



Lange Halbwertszeiten

Stand: 22.08.2009

Inhalt

	Seite
A. Versuchsanleitung:	
1. Vorwort zum Versuch.....	2
2. Vorkenntnisse	2
3. Aufgabenstellung.....	3
4. Hinweise zur Versuchsauswertung	5
B. Technische Hinweise:	
1. Versuchsaufbau	7
2. Funktion der Messanordnung	10
3. Geräteliste für den Versuch.....	10
4. Gasversorgung	11
5. Präparate	13
6. Hinweise zur Versuchsdurchführung	13
7. Gerätebeschreibungen (siehe Ordner am Versuch)	
D. Literatur:	
1. Wissenschaftliche Arbeiten.....	14
2. Weiterführende Literatur	14

A. Versuchsanleitung

1. Vorwort zum Versuch

In diesem Versuch werden die Halbwertszeiten des α -Strahlers ^{147}Sm und des β -Strahlers ^{40}K bestimmt. Da es sich um extrem langlebige Nuklide handelt ($T_{1/2} = 1.06 \times 10^{11}$ bzw. 1.28×10^9 Jahre) ist eine Beobachtung der Änderung der Impulsrate in Abhängigkeit von der Zeit nicht mehr möglich. Die Halbwertszeit $T_{1/2}$ lässt sich jedoch aus der spezifischen Aktivität A_s bestimmen.

Zur experimentellen Durchführung wird ein Methan-Durchflußzählrohr verwendet. Die radioaktiven Präparate (mit Aktivitäten < 200 Bq) werden in ein direkt unter dem Zählrohr befindliches Probenrad eingebracht. Bei jeweils fest gewählter Hochspannung in den Plateaubereichen des Zählrohres werden die Aktivitäten der Präparate gemessen.

Aus dem Zerfallsgesetz $A = \ln 2 \cdot N / T_{1/2}$ kann bei bekannter Zahl der zerfallenden Atome N und nach einer Bestimmung der Aktivität A die Halbwertszeit $T_{1/2}$ berechnet werden. Zur Bestimmung der absoluten, d.h. durch Effekte wie Selbstabsorption und Rückstreuung nicht verfälschten, Aktivität aus den tatsächlich gemessenen Aktivitäten werden verschiedenen Methoden verwendet: Die Aktivität des α -Strahlers Samarium wird unter Ausnutzung der konstanten Reichweite der Strahlung und der bekannten Oberfläche des Präparats korrigiert. Beim β -Strahler Kalium wird die Massenabhängigkeit der beobachteten Aktivität ausgenutzt.

2. Vorkenntnisse

Informieren sie sich über folgende Themen:

- α - Zerfall
- β - Zerfall
- Elektroneneinfang
- Absorption und Reichweite radioaktiver Strahlung
- Gasionisationsdetektoren
- Umgang mit radioaktiven Präparaten

3. Aufgabenstellung

3.1 Erstellen eines LabView-Messprogrammes

Erstellen Sie anhand der Darstellung in Ref. [1.1], Kapitel 2.6 „Messung mit Hilfe eines LabVIEW-Messprogramms“ und der Kurzanleitung (Anhang A.1) zur Programmierung in LabVIEW ein Messprogramm, das es ermöglicht, Spannungen einzustellen und Zählraten zu messen.

3.2 Zählrohrcharakteristik

Wählen Sie geeignete Einstellungen der Elektronik. Beobachten Sie dazu die Signale nach dem Vorverstärker, dem Hauptverstärker und dem Einkanalanalysator. Ein genügend großer Verstärkungsfaktor und eine bestmögliche Trennung von Signal und Rauschen sind entscheidend. Wichtig ist eine geeignete Wahl der unteren Schwelle am Einkanalanalysator: diese muss hoch genug sein um Verdopplungen einzelner Pulse auszuschließen und gleichzeitig niedrig genug, um auch kleine Signale zu registrieren. Optimieren Sie die Einstellungen für jedes Präparat neu.

a) Nehmen Sie mit ^{238}U die Zählrohrcharakteristik des Durchflusszählrohrs auf. Wählen Sie die Anfangsspannung $U_{\text{initial}} = 1000 \text{ V}$, die Endspannung $U_{\text{end}} = 4000 \text{ V}$, die Schrittweite $U_{\text{step}} = 100 \text{ V}$ und die Messzeit pro Spannungswert $t = 50 \text{ s}$. Stellen Sie bei allen Messreihen eine ausreichend lange Pause vor dem Beginn der Messzeit ein, damit sich die Spannung einstellen kann!

b) Führen Sie eine Untergrundmessung mit einem leeren Aluminiumschälchen durch, mit der Sie die Zählrohrcharakteristik aus a) und die Messungen der Plateaus mit Samarium in c) und Kalium in e) korrigieren. Wählen Sie als Anfangsspannung die Einsatzspannung für α -Strahlung bei ^{238}U , die Endspannung $U_{\text{end}} = 4000 \text{ V}$, die Schrittweite $U_{\text{step}} = 100 \text{ V}$ und die Messzeit pro Spannungswert $t = 100 \text{ s}$.

3.3 Bestimmung der Halbwertszeit von ^{147}Sm (α -Zerfall)

c) Nehmen Sie mit ^{147}Sm das Plateau mit $U_{\text{step}} = 100 \text{ V}$ und $t = 200 \text{ s}$ auf. Wählen Sie als Anfangsspannung die Einsatzspannung des α -Plateaus der Zählrohrcharakteristik, die Endspannung sollte die Einsatzspannung des β -Plateaus überragen. Korrigieren Sie Ihre Plateaumessung mit der Untergrundmessung aus b).

d) Messen Sie bei einer Arbeitsspannung in der Mitte des α -Plateaus die Aktivität von ^{147}Sm und den Untergrund mit leerem Aluminiumschälchen. Wählen Sie die Messzeit so, dass Sie einen relativen statistischen Fehler von etwa 2% erhalten. Verwenden Sie dazu als Erwartungswert die Zählrate aus der Plateaumessung. Bestimmen Sie die Halbwertszeit von ^{147}Sm und berechnen Sie den Fehler. Vergleichen Sie mit dem Literaturwert und diskutieren Sie mögliche Fehlerquellen.

3.4 Bestimmung der Halbwertszeit von ^{40}K (β -Zerfall)

e) Nehmen Sie mit ^{40}K das β -Plateau mit $U_{\text{step}} = 100 \text{ V}$ und $t = 100 \text{ s}$ auf. Wählen Sie als Anfangsspannung die Einsatzspannung des β -Plateaus der Zählrohrcharakteristik und die Endspannung $U_{\text{end}} = 4000 \text{ V}$. Korrigieren Sie Ihre Plateaumessung mit der Untergrundmessung aus b).

f) Führen Sie bei einer Arbeitsspannung in der Mitte des β -Plateaus für 10 verschiedene Massen eine Aktivitätsmessung von ^{40}K durch. Präparieren Sie dazu jeweils ein Schälchen mit Kaliumchlorid und wiegen es mit der Präzisionswaage. Messen Sie die Aktivitäten und berücksichtigen Sie den Untergrund durch eine weitere Messung mit leerem Aluminiumschälchen. Bestimmen Sie die Messzeit pro Masse so, dass die Messwerte einen relativen Fehler von etwa 2% haben. Verwenden Sie dazu als Erwartungswert die Zählrate aus der Plateaumessung. Tragen Sie die Aktivität gegen die Masse auf und passen sie an die Daten eine Funktion der Form

$$n(m) = a \cdot (1 - e^{-bm})$$

an. Bestimmen Sie mit den Parametern a und b die Halbwertszeit von ^{40}K und berechnen Sie den Fehler unter Berücksichtigung einer möglichen Korrelation der beiden Parameter. Vergleichen Sie mit dem Literaturwert und diskutieren Sie mögliche Fehlerquellen.

4. Hinweise zur Versuchsauswertung

Die Bestimmung der Halbwertszeiten beider Isotope erfolgt unter Ausnutzung des Zerfallsgesetzes $A = \lambda N$, welches die Aktivität A der Probe über die Zerfallskonstante λ mit der Anzahl N der radioaktiven Kerne in der Probe verknüpft. Im Experiment ist die Gesamtaktivität A durch Selbstabsorption in der Probe, Rückstreuung und die endliche Abdeckung durch das Zählrohr verfälscht. Diese Effekte müssen bei der Auswertung der gemessenen Zählraten n berücksichtigt werden.

4.1 α -Strahler:

Unter der Annahme einer konstanten Reichweite $R_{\text{Sm}_2\text{O}_3}$ der Strahlung im Präparat ergibt sich für die erwartete Zählrate n über der Oberfläche der Größe F einer Probe

$$n = \frac{A_V F R_{\text{Sm}_2\text{O}_3}}{4},$$

wobei A_V die tatsächliche Aktivität pro Volumen Probenmaterial ohne Selbstabsorption ist (machen Sie sich klar, wie dieser Zusammenhang zustande kommt!). $R_{\text{Sm}_2\text{O}_3}$ ist unbekannt, kann aber durch Verwendung der Beziehung von Bragg und Cleeman

$$R\rho = C\sqrt{m_A}$$

eliminiert werden. Hierbei bezeichnet R die Reichweite, ρ die Dichte, m_A das effektive Atomgewicht und C eine stoffunabhängige Proportionalitätskonstante, die durch Division der Formeln für Luft und Sm_2O_3 eliminiert werden kann. Das effektive Atomgewicht lässt sich über die Beziehung

$$\sqrt{m_A} = \sum_i p_i \sqrt{m_{A_i}}$$

aus dem Atomgewicht m_{A_i} der am Aufbau der Substanz beteiligten Elemente und ihren relativen Massenanteilen p_i an der Substanz berechnen (vgl. Ref. [2.4], S. 52).

Konstanten:

$$R_{\text{Luft}} = 1.13 \text{ cm}$$

$$\rho_{\text{Luft}} = 0.001226 \text{ g/cm}^3$$

$$p_{\text{N,Luft}} = 0.75518$$

$$p_{\text{O,Luft}} = 0.23135$$

$$p_{\text{Ar,Luft}} = 0.01288$$

4.2 β -Strahler:

Beim β -Strahler muss zur Ermittlung der Selbstabsorption im Präparat das Abschwächungsgesetz für den Durchgang von Strahlung durch Materie angewandt werden. In Abhängigkeit von der Masse m der Probe ergibt sich für die beobachtete Zählrate

$$n(m) = \frac{A_s f_B \frac{\Omega}{4\pi} F \rho}{\mu} \left(1 - \exp\left(-\frac{\mu}{F \rho} \cdot m\right) \right),$$

wobei $A_s = A/m$ die spezifische Aktivität der Probe und μ den Abschwächungskoeffizienten für β -Strahlung bezeichnet (machen Sie sich die Herleitung dieses Zusammenhangs klar!). Außer der Selbstabsorption sind zusätzlich die Abdeckung des endlichen Raumwinkels $\Omega = 2\pi$ durch den Zähler und die Rückstreuung der Elektronen am Aluminiumschälchen in Form des Rückstreufaktors $f_B = 1.29$ berücksichtigt. Eine Kurvenanpassung an die gemessenen Aktivitäten liefert zwei Fitparameter, die die Elimination der unbekannten Größen A_s und μ erlauben.

Als Präparat dient hier KCl. Die Häufigkeit des Isotops ^{40}K in natürlichem Kalium ist 0,0118%. ^{40}K zerfällt unter Aussendung eines Elektrons (β^- -Strahlung). Weiterhin tritt Elektroneneinfang (EC) auf. Diese beiden Prozesse treten in der relativen Häufigkeit $\beta^- : \text{EC} = 100 : 13$ auf.

Ist λ_{EC} die Zerfallskonstante für Elektroneneinfang und λ_β die Zerfallskonstante für β -Emission, dann ist die Gesamtzerfallskonstante gegeben durch

$$\lambda_{\text{ges}} = \lambda_\beta + \lambda_{\text{EC}} = \lambda_\beta + 0,13 \cdot \lambda_\beta = 1,13 \cdot \lambda_\beta$$

Direkt gemessen wird ausschließlich Halbwertszeit $T_{1/2}$ des β -Zerfalls. Die tatsächliche Halbwertszeit ist folglich:

$$T_{1/2} = \frac{\ln 2}{1,13} \cdot \frac{N}{A}.$$

B. Technische Hinweise

1. Versuchsaufbau

Abb. 1: Messplatz

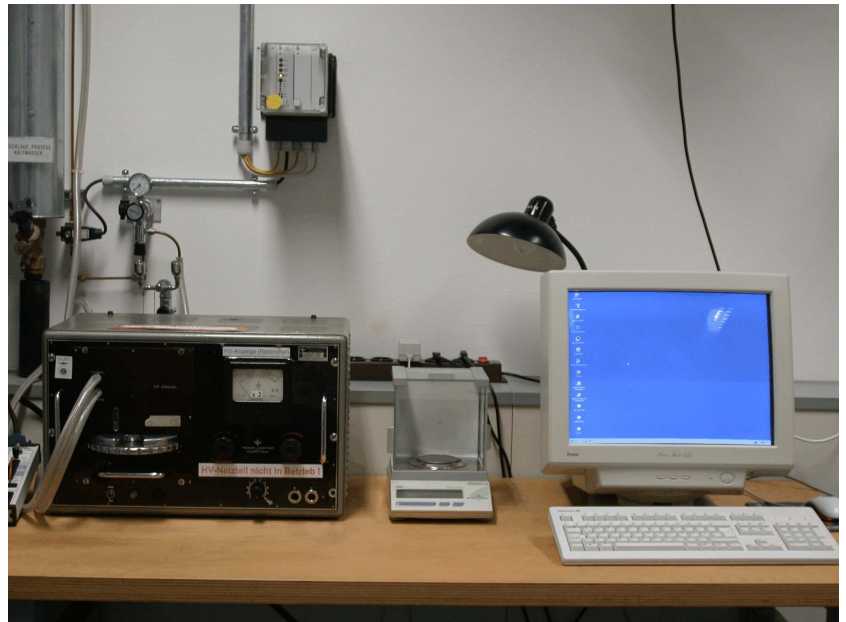


Abb. 2: Elektronik

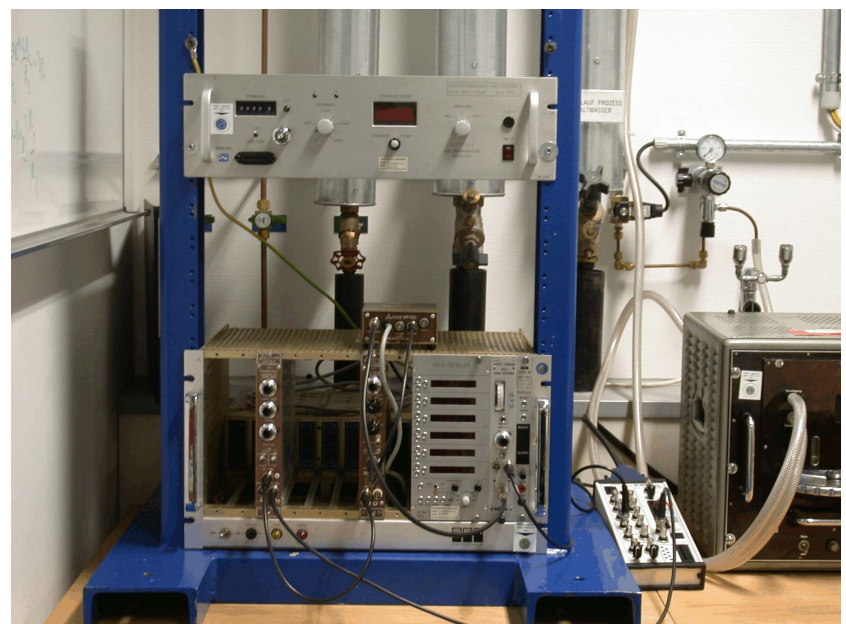


Abb. 3: Schaltskizze

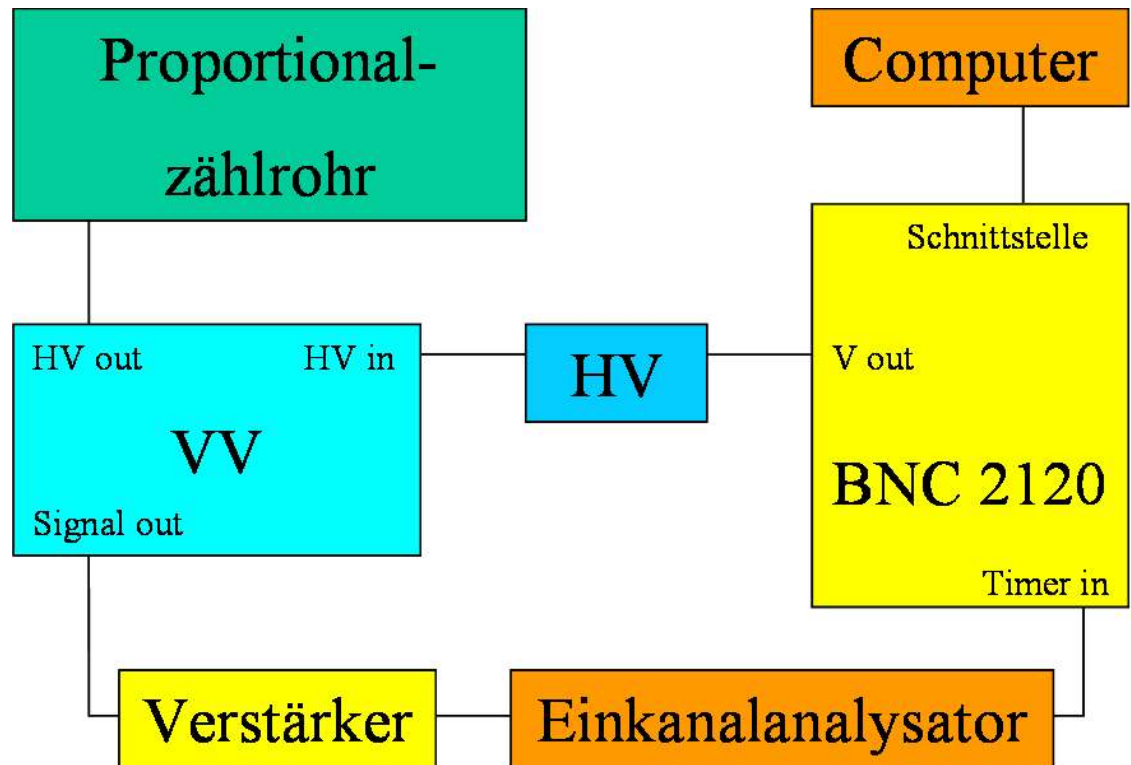
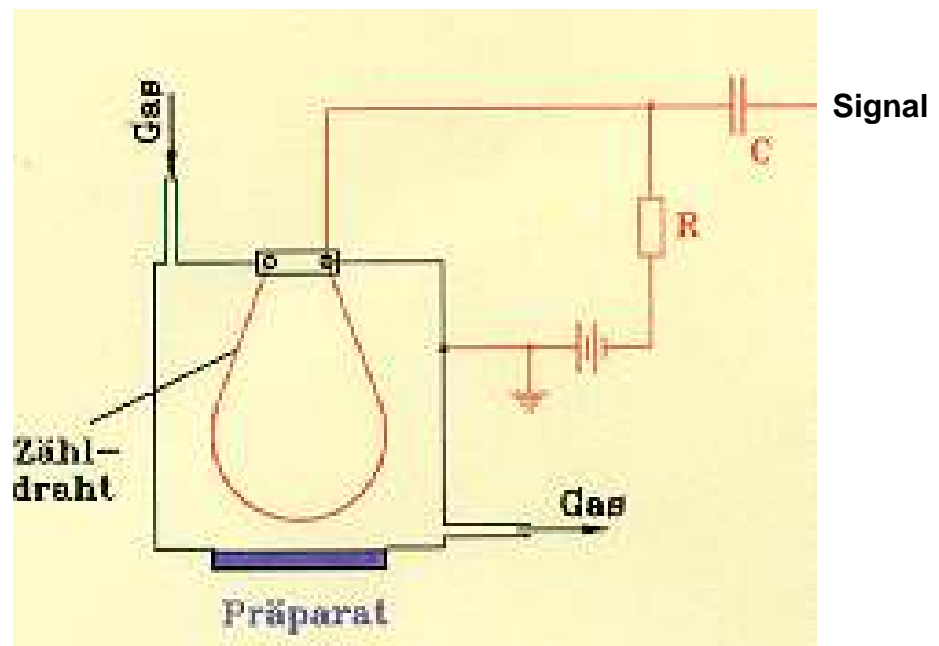


Abb. 4: Zählrohr



2. Funktion der Messanordnung

Die Apparatur enthält einen Methandurchflusszähler und ein Zählrohr. Da die nachzuweisende radioaktive Strahlung energiearm ist und damit nur eine geringe Reichweite hat, müssen Absorption der Strahlung in der Zählrohrwand, dem Zählrohrfenster und in der Atmosphäre zwischen Präparat und Zählrohr vermieden werden. Im Praktikumsversuch findet daher ein fensterloses Zählrohr (2π -Anordnung, vgl. Abb. 4) Verwendung, bei dem das Präparat direkt in den Zählraum eingebracht wird. Die nachzuweisenden α - bzw. β -Teilchen durchlaufen somit nur das Zählgas (Methan).

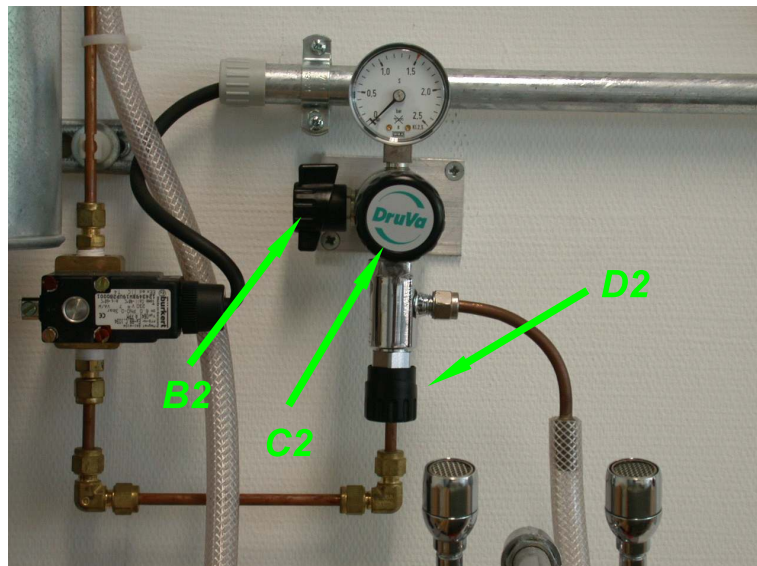
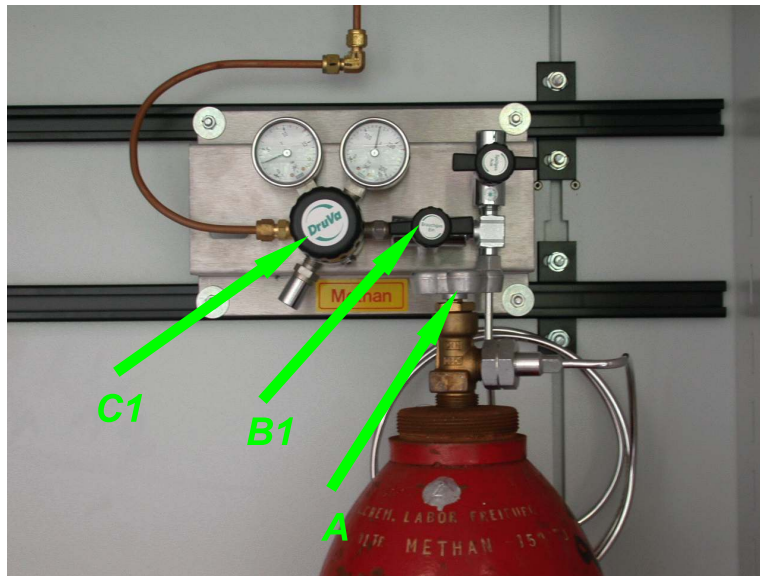
Der Zählendraht wird auf positive Hochspannung (**max. 4 kV**) gelegt. Im starken E-Feld um den dünnen Zählendraht (Molybdän, $\varnothing 50 \mu\text{m}$) des Detektors lösen die wenigen Elektronen und Ionen, die durch die radioaktive Strahlung erzeugt werden, Ionisierungslawinen aus und führen zu einer leicht messbaren Entladung. Das Durchflusszählrohr wird im Proportionalbereich betrieben. Hier ist die Höhe der vom Zählrohr gelieferten Impulse proportional zur Primärionisation, d.h. proportional zur Energie der nachzuweisenden Strahlung.

Das Signal wird aus der HV ausgekoppelt und dem Eingang einer Messdatenerfassung (National Instruments) zugeführt und mit dem LabView am PC dargestellt.

3. Geräteliste für den Versuch

1. 2π -Methandurchflußzähler
2. Verstärker und Impulszählgerät
3. Methangasflasche mit Druckminderer
4. Analysenwaage
5. Werkzeuge (Meßschleber, Pinzette, Spatel, Probenaufnahmen)
6. Messdatenerfassungskarte mit PC

4. Gasversorgung



1. Inbetriebnahme der Gasanlage

- Hauptventil **A** (Gasflasche) öffnen
- Ventil **B1** (Brauchgas Ein) öffnen (Stellung waagerecht)
- Vordruck mit Regulierschraube **C1** auf 3 bar einregeln
- Ventil **B2** (Stellung waagerecht) zum Arbeitsdruckeinsteller öffnen
- Arbeitsdruck mit Regulierschraube **C2** im Uhrzeigersinn auf ca. 0,5 bar einstellen
- Mit Nadelventil **D2** und Regulierschraube **C2** am Sichtfenster des Zählrohres auf ca. 5 Bläschen/sec einstellen

2. Abschalten der Gasanlage

- Arbeitsdruck mit Regulierschraube **C2** entgegen Uhrzeigersinn absenken
- Ventil **B2** schließen
- Ventil **B1** schließen
- Hauptventil **A** schließen

5. Präparate

1. Natururan-Präparat: (kleiner schwarzer Quader in Al-Schälchen von $\varnothing \approx 29$ mm) dient zur Aufnahme der Zählrohrcharakteristik.

^{238}U Relative Häufigkeit: $h_{\text{rel}} = 99,75\%$
 $T_{1/2} = 4,5 \times 10^9$ Jahre

2. Samarium-Präparat: Sm_2O_3 von 99%-iger Reinheit in Al-Schälchen von $\varnothing \approx 29$ mm.

^{147}Sm Relative Häufigkeit: $h_{\text{rel}} = 14,87\%$
 $T_{1/2} = 1,06 \times 10^{11}$ Jahre

3. Kalium-Präparat: KCl in einem Al-Schälchen von $\varnothing \approx 29$ mm.

^{40}K Relative Häufigkeit: $h_{\text{rel}} = 0,0118\%$
 $T_{1/2} = 1,28 \times 10^9$ Jahre

6. Hinweise zur Versuchsdurchführung

1. **Die Funktionen des alten Methandurchflusszählers der Firma Frieseke & Höpfner sind zum Teil außer Betrieb gesetzt worden.** Bei diesem Versuch werden nur noch der Zählrohrein Schub und der Methandurchflusszähler verwendet. Die Spannungsversorgung erfolgt extern durch die Haute Tension Hochspannungsquelle. **Achtung: die Zählrohrspannung nie über 4 kV erhöhen!** Ein Nichtbeachten der Betriebsanweisungen kann zu schweren Schäden am Gerät und am Bedienpersonal durch unkontrollierbare HV-Überschläge führen.
2. Kontrollieren Sie regelmäßig den Gasfluss am Zählrohr. Insbesondere am Anfang sinkt der Fluss leicht ab - kommt er zum Erliegen, werden die Zählraten unterschätzt.
3. Vermeiden Sie eine Verschmutzung von Zählrohr und Waage (radioaktive Substanzen, Fett am Probenrad)!
4. Ansteuerung des Hochspannungsgenerators: Eingang ist der rechte Anschluss, überschrieben mit 0 - 600 V, Schalterstellung "HV OUTPUT" rechts.

C. Literatur

1. Literatur zum Originalversuch

- [1.1] T. Kotyk, *Versuche zur Radioaktivität*, Zulassungsarbeit Lehramt, Freiburg 2005
- [1.2] K. Bächman, *Messung radioaktiver Nuklide*, Verlag Chemie 1970
- [1.3] E. Bleuler, G.J. Goldsmith, *Experimental Nucleonics*, Auszüge, Holt, Rinehart and Winston, New York
- [1.4] T. Fließbach, *Alphazerfall und Kernstruktur*, Physik in unserer Zeit, 1977

2. Weiterführende Literatur

- [2.1] Beschreibung u. Anleitung Methandurchflußzähler FH 51 mit Zählrohr FH 514 der Firma Friesseke & Hoepfner
- [2.2] Riezler, *Einführung in die Kernphysik* (6. Auflage), S. 61-69, S. 261-267
- [2.3] Bleuler und Goldsmith, *Experimental Nucleonics*, S. 82, S. 86, S. 135/136
- [2.4] Marmier, *Kernphysik 1*