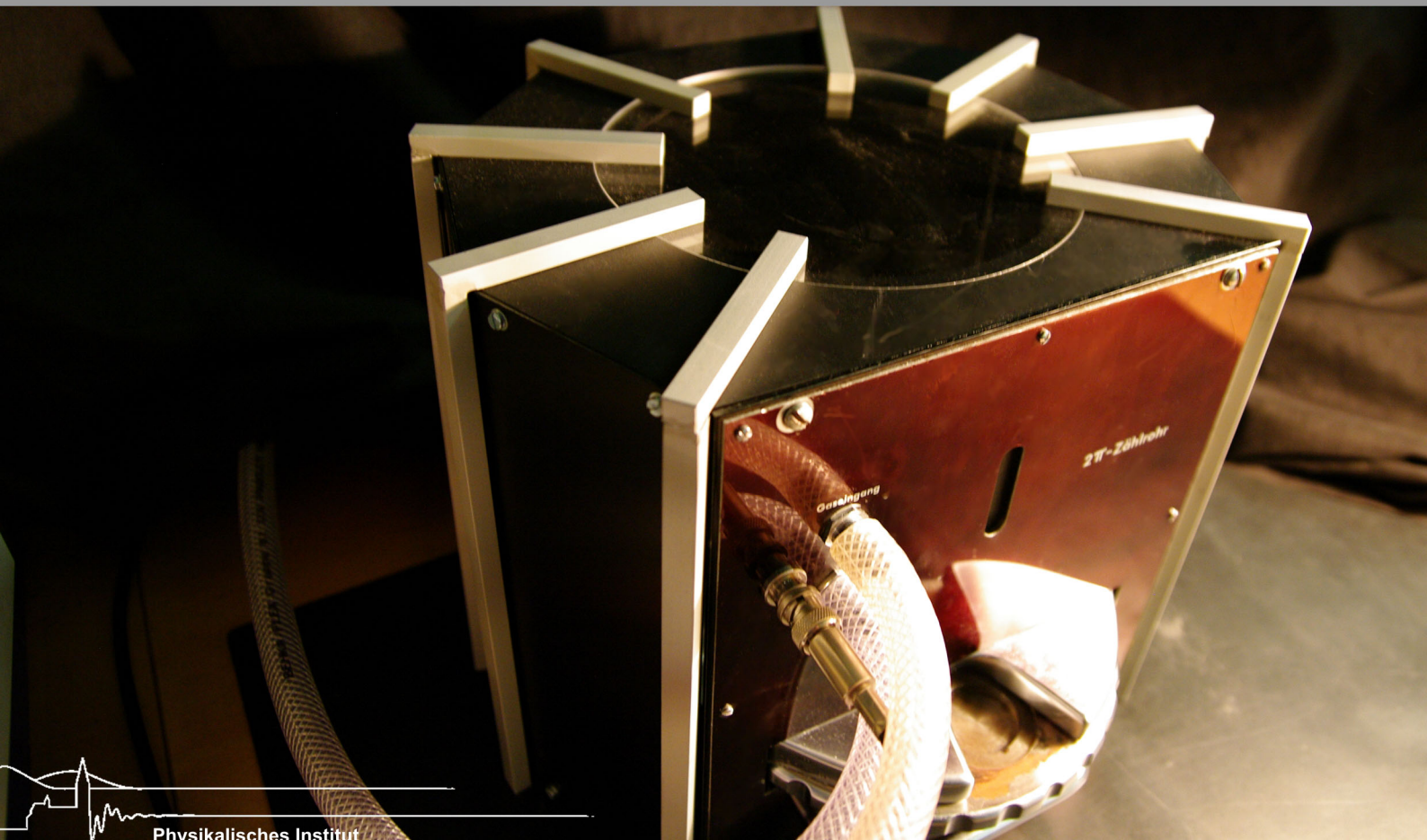




Universität Freiburg

Versuchsanleitung
**Fortgeschrittenen
Praktikum**
Teil I

Lange Halbwertszeiten



Lange Halbwertszeiten

INSTITUT FÜR MATHEMATIK UND PHYSIK
ALBERT-LUDWIGS-UNIVERSITÄT
FREIBURG IM BREISGAU

26. JUNI 2012

Inhaltsverzeichnis

1	Vorwort zum Versuch	1
2	Vorkenntnisse	1
3	Aufgabenstellung	2
4	Hinweise zur Versuchsauswertung	4
4.1	α -Strahler	4
4.2	β -Strahler	4
4.3	Funktion der Messanordnung	5
4.4	Hinweis zur Durchführung von Messungen	5
5	Versuchsaufbau	6
5.1	Messgeräte	6
5.2	Gasversorgung	7
5.3	Präparate	8
6	Geräteliste	8
7	Literatur	9

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 ($T_{1/2} = 1,06 \cdot 10^{11}$ Jahre, beziehungsweise $T_{1/2} = 1,28 \cdot 10^9$ Jahre) ist eine Beobachtung der Änderung der Impulsrate in Abhängigkeit von der Zeit nicht mehr möglich.

Zur experimentellen Durchführung wird ein Methan-Durchflußzählrohr verwendet. Die radioaktiven Präparate (mit Aktivitäten unter 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 $A = \dot{N} = \ln 2 \cdot A \cdot N / T_{1/2}$ kann bei bekannter Zahl der radioaktiven Atome und nach einer Bestimmung der Aktivität A die Halbwertszeit $T_{1/2}$ berechnet werden. Zur Bestimmung der absoluten (das heißt durch Effekte wie Selbstabsorption und Rückstreuung nicht verfälschten) Aktivität aus den tatsächlich gemessenen Aktivitäten werden verschiedene Methoden verwendet: Die Aktivität des α -Strahlers wird unter Ausnutzung der konstanten Reichweite der Strahlung und der bekannten Oberfläche des Präparats korrigiert. Beim β -Strahler wird die Massenabhängigkeit der beobachteten Aktivität ausgenutzt.

2 Vorkenntnisse

Informieren Sie sich über folgende Themen:

- α -Zerfall, β -Zerfall, Elektroneneinfang
- Wechselwirkung von geladenen Teilchen mit Materie
- Absorption und Reichweite radioaktiver Strahlung
- Gasionisationsdetektoren
- Umgang mit radioaktiven Präparaten

3 Aufgabenstellung

1. (optional) Erstellen eines LabVIEW-Messprogramms

Erstellen Sie anhand der Darstellung in der Staatsexamensarbeit von T. KOTYK, Kapitel 2.6 'Messung mit Hilfe eines LabVIEW-Messprogramms' und der Kurzanleitung zur Programmierung in LabVIEW ein Messprogramm, das es ermöglicht, Spannungen einzustellen und Zählraten zu messen.

2. Zählrohrcharakteristik

Wählen Sie geeignete Einstellungen der Elektronik. Beobachten Sie dazu die Signale nach dem Vorverstärker, dem Hauptverstärker und dem Einkanalanalysator. Für eine bestmögliche Trennung von Signal und Rauschen ist eine geeignete Wahl der unteren Schwelle am Einkanalanalysator entscheidend: diese muss hoch genug sein um Pulse durch Rauschen auszuschließen und gleichzeitig niedrig genug, um auch kleine Signalepulse zu registrieren. Machen Sie sich den Einfluss von Verstärkungsfaktor und Shaping Time am Verstärker auf die richtige Wahl der unteren Schwelle klar. Warum müsste man eigentlich die Einstellungen für jedes Präparat neu optimieren?

- (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 zuvor aufgenommene Zählrohrcharakteristik und die Messungen der Plateaus mit Samarium und Kalium (siehe unten) korrigieren. Wählen Sie als Anfangsspannung die Einsatzspannung für α -Strahlung bei ^{238}U und als Endspannung $U_{\text{end}} = 4000 \text{ V}$, bei einer Schrittweite $U_{\text{step}} = 100 \text{ V}$ und einer Messzeit pro Spannungswert von $t = 100 \text{ s}$.

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

- (a) 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.
- (b) 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 Messzeiten so, dass Sie einen relativen statistischen Fehler von etwa 2% erhalten und der Fehler der Untergrundzählrate zum Gesamtfehler nicht beiträgt. Verwenden Sie dazu als Erwartungswert die Zählrate aus der Plateaumessung. Ermitteln Sie den Schälchendurchmesser, indem Sie über mehrere Einzelmessungen mitteln.
- Bestimmen Sie die Halbwertszeit von ^{147}Sm und berechnen Sie den Fehler. Vergleichen Sie mit dem Literaturwert und diskutieren Sie mögliche Fehlerquellen.

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

- (a) 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 als Endspannung $U_{\text{end}} = 4000\text{ V}$. Korrigieren Sie Ihre Plateaumessung mit der Untergrundmessung.
- (b) 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 wieder einen relativen Fehler von etwa 2% haben und der Untergrund nicht beiträgt. Tragen Sie die Aktivität gegen die Masse auf und passen sie an die Daten eine Funktion folgender Form an:

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

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 dieses Versuches 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

$$n = A_v \frac{F}{4} R_{\text{Sm}_2\text{O}_3}, \quad (2)$$

wobei $A_v = A/V$ die tatsächliche Aktivität pro Volumen Probenmaterial ohne Selbstabsorption ist (machen Sie sich klar, wie dieser Zusammenhang zustande kommt). Ist $R_{\text{Sm}_2\text{O}_3}$ unbekannt, kann aber zusammen mit der ebenfalls unbekannten Dichte von Sm_2O_3 als Produkt $R\rho$ in der Formel für die Halbwertszeit durch Verwendung der Beziehung von Bragg und Kleeman

$$R\rho = C\sqrt{m_A} \quad (3)$$

ersetzt 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

$$\sqrt{m_A} = \sum_i p_i \sqrt{m_{A,i}} \quad (4)$$

aus den Atomgewichten $m_{A,i}$ der am Aufbau der Substanz beteiligten Elemente und ihren relativen Massenanteilen p_i an der Substanz berechnen.

Konstanten:

$$R_{\text{Luft}} = 1,13 \text{ cm und } \rho_{\text{Luft}} = 0,001226 \text{ g/cm}^3$$

$$p_{\text{N,Luft}} = 0,75518, p_{\text{O,Luft}} = 0,23135 \text{ und } p_{\text{Ar,Luft}} = 0,01288$$

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

$$n(m) = f_B \frac{\Omega}{4\pi} A_s \frac{F\rho}{\mu} \left(1 - \exp\left(-\frac{\mu}{F\rho} m\right) \right), \quad (5)$$

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; Vorsicht: Fehler in der Staatsexamensarbeit!). 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 Rückstrefaktors $f_B = 1,29$ 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, weiterhin tritt Elektroneneinfang (EC) auf. Die beiden Prozesse treten in der relativen Häufigkeit $\beta : \text{EC} = 89,28\% : 10,72\%$ auf (siehe z.B. <http://atom.kaeri.re.kr>). Ist λ_{EC} die Zerfallskonstante für Elektroneneinfang und λ_β die Zerfallskonstante für β -Emission, dann ist die Gesamtzerfallskonstante gegeben durch

$$\lambda_{\text{ges}} = \lambda_{\beta} + \lambda_{\text{EC}} = \lambda_{\beta} + 0,12\lambda_{\beta} = 1,12\lambda_{\beta} \quad (6)$$

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

$$T_{1/2} = \frac{\ln 2}{1,12} \cdot \frac{N}{A}. \quad (7)$$

(Hinweis: in der Staatsexamensarbeit wird an manchen Stellen der ungenauere Faktor 1,13 verwendet.)

4.3 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, siehe Abbildung 2) Verwendung, bei dem das Präparat direkt in den Zählraum eingebracht wird. Die nachzuweisenden α -, beziehungsweise β -Teilchen durchlaufen somit nur das Zählgas (Methan).

Der Zählendraht wird auf positive Hochspannung (maximal 4 kV) gelegt. Im starken E-Feld um den dünnen Zählendraht (Molybdändraht mit einem Durchmesser von 50 μm) 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, das heißt proportional zur Energie der nachzuweisenden Strahlung.

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

4.4 Hinweis zur Durchführung von Messungen

Die Funktionen des alten Methandurchflusszählers der Firma Frieeseke und 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. Die Betriebsanleitung empfiehlt außerdem, nach dem Einschalten der Gaszufuhr vor der ersten Messung etwa 15-30 min zu warten.

Ansteuerung des Hochspannungsgenerators: Eingang ist der rechte Anschluss, überschrieben mit '0 - 600 V', Schalterstellung 'HV OUTPUT' rechts.

Kontrollieren Sie regelmäßig den Gasfluss am Zählrohr. Insbesondere am Anfang sinkt der Fluss leicht ab - kommt er zum Erliegen, werden die Zählraten unterschätzt.

Vermeiden Sie eine Verschmutzung von Zählrohr und Waage (radioaktive Substanzen, Fett am Probenrad)!

Schalten Sie den Gaszufluss zum Zählrohr kurzzeitig aus, sofern Sie eine Probe auf dem Drehteller unter das Zählrohr führen, da ansonsten das radioaktive Pulver aus dem Schälchen geblasen wird.

5 Versuchsaufbau

5.1 Messgeräte

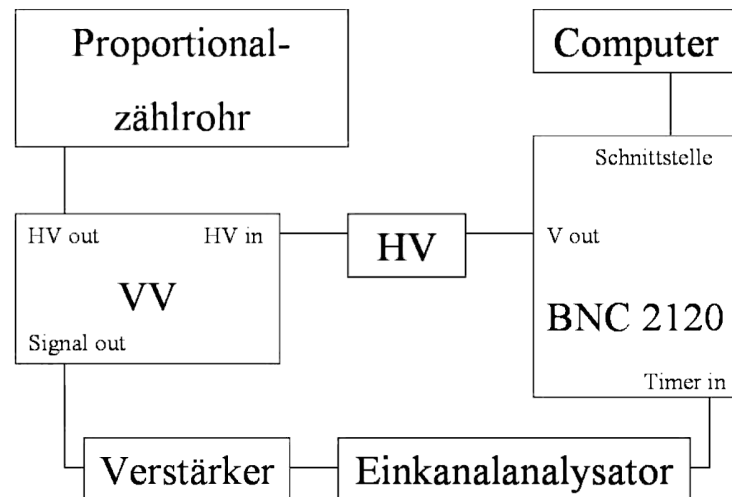


Abbildung 1: Schaltskizze des Versuchs



Abbildung 2: Im Versuch verwendeter Methandurchflusszähler

5.2 Gasversorgung

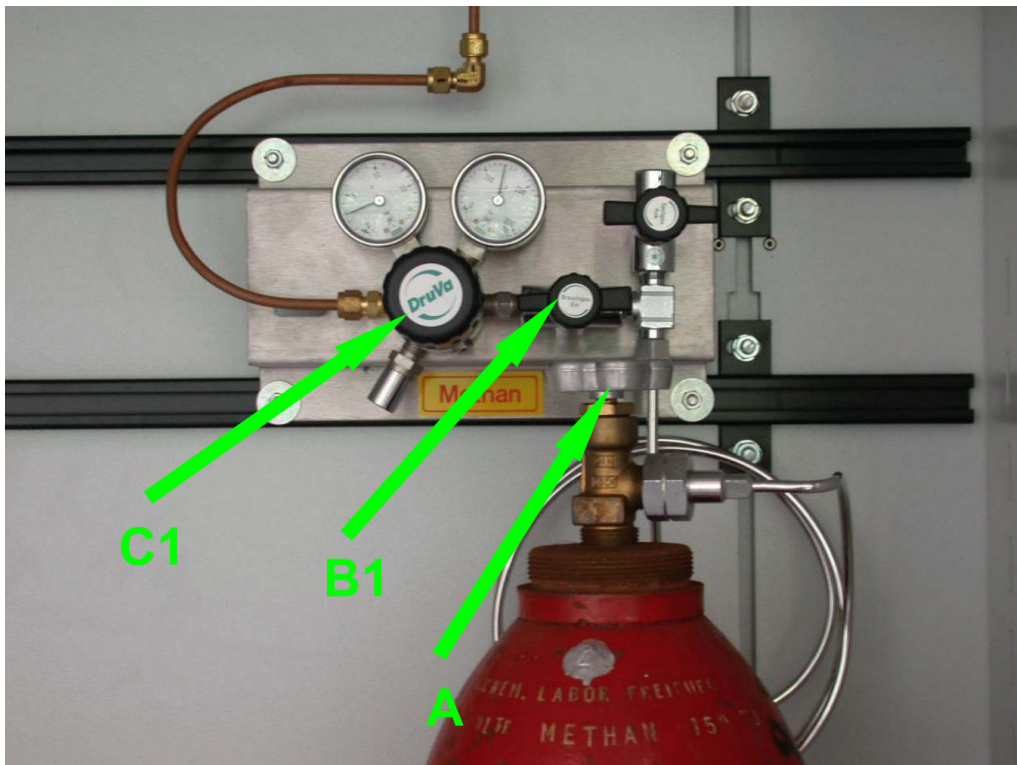


Abbildung 3: Gaszufluss ab Flasche (Schrack)

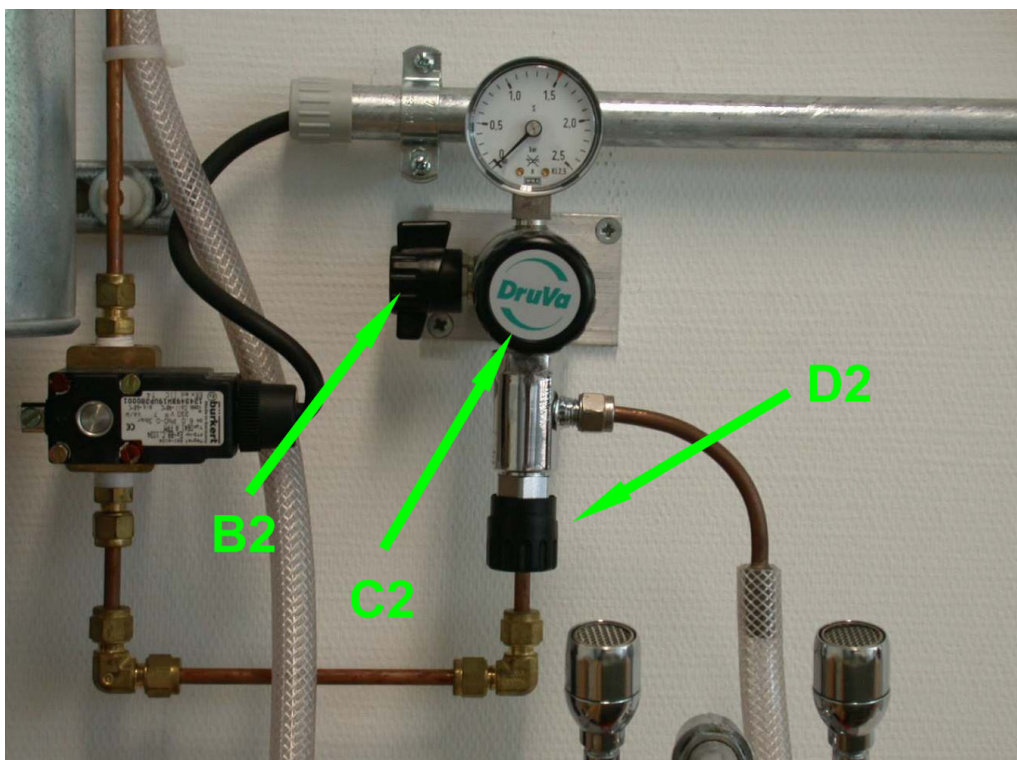


Abbildung 4: Gaszuführung zum Durchflusszähler

Inbetriebnahme der Gasanlage

- Hauptventil **A** (Gasflasche) öffnen
- Ventil **B1** (Brauchgas Ein) öffnen (Stellung waagrecht)
- Ventil **B2** (Stellung waagrecht) zum Arbeitsdruckeinsteller öffnen
- Ventil **C2** öffnen, bis Gasfluss am Sichtfenster des Zählrohrs zu beobachten ist
- Vordruck mit Regulierschraube **C1** auf 3 bar einregeln
- Arbeitsdruck mit Regulierschraube **C2** im Uhrzeigersinn auf ca. 0,3 bar einstellen
- Mit Nadelventil **D2** und Regulierschraube **C2** am Sichtfenster des Zählrohrs den Durchfluss auf etwa 5 Bläschen/Sekunde einstellen

Abschalten der Gasanlage

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

5.3 Präparate

Alle zur Benutzung in Aluminiumschälchen von \varnothing 29 mm.

1. Natururanpräparat ^{238}U (kleiner schwarzer Quader)

Relative Häufigkeit: $h_{\text{rel}} = 99,75\%$

$T_{1/2} = 4,5 \cdot 10^9$ Jahre

2. Samariumpräparat ^{147}Sm als Sm_2O_3 von 99%-iger Reinheit

Relative Häufigkeit: $h_{\text{rel}} = 14,87\%$

$T_{1/2} = 1,06 \cdot 10^{11}$ Jahre

3. Kaliumpräparat ^{40}K als KCl

Relative Häufigkeit: $h_{\text{rel}} = 0,0118\%$

$T_{1/2} = 1,28 \cdot 10^9$ Jahre

6 Geräteliste

- 2π -Methandurchflusszähler
- Hochspannungsnetzteil
- Vorverstärker und Hauptverstärker
- Timing Single Channel Analyzer
- (Linear Gate)
- Methangasflasche mit Druckminderer
- Analysenwaage
- Werkzeuge (Messschieber, Pinzette, Spatel, Probenaufnahmen)
- Computer mit LabVIEW, Control-Panel und Messdatenerfassungskarte

7 Literatur

Staatsexamensarbeiten

- KOTYK, T.: *Versuche zur Radioaktivität*, Zulassungsarbeit Lehramt, Freiburg, 2005

Weiterführende Literatur

- BÄCHMANN, K.: *Messung radioaktiver Nuklide*, Wiley, 1970
- BLEULER, E.; GOLDSMITH, G.J.: *Experimental Nucleonics*, New York, Rinehart, 1952, in Auszügen etwa S. 82, S. 86, S. 135/136
- FLIESSBACH, T.: *Alphazerfall und Kernstruktur*, Physik in unserer Zeit, 1977
- RIEZLER, W.: *Einführung in die Kernphysik*, R. Oldenbourg, München, 6. Auflage, 1959
- MARMIER, P.: *Kernphysik, Band I*, Verlag der Fachvereine Zürich, 11. Auflage, 1985
- FRIESEKE UND HOEPFNER: *Beschreibung und Anleitung Methandurchflußzähler FH 51 mit Zählrohr FH 514*