

## Versuch B 13: Radioaktiver Zerfall

- 1. Literatur:** Walcher, Praktikum der Physik  
 Gerthsen/Kneser/Vogel, Physik  
 Bergmann-Schaefer, Lehrbuch der Experimentalphysik, Bd. IV,2: Aufbau der Materie  
 SchpolSKI, Atomphysik, Bd. I u. II  
 Kohlrausch, Praktische Physik, Bd. 2 u. 3

**Stichworte:** Kernübergänge und -umwandlungen, Radioaktivität, Zerfallstypen ( $\alpha$ -,  $\beta$ -Zerfall), Zerfallsreihen, Aktivität, Zerfallsgesetz, Zerfallskonstante, Halbwertszeit, Ionisation durch radioaktive Strahlung, Geiger-Müller-Zählrohr

## 2. Grundlagen

### 2.1 Angeregte Atomkerne

Wie die Elektronen in einem Atom, kann auch ein Atomkern mit seinen Bausteinen, den Nukleonen (Protonen u. Neutronen), sich in verschiedenen Energiezuständen mit bestimmten, für den Kern charakteristischen Energien befinden. Die Anregungsniveaus eines Atomkerns liegen also wie die der Atomhülle um diskrete Energiewerte oberhalb des niedrigsten Energieniveaus, das dem Grundzustand entspricht. Im Gegensatz zu den Elektronen der Atomhülle, deren Niveaus sich um Energien der Größenordnung eV bis keV unterscheiden, sind die Energieabstände der Niveaus eines Atomkerns von der Größenordnung MeV. Die Anregung eines Atomkerns ist mit der Aufnahme einer entsprechenden Energie verbunden. Nach einer i.a. sehr kurzen Zeit von etwa  $10^{-14}$  s bis  $10^{-12}$  s kehrt der angeregte Kern spontan unter Emission eines  $\gamma$ -Quants oder mehrerer  $\gamma$ -Quanten<sup>1)</sup> in den Grundzustand zurück. Man beobachtet ein für den Kern charakteristisches Linienspektrum.

### 2.2 Spontane Kernumwandlungen

Bei einer Kernumwandlung geht der Atomkern eines Nuklids (Atomart mit bestimmter Massenzahl A, d.h. Protonenzahl Z + Neutronenzahl N) in den Atomkern eines anderen Nuklids oder in mehrere Atomkerne verschiedener Nuklide über. Die Umwandlung kann spontan oder erzwungen (z.B. durch

1)  $\gamma$ -Quanten sind die Strahlungsquanten (Photonen) der bei Kernübergängen absorbierten bzw. emittierten kurzwelligigen elektromagnetischen Strahlung.

Teilchenbeschuss) erfolgen. Die spontane Kernumwandlung ist i.a. mit der Emission eines energiereichen ionisierenden Teilchens verbunden. Die wichtigsten spontanen Kernumwandlungen sind der  $\alpha$ - und der  $\beta$ -Zerfall: Beim  $\alpha$ -Zerfall wird ein  $\alpha$ -Teilchen (He-Atomkern) emittiert, beim  $\beta^+$ -Zerfall ein  $\beta^+$ -Teilchen (Positron bzw. Elektron) zusammen mit einem *Neutrino*  $\nu_e$  bzw. *Antineutrino*  $\bar{\nu}_e$ . Befindet sich der bei der Umwandlung entstehende Atomkern nicht im Grundzustand, kann der Energieüberschuss zusätzlich in Form von  $\gamma$ -Strahlung abgegeben werden. Man spricht bei einer spontanen Kernumwandlung wegen der ionisierenden Wirkung der Teilchen auch von einer radioaktiven *Kernumwandlung* bzw. von einem *radioaktiven Zerfall*. Die verschiedenen Zerfallstypen zeigt Abb. 1 in einem Energieschema. Beispiele für Übergänge in angeregte Kernzustände zeigt Abb. 2.

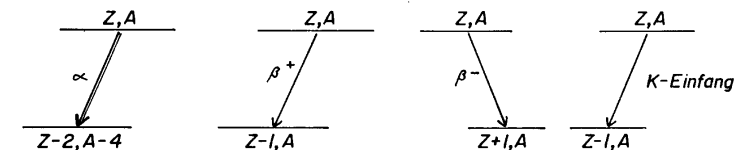


Abb.1: Spontane Kernumwandlungen, schematisch

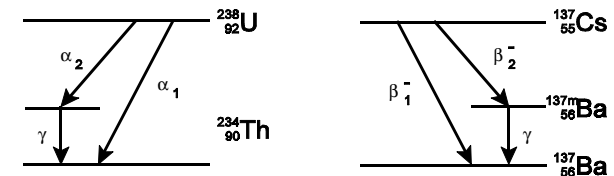
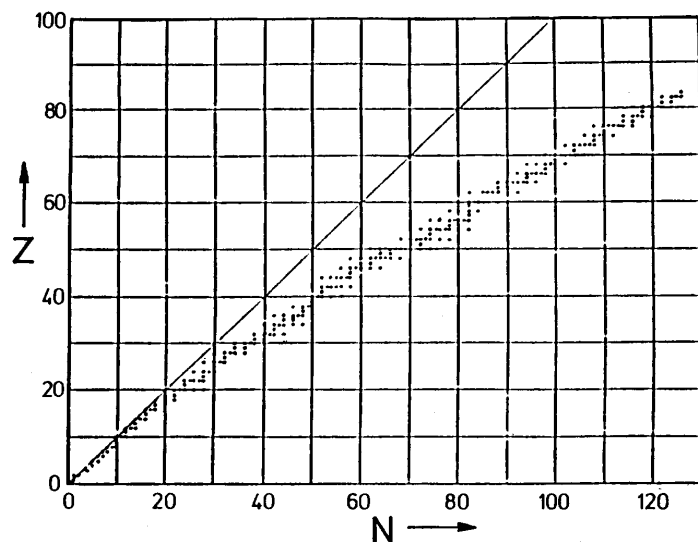


Abb.2: links:  $\alpha$ -Zerfall von  $^{238}\text{U}$  mit  $\alpha_1$  in den  $^{234}\text{Th}$ -Grundzustand, mit  $\alpha_2$  in den  $^{234}\text{Th}$ -Anregungszustand und  $\gamma$ -Übergang in den Grundzustand; rechts:  $\beta$ -Zerfall von  $^{137}\text{Cs}$  mit  $\beta_1^-$  in den  $^{137}\text{Ba}$ -Grundzustand, mit  $\beta_2^-$  in metastabiles  $^{137\text{m}}\text{Ba}$  und  $\gamma$ -Übergang in den Grundzustand

Die Ursache für den radioaktiven Zerfall liegt in der Instabilität bzw. Metastabilität vieler Atomkerne. Von den bis heute über 2000 bekannten Nukliden sind nur 265 stabil. Die stabilen Nuklide liegen in einem eng begrenzten Bereich der N-Z-Ebene (s. Abb. 3). Trägt man die Energie bzw. Masse ( $E = m c^2$ ) aller Nuklide über der N-Z-Ebene auf, so liegen die stabilen Atomkerne in einem *Stabilitätstal*. Die instabilen Nuklide (*Radionuklide*), zu denen auch die in der

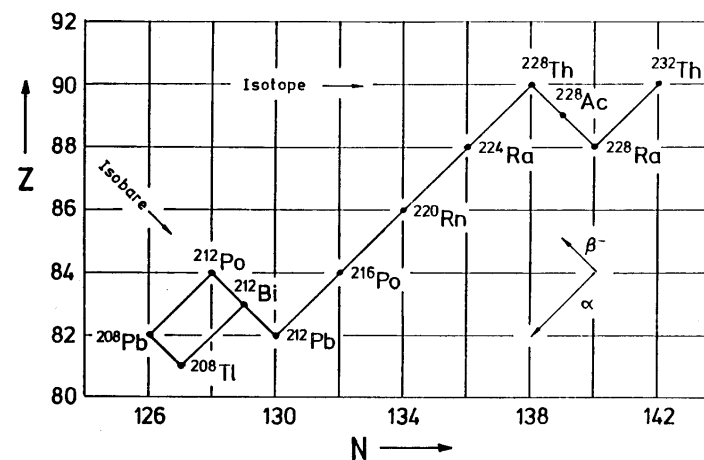


**Abb.3:** Stabilitätsbereich der Nuklide (Punkte) in der N-Z-Ebene; (---):  $N = Z$  - Gerade

Erdkruste bzw. Erdatmosphäre vorkommenden natürlichen Radionuklide gehören, zerfallen nach einer mittleren Lebensdauer  $\tau$  (s.u.). Diese ist für jede Nuklidsorte spezifisch und reicht von etwa  $10^{-7}$  s bis  $10^{11}$  a. Die Zeit für spontane Kernumwandlungen ist also wesentlich größer als für Übergänge angeregter Atomkerne.

Oft sind die bei einem radioaktiven Zerfall entstehenden Nuklide selbst nicht stabil, so dass diese wiederum zerfallen. Es kann somit eine aus mehreren Radionukliden bestehende *Zerfallsreihe* existieren, deren Ende immer ein stabiles Nuklid bildet. Abb.4 zeigt eine der drei bekannten radioaktiven Familien, der Zerfallsreihen natürlicher radioaktiver Nuklide. Sie beginnt bei dem langlebigen Isotop<sup>2)</sup>  $^{232}\text{Th}$  des Elements Thorium (*Mutternuklid*), das sich unter  $\alpha$ -Zerfall mit einer Halbwertszeit (s.u.) von  $T_{1/2} = 1,4 \times 10^{10}$  a in  $^{228}\text{Ra}$  umwandelt. Die Halbwertszeiten der nachfolgend durch  $\alpha$ - oder  $\beta$ -Zerfall gebildeten *Tochter-nuklide* sind alle wesentlich geringer. Die Reihe endet schließlich beim stabilen Isotop  $^{208}\text{Pb}$ .

2) Isotope = Nuklide mit gleicher Protonenzahl Z;  
Isobare = Nuklide mit gleicher Massenzahl A (s. Abb. 4)



**Abb.4:** Zerfallsreihe des  $^{232}\text{Th}$

Die in Abb. 2 gezeigten Kernumwandlungen können auch als "Zerfallsreihen" mit lediglich einem instabilen Tochternuklid aufgefasst werden. Das rechts in der Abb. 2 gezeigte Isotop  $^{137}\text{Cs}$  wird im vorliegenden Versuch verwendet. Es zerfällt mit der Halbwertszeit (s.u.) von ca. 30 Jahren zu 94% unter  $\beta^-$ -Emission in das metastabile Isotop  $^{137m}\text{Ba}$ , welches nach einer Halbwertszeit von 153 s unter  $\gamma$ -Emission in den Grundzustand übergeht.

### 2.3 Zerfallsgesetz, Aktivität

Man beobachtet, dass der radioaktive Zerfall einen rein statistischen Charakter hat. Dies bedeutet, dass der Zeitpunkt des Zerfalls eines bestimmten Atomkerns einer radioaktiven Substanz nicht voraussagbar ist. Lediglich die Zerfallswahrscheinlichkeit für ein vorgegebenes Zeitintervall ist bestimmbar. Diese beschreibt nur die Zerfallsrate einer großen Anzahl von Atomkernen hinreichend genau.

Besteht eine radioaktive Substanz aus  $N$  ( $\gg 1$ ) Atomkernen der gleichen Nuklidsorte mit der Zerfallswahrscheinlichkeit oder *Zerfallskonstanten*  $\lambda$ , so zerfallen pro Zeiteinheit  $A = N \lambda$  Atomkerne. Die Größe  $A$  nennt man *Aktivität*. (Einheit: *Becquerel*;  $1 \text{ Bq} = 1 \text{ Umwandlung/s}$ <sup>3)</sup>). Kommen zu der radioaktiven Substanz keine neuen Kerne hinzu, ist die Aktivität  $A$  numerisch gleich der Rate  $dN/dt$ :

3) Die frühere, heute nicht mehr benutzte Einheit für die Aktivität ist das *Curie*;  
 $1 \text{ Ci} = 3,7 \times 10^{10} \text{ Bq}$ .

$$A = N\lambda = -\frac{dN}{dt} \quad (1)$$

Integration von Gl. (1) ergibt mit der Anfangsbedingung  $N(t=0) = N_0$  bzw. mit  $A_0 = N_0 \lambda$ :

$$N(t) = N_0 e^{-\lambda t} \quad \text{bzw.} \quad A(t) = A_0 e^{-\lambda t} \quad (2)$$

Da mit Gl. (1)  $dN = N \lambda dt$  Atomkerne im Zeitintervall zwischen  $t$  und  $t + dt$  zerfallen, d.h. ihre Lebensdauer gerade  $t$  ist, ergibt sich mit Gl. (2) für die *mittlere Lebensdauer*  $\tau$  eines Radionuklids:

$$\tau = \frac{1}{N_0} \int_0^{N_0} t dN = \int_0^{\infty} t \lambda e^{-\lambda t} dt = \frac{1}{\lambda} \quad (3)$$

Üblicher ist die Angabe der *Halbwertszeit*  $T_{1/2}$  eines Radionuklids.  $T_{1/2}$  ist gleich dem Zeitintervall, in dem die Zahl  $N$  jeweils auf die Hälfte des Anfangswertes abnimmt:

$$\frac{N(t + T_{1/2})}{N(t)} = \frac{e^{-\lambda(t + T_{1/2})}}{e^{-\lambda t}} = e^{-\lambda T_{1/2}} = \frac{1}{2} \quad (4)$$

$$T_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda}$$

Die Zerfallskonstante oder Halbwertszeit einer radioaktiven Substanz kann mit Gl.(2) ( $A \sim N$ ) über die Aktivitätsabnahme bestimmt werden. Im vorliegenden Versuch wird diese über die zeitliche Abnahme der Zahl von  $\gamma$ -Quanten ermittelt, welche von einer bestimmten Ausgangsmenge des metastabilen  $^{137m}\text{Ba}$  emittiert werden.

Bei einer radioaktiven Substanz mit verschiedenen Nukliden, die gleichzeitig innerhalb einer Zerfallsreihe vorliegen, muss beachtet werden, dass die Aktivitäten

der Tochternuklide nicht unabhängig voneinander sind. Zerfällt z.B. Nuklid 1 mit der Konstanten  $\lambda_1$  in Nuklid 2, welches mit der Konstanten  $\lambda_2$  weiter zerfällt bzw. sich umwandelt, gilt

$$\frac{dN_1}{dt} = -N_1 \lambda_1; \quad \frac{dN_2}{dt} = N_1 \lambda_1 - N_2 \lambda_2; \quad A_1 = N_1 \lambda_1 \quad (5)$$

Die Lösung der Dgln. (5) führt mit der Anfangsbedingung  $N_2(0) = 0$  zu

$$A_2(t) = A_1(0) \frac{\lambda_2}{\lambda_2 - \lambda_1} \left( e^{-\lambda_1 t} - e^{-\lambda_2 t} \right) \quad (6)$$

Ist die Halbwertszeit des Mutternuklids wie im vorliegenden Versuch wesentlich größer als die des Tochternuklids ( $\lambda_2 \gg \lambda_1$ ), kann  $\lambda_1$  in Gl. (6) vernachlässigt werden und man erhält:

$$A_2(t) = A_1(0) \left( 1 - e^{-\lambda_2 t} \right) \quad (7)$$

Nach der Zeit  $t \gg 1/\lambda_2$  ist:

$$A_2(t) = A_1(0) = \text{const.} \quad \text{bzw.} \quad \lambda_2 N_2 = \lambda_1 N_1 \quad (8)$$

Dieser (für  $t \ll 1/\lambda_1$  stationäre) Zustand wird *radioaktives Gleichgewicht* genannt.

## 2.4 Ionisierung durch radioaktive Strahlung

Treffen die elektrisch geladenen  $\alpha$ - oder  $\beta$ -Teilchen auf Materie, z.B. die Moleküle eines Gases, treten sie u.a. mit den Atomelektronen durch inelastische Stöße bzw. Streuung in Wechselwirkung, welche zur Anregung oder Ionisation des Gases führen kann. Auch  $\gamma$ -Quanten können infolge ihres elektromagnetischen Feldes Atome oder Moleküle ionisieren, wobei sie entweder inelastisch gestreut (Compton-Effekt) oder absorbiert werden (Photoeffekt u. Paarbildung). Die Ionisation von Gasen durch  $\alpha$ -,  $\beta$ - und  $\gamma$ -Strahlen bzw. der Photoeffekt durch  $\gamma$ -Strahlen bildet die Grundlage der meisten Kernstrahlungsmessverfahren (Ionisationskammer, Proportional- u. Geiger-Müller-Zählrohr, Nebel-, Blasen- u. Funkenkammer).

## 2.5 Geiger-Müller-Zählrohr

Die Funktionsweise eines Geiger-Müller-Zählrohrs zum Nachweis ionisierender Strahlung beschreibt Abb. 5 schematisch:

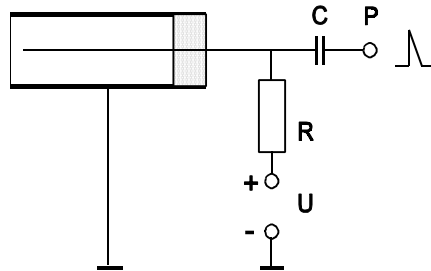


Abb. 5: Geiger-Müller-Zählrohr

Das Zählrohr besteht aus einem zylinderförmigen Metallgehäuse, das an einer Seite durch eine dünne, für  $\alpha$ - und  $\beta$ -Teilchen durchlässige Folie abgeschlossen ist. Durch das andere geschlossene Ende des Rohrs ragt axial ein dünner Metalldraht, der vom Gehäuse isoliert über einen Widerstand  $R$  ( $> 1 \text{ M}\Omega$ ) mit dem Pluspol einer Spannungsquelle  $U$  (ca. 500 V) verbunden ist. Deren Minuspol ist mit dem (geerdeten) Gehäuse verbunden. Das Zählrohr ist mit Inertgas (z.B. Argon ca. 100 mbar) und einem Zusatz von Alkoholdampf (ca. 10 mbar) gefüllt. Tritt radioaktive Strahlung ( $\alpha$ ,  $\beta$ ) in das Rohr, werden einzelne Gasatome ionisiert, die Elektronen werden zum positiv geladenen Draht in Richtung der Rohrachse, die positiven Ionen zum Gehäuse hin beschleunigt. Die  $\gamma$ -Quanten setzen dagegen vorwiegend aus der Gehäusewand Elektronen frei (Photoeffekt).

Aufgrund der zur Rohrachse ansteigenden elektrischen Feldstärke werden die freigesetzten Elektronen so stark beschleunigt, dass sie auf dem Weg zum Draht weitere Gasatome ionisieren. Es kommt zu einer Entladung des gesamten Rohrs, die jedoch zeitlich durch den Alkoholzusatz begrenzt wird. Der Entladungsstrom erzeugt im Widerstand  $R$  einen Spannungspuls, der über den Kondensator  $C$  am Punkt  $P$  als Zählpuls registriert wird.

Die Zählrate des Rohrs ist über einen weiten Bereich der Spannung  $U_0 < U < U_1$  nahezu unabhängig von  $U$  (sog. *Geigerplateau*). Unterhalb der Einsetzspannung  $U_0$  ist die Rate Null, oberhalb der Spannung  $U_1$  finden Nachentladungen des Rohrs

statt.

## 3. Aufgabenstellung

- Aufgabe:** Bestimmen Sie die Impulsrate eines Geiger-Müller Zählrohrs in konstantem Abstand vom radioaktiven Präparat  $^{137}\text{Cs}$  als Funktion der Zählrohrspannung.
- Aufgabe:** Bestimmen Sie die zeitabhängige Impulsrate infolge der von  $^{137\text{m}}\text{Ba}$  emittierten  $\gamma$ -Strahlung nach Eluation (Ausspülung) aus dem  $^{137}\text{Cs}$ . Bestimmen Sie aus dem Ergebnis die Halbwertszeit  $T_{1/2}$  von  $^{137\text{m}}\text{Ba}$ .
- Aufgabe:** Bestimmen Sie die zeitabhängige Impulsrate infolge der  $\gamma$ -Strahlung, die von neu in  $^{137}\text{Cs}$  gebildetem  $^{137\text{m}}\text{Ba}$  nach Eluation emittiert wird. Bestimmen Sie aus dem Ergebnis ebenfalls die Halbwertszeit  $T_{1/2}$  von  $^{137\text{m}}\text{Ba}$ .

## 4. Versuchsaufbau

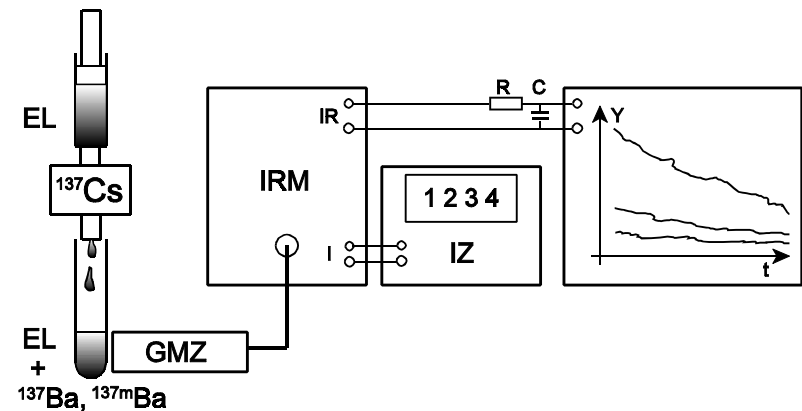


Abb. 6:  $^{137}\text{Cs}$  Isotopengenerator; EL Eluationsflüssigkeit zur Auswaschung des  $^{137\text{m}}\text{Ba}$  und  $^{137}\text{Ba}$ ; GMZ Geiger-Müller-Zählrohr angeschlossen an Impulsratenmesser IRM; Impulszählung über dessen Ausgang I mit Impulszähler IZ; analoge Bestimmung der Impulsrate  $R(t)$  über dessen Ausgang IR mit einem Y-t-Schreiber

Den Versuchsaufbau zeigt schematisch Abb.6: Das im Versuch benutzte Ausgangspräparat, der sog. *Isotopengenerator*  $^{137}\text{Cs}$  ist als schwer lösliches Salz gebunden von einem zylindrischen Behälter umschlossen. Öffnungen des Behälters an der oberen und unteren Stirnseite gestatten es, eine Eluationslösung (angesäuerte Kochsalzlösung) mittels einer Spritze durch das Salz zu pressen, wobei das leichter lösliche Zerfallsprodukt des  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{137\text{m}}\text{Ba}$  und  $^{137}\text{Ba}$ , mit der durchgepressten Eluationsflüssigkeit in einem unter den Isotopengenerator gehaltenes Reagenzglas aufgefangen wird.

Das dicht am Reagenzglas positionierte Geiger-Müller-Zählrohr GMZ registriert die vom  $^{137\text{m}}\text{Ba}$  emittierte  $\gamma$ -Strahlung durch eine zur Strahlungsintensität proportionale Anzahl von Entladungsimpulsen. Diese werden mit dem Impulsratenmesser IRM (mit einstellbarer Zählrohrspannung) über dessen Impulsausgang I direkt vom Impulszähler IZ über das Messzeitfenster von 1 sec. gezählt digital angezeigt (Impulsrate  $R = \text{Anzahl der Impulse pro sec.}$ ).

Der analoge Impulsratenausgang IR des Gerätes gestattet zum Anderen die Aufzeichnung einer zur Aktivität  $A(t)$  und Impulsrate  $R(t)$  proportionalen zeitabhängigen Spannung  $U(t)$  mit einem Y-t-Schreiber. Zur Glättung der mit  $A$  zeitlich stark fluktuierenden Spannung  $U(t)$  dient ein sog. *RC-Filter*. Dieses verzögert die durch die am Eingang des Filters auftretenden Spannungsschwankungen verursachten Lade- bzw. Entladeströme des Kondensators  $C$  infolge des Widerstands  $R$  auf ein Zeitintervall  $\tau = R C (= 7 \text{ s})$ . Die am Filterausgang anliegende Kondensatorspannung mittelt damit zeitliche Änderungen der Eingangsspannung  $U(t)$  für Zeitintervalle  $t < \tau$  heraus.

## 5. Versuchsdurchführung und Auswertung

### 5.1 Impulsrate des Zählrohrs $R(U)$

Bei den durchzuführenden Messungen wird vorausgesetzt, dass der Isotopengenerator mindestens eine halbe Stunde vorher nicht eluiert wurde, d.h. dass er sich im radioaktiven Gleichgewicht befindet.

Zur Bestimmung der Impulsrate  $R$  des verwendeten Zählrohrs als Funktion der Zählrohrspannung  $U$  wird der Isotopengenerator **nur durch den studentischen Betreuer** aus dem Aufbewahrungsschrank für radioaktive Präparate entnommen und mit der beschrifteten Stirnseite nach oben zeigend in eine im Stativ eingespannte spezielle Halterung gelegt. Das Zählrohr wird nach vorsichtigem Entfernen der Schutzkappe am Fenster im gleichen Stativ so eingespannt, dass es seitlich möglichst dicht am Isotopengenerator anliegt.

Stellen Sie nun die Spannung des Impulsratenmessers mittels eines Stufenschalters

und eines kontinuierlichen Reglers auf etwa 200 V ein und bestimmen Sie fünfmal (falls eine Messrate festgestellt wird) mit dem Impulszähler die Impulsrate des Zählrohrs. Erhöhen Sie danach die Spannung um jeweils ca. 50 V und wiederholen Sie die Messung bis zur maximal einstellbaren Spannung (ca. 740V). Versuchen Sie danach gegebenenfalls durch geeignete Messungen innerhalb kleinerer Spannungsintervalle die Einsetzspannung des Zählrohrs genauer zu bestimmen.

Tragen Sie in der Auswertung die für jede Spannung gemittelte Impulsrate  $R$  als Funktion der Spannung  $U$  mit der jeweiligen Standardabweichung der Messreihe als (+/-)-Fehlerbalken auf. Bestimmen Sie durch eine Ausgleichsgerade durch die Messpunkte oberhalb der Einsetzspannung die (erwartet geringe) Steigung der Kennlinie  $R(U)$  im Bereich des Geigerplateaus. Diskutieren Sie mögliche Abweichungen Ihrer Messergebnisse vom erwarteten Ergebnis.

### 5.2 Impulsrate $R(t)$ des Eluats

Für die Messungen ist der Isotopengenerator **vom studentischen Betreuer** aus der Halterung zu entfernen, diese seitlich wegzuschwenken, die Schutzkappe auf das Zählrohr aufzusetzen und ein Reagenzglas so einzuspannen, dass sich sein unteres Ende (ca. 2 cm) dicht vor dem Zählrohr befindet (s. Abb.6).

Die Zählrohrspannung ist auf ca. 460 V (360 V + 100 V) einzustellen, der Analogausgang des Ratemeters IR mit dem unter den Ausgangsbuchsen liegenden Wahlschalter auf 10 Imp./s . Der angeschlossene Y-t-Schreiber wird auf Y: 0,5 V/cm, var.; t: 10s/cm, cal. eingestellt. Nach Einstellung des Nullpunkts auf dem eingespannten Millimeterpapier ist die Zeitablenkung des Schreibers zu starten und in einem Durchlauf die Spannung des Ratemeters ohne Präparat für ca. 250 s (= 25 cm) probeweise zu bestimmen. Nach Einlegen eines neuen Papiers und Einstellung des Nullpunkts wird das Eluat in das Reagenzglas gefüllt.

**Der Umgang mit dem Isotopengenerator sowie das Herstellen bzw. Einfüllen des Eluats in das Reagenzglas ist nur durch den studentischen Betreuer vorzunehmen. Schutzhandschuhe!**

Zur Herstellung des Eluats werden mit der dem Isotopengenerator beiliegenden Spritze sowie einem ebenfalls beiliegenden aufgesteckten kurzen Schlauchstück aus dem Gefäß der Eluationslösung etwa 2 bis 3 ml Flüssigkeit angesaugt. Danach wird der Schlauch von der Spritze entfernt und diese auf den an der beschrifteten Stirnseite des Generators zuvor geöffneten Anschluss aufgeschraubt. Während das untere ebenfalls geöffnete Ende des Isotopengenerators über das Reagenzglas zu halten ist, wird durch vorsichtiges Drücken der Spritze die Eluationsflüssigkeit innerhalb von 10 - 20 s durch den Isotopengenerator gepresst. Danach ist die

Spritze vom Isotopengenerator zu trennen, dieser mit den Schutzkappen zu versehen, mit Spritze und Schlauch in den Vorratsbehälter zurückzulegen und vom Eluat zu entfernen.

Nach optimaler Einstellung der Y-Achse des Schreibers (maximaler Ausschlag auf dem Papier) ist dieser zu starten und die zeitabhängige (gefilterte) Spannung  $U_R$  des Ratemeters für 750 s zu registrieren. Dazu ist die Zeitablenkung zweimal unmittelbar nach dem jeweiligen Reset (ca. 250 s) ohne Papierwechsel erneut zu starten. Zur Bestimmung des Strahlungsuntergrundes bzw. der entsprechenden Restspannung  $U_{R0}$  des Ratemeters wird das Reagenzglas vom Zählrohr entfernt und der Schreiber ein weiteres Mal für 250 s gestartet.

In der Auswertung ist die Schreiberspannung  $U_R$  nach Abzug eines zeitlichen gemittelten Untergrundes  $U_{R0}$  in cm-Einheiten in Abständen von jeweils 10 s zu bestimmen und ihr Logarithmus über der Zeit aufzutragen, also  $\ln(U_R - U_{R0})$  über  $t$ . Bestimmen Sie aus der Steigung einer Ausgleichsgeraden durch die Messpunkte die Zerfallskonstante  $\lambda$  sowie die Halbwertszeit  $T_{1/2}$  des  $^{137m}\text{Ba}$ -Isotops. Schätzen Sie den Fehler von  $\lambda$  bzw.  $T_{1/2}$  über den bei der Bestimmung der Geradensteigung ab und vergleichen Sie Ihr Ergebnis mit den Literaturwerten.

### 5.3 $\gamma$ -Impulsrate $R(t)$ des Isotopengenerators nach Eluation

Der Versuchsaufbau entspricht dem der ersten Aufgabe. Wie zuvor ist **nur der studentische Betreuer** befugt, mit dem Isotopengenerator und dem Eluat umzugehen. Um sicherzustellen, dass lediglich die  $\gamma$ -Strahlung vom Zählrohr registriert wird, ist auf seine schwarze Schutzkappe eine weitere aus Aluminium (2mm Dicke) aufzustecken. Unter den Isotopengenerator wird ein Becherglas gestellt, auf ihn die mit Eluationsflüssigkeit wie zuvor gefüllte Spritze geschraubt.

Vor der Eluation wird die  $\gamma$ -Empfindlichkeit des Schreibers so eingestellt, dass die der Impulsrate entsprechende Spannung  $U_R$  eine Linie am oberen Rand des neu eingelegten Schreiberpapiers erzeugt. Um zu garantieren, dass sich im Rahmen der Messgenauigkeit radioaktives Gleichgewicht (Gl. 8) eingestellt hat, ist mindestens 20 min. nach der zuletzt durchgeführten Eluation zu warten. Starten Sie danach die Zeitablenkung des Schreibers, um eine der konstanten Aktivität  $A_1$  entsprechende Spannung  $U_{R1}$  über 250 s aufzuzeichnen.

Danach ist die Eluation wie in Aufgabe 1 durchzuführen. Dabei wird der Isotopengenerator aus der Halterung genommen, die Eluationsflüssigkeit durch den Generator gedrückt und das Eluat im Reagenzglas aufgefangen. Unmittelbar danach wird der Generator in die Halterung zurückgestellt, das Reagenzglas entfernt und der Schreiber gestartet. Zeichnen Sie wie bei der 2. Aufgabe die der Impulsrate entsprechende Spannung  $U_R$  über 500 s auf.

Nach der Messung wird der Isotopengenerator **vom studentischen Betreuer** im Behälter zur Aufbewahrung in den Präparateschrank zurückgelegt. Das Eluat kann nach einer Wartezeit von einer halben Stunde unter Wasserspülung im Ausguss entsorgt werden.

Bei der Auswertung ist wie in Aufgabe 2 zu verfahren, nur das hier die Differenz von einer gemittelten Spannung  $U_{R1}$  und der Messspannung  $U_R(t)$  zu bestimmen und logarithmisch aufzutragen ist. Bestimmen Sie aus der Steigung einer Ausgleichsgeraden durch die Messpunkte mit Gl. (7) ebenfalls die Zerfallskonstante  $\lambda$  bzw. Halbwertszeit  $T_{1/2}$  von  $^{137m}\text{Ba}$  und diskutieren Sie das Ergebnis im Vergleich zum Literaturwert.

Anmerkung: Da bei der Auswertung dieser Messung anders als zuvor die Differenz von zwei mit größeren Schwankungen versehenen Spannungen gebildet wird, kann im Ergebnis eine größere Differenz zum Literaturwert auftreten als zuvor. Es empfiehlt sich daher, die Messzeit bzw. das Zeitintervall für die Geradenanpassung so zu beschränken, dass die in der logarithmischen Auftragung mit wachsender Zeit zunehmende Streuung der Messpunkte die Festlegung der Geradensteigung möglichst wenig beeinflusst.

Literaturdaten zur Kernumwandlung  $^{137}\text{Cs} - ^{137}\text{Ba}$ :

$^{137}\text{Cs}$ :  $T_{1/2} = 30,2 \text{ a}$ ;  $^{137m}\text{Ba}$ :  $T_{1/2} = 153 \text{ s}$

$E_{\beta 1} = 1,173 \text{ MeV}$  (6 %);  $E_{\beta 2} = 0,511 \text{ MeV}$  (94 %);  $E_{\gamma} = 0,6616 \text{ MeV}$

### 6. Fragen zur Selbstkontrolle

- 1) Was geschieht bei der Anregung, was bei der Umwandlung eines Atomkerns, was ist mit *radioaktivem Zerfall* gemeint?
- 2) Was sind die wichtigsten spontanen Kernumwandlungen?
- 3) Wie ändern sich die Größen  $A$ ,  $N$ ,  $Z$  beim  $\alpha$ - und  $\beta$ -Zerfall und welche Teilchen werden dabei emittiert?
- 4) Was bedeuten Begriffe wie Nuklid, Isotop, Isobar?
- 5) Zeichnen Sie das Umwandlungsschema von  $^{137}\text{Cs}$ .
- 6) Leiten Sie das Zerfallsgesetz her! Was bedeuten *Zerfallskonstante*, *Lebensdauer*, *Halbwertszeit* u. *Aktivität*?
- 7) Erklären Sie die Ionisation durch  $\alpha$ -,  $\beta$ - und  $\gamma$ -Strahlen!
- 8) Wie funktioniert ein Geiger-Müller-Zählrohr?