vorkommende Isotop wurde in größeren Mengen bei der Reaktorkatastrophe von Tschernobyl freigesetzt. Da die Halbwertszeit von Cäsium¹³⁷ etwa 30 Jahre beträgt, sollten immer noch messbare Spuren vorhanden sein. Pilze nehmen dieses Alkalimetall aus dem Boden auf und speichern es in ihren Zellen. Werden die Pilze nicht gepflückt, wandert das Cäsium beim Zerfall der Pilze wieder in den Boden und wird von der nächsten Pilzgeneration wieder aufgenommen und gespeichert.

Die Aufbereitung der Probe erfolgt in ähnlicher Weise wie bei den Nüssen. Die Pilze werden getrocknet, zerrieben und dann verascht. Im Gegensatz zu den Salzen der

Erdalkalimetalle Barium und Radium sind hier die Salze der Alkalimetalle fast immer leicht wasserlöslich. So kann man sie aus der Asche mit Wasser lösen. Dazu wird die Pilzasche mit Wasser für etwa 30 Minuten gekocht. Anschließend lässt man die Brühe durch ein Filter laufen, fängt das Filtrat auf und dampft es ein. Auf diese Art und Weise wurden schließlich 60 mg Mineralienrückstand gewonnen.

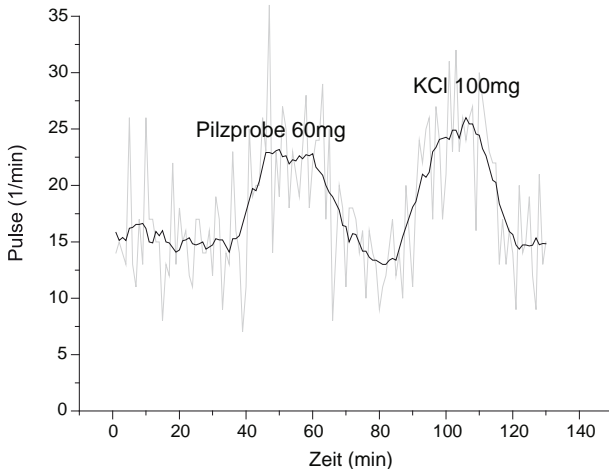


Abb. 9.19: Die Messung der Pilzprobe

Unter dem Zählrohr zeigt die Pilzprobe eine etwas kleinere Aktivität als eine Probe mit 100 Milligramm reinen Kaliumchlorids. Da Pilze als ausgesprochen kaliumreiche Nahrungsmittel gelten, darf angenommen werden, dass die Probe zum großen Teil aus Kalium besteht, der größte Teil der Aktivität somit von Kalium⁴⁰ herrührt. Zumindest Pfifferlinge aus den baltischen Staaten sind somit kaum noch vom Tschernobyl-Fallout belastet.

9.3 Messung der Halbwertszeit von Thoriumemanation

Die im dritten Kapitel vorgestellte Ionisationskammer eignet sich durch ihre geschlossene Bauweise gut zur Untersuchung gasförmiger Proben. Für ein solches Experiment ist Thoriumemanation sehr gut geeignet. Thoriumemanation (Thoron oder Radon²²⁰) ist ein radioaktives Edelgas, das laufend aus Thoriumpräparaten gebildet wird. Thoron zerfällt mit der kurzen Halbwertszeit von 56 sec. Zur Bestimmung der Halbwertszeit wird die Ionisationskammer in einen Gaskreislauf eingeschleift. Die Luft über einem Thorium enthaltenden Glühstrumpf wird mit einer

Sachverzeichnis

A

Americium²⁴¹ 17
 Anthracen 80
 ATX-Computernetzteil 131

B

Ballasttriode 176
 Barium 169
 Becquerel 12
 Bleikammer 163
 Burkhard Kainka 39
 Büschelspuren 116

C

Cäsium 169
 CCD-Kamera 105
 Chinin 92

D

Doorknop-Kondensatoren 71

E

Elektronenspur 126
 Elektroskope 24

F

Fensterdiskriminator 151
 Fotodioden 100
 Funkenkammer 58
 Funkenzähler 43

G

Geigerzähler 39, 42
 Glühstrümpfe 15

H

Halbwertszeit 12
 Hardtube-Pulser 67
 Höhenstrahlung 19

I

Ionisationskammer 23, 29

K

Komparator 149

L

Laufzeitkette 68
 Leuchtstoff 74
 Linetype-Pulser 68
 Luftverschmutzung 165

M

Marxgenerator 70
 Mesonen 19, 159

N

Naphtalin 79
 Nitrose Gase 168

P

Paranüsse 166
 Peltier-Elemente 127
 Peristaltikpumpe 133
 Pilze 169
 Plattenzähler 52
 Proportionalzähler 35
 Pt1000-Widerstand 128, 138

R

Rauchmelder 16

S

Sample/Hold-Schaltung 153

Schwarzlack 128

Schweißelektroden 16

Spitzenzähler 48

Splittrafo 148

Strahlenschauer 162

T

Taschendosimeter 25

Thermoskanne 91

Toluol 85

Trennungsschritt 168

Trigatron 53

Trockeneis 139

V

Vapochill 141

W

Waschmittelszintillator 87

Weißmacher 86

Widerstandsplattenzähler 55

X

Xylol 85

Z

Zerfallsreihe 172, 184, 185, 187

Zinksulfid 77

Thomas Rapp

Experimente mit selbst gebauten

Geigerzählern, Funken- & Nebelkammern

Das physikalische Phänomen der Radioaktivität war lange Zeit nur Wissenschaftlern bekannt. Obwohl durch das „Gleichgewicht des Schreckens“ nukleare Kriege vermieden wurden, hat das „Atom“ seit dieser Zeit für viele Menschen nichts von seinem Schrecken verloren. Für sich gesehen ist die Radioaktivität aber eine natürliche Eigenschaft der Materie, ähnlich der Elektrizität, die dem interessierten Experimentator anschauliche Versuche ermöglicht.

Mithilfe dieses Buchs können zahlreiche Selbstbauprojekte von der einfachen Ionisationskammer bis hin zum anspruchsvollen Vielkanalanalysator mit Halbleiterdetektor realisiert werden. Der Selbstbau von Proportional-, Spitzen- und Geigerzählern wird ebenso ausführlich beschrieben wie der von Szintillationsdetektoren.

Mit Funkenkammern können die Bahnen der kosmischen Strahlung sichtbar gemacht werden. Ein eigenes Kapitel ist dem Bau der faszinierenden Nebelkammern gewidmet, in denen in eindrucksvoller Weise die Spuren der atomaren Teilchen sichtbar werden und sogar Kernreaktionen beobachtet werden können. Die für kernphysikalische Messungen wichtigen elektronischen Schaltungen werden vorgestellt und erläutert.

Alle beschriebenen Versuche und Geräte wurden vom Verfasser selbst aufgebaut und ausführlich auf ihren Verwendungszweck getestet. Die im Anhang enthaltenen Tabellen und Diagramme geben Aufschluss über kernphysikalische Konstanten und wichtige Materialparameter.

Aus dem Inhalt: Experimente mit natürlicher Radioaktivität · Selbstbau und Betrieb von Ionisationskammern und Geigerzählern · Szintillationsdetektoren in der Anwendung · Die Vielfalt der Nebelkammern im Selbstbau

ISBN 978-3-7723-5377-2



9 783772 353772

EUR 29,95 [D]