

TU Ilmenau	Physikalisches Grundpraktikum	Versuch K1
Institut für Physik	<b>Schwächung von Kernstrahlung</b>	Seite 1

## 1. Aufgabenstellung

- 1.1. Die Impulszahl-Spannungs-Charakteristik eines Auslösezählrohrs ist aufzunehmen. Plateaulänge, Plateauanstieg und günstigster Arbeitspunkt sind anzugeben.
- 1.2. Die Schwächung von  $\beta^-$ -Strahlung beim Durchgang durch Aluminiumplatten unterschiedlicher Dicken ist zu untersuchen, Schwächungskoeffizient  $\mu$  und Halbwertsdicke  $\delta$  sind zu bestimmen.
- 1.3. Unterschiedliche Materialien sind bezüglich ihrer Schwächungsfähigkeit für  $\beta^-$ - und  $\gamma$ -Strahlung zu vergleichen.

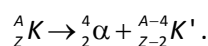
Literatur:	Schenk, W. Kremer, F. (Hrsg.)	Physikalisches Praktikum Vieweg + Teubner Verlag   Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH 13. Auflage 2011, S. 291-303
	Walcher, W.	Praktikum der Physik B. G. Teubner Stuttgart Leipzig Wiesbaden 8. Auflage 2004, S. 326-327, 337-340
	Eichler, H. J. Kronfeldt, H.-D. Sahm J.	Das Neue Physikalisches Grundpraktikum Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York 2. Auflage 2006, S. 507-512, 514-515, 518, 525-529

## 2. Grundlagen

Schwere Kerne des periodischen Systems der Elemente oder Zerfallsprodukte von Kernreaktionen sind oft nicht mehr stabil. Sie wandeln sich unter Aussendung von Strahlung, der „radioaktiven Strahlung“, in andere Elemente um. Die neuen Kerne sind dann meist auch nicht stabil und zerfallen weiter. Die Aktivität  $A$  einer radioaktiven Substanz ist als Anzahl  $dN$  der Zerfälle pro Zeiteinheit  $dt$  definiert und wird in *Bequerel (Bq)* angegeben.

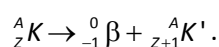
### 2.1. Arten radioaktiver Strahlung

- a)  $\alpha$ -Strahlung besteht aus Heliumkernen ( ${}^4_2\text{He}$ ), die den Mutterkern mit hoher Energie verlassen. Bei dieser Art Zerfall verringert sich die Massenzahl des Kerns um vier und die Ordnungszahl um zwei:



$K$  - Ausgangskern,  $K'$  - Endkern,  $A$  - Massezahl,  $Z$  - Kernladungszahl

- b)  $\beta^-$ -Strahlung wird emittiert, wenn ein Neutron des Mutterkerns in ein Proton, ein Elektron und ein Antineutrino zerfällt. Die Massenzahl des Tochterkerns bleibt dabei erhalten, nur die Ordnungszahl erhöht sich um eins:



Möglich ist aber auch ein  $\beta^+$ -Zerfall, bei dem aus einem Proton ein Positron, ein Neutron und ein Neutrino entstehen. Hierbei verringert sich die Ordnungszahl um eins.

- c) Als Folge von  $\alpha$ - oder  $\beta$ -Zerfällen bleibt meist ein angeregter Tochterkern (Isomer) übrig, der nach charakteristischer Zeit unter Aussendung von  $\gamma$ -Strahlung in einen energetisch tieferen oder den Grundzustand übergeht. Im Teilchenbild besteht diese Strahlung aus Photonen mit noch höherer

TU Ilmenau	Physikalisches Grundpraktikum	Versuch K1
Institut für Physik	<b>Schwächung von Kernstrahlung</b>	Seite 2

Energie als der von Röntgenquanten, im Wellenbild ist sie aus elektromagnetischen Wellenzügen mit sehr hoher Frequenz zusammengesetzt.

## 2.2. Wechselwirkung mit Materie

Abhängig von Masse, Ladung und physikalischer Natur ist die ionisierende Wirkung der drei genannten Strahlungsarten sehr unterschiedlich.

- a)  $\alpha$ -Teilchen wechselwirken stark mit Materie und verlieren ihre Energie schon in dünnen Absorberschichten (z. B. Aluminiumfolien mit Dicken kleiner als 0,01 mm oder einer Postkarte). Bei den in diesem Versuch benutzten radioaktiven Präparaten ist  $\alpha$ -Strahlung wegen ihrer zu geringen Intensität und Reichweite zu vernachlässigen.
- b)  $\beta^-$ -Teilchen, also schnelle Elektronen, haben eine höhere Durchdringungsfähigkeit als Heliumkerne. Sie können sowohl über elektromagnetische Kraftwirkungen durch Stöße als auch durch Photonenemission ihre Bewegungsrichtung und -energie ändern. Ähnlich den Vorgängen bei der Erzeugung von Röntgenstrahlung kommen hierbei als Elementarprozesse hauptsächlich elastische und unelastische Stöße mit Atomen, unelastische Stöße mit einzelnen Hüllenelektronen und elastische beziehungsweise unelastische Streuung an Atomkernen in Frage, in deren Folge die Bewegungsenergie der Elektronen hauptsächlich in Wärme, Bremsstrahlung und charakteristische Strahlung umgewandelt wird. Im Ergebnis erreicht ein Teil der  $\beta^-$ -Strahlung nach Passieren eines Absorbers bestimmter Dicke den Detektor nicht mehr, Transmissionskurven zeigen daher zunächst einen exponentiellen Abfall proportional zur Schichtdicke. Eine weitere Erhöhung der Absorberdicke macht dann aber Mehrfachstreuung mit daraus resultierender zunehmender Abweichung vom ursprünglichen Strahlengang möglich, so dass die effektive Weglänge im Absorber erhöht wird und die Transmissionskurve von der Exponentialfunktion abweicht.
- c)  $\gamma$ -Quanten sind durch elektrische oder magnetische Felder nicht ablenkbar, ihre Wechselwirkung mit Stoffen ist deshalb nicht so intensiv wie die von Elektronen oder He-Kernen. Schwächung der Strahlung kann durch Streuung (Comptoneffekt) oder Absorption (Photoeffekt, Paarbildung) der primären Photonen stattfinden. Die Wahrscheinlichkeiten der einzelnen Schwächungsmechanismen hängen vom Absorbermaterial und der Energie der einfallenden Strahlung ab. Für die in diesem Versuch verwendete  $\gamma$ -Quelle ( $^{137}_{55}\text{Cs}$ ) dominieren Photo- und Comptoneffekt. Der Photoeffekt erzeugt durch Ionisation ein Sekundärelektron mit nahezu der Photonenenergie, beim Comptoneffekt wird ein Teil der Energie des Photons auf ein Sekundärelektron übertragen, die gestreuten Photonen behalten den verbleibenden Teil der Energie (mechanisch betrachtet ein elastischer Stoß zwischen Photon und ruhendem oder schwach gebundenem Elektron). Die auf das Elektron übertragbare Energie  $\Delta E$  liegt zwischen null und  $2\varepsilon E_\gamma / (1 + 2\varepsilon)$ , dabei ist  $E_\gamma = hf$  die Energie des Primärphotons und  $\varepsilon = E_\gamma / (m_0 c^2)$  das Verhältnis zwischen Photonenenergie und der Ruheenergie des Elektrons.

Die Schwächung von  $\beta^-$ - und  $\gamma$ -Strahlen infolge der obigen Elementarprozesse wird in dünnen Absorberanordnungen näherungsweise durch ein exponentielles Abklinggesetz beschrieben:

$$I(d) = I_0 e^{-\mu d} . \quad (1)$$

TU Ilmenau	Physikalisches Grundpraktikum	Versuch K1
Institut für Physik	<b>Schwächung von Kernstrahlung</b>	Seite 3

$I$  ist die registrierte Strahlungsintensität nach der Dicke  $d$  des Absorbers,  $\mu$  der Absorptions- oder Schwächungskoeffizient, der vom Absorbermaterial und der Energie der auftreffenden Strahlung abhängt und  $I_0$  die auftreffende Strahlungsintensität. Man kann aus Gl. (1) eine Halbwertsdicke  $\delta$  ableiten, nach der die Intensität der einfallenden Strahlung auf die Hälfte abgefallen ist.

### 2.3. Geiger-Müller-Zählrohr

Das Zählrohr nach *Hans Geiger* und *Walther Müller* ist im Prinzip ein koaxialer Kondensator mit einer Füllung, bestehend aus einem Edelgas (Neon, Argon oder Helium) und Spuren eines Löschgases (z. B. Chlor, Brom, in älteren Rohren auch Dämpfe organischer Flüssigkeiten), dessen Funktionsprinzip die ionisierende Wirkung der radioaktiven Strahlung zu Grunde liegt. Abhängig von der zu registrierenden Strahlungsart und ihrem Energiebereich befindet sich entweder ein dünnes Eintrittsfenster (z. B. Glimmer) an der einen Stirnfläche oder der Zylindermantel besteht aus dünnem Glas, das auch metallummantelt sein kann (Abb. 1). Wenn zwischen Kathode und axial isoliert angebrachter Anode

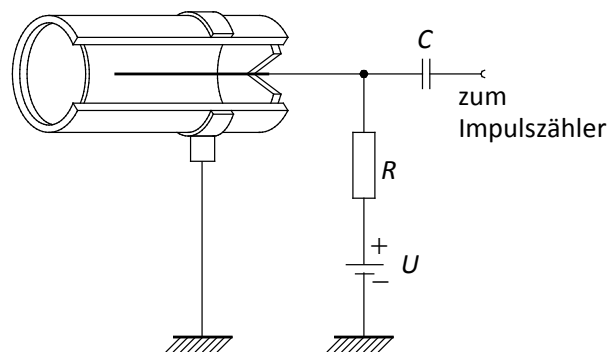


Abb. 1: Zählrohranordnung

(dünner Draht) eine elektrische Spannung  $U$  angelegt wird, bildet sich ein elektrisches Feld zwischen den Elektroden aus, dessen Stärke in Richtung Anode immer mehr zunimmt.

$\alpha$  - und  $\beta$  -Teilchen können durch Stoßionisation,  $\gamma$  - und Röntgenquanten durch an der Zylinderwand ausgelöste Sekundärelektronen einzelne oder mehrere Atome des Arbeitsgases ionisieren, die entstehenden Ionen und Elektronen bewegen sich unter dem Einfluss des elektrischen Feldes zur Kathode bzw. Anode. Die Elektronen werden hierbei immer stärker beschleunigt und sind schließlich imstande, weitere Atome zu ionisieren, was zu einer Elektronenlawine führt, die das Zählrohr kurzzeitig entlädt. Ein entsprechender Spannungsimpuls kann über den Kondensator  $C$  abgegriffen und einer elektronischen Zählordnung zugeführt werden.

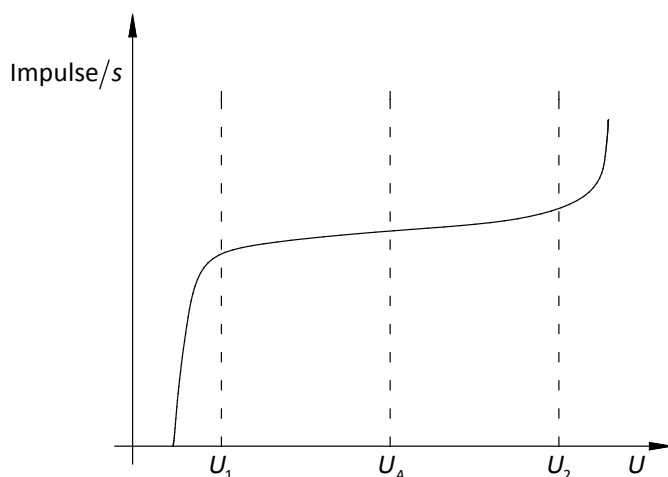


Abb. 2: Zählrohrcharakteristik

Die Aufgabe des Löschgases ist es, dafür zu sorgen, dass die hochenergetischen Edelgasionen beim Auftreffen auf die Kathode keine sekundären Entladungen auslösen können. Es hat eine niedrigere Ionisationsenergie als das Hauptgas und neutralisiert dessen Ionen schon vor Erreichen der Kathode. Selbst als Ionen dort ankommend, reicht die Gesamtenergie der Löschgasatome oder -moleküle aber nicht aus, weitere Entladungen auszulösen. Nach jeder Entladung ist das Zählrohr für eine gewisse Zeit (Totzeit

TU Ilmenau	Physikalisches Grundpraktikum	Versuch K1
Institut für Physik	<b>Schwächung von Kernstrahlung</b>	Seite 4

und anschließende Erholungszeit, einige  $10^{-4}$  s) unempfindlich gegenüber einfallenden geladenen Teilchen bzw. Quanten. In dieser Zeit baut sich die ursprüngliche Feldstärke an der Anode infolge der Abwanderung der positiven Ionen zur Kathode wieder auf.

Jeder gasgefüllte Strahlungsdetektor hat Bereiche, in denen er je nach angelegter Arbeitsspannung  $U$  als Ionisationskammer, Proportionalzählrohr oder, wie für diesen Versuch vorgesehen, als Auslösezählrohr arbeitet. Bei der Ionisationskammer sind die erzeugte Ladungsmenge und damit die Amplitude eines Impulses proportional zur Energie, die das Teilchen beim Eindringen in das aktive Volumen verliert. Im Proportionalbereich ist die Impulshöhe streng proportional zur Zahl der primär gebildeten Ionenpaare. Beim dem hier verwendeten Auslösezählrohr wird nicht die Impulshöhe, sondern nur die Zahl der Impulse pro Zeiteinheit registriert (Abb. 2). Diese Messgröße, die keine Information über die Art der Strahlung oder deren Energie zulässt, ist in einem bestimmten Spannungsbereich des Zählrohrs nur schwach von der angelegten Arbeitsspannung abhängig (Geiger-Müller-Plateau). Der Arbeitspunkt  $U_A$  sollte in der Mitte dieses Plateaus liegen. Plateaulänge  $U_2 - U_1$  und Plateausteigung in %/100V stellen wichtige Gütekriterien eines Zählrohres dar.

### 3. Messanleitung und Auswertung

Die Versuchsanordnung besteht aus radioaktiven Präparaten geringer Intensität und Energie, die, in einem Acrylglasschieber untergebracht, in unterschiedlichen Höhen in eine Halterung eingeschoben werden können. Diese nimmt auch die verschiedenen Absorberfolien auf und enthält im Oberteil ein Geiger-Müller-Zählrohr als Nachweisinstrument für die ionisierende Strahlung. Mit dem Zählrohr elektrisch verbunden ist ein Multifunktions-Zähler/Zeitgeber, er liefert auch die benötigte Betriebsspannung. Die einzustellende Betriebsart ist „Rate“, in der am Versuchsplatz ausliegenden Versuchsanleitung ist eine Bedienungsanweisung für das Gerät vorhanden.

Als Quelle von  $\beta^-$ -Strahlung dient ein Thalliumpräparat ( $^{204}_{81}\text{Tl}$ ),  $\gamma$ -Strahlen werden von einer Cäsiumprobe ( $^{137}_{55}\text{Cs}$ ) emittiert.

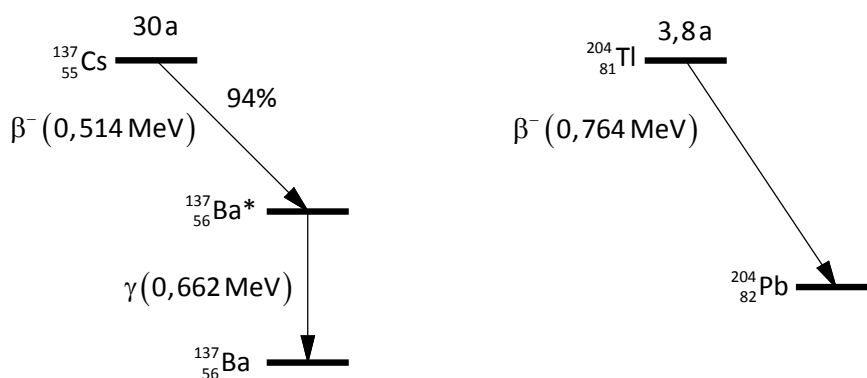


Abb. 3: Zerfallsschemen für  $^{137}_{55}\text{Cs}$  und  $^{204}_{81}\text{Tl}$

**3.1.** Mit der vorgegebenen Versuchsanordnung ist die Abhängigkeit der Impulsrate  $n$  von der Zählrohrspannung  $U$  zu bestimmen und grafisch darzustellen. Hierzu wird das Thalliumpräparat ohne Absorber in die Abstandsstufe 1 gesteckt und mit Hilfe des zuschaltbaren Lautsprechers etwa die

TU Ilmenau	Physikalisches Grundpraktikum	Versuch K1
Institut für Physik	<b>Schwächung von Kernstrahlung</b>	Seite 5

Schwellspannung für den Auslösebereich ermittelt. Von hier aus misst man in 20V-Schritten bis  $U_{\max} = 580V$ . Als Messzeit für ein Zählintervall sind 10s einzustellen und die Messung für jeden Spannungswert fünfmal durchzuführen. Da der Zähler kontinuierlich durchläuft, braucht nach Aktualisierung der Anzeige die Messung nur dann neu gestartet zu werden, wenn der Wert der Zählrohrspannung verändert wurde. Von den notierten Zählraten ist jeweils der Mittelwert zu berechnen. Aus der grafischen Darstellung  $\bar{n} = f(U)$  sind die Plateaulänge  $U_2 - U_1$  anzugeben, die Arbeitsspannung  $U_A$  festzulegen und die Plateausteigung in %/100V zu ermitteln.

**3.2.** Mit der in Versuchsteil 3.1 genutzten Anordnung, jedoch ohne das radioaktive Präparat, ist zunächst eine „Nulleffekt“-Messung durchzuführen. Hierzu werden die beiden Halter mit den Proben in den Aufbewahrungskasten geschoben und dieser mindestens 50cm vom Zählrohr weggestellt. Die Impulsrate infolge der natürlichen Radioaktivität der Umgebung (Wände, Boden, Höhenstrahlung) ist aus zehn Messungen von je 20s Dauer zu bestimmen und ihr Mittelwert dann von allen weiteren Messergebnissen zu subtrahieren.

Zur Messung der Schwächung von  $\beta^-$ -Strahlung wird das Thalliumpräparat in die Abstandsstufe 2 der Versuchsanordnung geschoben. Zunächst wird die Zählrate  $n_0$  als Maß für die ohne Absorber auf das Zählrohr treffende Strahlungsintensität  $I_0$  bestimmt. Für diese und alle weiteren Messungen lässt man das Zählgerät fünfmal jeweils 20s lang zählen und mittelt die Zählraten. Nacheinander werden die Aluminiumabsorber in Dickenabstufungen von 0,1mm, ab einer Dicke von 1mm in Stufen von 0,2mm in Abstandsstufe 1 zwischen Detektor und Quelle geschoben und die Zählraten  $n(d)$  bestimmt.

Zur Abschätzung, inwieweit die Abnahme der durch den Absorber gelangenden radioaktiven Strahlung tatsächlich durch die Exponentialfunktion gemäß Gl. (1) beschreibbar ist, ist eine linearisierende Darstellung der Messwerte angebracht. Hierzu trägt man den Logarithmus der normierten Zählrate  $\ln(n/n_0)$  über der Absorberdicke auf und bestimmt aus dem Anstieg des linearen Teils des Graphen den Schwächungskoeffizienten  $\mu$  für die entsprechende Strahlungsart. Die Halbwertsdicke  $\delta$  folgt aus Gl. (1) zu

$$\delta = \frac{\ln 2}{\mu} \quad (2)$$

und ist mit anzugeben.

**3.3.** Für den Vergleich der Schwächungsfähigkeit unterschiedlicher Materialien für  $\beta^-$ - und  $\gamma$ -Strahlung sind noch Absorber mit einer Dicke  $d = 0,5mm$  aus den Materialien Blei, Kupfer, Eisen (Stahl) und Kunststoff (Hartpapier) auf die gleiche Weise wie in 3.2 zu vermessen. Die Untersuchung des Absorptionsverhaltens für  $\gamma$ -Strahlung wird mit dem Cäsiumpräparat durchgeführt.

Die bei der Bestimmung der Plateausteigung, des Schwächungskoeffizienten  $\mu$  und der Halbwertsdicke  $\delta$  auftretenden Unsicherheiten sind anzugeben. Wenn das auf den Praktikumsrechnern installierte Auswertprogramm *PhysPract* benutzt wird, kann hierzu die nach der Berechnung der Ausgleichsgeraden angezeigte Standardabweichung des Anstieges verwendet werden. Die Absorberdicke, bis zu der

TU Ilmenau	Physikalisches Grundpraktikum	Versuch K1
Institut für Physik	<b>Schwächung von Kernstrahlung</b>	Seite 6

Gl. (1) in Aluminium gültig ist, ist für die  $\beta^-$ -Strahlung abzuschätzen. Mögliche Abweichungen von diesem Gesetz sind unter Berücksichtigung der auftretenden Schwächungsmechanismen zu diskutieren.

#### **4. Einhaltung der Strahlenschutzbestimmungen**

Siehe Anlage der am Praktikumsplatz ausliegenden Versuchsanleitung bzw. Wandaufkleber