

Radioaktiver Zerfall

Was man wissen sollte

- Radioaktivität - α, β, γ -Strahlung - Zerfallsgesetz
- Halbwertszeit - Lebensdauer
- Eigenschaften von α -Teilchen: Energie - Absorption in Materie - Reichweite
- Nachweis von α -Teilchen : Ionisationskammer

1. Physikalische Grundlagen

Das Zerfallsgesetz

Das Zerfallsgesetz gibt an, nach welcher zeitlichen Gesetzmäßigkeit eine radioaktive Probe ihre Aktivität verliert. Unter der Aktivität einer radioaktiven Probe versteht man die Anzahl der Zerfälle pro Sekunde. Der radioaktive Zerfall ist ein statistischer Prozeß, d.h. wir können nicht genau sagen, wann ein bestimmter Kern zerfällt, sondern nur die Wahrscheinlichkeit dafür angeben, daß in der nächsten Sekunde ein Zerfall erfolgt. Bezeichnen wir diese Wahrscheinlichkeit mit λ und besitzt die Probe zu einem bestimmten Zeitpunkt N Atomkerne, dann werden in einer Sekunde λN Kerne zerfallen. Die Aktivität A ist dann gleich der sekundlichen Abnahme der vorhandenen Kerne:

$$A = -\frac{dn}{dt} = -\lambda N$$

λ nennt man die Zerfallskonstante. Die Integration dieser Gleichung liefert das Zerfallsgesetz:

$$N = N_0 e^{-\lambda t}$$

Die Anzahl der Kerne und damit auch die Aktivität nehmen exponentiell ab. Die reziproke Zerfallskonstante $1 / \lambda = \tau$ gibt die mittlere Lebensdauer der betrachteten Atomkerne an. Anschaulicher als diese Größe ist die Zeit, die vergeht, bis die Anzahl der noch nicht zerfallenen Kerne auf die Hälfte abgenommen hat (oder mit anderen Worten, bis genau die Hälfte der Kerne zerfallen ist). Diese "Halbwertszeit" $T_{1/2}$ hängt natürlich mit der mittleren Lebensdauer τ zusammen. Setzt man in obige Gleichung $N = N_0/2$ und $t = T_{1/2}$ so erhält man

$$\frac{N_0}{2} = N_0 e^{-\lambda T_{1/2}}$$

Daraus ergibt sich

$$T_{1/2} = \frac{\ln 2}{I} = t \ln 2 \quad (\ln 2 = 0,693)$$

Die Halbwertszeit kann beispielsweise aus dem zeitlichen Abklingen des Sättigungsstromes ermittelt werden, der durch die Strahlung in einer Ionisationskammer erzeugt wird.

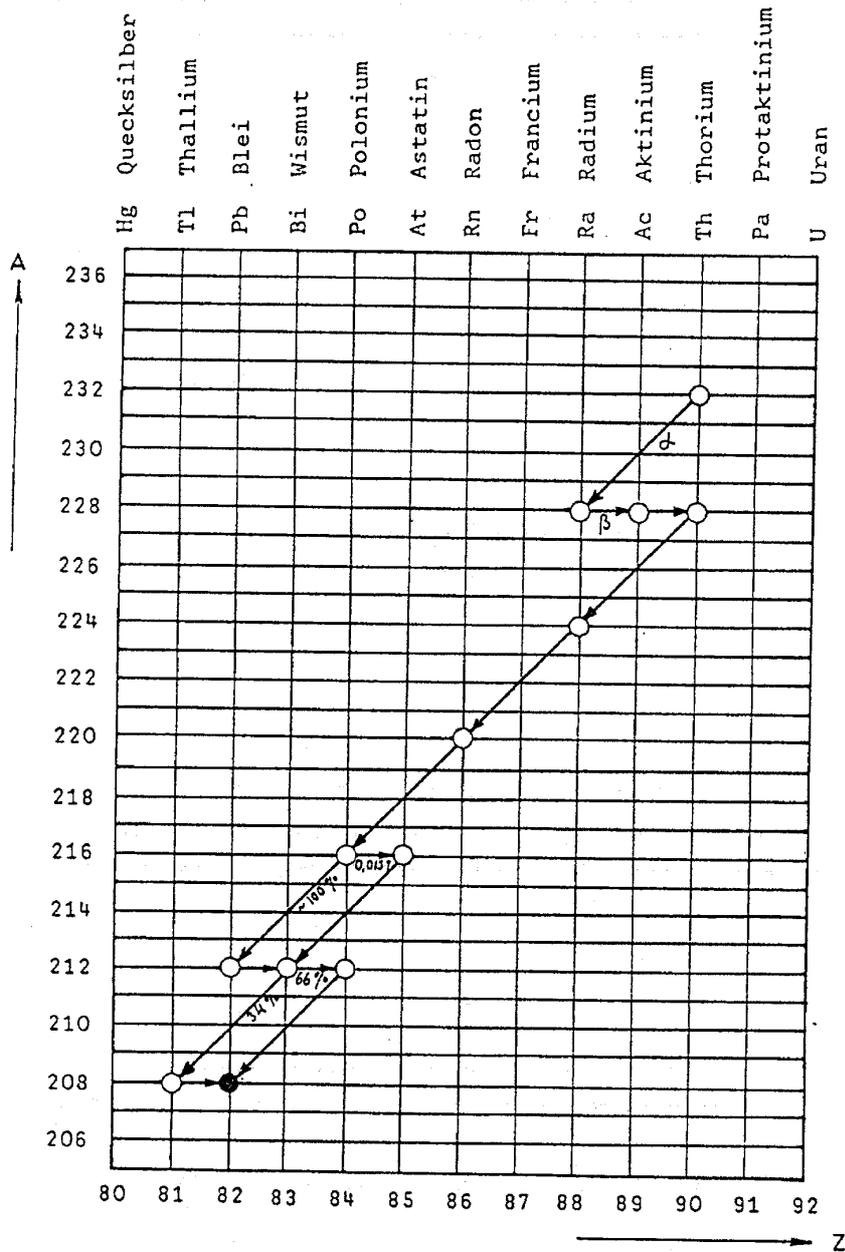


Abbildung 1: Die Thoriumzerfallsreihe

Die Zerfallsreihen

Einige in der Natur vorkommenden radioaktiven Kerne bilden den Anfang einer sogenannten Zerfallsreihe. Man versteht darunter, daß die jeweiligen Zerfallsprodukte wiederum instabil und damit aktiv sind. Der Zerfall wird sich dann solange fortsetzen, bis die Reihe bei einem stabilen Nuklid endet. Die natürlichen Zerfallsreihen beginnen bei den Kernen $^{232}_{90}\text{Th}$, $^{235}_{92}\text{U}$ und $^{238}_{92}\text{U}$. Endprodukte sind jeweils Isotope des Blei. Die Thoriumreihe ist in Abb.1 vollständig dargestellt.

Das in der Thoriumreihe auftretende Isotop des Edelgases Radon $^{220}_{86}\text{Rd}$ ist gasförmig. Daher die historische Bezeichnung Thorium-Emanation. Es kann leicht abgetrennt werden und eignet sich gut zur Bestimmung der Halbwertszeit. Die Folgeprodukte sind α - und β -Strahler mit anderen Halbwertszeiten, die innerhalb der Beobachtungszeit für den Thoriumzerfall keinen Einfluß auf die Messung haben.

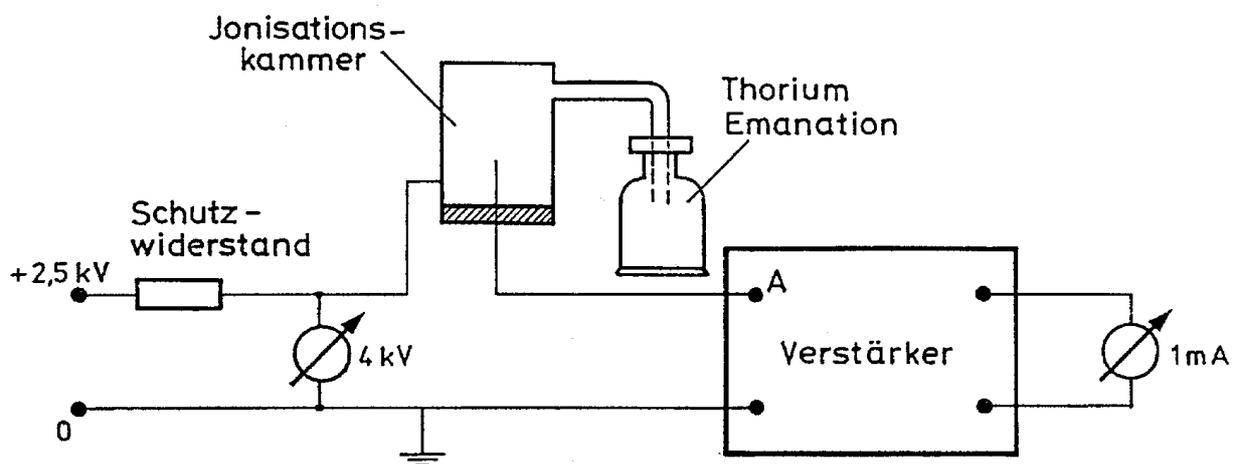


Abbildung 2: Der Versuchsaufbau

2. Apparative Grundlagen

Die Ionisationskammer

Eine Ionisationskammer besteht im Prinzip aus einem (Platten- oder Zylinder-) Kondensator, zwischen dessen Elektroden sich ein Detektorgas befindet. In unserem Fall handelt es sich um Luft unter Atmosphärendruck. An die Elektroden wird eine Gleichspannung gelegt und ein hochempfindlicher Strommesser in den Kreis geschaltet. Der α -Strahler wird in das aktive Zählvolumen der Ionisationskammer gepumpt. Die emittierten α -Teilchen ionisieren durch Stoß die Gasmoleküle in der Kammer. Infolge der angelegten Spannung wandern die entstandenen Ladungen (negative Elektronen und positive Ionen) je nach Polarität zur entsprechenden Elektrode. Der von den beweglichen Ladungen erzeugte Strom kann mit Hilfe eines Verstärkers gemessen werden. Jedes α -Teilchen erzeugt auf Grund seiner hohen kinetischen Energie von einigen MeV etwa 10^5 Ion/Elektron-Paare durch Ionisation. Dies genügt nicht, um mit der einfachen Ionisationskammer des Praktikums ein einzelnes Teilchen nachzuweisen, und würde sensitivere

Detektorelektronik verlangen; ist aber grundsätzlich möglich. Damit ist im Praktikumsversuch nur der Nachweis einer kontinuierlichen Strahlungsintensität möglich. Zum Einzelnachweis von radioaktiven Teilchen kann alternativ ein Zählrohr verwendet werden

3. Versuchsanleitung

Aufgabe

Es ist die Halbwertszeit von Thoriumemanation zu messen.

Versuchsdurchführung

Zunächst wird die Schaltung aufgebaut, wie sie in Abb.2 gezeichnet ist. Durch wiederholtes Pumpen an dem Einweg-Blasebalg wird so viel Emanation aus dem Plexiglasbehälter in die Ionisationskammer gebracht, bis der Zeiger des Instrumentes über Vollausschlag steht. Nun wird die zeitliche Abnahme des Stromes gemessen, indem alle 10 Sekunden der Ausschlag am Instrument abgelesen wird. Beim Durchgang des Zeigers durch Vollausschlag ist $t = 0$ s. Die Meßreihe soll über eine Zeitspanne von ca. 5 Minuten aufgenommen und insgesamt 3 mal wiederholt werden.

Auswertung und Fehlerrechnung

In unserem Versuchsaufbau wird nicht die Zählrate N sondern der Strom I (in Skalenteilen) in der Ionisationskammer gemessen. Da beide Größen zueinander proportional sind, kann auch aus der zeitlichen Stromabnahme die Halbwertszeit bestimmt werden.

Die Werte der 3 Einzelmessungen werden gemittelt. Für die quantitative Auswertung formen wir das Zerfallsgesetz um, indem wir die Zählrate N durch den Strom I ersetzen und beide Seiten logarithmieren:

$$\ln I = \ln I_0 - \lambda t$$

In dieser Form erhalten wir eine Gerade, wenn wir den $\ln I$ gegen die Zeit auftragen. Die Steigung der Geraden ist gleich der Zeitkonstanten λ , aus der die Halbwertszeit errechnet werden kann. Die Fehlerberechnung kann aus der Variation der Steigung der Ausgleichsgerade abgeschätzt werden.